



ESTRATEGIA MARINA
DEMARCACIÓN MARINA LEVANTINO-BALEAR
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 del Convenio de Barcelona y la DMA	1
1.2. Escala espacial y temporal.....	2
1.3. Principales presiones e impactos	13
1.4. Fuentes de información.....	15
1.4.1. Programas de seguimiento.....	15
1.4.2. Fuentes de información.....	17
1.4.3. Otras fuentes de información.....	20
2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL.....	21
2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación	21
2.2. Elementos de evaluación.....	23
2.3. Determinación de niveles de referencia o de base.....	27
2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos. ...	46
2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones.....	46
2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión.....	48
2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos.....	56
2.4.4. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos indirectos...	60
2.4.5. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor.....	62
2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento	68
3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL.....	71
3.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 5	71
4. REFERENCIAS	74
5. ANEXOS	80
Anexo I. Glosario de términos y acrónimos.....	80
Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento	82



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 Levantino-Balear se exponen a continuación.

1.1. Incorporación de los trabajos del Convenio de Barcelona y la DMA

Buena parte de las evaluaciones de la eutrofización en el Mediterráneo que han sido publicadas hasta la fecha han estado basadas en los datos y análisis generados en el contexto de la Estrategia de Eutrofización de MED POL. En particular, la Agencia Europea de Medio Ambiente publicó en 1999 el documento *State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment* (EEA, 1999). En 2002 se publicó el informe *Europe's biodiversity – biogeographical regions and seas* (EEA, 2002). En 2010, UNEP/MAP publicó el informe *Sub-regional assessment of the Status of Marine and Coastal Ecosystems and of Pressures to the Marine and Coastal Environment Western Mediterranean* que contiene los resultados actualizados del programa MED POL para el seguimiento de la eutrofización. Todas estas evaluaciones han sido tenidas en cuenta en la Evaluación del Estado Actual y en la definición del Buen Estado Ambiental del Descriptor 5.



Por otro lado, se ha realizado un esfuerzo por integrar los trabajos de la DMA en la evaluación del Descriptor. Esta integración se ha realizado en las siguientes fases del proceso de evaluación:

1. En la Evaluación del Estado Actual, se ha tenido en cuenta la zonación de la franja costera recogida en los borradores de las propuestas de memoria de los Proyectos de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas que presentan masas de agua costeras en la Demarcación Marina. Además, se han incorporado al análisis de algunos de los indicadores los datos que las CCAA han generado en la implementación de la DMA. La mayoría de estos datos se han recopilado a través del Marine Water Data Center (WISE-SoE Marine).
2. En la definición del Buen Estado Ambiental, se han tomado como valores de evaluación los publicados en la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre) así como aquellos utilizados por la CCAA para evaluar elementos de calidad de la DMA que se pueden considerar equivalentes a algunos de los indicadores del Descriptor 5 (de acuerdo con lo discutido en el Documento Marco).

1.2. Escala espacial y temporal

El forzamiento atmosférico e hidrológico en la Demarcación 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 (Font et al., 1988; López-García et al., 1994; Estrada, 1996; Salat, 1996; Pinot et al., 2002; Lucea et al., 2005; Sabatés et al., 2007; Canals y Calafat, 2008; Gordo et al., 2008; D'Ortenzio y D'Alcalá, 2009; ver también las referencias citadas en el documento Marco General). A esta variabilidad habría que unir la debida a la descarga desde los flujos de agua continentales que desembocan en la Demarcación (Sierra et al. 2002; Mössö et al., 2006; Falco et al., 2007; González et al., 2007). 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 nutrientes alóctonos. Por otro lado, la delimitación de dichos núcleos 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 identificación de las áreas de productividad contrastante.

El potencial de las imágenes de satélite para describir la variabilidad espacial y temporal de la clorofila a en el mediterráneo (incluyendo el área de estudio) es demostrado por la relativamente abundante literatura científica disponible en la que se hace uso de esta herramienta (ver entre otros André et al., 2005; Barale et al., 2005; 2008; Lazzari et al., 2011; TheMERMEX Group, 2011; Coppini et al., 2012). 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), Klemas (2011); Banks et al., (2012) y Novoa et al. (2012)]. 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 aplicación 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 adecuación de los algoritmos globales al cálculo de la concentración de clorofila a en el mar Mediterráneo fue discutida por Volpe et al. (2007), quienes señalaron que parte de las incertidumbres asociadas al uso de los algoritmos globales en el Mediterráneo se deben a sus peculiares características ópticas. Para solventar en lo posible las limitaciones del uso de los algoritmos globales, 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). Volpe et al. (2007) mostró que estos algoritmos reducen sólo en parte la incertidumbre asociada al uso de los algoritmos globales. En todo caso, en la actualidad no se cuenta aún con un algoritmo regional desarrollado específicamente para la Demarcación Levantino-Balear.

La incertidumbre asociada a los valores de clorofila de satélite 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. En la Demarcación es de esperar la presencia de agua tipo II (esto es, aguas donde el fitoplancton no es el principal componente que determina las propiedades ópticas de la columna de agua) asociada a las zonas de influencia de las descargas de los ríos (en especial del Ebro). 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. Los autores propusieron interpretar la información del color del océano para cada zona concreta a partir de la información sobre las comunidades planctónicas y otras características geoquímicas de las masas de agua. Debido a que los datos de que se ha podido disponer para la evaluación del Descriptor 5 en las zonas costeras son limitados (en particular en lo relativo a la composición de las comunidades), esta aproximación no ha podido ser implementada.

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 de distribución espacial de la clorofila *a*, sin que en ningún caso se proponga su uso extensivo para la determinación de valores de referencia o de base. En este sentido hay que señalar que la utilidad de las imágenes de satélite para identificar patrones de variabilidad espacial y temporal de clorofila en la Demarcación ha sido demostrada por Bosc et al. (2004) y Gordo et al., (2008), entre otros.

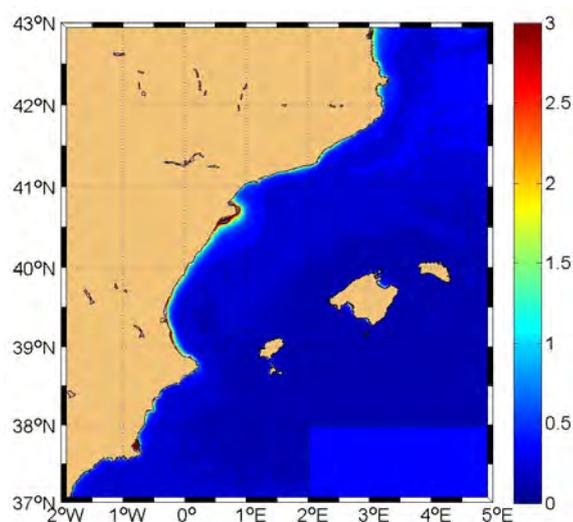


Figura 5.1. Distribución de la concentración de clorofila a de satélite ($\mu\text{g L}^{-1}$) en la Demarcación, estimada a partir de los datos promediados para el periodo 2002-2010.

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. La imagen muestra claramente que las áreas de mayor concentración de clorofila a de satélite se localizan en núcleos discretos a lo largo de la costa. Entre estos destacan los del Mar Menor, los localizados a lo largo de la costa de la Comunidad Valenciana, el entorno del Ebro y la bahía interna de Palma. En el resto de la demarcación marina los únicos patrones apreciables son un cierto gradiente de productividad decreciente desde costa hacia mar abierto y un núcleo de aguas menos productivas localizado en la mitad sur.

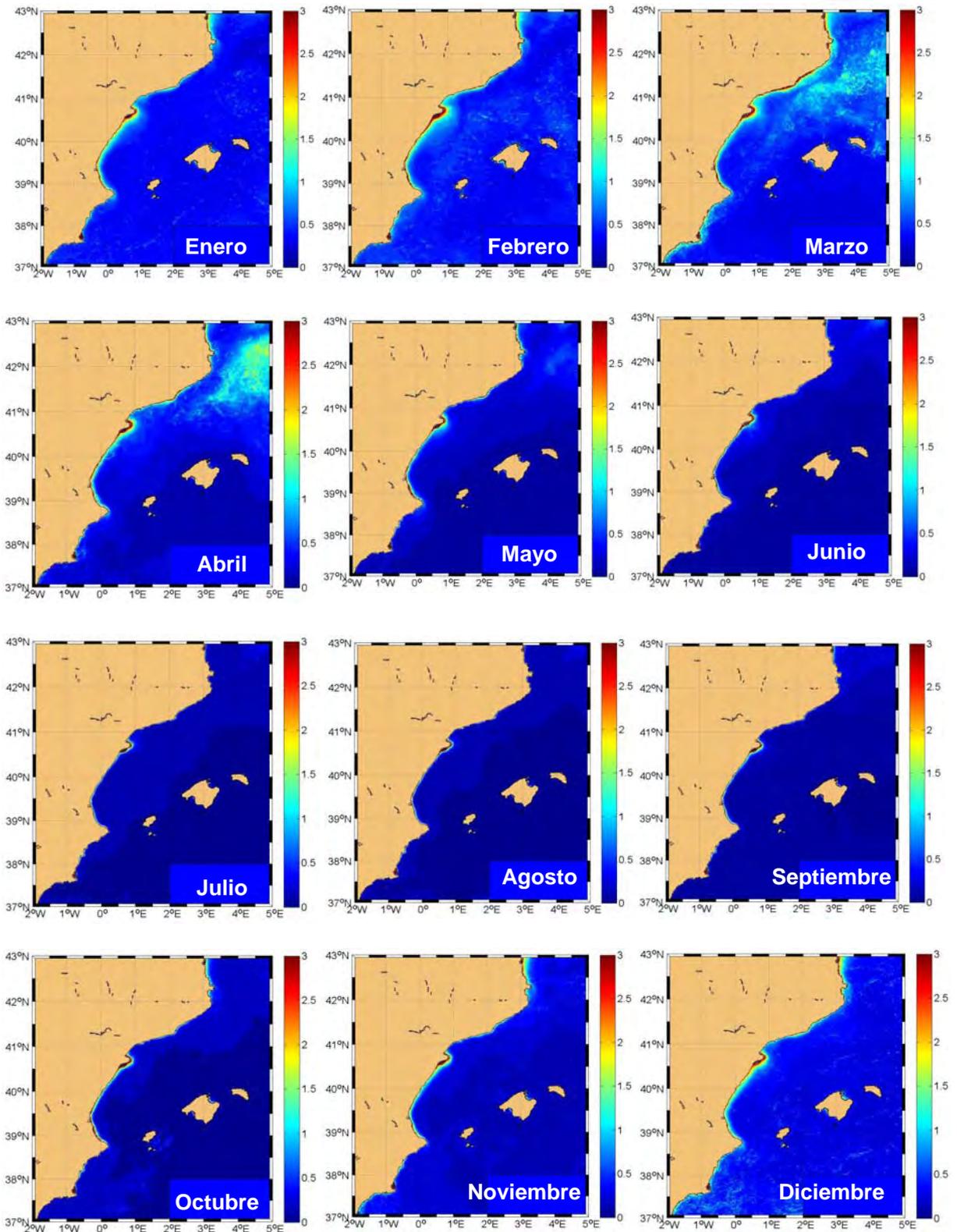


Figura 5.2. Distribución mensual de la clorofila a de satélite ($\mu\text{g L}^{-1}$) calculado a partir del promedio del período 2002-2010 (satélite Modis-Aqua).



1.2.1. Escala temporal

De acuerdo con la información obtenida desde imágenes de satélite (Figura 5.2), así como con la información previa publicada (Font et al., 1988; López-García et al., 1994; Estrada, 1996; Salat, 1996; Pinot et al., 2002; Lucea et al., 2005; Canals y Calafat, 2008; D’Ortenzio y D’Alcalá, 2009) la clorofila a en la Demarcación presenta un ciclo estacional caracterizado por una mayor concentración de diciembre a abril y un periodo muy poco productivo en verano. En general este ciclo estacional responde al ciclo habitual de mezcla-estratificación de la columna de agua, que particularmente en verano conduce a un agotamiento de los nutrientes en la capa superficial y a la consiguiente limitación del crecimiento del fitoplancton. Independientemente de esta variabilidad estacional, estudios recientes indican que durante los últimos años ha habido una tendencia al aumento de la duración del período de estratificación (Calvo et al., 2011), lo que conduce a un período anual de limitación por nutrientes más prolongado. Según Calvo et al. (2011), estos cambios podrían dar lugar a una disminución en la concentración de clorofila en la Demarcación, lo que podría contrarrestar la tendencia al aumento producida durante las últimas décadas del pasado siglo, en línea lo sugerido por Duarte et al. (1999).

Siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo sobre el D5 de la UE (Ferreira et al., 2010), tanto el ciclo anual como los patrones interanuales de variabilidad serán tenidos en cuenta en la evaluación de la eutrofización. Con esta finalidad, se ha optado por no limitar temporalmente la serie de datos utilizada para establecer las condiciones de referencia. Dicho de otro modo, para la evaluación del Descriptor 5 se han utilizado todos los datos disponibles sin acotar temporalmente la serie. Por el mismo motivo, y siguiendo las pautas que la propia Directiva marca para la re-evaluación de los Descriptores, se ha optado por considerar como “estado actual” el definido por el período 2005-2010.

1.2.2. Otras escalas espaciales y zonación consideradas en la evaluación

Las masas de agua costeras identificadas en la Demarcación Levantino-Balear en el marco de la aplicación de la DMA se muestran en la Figura 5.3. En la Instrucción de Planificación Hidrológica se establece que las aguas costeras (sensu DMA) de la Demarcación pertenecen a uno de los tipos mostrado es la Tabla 5.1. Como indica la tipología de aguas, todas las masas de agua costera de la Demarcación se caracterizan por un régimen de mareas de pequeña amplitud (menos de 1 metro), así como por una influencia muy variable de las descargas de ríos. Las masas de agua de la tipología 5, 6,

7 y 8 se corresponden con las aguas Tipo IIIW definidas en la Decisión 2008/915 de la UE. Las 1, 2, 3 y 4 con las Tipo II y la 9 con la Tipo I.



Figura 5.3. Masas de agua costera identificadas en la Demarcación Marina Levantino-Balear.

Tabla 5.1. Características de los diferentes tipos de masas de agua costera identificadas en la Demarcación Levantino Balear según la Instrucción de Planificación Hidrológica. Se incluye también la laguna costera del Mar Menor.

Tipología	Amplitud de mareas	Salinidad	Características de la mezcla de agua (influencia de agua dulce)	Fondo	Profundidad
1	Micromareal	34,5-37,5	Moderada	Arenoso	Somera
2	Micromareal	34,5-37,5	Moderada	Rocoso	Somera
3	Micromareal	34,5-37,5	Moderada	Arenoso	Profunda
4	Micromareal	34,5-37,5	Moderada	Rocoso	Profunda
5	Micromareal	>37,5	Baja	Arenoso	Somera
6	Micromareal	>37,5	Baja	Mixto	Profunda
7	Micromareal	>37,5	Baja	Arenoso	Profunda
8	Micromareal	>37,5	Baja	Rocoso	Profunda
9	Micromareal	<34,5	Alta	Arenoso	Somera
11	Laguna costera del Mar Menor	-	-	-	-

Profunda: más de 40 metros de fondo; Somera: menos de 40 m de fondo.



Las masas de agua costeras de la Demarcación Marina son gestionadas por cinco Demarcaciones Hidrográficas: DH del Júcar (DHJ), DH del Segura (DHS), Cuencas Internas de Cataluña (DHCIC), DH del Ebro (DHE) y DH de Islas Baleares (DHIB). Hasta la fecha, sólo las memorias de los Planes Hidrológicos de DHCIC y DHIB han sido sometidos a consulta pública. No obstante, los trabajos llevados a cabo para la implementación de la DMA en las cinco DH recogen las masas de agua identificadas en toda la Demarcación Marina (Tablas 5.2, 5.3 y 5.4).

Tabla 5.2. Masas de agua costeras de la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS).

Código	Nombre	Naturaleza	Superficie (km ²)
710001	Guardamar-Cabo Roig	Natural	108.7195
710007	Cabo Roig-Límite CV	Natural	137.589
710008	Mojón-Cabo Palos	Natural	92.831
710009	Cabo de Palos-Punta de la Espada	Natural	5.746
710010	Mar Menor	Natural	135.3848
710011	La Podadera-Cabo Tiñoso	Natural	7.1767
710012	Punta de Calnegre-Punta Parda	Natural	113.8655
710013	Puntas de Calnegre-Punta Parda	Natural	20.743
710014	Mojón-Cabo Negrete	Natural	149.3639
710015	Punta Espada-Cabo Negrete	Natural	17.7807
710017	Punta de la Azohía-Punta de Calnegre	Natural	176.3912
710018	Punta de la Azohía-Punta de Calnegre	Natural	28.9953
710019	Cabo Tiñoso-Punta de la Azohía	Natural	0.9335
710022	La Manceba-Punta Aguilones	Natural	2.4797
710023	La Manceba-Punta de la Azohía	Natural	103.3559
710024	Límite cuenca mediterránea / Comunidad Autónoma de Murcia	Natural	94.6357
710002	Dársena de Cabo Roig	Muy modificada	0.0166
710003	Dársena de la Dehesa de Campoamor	Muy modificada	0.02
710004	Dársena de Torre de la Horadada	Muy modificada	0.0156
710006	Puerto de Torrevieja	Muy modificada	0.8442
710016	Punta Aguilones-La Podadera	Muy modificada	5.1852
710020	Cabo Negrete-La Manceba	Muy modificada	3.4249
710021	Cabo Negrete-La Manceba	Muy modificada	10.7448



Tabla 5.3. Masas de agua costera de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ).

Código	Nombre	Naturaleza	Tipología
C001	Límite CV-Sierra de Irta	Natural	1
C002	Sierra de Irta	Natural	2
C003	Sierra de Irta-Cabo de Oropesa	Natural	1
C004	Cabo de Oropesa-Burriana	Natural	1
C005	Burriana-Canet	Natural	1
C007	Costa Norte de Valencia	Natural	1
C008	Puerto de Valencia-Cabo de Cullera	Natural	1
C009	Cabo Cullera-Puerto de Gandía	Natural	1
C010	Puerto de Gandia-Cabo de San Antonio	Natural	1
C011	Cabo San Antonio-Punta de Moraira	Natural	8
C012	Punta de Moraira-Peñón de Ifach	Natural	8
C013	Peñón de Ifach-Punta de les Caletes	Natural	8
C014	Punta de les Caletes-Barranco de Aguas de Busot	Natural	8
C015	Barranco de Aguas de Busot-Cabo Huertas	Natural	6
C016	Cabo Huertas-Santa Pola	Natural	5
C017	Santa Pola-Guardamar del Segura	Natural	6
C0041	Puerto de Castellón	Muy modificada	5
C006	Puerto de Sagunto	Muy modificada	5
C0081	Puerto de Valencia	Muy modificada	5
C0101	Puerto de Gandía	Muy modificada	5
C0102	Puerto de Denia	Muy modificada	5
C0161	Puerto de Alicante	Muy modificada	5



Tabla 5.4. Masas de aguas costeras de la Demarcación Hidrográfica de las cuencas internas de Cataluña (DHCIC).

Masa	Nombre	Naturaleza	Tipología	Longitud de costa (km)
C1	Portbou - Llançà	Natural	4	18,2
C2	Badia de El Port de la Selva	Natural	4	2,1
C3	Cap de Creus	Natural	8	52,6
C4	Badia de Cadaqués	Natural	4	1,1
C5	Cap Norfeu	Natural	8	21,4
C6	Canyelles	Natural	8	4,3
C7	Roses - Castelló d'Empúries	Natural	9	8,6
C8	Sant Pere Pescador - Fluvià	Natural	9	7,3
C9	L'Escala	Natural	4	4,4
C10	El Montgrí	Natural	8	13,8
C11	Torroella de Montgrí - el Ter	Natural	3	5,4
C12	Pals – Sa Riera	Natural	3	3,9
C14	Begur - Blanes	Natural	8	82,2
C15	Blanes - Pineda de Mar	Natural	3	13,0
C16	Pineda de Mar - Mataró	Natural	5	24,0
C17	Mataró - Montgat	Natural	1	12,6
C18	Montgat - Badalona	Natural	5	5,3
C19	Sant Adrià de Besòs - Barceloneta	Natura	1	4,9
C20	Barcelonesa-Zona II Port de Barcelona	Natura	5	9,3
C21	Llobregat	Natura	1	7,6
C22	El Prat de Llobregat - Castelldefels	Natural	1	16,4
C23	Sitges	Natural	5	15,2
C24	Vilanova i la Geltrú	Natural	5	12,2
C25	Cubelles- Altafulla	Natural	5	28,5
C26	Tarragona Nord	Natural	5	9,2
C27	Tarragona - Vila-seca	Natural	1	10,2
C28	Cap de Salou	Natural	7	2,7
C29	Salou - Cambrils	Natural	5	7,0
C30	Cambrils – Mont-roig del Camp	Natural	5	11,1
C31	Vandellós i l'Hospitalet de l'Infant	Natural	5	17,5
C32	L'Ametlla de Mar	Natural	1	16,0

Tabla 5.5. Masas de aguas costeras de la DHE.

Masa	Nombre	Naturaleza	Tipología	Longitud de costa (km)
C33	Delta Nord	Natural	9	24,7
C34	Delta Sud	Natural	1	24,2
C35	Alcanar	Natural	1	6,4



Tabla 5.6. Masas de agua costera identificadas en las Islas Baleares. Las masas de agua con el código MAM son aguas costeras de Mallorca, las de código MEM de Menorca, EIM de Ibiza y FOM de Formentera. Nótese que todas las masas de agua costera de las Islas Baleares han sido clasificadas inicialmente como Tipo IIIW.

MAMC01M2	Cala Falcó a Punta Negra	83,9
MAMC01M3	Badia de Santa Ponça	10,2
MAMC03M2	Punta Negra a Illa de Formentor	208,5
MAMC04M2	Badia de Soller	3,6
MAMC05M3	Vida de Pollença	40,3
MAMC06M2	Cap Pinar a Illa Alcudia	21,5
MAMC07M3	Badia de Alcudia	44,3
MAMC08M3	Colonia Sant Perea a Cap de Capdepera	53,3
MAMC09M3	Cap de Capdepera a Portocolom	125,8
MAMC010M2	Punta des Jonc a Cala Figuera	26,7
MAMC011M3	Cala Figura a Cala Beltrán	81,5
MAMC012M2	Cabrera	67,7
MAMC013M2	Cala Beltran a Cap de Regana	23,2
MAMC014M3	Cap de Regana a Cap Enderrocat	14,6
MAMC015M3	Cap Enderrocat a Cala Major	38,3
MAMC016M3	Cala Major a Cala Falcó	25,8
MAMCp01	Cabrera i Sud de Mallorca	909,6
MAMCp02	Nord de Mallorca	278,9
MEMC01M2	Cap de Bajolí a Punta Prima	231,3
MEMC02M3	Badia de Fornells	4,9
MEMC03M2	Port de Maó	7,7
MEMC04M4	Punta Prima a Punta de na Bruna	174,5
MEMC05M2	Punta de na Bruna a Cap de Bajolí	60,1
EIMC01M2	Punta Jondal a Cap Mossos	131,8
EIMC02M4	Badia de Sant Antoni	9,9
EIMC03M4	Cap des Mossos a Punta Grossa	62,5
EIMC04M4	Punta Grossa a Cala Llenya	33,0
EIMC05M3	Cala Llenya a Punta Blanca	22,6
EIMC06M4	Punta Blanca a Punta des Andreus	20,0
EIMC07M3	Punta des Andreus a Punta de Sa Mata	16,4
EIMCp01	Es Vedrá a illes s'Espartar i Bledes	27,9
EIMCp02	Illes Bledes i Conillera a Ses Torretes	30,8
EFMC08M4	Els Freus d'Eivissa i Formentera	122,7
EFMCp03	Illa Tagomago a Punta Far de Sa Mola	419,8
EFMCp04	Cap Barbaria a Es Vedrá	203,3
FOMC09M3	Punta sa Gavina a Punta ses Pesqueres	74,9
FOMC10M2	Punta ses Pesqueres a Punta ses Pedreres	29,6



1.3. Principales presiones e impactos

La Figura 5.4 muestra un esquema conceptual de las principales fuentes alóctonas que pueden modificar 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 en la cuenca suele aportar nitrógeno inorgánico que finalmente puede alcanzar el medio marino. El vertido de aguas residuales puede suponer también una fuente adicional de nutrientes cuya composición depende de la actividad que la origina, especialmente si las aguas no están debidamente tratadas. La calidad de las masas de agua continentales es analizada sistemáticamente en aplicación de la DMA. Los resultados pormenorizados de estos análisis no están disponibles, aunque los datos integrados sí pueden ser consultados. 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., 2005). Entre las fuentes potenciales de contaminación difusa, el aporte de nutrientes por descargas de agua subterránea se ha estudiado en algunas zonas costeras de la Demarcación Marina (Basterretxea et al., 2010; García-Solsona et al., 2010a,b; Garcés et al., 2011).

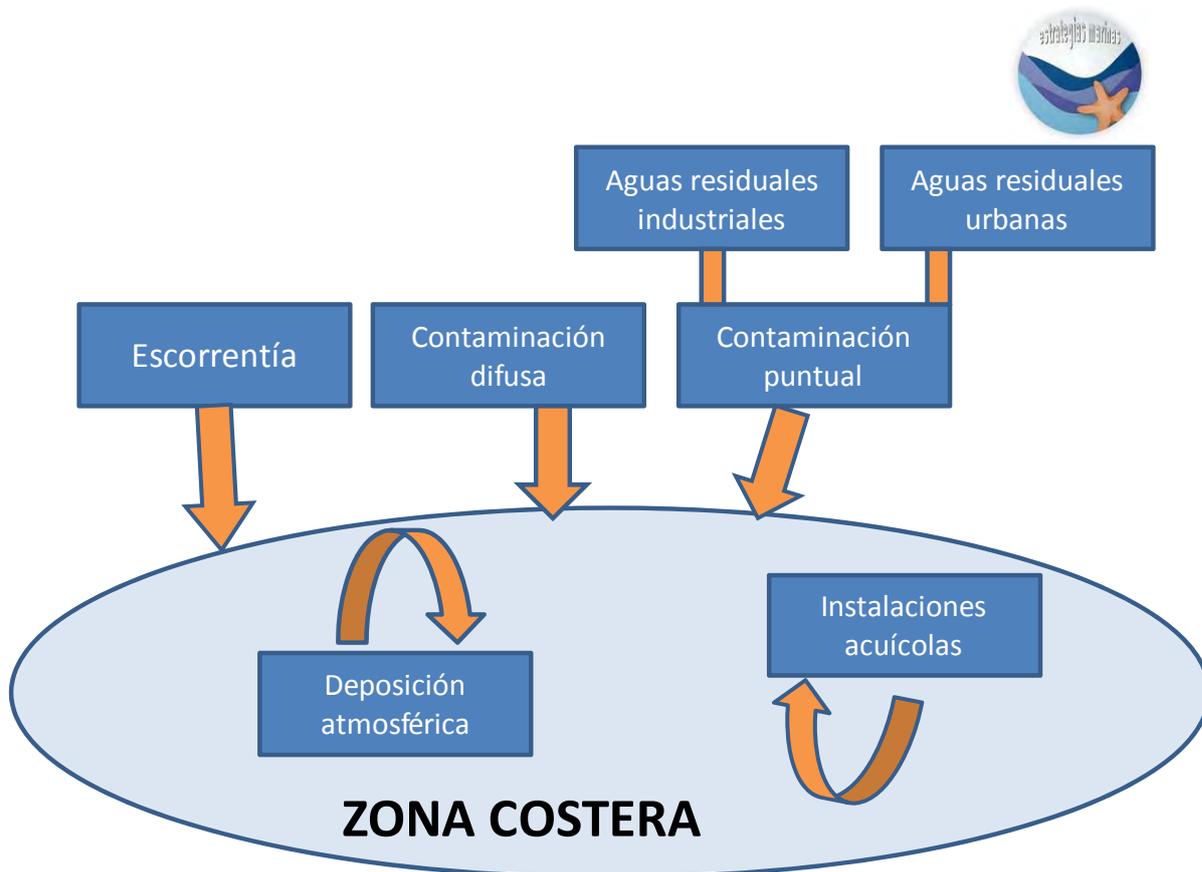


Figura 5.4. Esquema conceptual de las principales vías de descarga de nutrientes a la zona costera.

El régimen de precipitaciones en el entorno de la Demarcación Marina se caracteriza por un período anual seco (meses de junio a agosto) y un período húmedo que se extiende de octubre a mayo. Debido a esto, el caudal de los ríos que desembocan en la Demarcación tiene un fuerte carácter estacional, principalmente en su mitad sur. No obstante, la Demarcación presenta cursos de agua fluviales que mantienen un flujo de vertido al mar continuo a lo largo del año. De entre estos, el que mayor caudal aporta con diferencia es el Ebro (Figura 5.5). En general las descargas de los ríos a la costa en la Demarcación Hidrológica del Segura y de las Islas Baleares son muy reducidas, de hecho sus masas de agua costeras están clasificadas dentro de las tipologías 5, 6,7 u 8 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (esto es, aguas con influencia de agua dulce muy baja). En el otro extremo, las masas de agua costera localizadas en el entorno de la desembocadura del Ebro (C33, C34 y C35) reciben un aporte significativo de nutrientes procedentes del río. Además de estas masas de agua, en la costa de Cataluña y según datos del periodo 2007-2010 las mayores aportaciones continentales de nutrientes desde ríos se han descrito en las masas costeras C8, C11, C12, C21 y C32 (Garcés et al., comunicación personal).

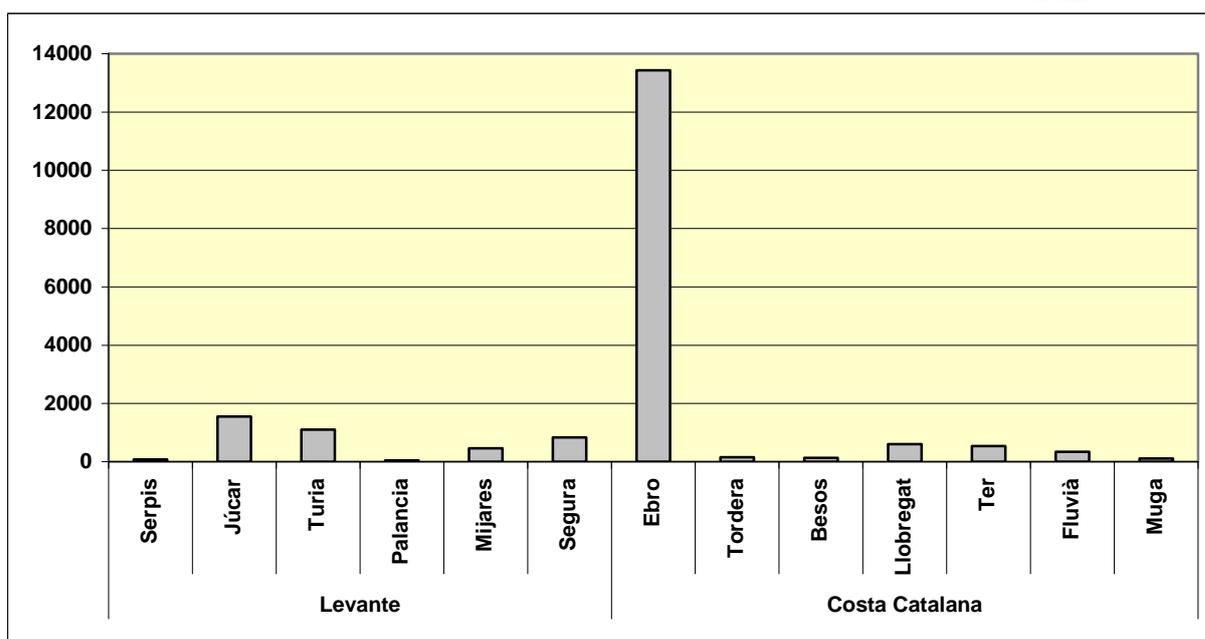


Figura 5.5. Caudal medio (hectómetro³ año⁻¹) de los principales ríos de la Demarcación marina de Levante en su vertiente costera.

La información disponible sobre los vertidos procedentes de fuentes puntuales en la Demarcación Marina es muy desigual entre las diferentes Demarcaciones Hidrográficas. Esta información se recoge en el documento Análisis de Presiones en la Demarcación Levantino-Balear de la DMEM.

La información disponible sobre la cantidad de nutrientes que alcanza la zona costera por vía de fuentes difusas (aguas subterráneas, lixiviado de agricultura, etc.) se limita a estudios puntuales espacial y temporalmente, cuyos resultados difícilmente pueden extrapolarse a toda la Demarcación.

1.4. Fuentes de información

1.4.1. Programas de seguimiento

El Instituto Español de Oceanografía (IEO), por encomienda del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, viene desarrollando un programa de muestreo con el objetivo de implementar la estrategia de monitorización de la Eutrofización de MED POL en la Demarcación Levantino-Balear. El programa se desarrolla en las áreas mostradas en la Figura 5.6. Durante estos muestreos se recogen datos de todas las variables “obligatorias” y algunas “recomendadas” en la Estrategia



de Monitorización de MED POL (ver Documento Marco). Los muestreos, que comenzaron en 2010, se realizan cada tres meses. Los datos generados en la implementación de la estrategia de monitorización de MED POL han sido incorporados a la evaluación del Descriptor 5. Adicionalmente, el IEO viene desarrollando un muestreo trimestral en algunas áreas de la Demarcación en el marco de su programa RADIALES. Dichos muestreos no tienen por finalidad específica la evaluación de la eutrofización, aunque sí incluyen la determinación de variables relacionadas con los indicadores del descriptor: concentración de nutrientes, clorofila *a* e hidrología de la columna de agua. Los muestreos se realizan cada tres meses aunque la fecha de comienzo de la serie temporal varía según la zona (la serie temporal más larga se inició 1994).

Transecto	Localización
LL	Llobregat
DE	San Carlos de la Rápita
VA	Valencia
CU	Cullera
MM	Mar Menor
CT	Cartagena

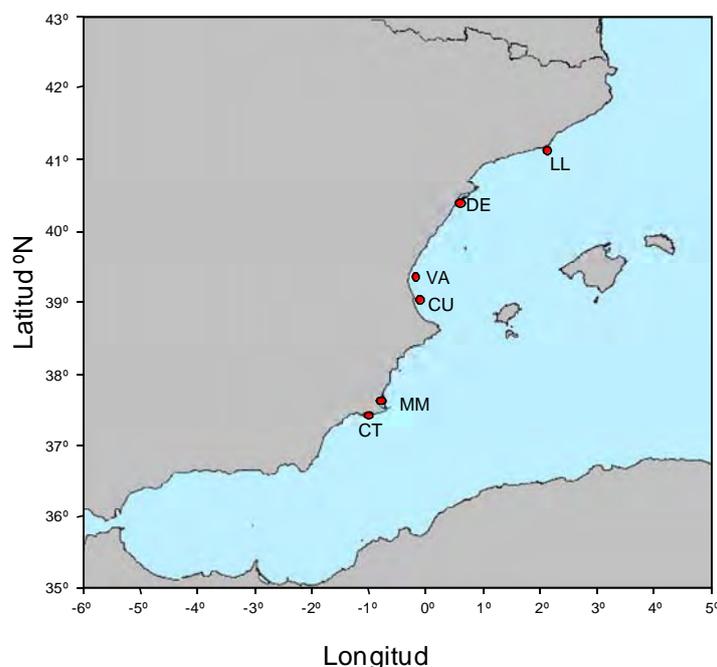


Figura 5.6. Áreas en las que el IEO viene implementado los muestreos dentro de la estrategia de MED POL para el seguimiento de la eutrofización

Adicionalmente, en todas las demarcaciones hidrográficas que presentan masas de agua costera en la Demarcación Marina Levantino-Balear se han implantado programas de seguimiento y vigilancia conforme a las exigencias de la DMA. Durante dichos muestreos se recoge información sobre la mayoría de los indicadores del



Descriptor 5. En la costa de la Comunidad Valenciana se viene desarrollando un muestreo mensual desde 2005 en al menos 70 estaciones fijas localizadas en aguas costeras interiores (*in-shore*), esto es, a menos de 200 metros de la línea de costa (Abramic et al., 2012). En la Comunidad Autónoma de Cataluña se llevan a cabo muestreos físico-químicos y de fitoplancton desde 1990 con diferente periodicidad. Desde 1990 a 2010 se han muestreado 252 estaciones representativas de aguas costeras interiores (*in-shore*) así como de la franja costera hasta una distancia mayor a 1.5 Km de la línea de costa (Flo et al., 2011). Tanto la Región de Murcia como la Comunidad de Baleares mantienen también muestreos en sus masas de agua costera para dar cumplimiento a la DMA. Para la elaboración del presente informe se solicitó información de estos muestreos a las CCAA. Los datos aportados por las mismas se han incluido en nuestro análisis. Complementariamente, se ha hecho uso de los datos disponibles en el Marine Water Data Center (WISE-SoE Marine). La mayoría de estos últimos corresponden a promedios anuales de 2009 y 2010 de nutrientes, clorofila *a* y transparencia procedentes de algunas masas de agua y estaciones costeras.

1.4.2. Fuentes de información

Se ha optado por la recopilación de datos georeferenciados frente al uso de productos elaborados a partir de datos (como por ejemplo los mapas climatológicos ofrecidos por MEDATLAS). La búsqueda se ha centrado en la recopilación de datos de nutrientes y clorofila *a*. Los datos recopilados corresponden fundamentalmente a perfiles verticales llevados a cabo con botellas Niskin a profundidades discretas. Las principales fuentes de datos utilizadas han sido:

Programa RADIALES del IEO

Para el cálculo de los valores de base y la evaluación del estado actual se ha optado en primer lugar por acudir a los datos disponibles en el IEO, la mayoría procedentes del Programa Radiales que financia dicha institución desde 1994 y cuya finalidad es llevar a cabo un monitoreo sistemático del medio pelágico en estaciones de muestreo fijas localizadas a lo largo de la costa mediterránea 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 4000-4500 metros en las más alejadas. Las radiales muestreadas se sitúan en Cabo de Palos, Mahón, Canal de Ibiza, Tarragona y



Barcelona. Los muestreos proporcionan datos de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato, amonio y silicato) y clorofila *a*. Gracias a estos muestreos se cuenta con una serie temporal extensa de nutrientes y clorofila *a* (de 1994 a 2009) que permite el cálculo de valores de base robustos y la estimación de tendencias temporales. Por contra, no es posible obtener valores promedio mensuales dado que los muestreos se suelen concentrar en los meses de febrero, mayo, julio y octubre.

Bases de datos

Para complementar la información proporcionada por el Programa Radiales, se han consultado diferentes bases de datos. La principal ha sido la Red Nacional de Datos Oceanográficos administrada por el Centro de Datos del Instituto Español de Oceanografía (<http://indamar.ieo.es/>). Esta base de datos contiene abundante información sobre temperatura y salinidad procedente de campañas realizadas en la Demarcación Marina desde 1976 hasta 2000, incluyendo algunas de las campañas realizadas en el marco del Proyecto Radiales del IEO. En comparación con la información hidrológica, la información 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, los datos disponibles para la Demarcación en ambas bases de datos son coincidentes. Se han hecho también consultas a la base de datos de la NOAA (*World Ocean Database*), a la base de datos Carina (accesible desde EUROCEAN) y a EMODNED, que han aportado algunos datos adicionales (aunque en general escasos).

Para todas las bases de datos consultadas, sólo se han considerado los datos de buena calidad de acuerdo con la propia información proporcionada por los gestores de las mismas.

Para todos los nutrientes excepto amonio, se dispone de datos desde 1984 (con algunos registros previos de 1974). En todo caso, la distribución de datos por años es muy desigual ya que la información disponible es mucho más abundante a partir de finales de los noventa. Además, en general la información disponible de la zona costera, incluida el Mar Menor, es comparativamente muy escasa.

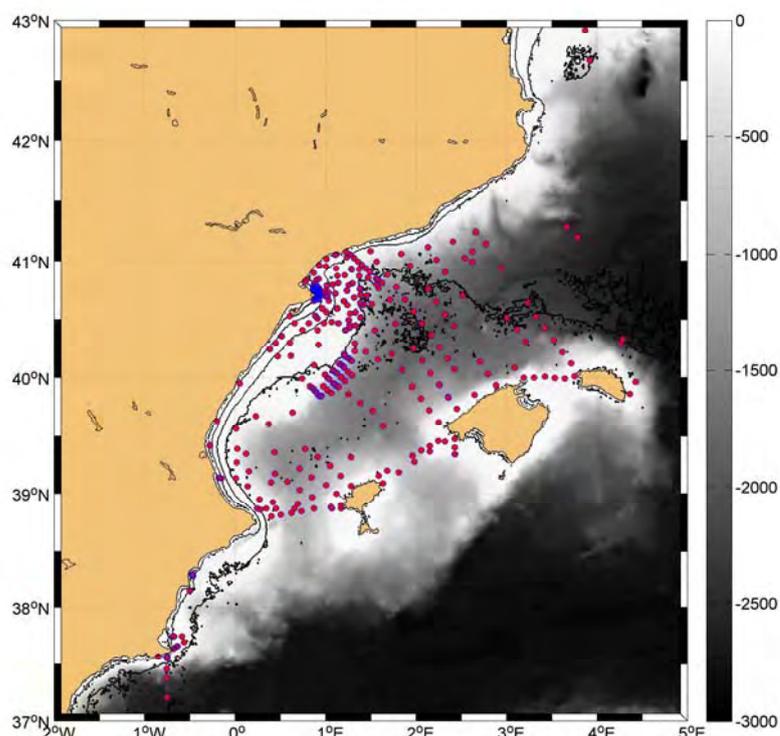


Figura 5.7. Posición de las estaciones de muestreo de las que se ha conseguido recopilar información sobre algunos de los indicadores del Descriptor 5.

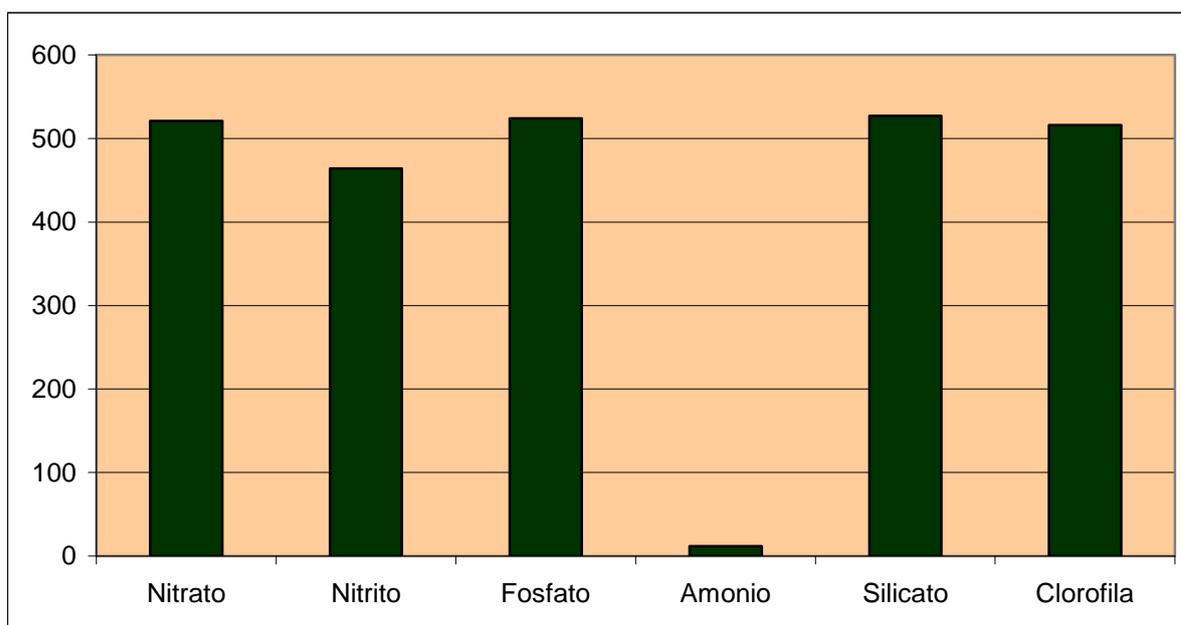


Figura 5.8. Número de perfiles de nutrientes y clorofila *a* recopilados para la evaluación de la Demarcación Levantino-Balear.

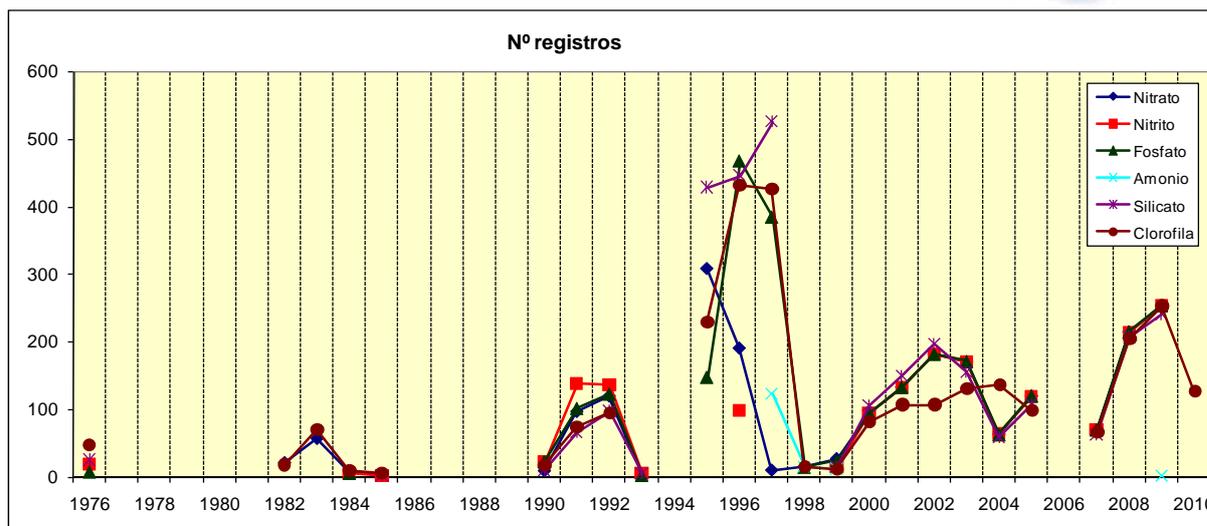


Figura 5.9. Número de registros por año obtenidos para algunos de los indicadores del Descriptor 5.

1.4.3. Otras fuentes de información

Se han recopilado todas las imágenes del satélite MODIS-Aqua para la demarcación levantino-balear, suministradas diariamente desde 2002 hasta 2010. Las imágenes tienen una resolución espacial de 1 km². 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; ANEXO II).

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 de los organismos encargados de la gestión del agua en cada una de las CCAA, aunque 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 disponibles, se ha optado por citar preferentemente los más recientes o bien aquellos que resumen y revisan información previa ya publicada.



2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL

2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación

Los indicadores del Descriptor 5 aparecen agrupados en tres categorías: indicadores de presión, efectos directos y efectos indirectos. Las tres categorías de indicadores responden al 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 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 (cambio en la composición de las comunidades de fitoplancton) y efectos indirectos sólo serán evaluados en aquellas áreas en que esta relación causa-efecto pueda ser inferida (siempre y cuando se disponga de datos, como se discute a continuación).

Teóricamente, la evaluación de la concentración 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 Levantino-Balear abarcan desde 1986, por tanto integran en sí mismas los efectos del enriquecimiento antropogénico de nutrientes producido desde entonces, al menos en las zonas costeras, donde los efectos de las presiones son en principio más intensos. Una aproximación alternativa es seleccionar las áreas con una menor presión antropogénica para establecer los valores de referencia de nutrientes y clorofila *a*. El establecimiento de estas zonas de referencia requiere un buen conocimiento de los mecanismos hidrológicos que inducen enriquecimiento en las aguas de superficie. Según la información disponible,



las aguas superficiales de la Demarcación son en general oligotróficas, con una deficiencia principalmente en fósforo aunque también en nitrato (ver por ejemplo Estrada, 1996). Por lo tanto, la productividad está ligada a mecanismos hidrológicos que favorecen el enriquecimiento de la capa superficial por vía del ascenso de agua profunda más rica en nutrientes. En el mar Balear, el mecanismo hidrológico de fertilización mejor descrito es el frente de plataforma-talud y la divergencia central situada entre la Península y las islas Baleares que contribuyen de modo variable a la fertilidad de la zona fótica (Estrada, 1996). La importancia de ambos mecanismos es variable según el periodo estacional. Así, el frente de plataforma-talud parece ser más importante en primavera y la divergencia al final del período de estratificación (principios de otoño). La imagen de la distribución promedio de la clorofila a en la Demarcación evidencia la influencia de estos mecanismos de fertilización sobre las masas de agua (Figuras 5.4 y 5.5). Sin embargo, las mismas imágenes ilustran también que el principal gradiente de clorofila a es el asociado a los núcleos costeros de alta productividad. En el mismo sentido, varios estudios han mostrado también la importancia de las descargas de los ríos en la configuración de las áreas más productivas de la Demarcación (Sierra et al. 2002; Mössö et al., 2006; Falco et al., 2007; González et al., 2007; D'Ortenzio y D'Alcalá, 2009). Es evidente que estos núcleos de alta productividad no pueden ser explicados a partir de la variabilidad hidrológica. Por lo tanto, las áreas de productividad ligadas a la variabilidad hidrológica, localizadas principalmente en la zona entre la plataforma y el talud de la mitad norte de la Demarcación, pueden tomarse como áreas de referencia frente a los núcleos más productivos no explicados por variabilidad hidrológica. Los datos recopilados en estas áreas de productividad contrastante ligada a la hidrología se utilizarán para definir *valores de base* para los diferentes sectores de la Demarcación a partir del análisis estadístico de las series temporales disponibles. Un paso final en la evaluación será determinar si las hipotéticas mayores concentraciones de nutrientes en estas áreas de alta productividad no explicadas por variabilidad hidrológica tienen un origen natural (esto es, si están ligadas a los aportes de ríos) o antropogénico (asociadas a contaminación). Por otro lado, la comparación de la serie completa con los valores obtenidos en la actualidad (2005-2010) para las zonas más costeras, permitirá evaluar estadísticamente si los indicadores han experimentado algún cambio en el período actual.

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



- (1) Delimitar lo más precisamente posible las zonas 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.
- (2) Calcular los valores de base a partir de los datos disponibles de las áreas de productividad en las que sea posible asumir razonablemente que el único aporte posible de nutrientes provenga de fenómenos de fertilización relacionados con la dinámica hidrológica. Los estadísticos que se usarán son la media y el percentil 90.
- (3) Generar una serie temporal de valores de los indicadores para todas las áreas con productividad contrastante, agregando los datos procedentes de muestreos realizados en las estaciones localizadas dentro de cada zona. Analizar estas series temporales con el fin de llevar a cabo una comparación con los valores de base para determinar si existe un aporte de nutrientes alóctonos que pueda explicar las concentraciones de clorofila *a* obtenidas.
- (4) Determinar en su caso el posible origen de los aportes de nutrientes alóctonos (descargas de ríos o contaminación). Idealmente, en aquellas áreas en las que se determine que las descargas de ríos pueden contribuir significativamente a estos aportes, se deberían calcular nuevos valores de base teniendo en cuenta esta fuente. Sin embargo, dado que no se dispone de datos suficientes para ello, estas zonas se evaluarán a partir de los valores de evaluación que las CCAA están utilizando en la implementación de la DMA.
- (5) Analizar estadísticamente la serie temporal desde 2005 hasta 2010 para cada indicador en cada área de productividad con el fin de determinar si ha habido cambios significativos durante el periodo actual.

2.2. Elementos de evaluación

2.2.1. Nutrientes (Indicador 5.1.1) y razones de nutrientes (Indicador 5.1.2)

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 (DIN), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico disuelto (PID), fósforo total (PT) y carbono orgánico total (COT). Las tres especies de DIN 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 para la Demarcación 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 de que se ha dispuesto en el presente informe sobre amonio es comparativamente escasa y los datos de NT, PT y COT son prácticamente inexistentes e insuficientes para llevar a cabo cálculos de valores de base. Por lo tanto, la evaluación del indicador 5.1 del Descriptor 5 se basará fundamentalmente en las concentraciones NID y PID (además de silicato).

Los nutrientes en la Demarcación suelen presentar una distribución vertical no homogénea caracterizada por bajas concentraciones en la capa superficial y una fuerte nutriclina a profundidad variable, dependiendo de las condiciones de mezcla (ver artículos citados previamente). 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 variable tanto espacial como temporalmente, lo que dificulta notablemente el cálculo de valores de base de nutrientes 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. 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.

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 sólo se dispone de datos extensivos de algunas de las formas de nitrógeno y fósforo inorgánicos. Por tanto, para el cálculo de las razones de nutrientes se ha optado por presentar las razones molares entre los principales nutrientes: nitrato:fosfato (N:P), silicato:fosfato (Si:P) y nitrato:silicato (N:Si).

2.2.2. Concentración de clorofila a en la columna de agua (5.2.1)

La distribución vertical de la clorofila suele ser bastante heterogénea, en particular durante el período de estratificación que se caracteriza por un máximo profundo de clorofila y una concentración muy baja en superficie. Por lo tanto, y como en el caso de los nutrientes, la columna de agua rara vez puede ser caracterizada por una única concentración de clorofila. En el presente informe optamos por considerar la concentración de clorofila a en la capa superior de 25 m, que por otro lado suele ser proporcional a la concentración de clorofila integrada en toda la columna de agua.

Además de los datos de clorofila a procedentes de campañas de investigación oceanográfica, se ha llevado a cabo una recopilación de datos de clorofila a superficial generados a partir de imágenes de satélite. El uso de imágenes de color del océano tiene enorme potencial en el seguimiento 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 y de cambios regionales en los patrones de distribución de la clorofila a (Hu *et al.*, 2005; Ahn y Shanmugam, 2006; Gohin *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2011; Shanmugam *et al.*, 2008; Jackson *et al.* 2011). Sin embargo, los algoritmos disponibles para calcular concentración de clorofila 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 para estimar concentraciones de clorofila a partir de los datos proporcionados por el satélite (Eiras-García *et al.*, 2005). A día de hoy no



se dispone de algoritmos regionales para calcular concentración de clorofila a derivada de satélite en la Demarcación. Por tanto, en el presente informe se ha optado por no utilizar clorofila de satélite para el cálculo de valores de base de este indicador, pero sí como herramienta para identificar las áreas con diferente productividad, asumiendo que la información de satélite sí proporciona una imagen adecuada de los patrones de variabilidad horizontal y temporal de la clorofila (Bosc et al., 2004; Macías et al. 2007; Vantrepotte y Mélin, 2010).

2.2.3. Transparencia del agua (Indicador 5.2.2)

En la decisión L232/14, 2.9.2010 de la CE se define el Indicador 5.2.2 como “Transparencia del agua relacionada con el aumento de algas en suspensión, cuando sea relevante”. Teóricamente, la transparencia de la columna de agua depende de la concentración de sustancias coloreadas disueltas o particuladas capaces de absorber luz, así como de la cantidad de células pigmentadas en suspensión. Las primeras son sobre todo sustancias alóctonas presentes en aguas costeras afectadas por la descarga de ríos y arroyos, o bien procedentes de la resuspensión del material del fondo por efecto del oleaje. En aguas marinas no influenciadas por descargas terrestres o resuspensión del sedimento, la transparencia del agua depende de la concentración de células de fitoplancton y de su contenido en clorofila a y otros pigmentos. Dada la incidencia de las descargas de los ríos y arroyos en esta Demarcación, es probable que la concentración de clorofila en la columna de agua no sea el único factor que determine la transparencia en las zonas próximas a estos aportes. Este hecho se debe tener en cuenta en la evaluación de la transparencia como indicador de eutrofización. En todo caso, los únicos datos de transparencia con los que se cuenta son los datos de profundidad del disco de Secchi reportados por las CCAA a WISE-SoE Marine. La profundidad a la que el disco de Secchi (disco circular pintado de blanco que es bajado lentamente desde superficie hacia el fondo) deja de ser visible desde la cubierta del barco es una estimación indirecta de la transparencia que sin embargo proporciona información eficaz sobre esta propiedad de la columna de agua. Según se asume normalmente, el doble de la profundidad del disco de Secchi equivale a la profundidad a la que llega aproximadamente el 1%, que se toma como el límite inferior de la capa eufótica (zona de la columna de agua a la que llega cantidad de luz suficiente para que se produzca la fotosíntesis).

2.2.4. Abundancia de macroalgas oportunistas (Indicador 5.2.3) y abundancia de algas perennes y angiospermas (Indicador 5.3.1)



No se dispone de un cartografiado exhaustivo de macroalgas oportunistas en la Demarcación tal que permita determinar si existe o no alguna tendencia temporal significativa en la abundancia de estas especies (fundamentalmente algas verdes). Por otro lado, las comunidades de macrófitos son evaluadas en el marco del Descriptor 6. Así pues, para la evaluación de estos dos indicadores en el contexto del Descriptor 5 se asumirá la realizada para el Descriptor 6. Se tendrá en cuenta también la información disponible de las CCAA que han evaluado el elemento de calidad Macroalgas y *Posidonia* en aplicación de la DMA.

2.2.5. Cambios en la composición de especies (Indicador 5.2.4)

No se ha conseguido recopilar datos de la composición taxonómica del plancton en la Demarcación tal que permitan determinar si se han producido cambios temporales atribuibles a la eutrofización durante los últimos años. Los datos publicados son en general bastante escasos, procedentes de estudios no continuados en el tiempo, insuficientes por tanto para definir una composición característica o de referencia en las diferentes áreas de la Demarcación Marina. Las CCAA llevan a cabo análisis periódicos de la composición taxonómica del fitoplancton en sus aguas costeras, aunque estos datos no han podido ser incorporados a la presente evaluación.

2.2.6. Concentración de oxígeno (indicador 5.3.2)

Sólo se dispone de los datos reportados a WISE-SoE Marine referentes a algunas de las masas de agua costera de la Demarcación. Estos datos serán mostrados aunque son insuficientes para llevar a cabo una evaluación de este indicador.

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 con concentración de satélite contrastante, se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico con los datos de clorofila *a* de satélite de la demarcación. 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 (en el ANEXO II se presenta una descripción más detallada del tratamiento y análisis de las imágenes de satélite). El análisis clúster se llevó a cabo con estos datos de manera que los píxeles quedaron agrupados según su similitud en seis grupos. El resultado del análisis se muestra en la Figura 5.10.

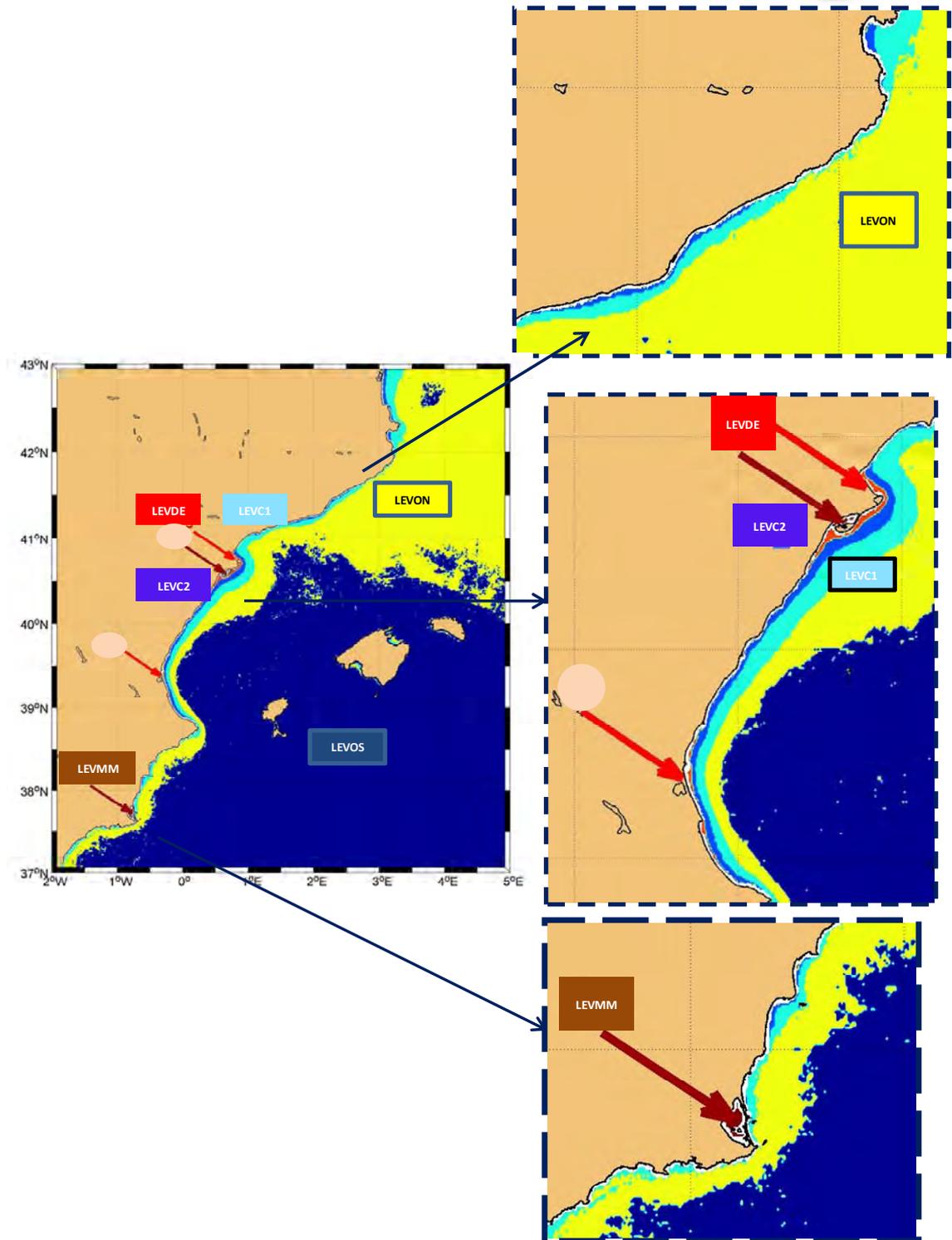


Figura 5.10. Clústeres de píxeles obtenidos a partir de las series temporales de clorofila *a* de satélite para los 12 meses del ciclo anual. Se muestra más en detalle la zona costera de Mar Menor, la situada entre Denia y el Delta del Ebro y la correspondiente al entorno de Barcelona.

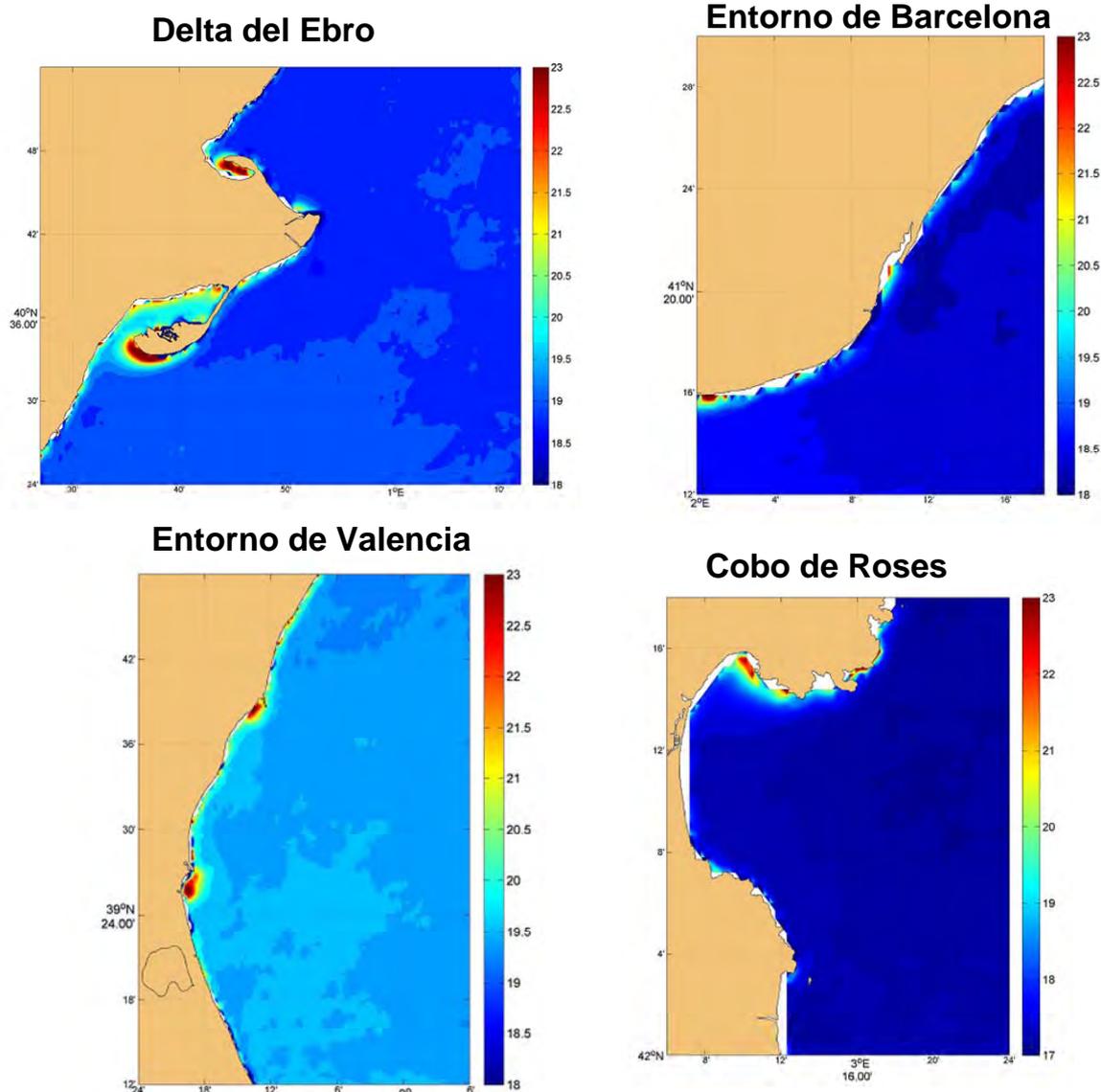


Figura 5.11. Temperatura superficial promediada de 2002 a 2010 para algunas zonas de la Demarcación Marina. Los promedios se han calculado a partir de las imágenes de satélite proporcionadas por el satélite MODIS-Aqua.

El análisis de las imágenes de satélite permite diferenciar 6 clústeres con concentración de clorofila a de satélite contrastante caracterizados por presentar valores homogéneos durante el ciclo anual (Figura 5.12). Las aguas menos productivas [nótese que el término productividad se utiliza en sentido laxo, asumiendo que las aguas más productivas son las que presentan concentraciones de clorofila mayores] corresponden al área oceánica que ocupa la zona sur de la Demarcación (LEVOS, zona azul oscuro en la Figura 5.10). La distribución anual media de la clorofila de satélite en



el área LEVON (en amarillo en la Figura 5.10) se diferencia del área LEVOS por presentar un pico estacional de clorofila de satélite mayor en marzo. Esta área ocupa el sector más al norte de la Demarcación además de circundar toda la franja costera (excepto las Islas Baleares). Por tanto, se puede considerar que representa la zona afectada por las estructuras hidrológicas de mesoescala antes comentadas. La mayor parte de la zona costera es ocupada por el área LEVC1, que se caracteriza por presentar un máximo estacional más pronunciado que el del área LEVON. La gran extensión de esta área, a lo largo de toda la costa, sugiere que su mayor productividad respecto al área LEVON se debe al gradiente hidrológico relacionado con la proximidad a costa. Por tanto, cabe pensar que los mayores valores de clorofila en esta área se deben a la dinámica hidrológica. Por el contrario, las áreas costeras marcadas con azul más oscuro y rojo en la Figura 5.10 presentan patrones de variabilidad anual de la clorofila a de satélite que difieren respecto al patrón promediado para el área LEVC1. En particular destaca el hecho de que los valores promedio de clorofila en las áreas LEVC2 (en azul más oscuro en la Figura 5.10) se mantienen altos durante todo el año y presentan un segundo máximo anual en mayo (Figura 5.12). En principio estos patrones de variabilidad anual no pueden atribuirse al ciclo hidrológico de estratificación y mezcla, como indican las imágenes de temperatura superficial mostradas en la Figura 5.11. Las áreas LEVC2 ocupan la franja litoral localizada entre la desembocadura del Ebro y Denia, la zona costera del entorno de Barcelona y el interior del Cabo de Rosas. Las áreas LEVDE (en rojo en la Figura 5.10) ocupan la zona costera del entorno de la desembocadura del Ebro y la zona costera en torno a Valencia. Finalmente, el análisis clúster permite diferenciar el Mar Menor (área LEVMM) como una zona con un ciclo estacional de la clorofila de satélite bien diferenciado respecto al resto de la Demarcación. Nótese que la zona interna de la desembocadura del Ebro queda también agrupada estadísticamente junto con el Mar Menor (área marrón), sin embargo esta zona no será evaluada en el presente informe al no haber sido catalogada por la Comunidad Autónoma como masa de agua costera.

De acuerdo con la Figura 5.12, las Islas Baleares quedan englobadas dentro del área LEVON, salvo las áreas costeras localizadas en la bahía de Palma y en las bahías de Pollença y Alcudia, que tienen características similares al área LEVC1.

En general, la zonación obtenida es concordante con la información publicada que indica que la principal característica de la distribución de la clorofila a en la Demarcación es el fuerte gradiente desde costa hacia mar abierto encontrado en algunas áreas (Font et al., 1988; López-García et al., 1994; Estrada, 1996; Salat, 1996; Pinot et al., 2002; Lucea et al., 2005; Sabatés et al., 2007; Canals y Calafat, 2008; Gordo et al., 2008; D'Ortenzio y D'Alcalá, 2009). Por otro lado, la correlación entre los



promedios de clorofila de satélite y de clorofila *a in situ* calculados para cada área de productividad es significativa estadísticamente (ver Anexo II). Estos resultados soportan la hipótesis de que las imágenes de satélite reproducen adecuadamente los patrones espaciales de variabilidad de la clorofila *in situ* en la Demarcación. De hecho, el acuerdo entre los valores medios de clorofila de satélite y los calculados a partir de los datos *in situ* que se han podido recopilar es estadísticamente significativo, con una incertidumbre media asociada al satélite de aproximadamente $\pm 26\%$ respecto a los datos *in situ* (ver Anexo II). No obstante, hay que notar que la incertidumbre de la concentración de clorofila de satélite calculada para la zona LEVDE es relativamente alta, por cuanto el valor promedio para esta área es casi el doble que el calculado a partir de los datos *in situ*. Este hecho indicaría que el algoritmo OC3M tiende a sobreestimar la clorofila *a* en esta área costera. Dada la localización del área LEVDE, es posible que esta desviación se deba a la alteración de las características ópticas de estas aguas por la influencia de las descargas de ríos. Como se ha comentado previamente, el algoritmo OC3M no es adecuado para calcular concentración de clorofila a partir de satélite en aguas Tipo II.

Los resultados del procedimiento de zonación basado en imágenes de satélite son compatibles con la tipología de aguas costeras recogida en el documento de Planificación Hidrológica. 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 algo más de 1 km desde la línea de costa (franja sin color que circunda el litoral en las Figuras 5.10 y 5.11). En aplicación de los criterios de calidad de la DMA, las CCAA establecieron valores de referencia diferenciados para las zonas más próximas a la línea de costa, respecto a las zonas más alejadas. Estas zonas, que en adelante se denominarán *in-shore* para seguir la terminología usada en la Instrucción de Planificación Hidrológica, se definió como la franja costera hasta los 200 m (la zona más allá de esta distancia, dentro de la masa de agua costera, se denomina *near-shore*). De acuerdo con Flo et al. (2011), la influencia directa de las descargas de los ríos unida a la baja amplitud de mareas del Mediterráneo que minimiza su dilución, justifica esta diferenciación. Dada la limitación técnica de las imágenes de satélite, las áreas de productividad contrastante identificadas mediante esta técnica representarían únicamente la zona *near-shore* de la línea de costa en cada masa de agua costera definida en la DMA. Por lo tanto, y de acuerdo con el procedimiento de evaluación descrito el apartado 2.1, para las áreas de productividad que ocupan zonas costeras (fundamentalmente LEVC1) los valores de base que se calcularán deben considerarse representativos de las áreas *near-shore* (Tabla 5.7). Para determinar si las concentraciones de nutrientes y clorofila *in situ* en las áreas LEVC2 y LEVDE tienen su origen en aportes externos (por vía de descargas de ríos o contaminación) se tomarán

como valores de base los generados para el área LEVC1. Para el Mar Menor no se proveerán valores de base puesto que su condición de laguna costera no hace viable su comparación con el área LEVC1. Además, no se dispone de datos que permitan el cálculo valores de base específicos para esta área.

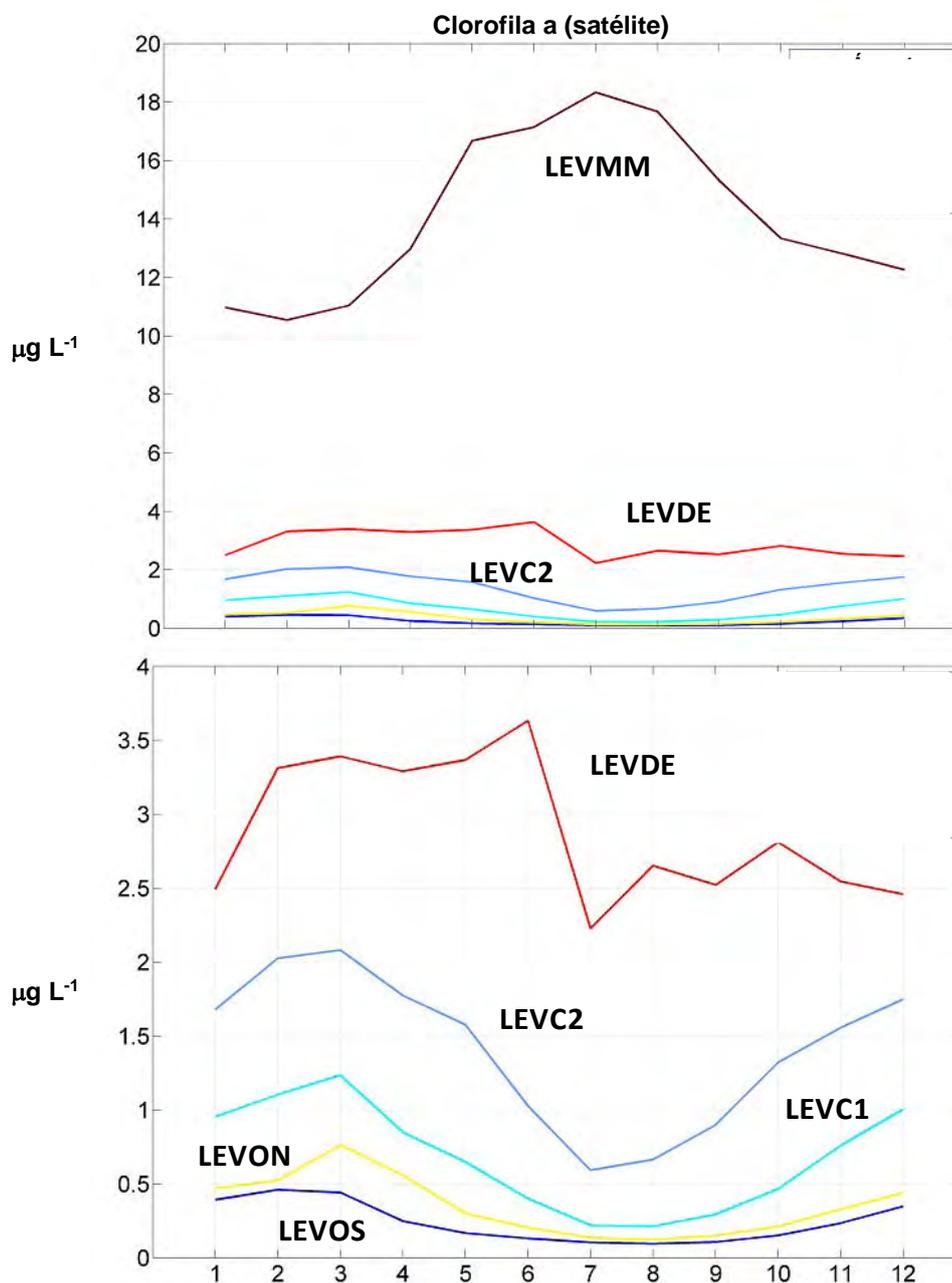


Figura 5.12. Variación mensual de la concentración de clorofila *a* de satélite promediada para cada zona de productividad identificada en la Figura 5.10. El panel de abajo muestra más en detalle el ciclo anual para algunas de estas áreas.



Tabla 5.7. Zonas de productividad contrastante identificadas a partir de las imágenes de satélite.

Identificador de las áreas	Denominación	Extensión (%)
LEVOS	Área oceánica	70,0
LEVON	Área influenciada por el afloramiento asociado al frente de plataforma-talud	26,7
LEVC1	Aguas costeras con baja influencia de aportes terrestres	2,5
LEVC2	Núcleos de aguas costeras con alta productividad	0,7
LEVDE	Núcleos de aguas costeras altamente productivos	0,14
LEVMM	Mar Menor	0,04

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 las áreas LEVOS, LEVON y LEVC1. Se presentarán los valores de la media y el percentil 90, aunque hay que tener en cuenta que este último es el estadístico que normalmente se está usando para establecer los valores de evaluación en el marco de la aplicación DMA y de la estrategia de seguimiento de la eutrofización de MED POL. En el ANEXO II se presenta una descripción estadística exhaustiva de las series de datos para cada masa de agua a partir de las cuales se han generado los valores mostrados a continuación.

Niveles de nutrientes (5.1.1)

Las series temporales de nutrientes en la capa superficial de la Demarcación se caracterizan en general por su alta variabilidad temporal (ver por ejemplo la Figura 5.13). No obstante, se observan diferencias notables en su distribución horizontal, con concentraciones normalmente mayores en las zonas costeras y mucho menores en mar abierto. En consecuencia, los valores promediados de nutrientes para las áreas



oceánicas (LEVOS y LEVON) son menores que para la zona costera (LEVC1). Esta diferencia es particularmente notable para el nitrato y el NID (Figura 5.17) dado que las concentraciones de fosfato sólo difieren ligeramente (Figura 5.22). En el área LEVON, las mayores concentraciones de nitrato y fosfato registradas son 9,6 y 2,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente. Nitrato y amonio representan en promedio entre el 10 y el 15% del NID en las áreas oceánicas. La contribución del amonio al NID es algo mayor en LEVC1 (24% en promedio). La razón molar media nitrato:fosfato (N:P) en las tres áreas es notablemente inferior a la razón de Redfield (16:1; Figura 5.23), que se considera la óptima para el crecimiento del fitoplancton. Por el contrario, la razón silicato:fosfato (Si:P) es mayor a 16:1 y la razón nitrato:silicato (N:Si) es menor que 1:1. Ambos valores se consideran óptimos para el crecimiento de las diatomeas (que requieren sílice). Estos datos indicarían que en las tres áreas el crecimiento del fitoplancton podría estar limitado tanto por nitrato como por fosfato.

Para ninguno de los nutrientes se obtienen tendencias significativas en la serie de datos disponible que en general abarca desde 1991 a 2010 (Figura 5.14, 5.16, 5.19, 5.21; en el Anexo II se describe el procedimiento estadístico utilizado para el cálculo de las tendencias). Por tanto, los valores de base obtenidos pueden considerarse representativos de todo el periodo analizado.

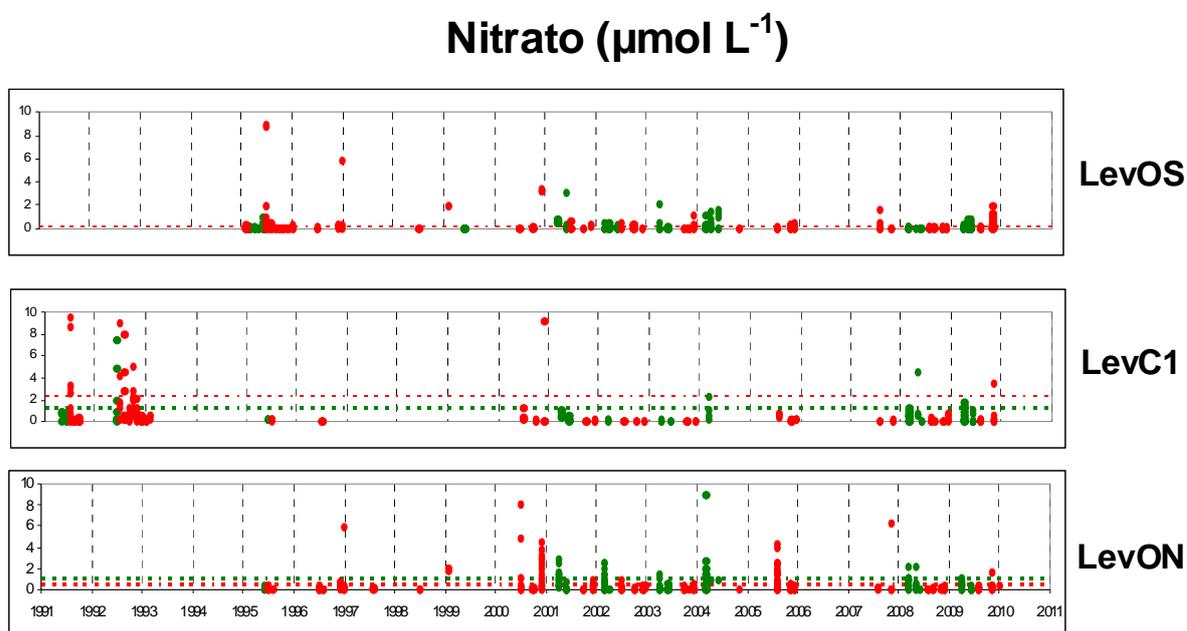


Figura 5.13. Serie temporal de concentración de nitrato para las áreas oceánicas sur y norte (LEVOS y LEVON) y la zona costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los percentiles obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).



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

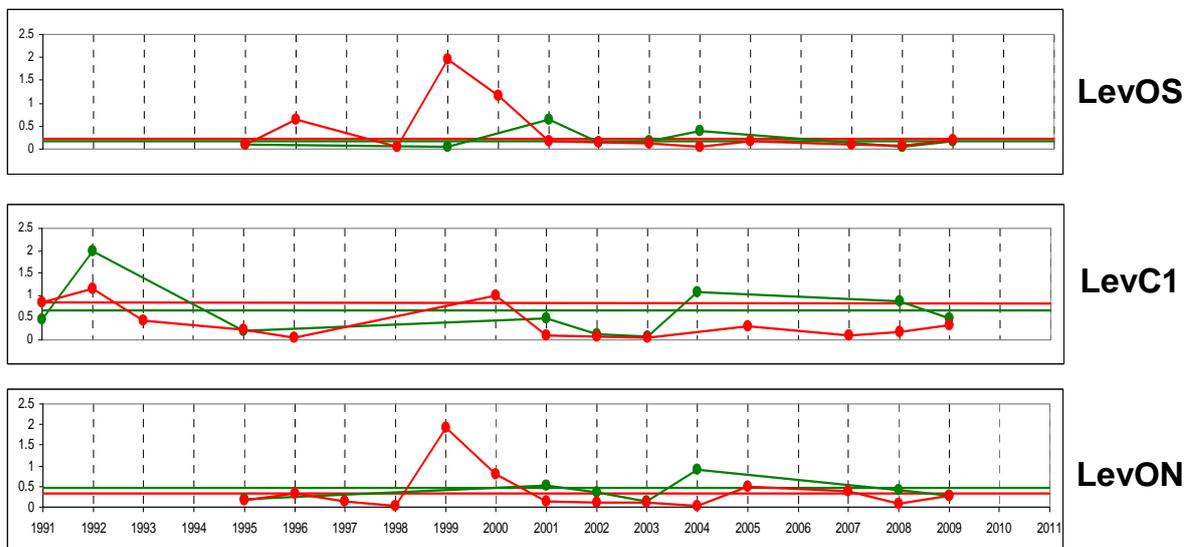


Figura 5.14. Promedios anuales de concentración de nitrato para las áreas de productividad de mar abierto (LEVOS y LEVON) y el área costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los promedios obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

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

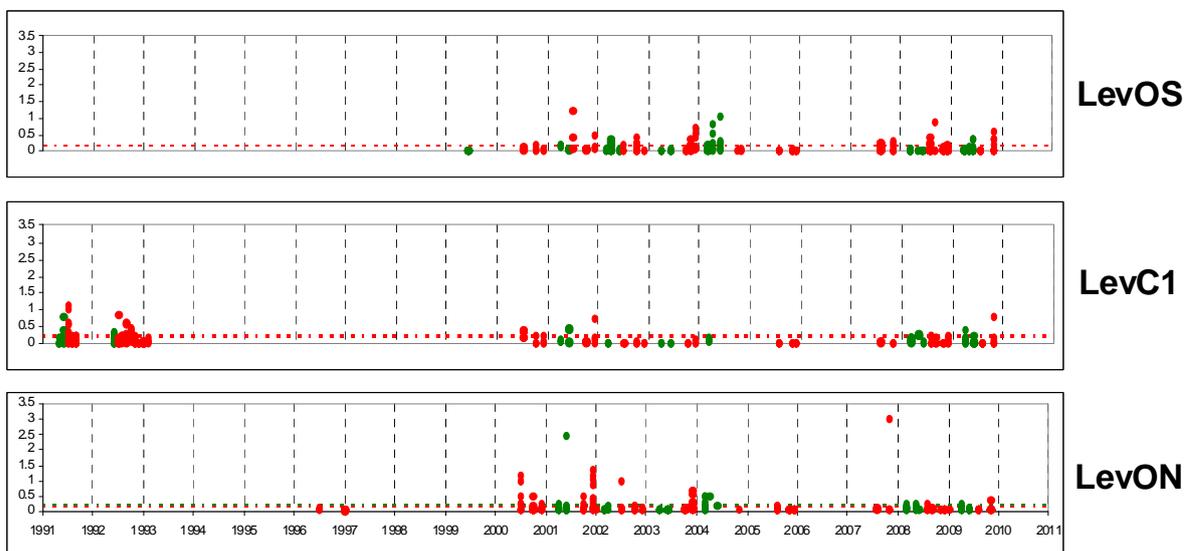


Figura 5.15. Serie temporal de concentración de nitrito para las áreas oceánicas sur y norte (LEVOS y LEVON) y la zona costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los percentiles obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).



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

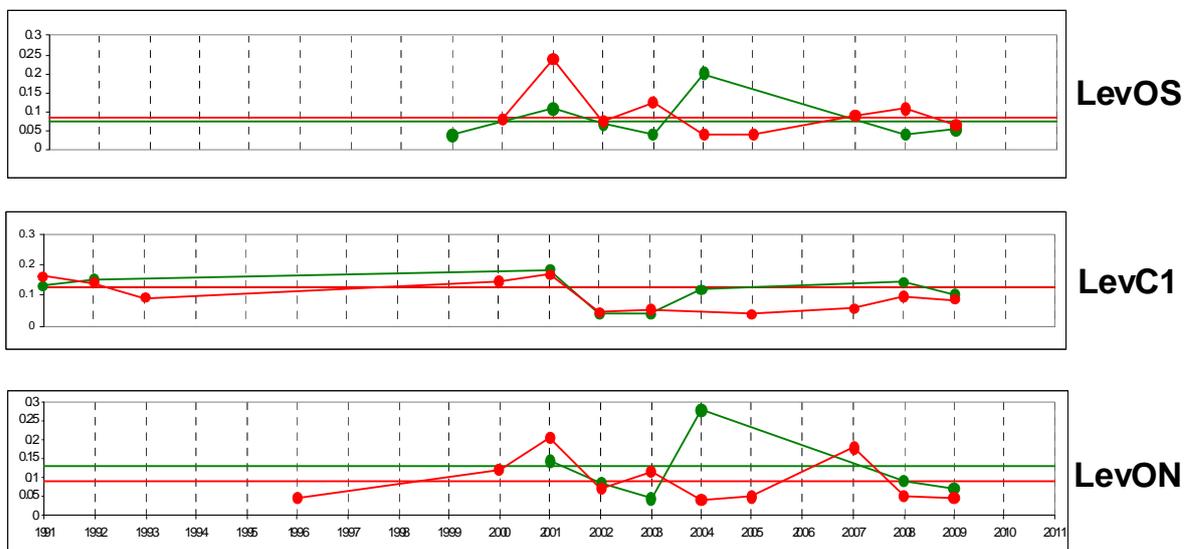


Figura 5.16. Promedios anuales de concentración de nitrito para las áreas de productividad de mar abierto (LEVOS y LEVON) y el área costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los promedios obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

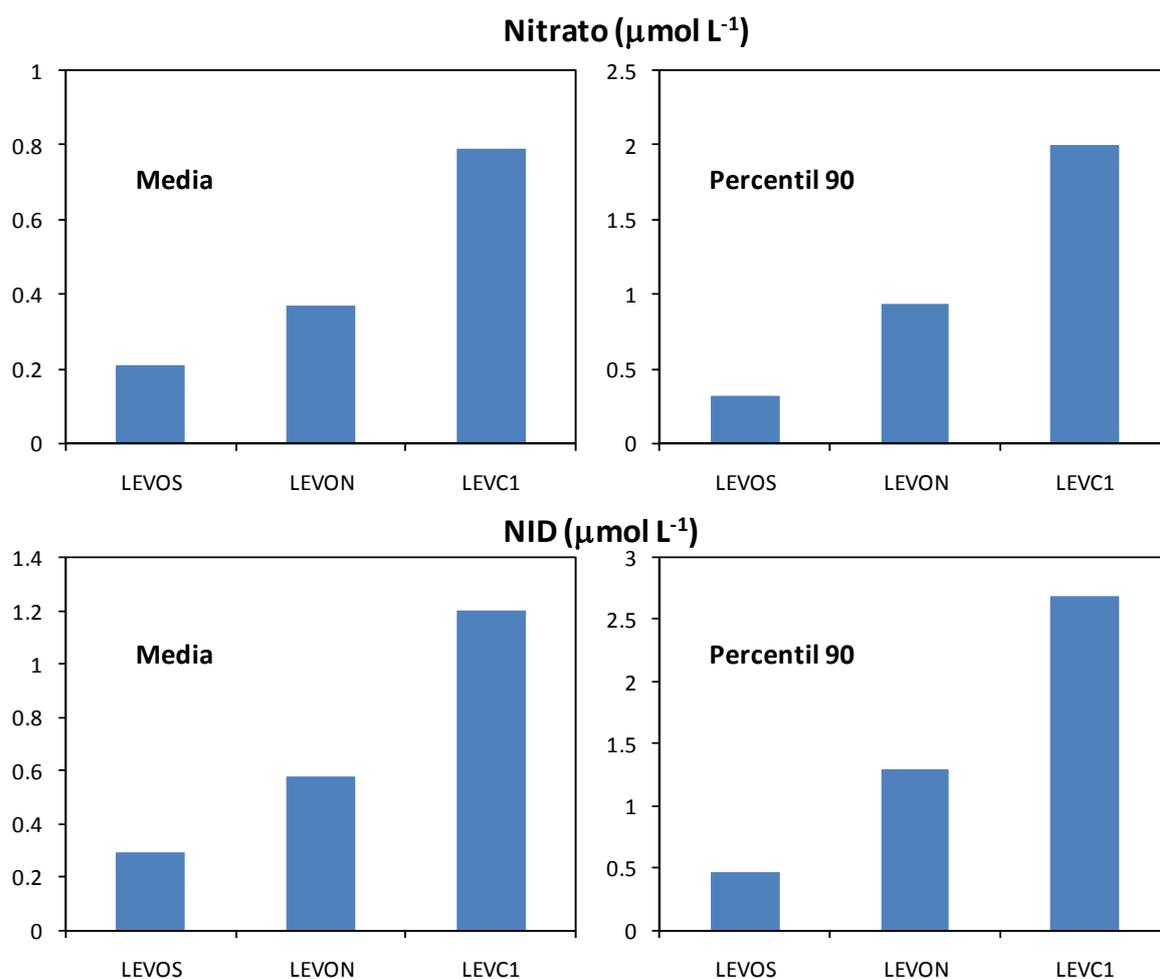


Figura 5.17. Valores de base de las concentraciones de nitrato y nitrógeno inorgánico disuelto (NID, calculado a partir de la suma de nitrato, nitrito y amonio excepto para el área LEVOS en que no se dispone de datos de amonio) para las áreas de productividad oceánica y la zona costera de la Demarcación (LEVC1).



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

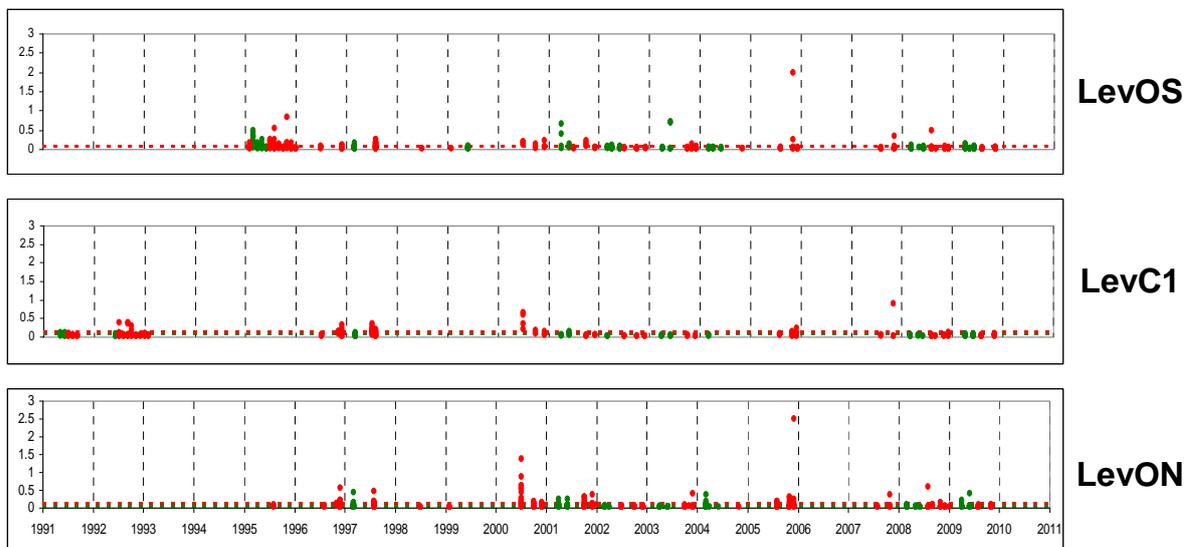


Figura 5.18. Serie temporal de concentración de fosfato para las áreas oceánicas sur y norte (LEVOS y LEVON) y la zona costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los percentiles obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

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

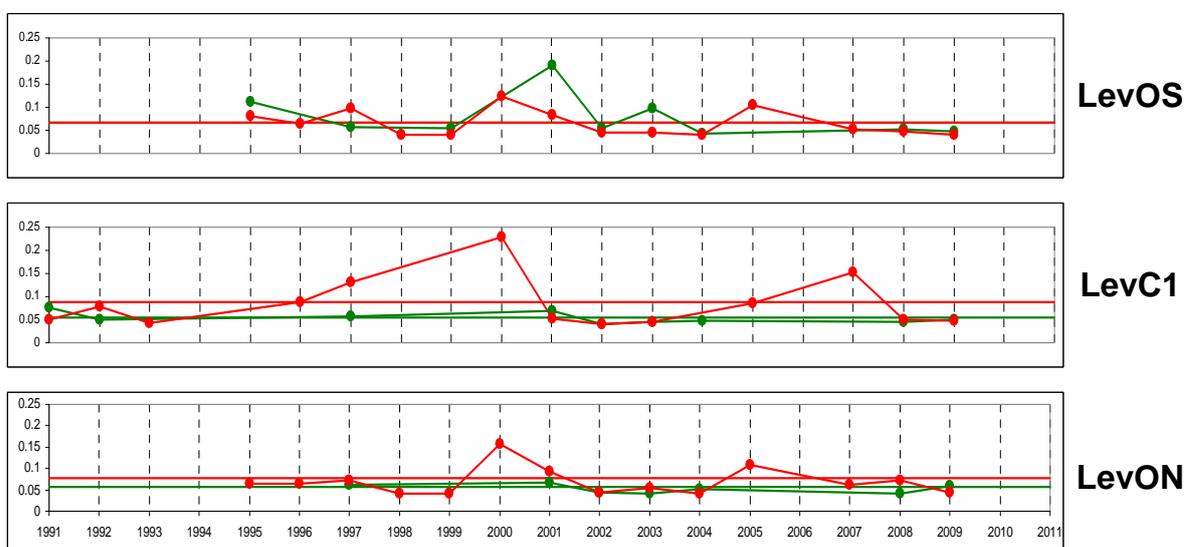


Figura 5.19. Promedios anuales de concentración de fosfato para las áreas de productividad de mar abierto (LEVOS y LEVON) y el área costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los promedios obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

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

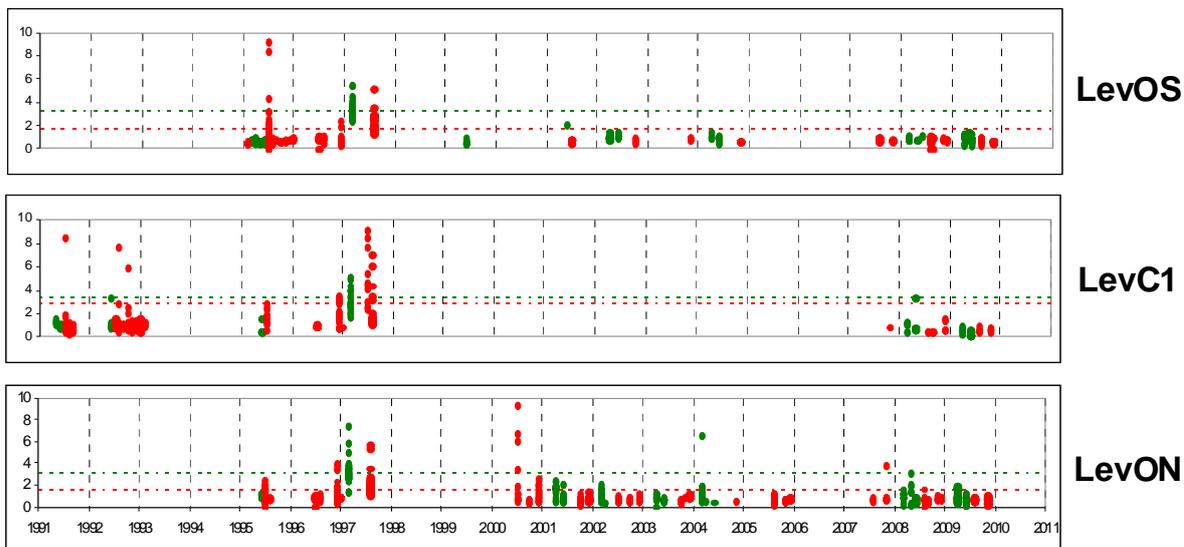


Figura 5.20. Serie temporal de concentración de fosfato para las áreas oceánicas sur y norte (LEVOS y LEVON) y la zona costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los percentiles obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

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

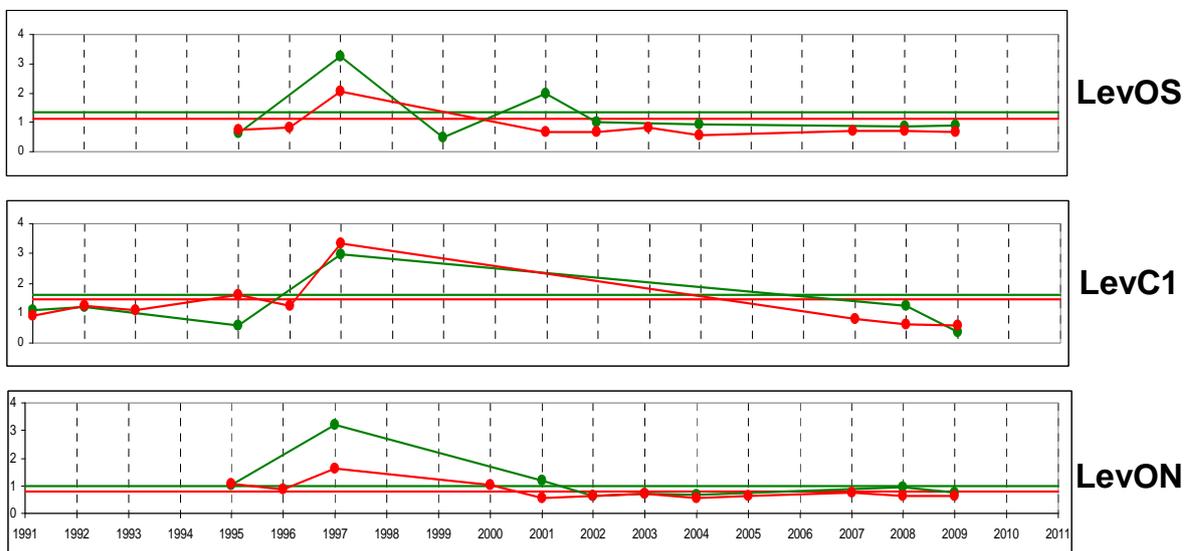


Figura 5.21. Promedios anuales de concentración de silicato para las áreas de productividad de mar abierto (LEVOS y LEVON) y el área costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los promedios obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

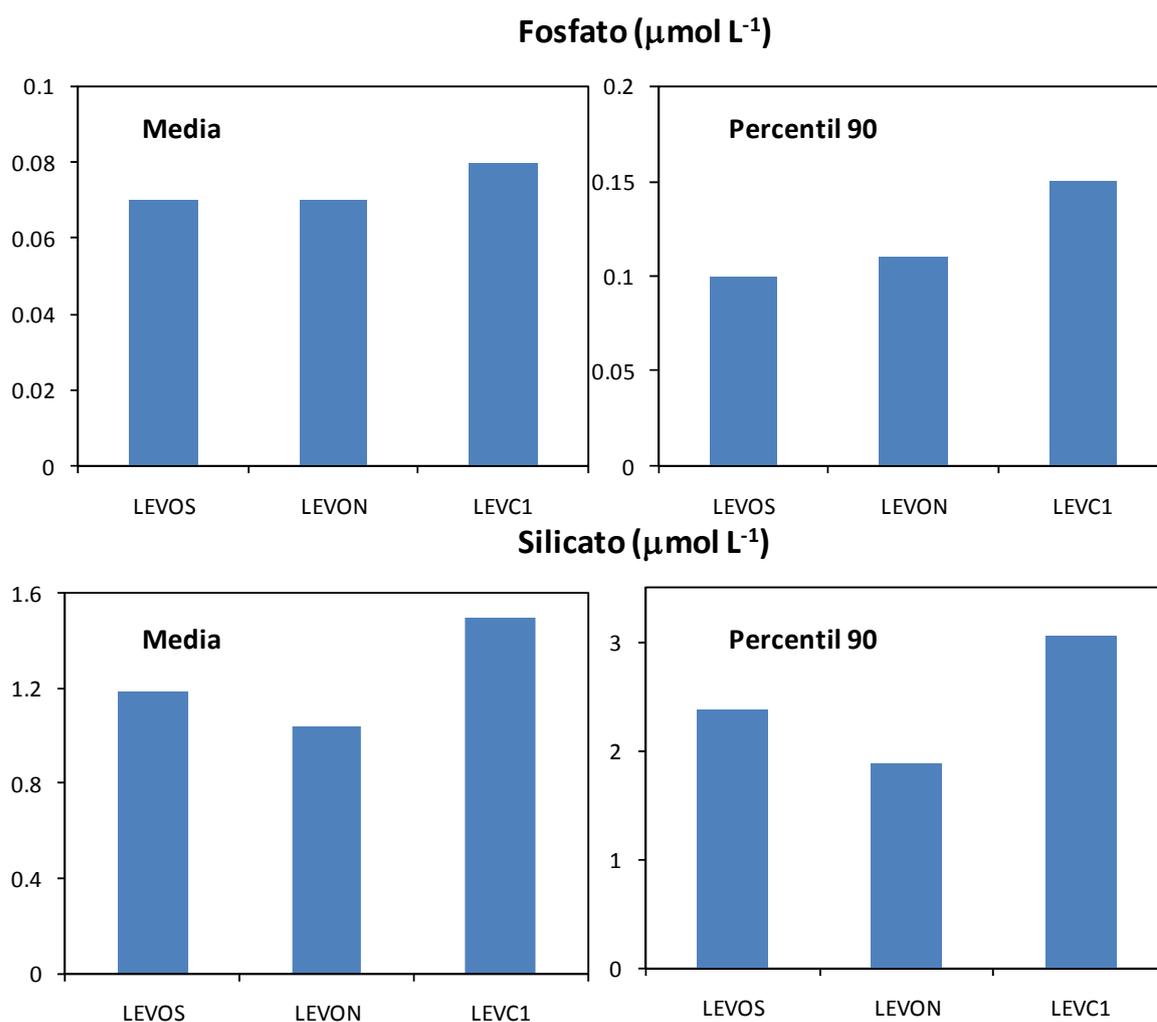


Figura 5.22. Valores de base de las concentraciones de nitrato y silicato para las áreas de productividad oceánica y la zona costera de la Demarcación (LEVC1).

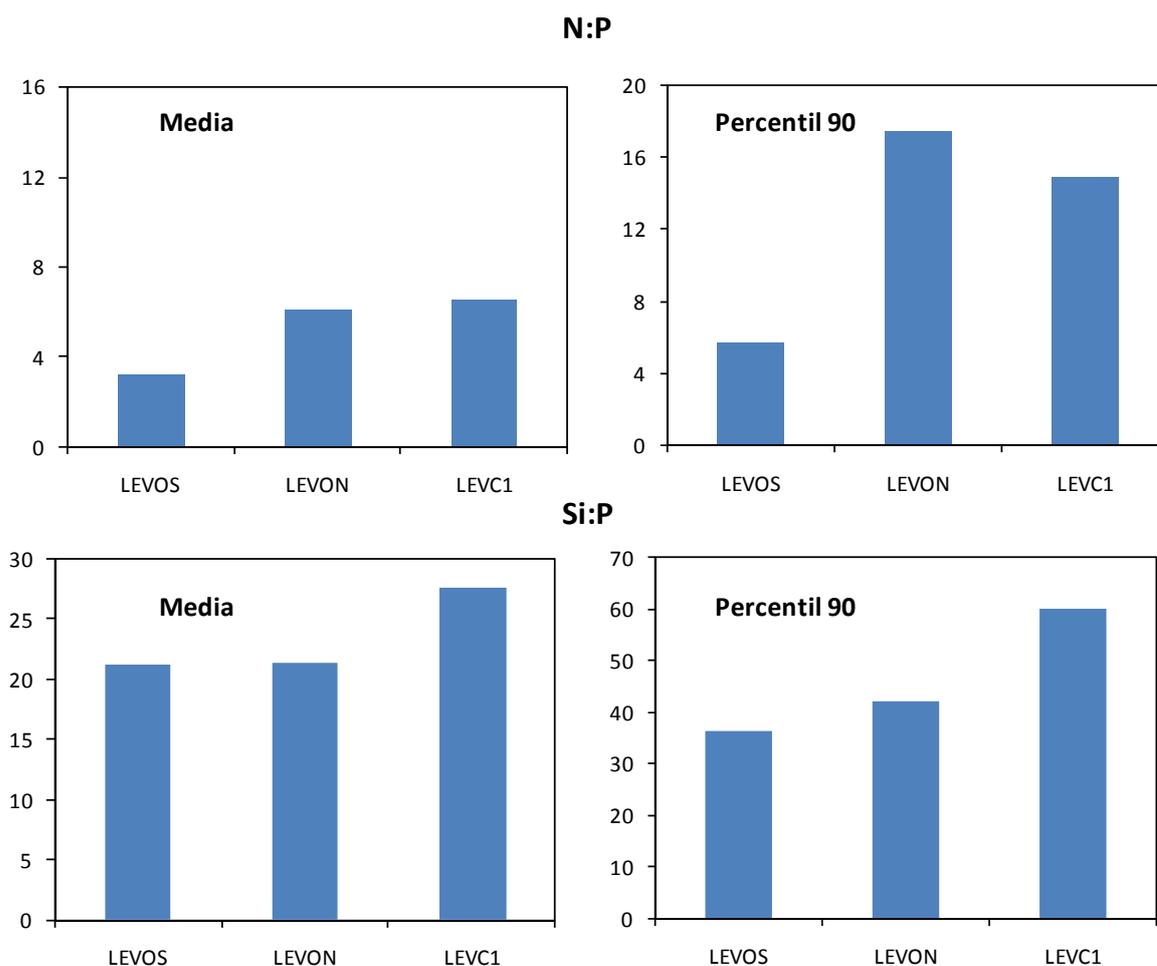


Figura 5.23. Valores de base de las razones molares nitrato:fosfato y silicato:fosfato para las áreas de productividad oceánica y la zona costera de la Demarcación (LEVC1).

Valores de base de clorofila a (5.2.1)

El patrón de variación de la concentración media de clorofila a en las tres áreas analizadas es similar al del nitrato, con los mayores valores en el área LEVC1 (Figura 5.24). En esta área, la concentración de clorofila varió entre 0,01 y 8,1 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 5.25). El rango de variabilidad para las otras dos áreas oceánicas es menor (de 0,01 a 3,7 $\mu\text{g L}^{-1}$). Nótese que en la misma figura se presenta también la serie temporal de valores obtenidos para el Mar Menor (área LEVMM), que muestra un rango de variabilidad similar. La serie temporal de los promedios anuales (Figura 5.26) indica que no ha habido ninguna tendencia significativa de cambio a lo largo del periodo analizado (de 1991 a 2010). En particular, las medias anuales en 2005-2010 no difieren significativamente respecto a la media total de la serie.



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

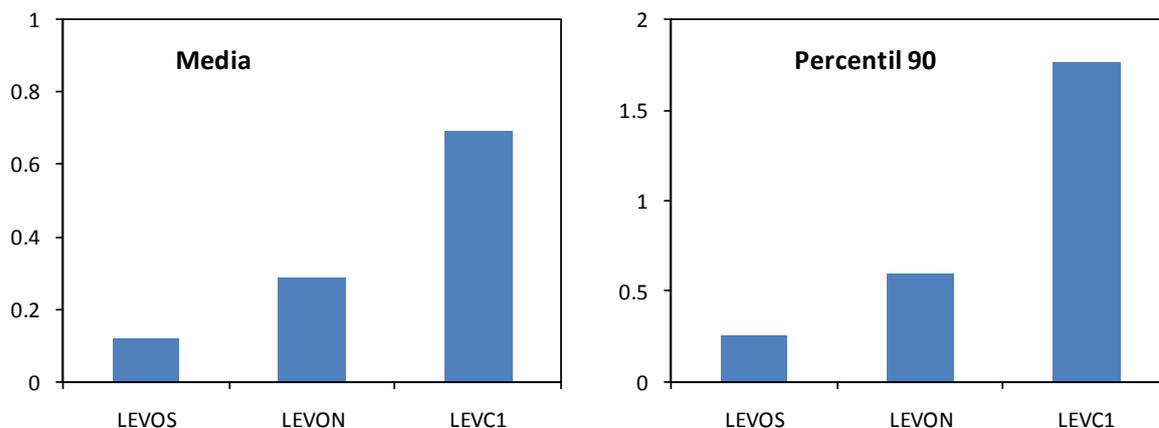


Figura 5.24. Valores de base de clorofila *a* para las áreas de productividad oceánica y la zona costera de la Demarcación (LEVC1).

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

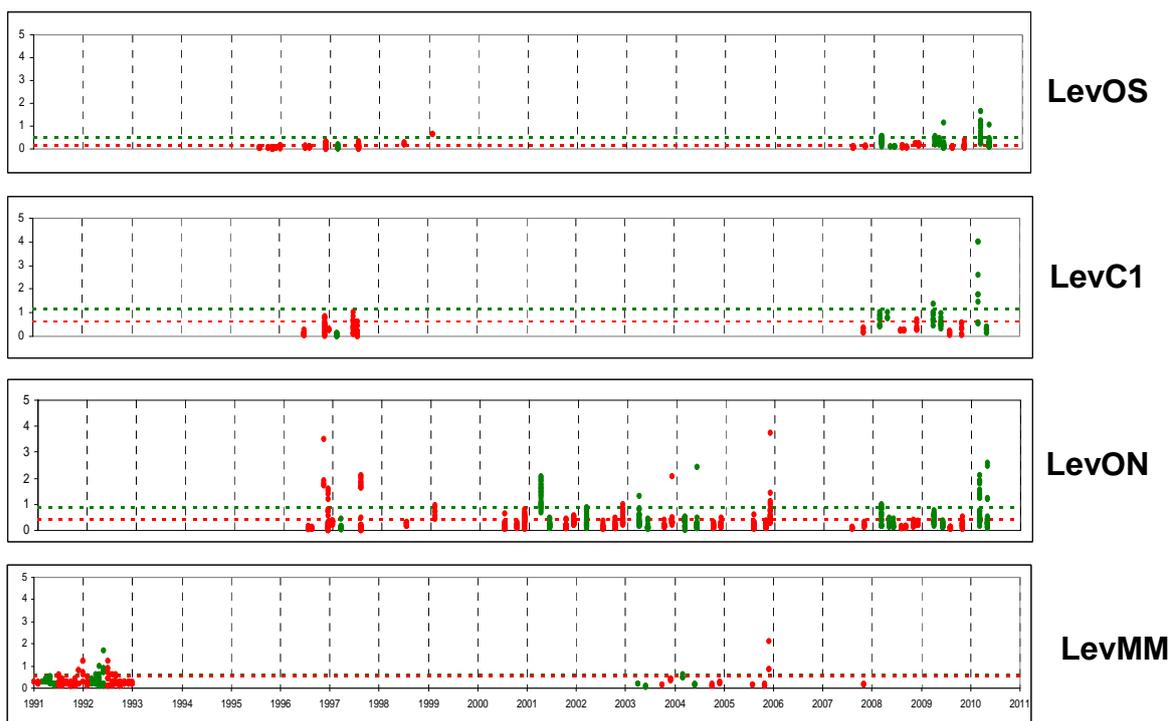


Figura 5.25. Serie temporal de concentración de clorofila *a* para las áreas oceánicas sur y norte (LEVOS y LEVON) y la zona costera (LEVC1). Se muestran también los datos obtenidos en Mar Menor. Las líneas horizontales discontinuas representan los percentiles obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

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

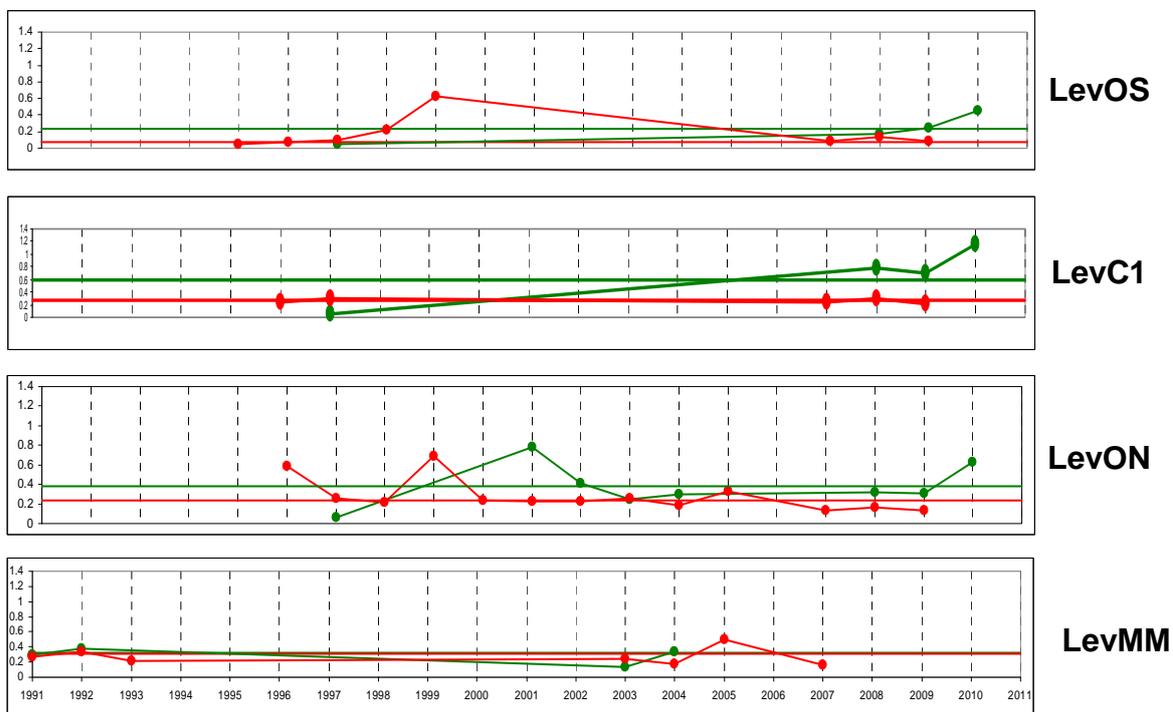


Figura 5.26. Promedios anuales de concentración de clorofila a para las áreas de productividad de mar abierto (LEVOS y LEVON) y el área costera (LEVC1). Las líneas horizontales discontinuas representan los promedios obtenidos para el periodo más productivo (en verde) y para el resto del ciclo anual (rojo).

Condiciones de referencia definidas en la DMA

La Instrucción de Planificación Hidrológica (orden ARM/2656/2008, BOE 229), recoge en su Tabla 45 las condiciones de referencia que deben ser tenidas en cuenta en la evaluación del elemento de calidad Fitoplancton para las aguas costeras. Los valores de referencia así como el límite para la definición del estado Bueno/Muy Bueno y Bueno/Moderado de la Instrucción de Planificación Hidrológica son los que se recogen en la Tabla 5.8. Hay que tener en cuenta que estos valores han sido revisados recientemente en la segunda fase de intercalibración del Grupo de Intercalibración Geográfico del Mediterráneo (MED GIG). En esta fase se propuso además la creación de un nuevo tipo de agua en el mediterráneo, denominado W-Island, que incluiría las masas de agua costeras localizadas en las islas del mediterráneo occidental, incluyendo las Islas Baleares. En el presente informe se ha optado por presentar los valores de referencia definidos en la Instrucción de Planificación Hidrológica por cuanto los



nuevos valores propuestos no sean adoptados oficialmente por todas las CCAA (no obstante, en la Tabla 5.8 se muestran los valores propuestos para las aguas W-Island).

Los valores de evaluación de la Tabla 5.8 están basados en el percentil 90 de la concentración de clorofila *a* y son los definidos para el denominado campo medio (*near-shore*), esto es, puntos localizados a más de 200 m de la línea de playa (excepto los valores para las masas de agua Tipo I, que sólo se han definido para el campo próximo, *in-shore*). Por tanto, son directamente comparables a los valores de base calculados en el presente informe.

Por otro lado, durante los trabajos que llevaron a la adopción del valor de referencia para fitoplancton, las CCAA consensuaron los valores de nutrientes que definen el umbral del estado Bueno/Moderado (Tabla 5.9). El estadístico utilizado para establecer estos valores de referencia fue la media calculada para la masa de agua costera. Para comparación, en la Tabla 5.9 se presentan los valores medios de nutrientes calculados para el área LEVC1, que es el área que según nuestro análisis no está influenciada por aportes terrestres. Los valores de referencia para nutrientes del agua Tipo IIIW (el umbral para definir la clase Bueno/Muy Bueno) son mayores a los valores calculados a partir de la base de datos de la DMEM. Sin embargo, debe notarse que para la clorofila el acuerdo entre los valores de base y los de referencia es aceptable.

Tabla 5.8. Valores de referencia de clorofila *a* (percentil 90; $\mu\text{g L}^{-1}$) publicados en la Instrucción de Planificación Hidrológica para los tipos de agua costera identificados en la Demarcación. Para los tipos de agua en que se definieron valores diferentes para aguas *in-shore* y *near-shore*, se presentan ambos. Se muestran para comparación los valores de base (percentil 90; $\mu\text{g L}^{-1}$) de clorofila *a* obtenidos en aplicación de la DMEM.

Tipo de agua		Condición de referencia	Límite bueno/muy bueno	Límite bueno/moderado	Valores de base (indicador 5.2.1)
5, 6, 7, 8 (Tipo IIIW)	In-shore Near-shore	2,2 0,9	2,6 1,1	3,6 1,8	- 1,76 (LEVC1)
1, 2, 3, 4 (Tipo II)	In-shore Near-shore	3,8 1,9	4,6 2,4	7,0 3,6	-
9 (Tipo I)	In-shore	10,4	12,7	22,3	-



Islas Baleares (Island-W)		0,6	0,7	1,2	0,26 (LEVOS)
---------------------------	--	-----	-----	-----	--------------

Tabla 5.9. Valores de umbral del estado Bueno/Moderado de nutrientes acordados preliminarmente por las CCAA para las aguas Tipo III, II y I de la Instrucción de Planificación Hidrológica, según el documento no publicado “Metodología para la evaluación de los elementos de calidad fisicoquímicos del estado ecológico en la Ecorregión mediterránea” coordinado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se presenta también los valores medios de nutrientes calculados para las áreas LEVC1 y LEVMM a partir de los datos recopilados en el presente informe.

Tipo de agua		Umbral del estado Bueno/Moderado (concentración media en la masa de agua)			
		Amonio (μM)	Nitrato (μM)	Nitrito (μM)	Fosfato (μM)
Tipo IIIW	In-shore	4,6	7,3	0,46	0,76
	Near-Shore	2,3	3,65	“	0,38
Tipo II	In-shore	4,6	35,00	0,46	0,76
	Near-Shore	2,3	7,00	“	0,38
Tipo I	In-shore	4,6	75,00	0,46	0,76
	Near-Shore	2,3	15,00	“	0,38
Mar Menor	In-shore	4,6	12,9	0,46	0,76
	Near-Shore	2,3	6,45	“	0,38
LEVC1		0,29	0,80	0,12	0,07

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

2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones

De acuerdo con la información recopilada sobre la distribución de los puntos de vertido de ríos y de las fuentes puntuales de contaminación, la característica más notable de las presiones en la Demarcación Marina es su distribución relativamente



heterogénea. Al no disponer de datos que permitan estimar el aporte de nutrientes procedente de todas las fuentes ilustradas en la Figura 5.4, se ha optado por elaborar un mapa de zonas de potencial acumulación de nutrientes. Para la elaboración del 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.
- Vertederos de material dragado.

La metodología empleada en el cálculo de los índices se detalla en la Parte II del Documento Marco: Análisis de Presiones e Impactos. Los resultados de este análisis cualitativo se muestran en la Figura 5.27, donde se evidencia que las zonas de la Demarcación Marina con un mayor potencial de acumulación de nutrientes son Mataró-Sitges, y Bahía de Palma. 7 son las zonas identificadas como de potencial moderado: Bahía de Rosas, frente costero de Tarragona, Castellón-Burriana, Sagunto-Valencia, Gandía, Alicante-Guardamar y Bahías de Pollensa y Alcudia.



Figura 5.27. Distribución de las zonas de la demarcación con potencial alto y moderado de acumulación de nutrientes. Mapa elaborado por el CEDEX.

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

Como se ha comentado anteriormente, la concentración de nutrientes en las áreas de mar abierto (LEVOS y LEVON) y en el área donde en principio la variabilidad hidrológicas es el principal factor que determina la distribución de la clorofila a (LEVC1) no han experimentado cambios significativos durante el periodo actual con respecto a periodos previos (2005-2010), ni tampoco a lo largo de todo el período del que disponemos datos. Por lo tanto, en principio no hay evidencias de que durante los últimos años se hayan producido tendencias de cambio asociadas a modificaciones en la dinámica hidrológica a escala regional.

De acuerdo con el planteamiento discutido con anterioridad, el posible aporte de nutrientes desde fuentes alóctonas en las áreas de productividad cuya concentración de nutrientes no es en principio atribuible a la variabilidad hidrológica (LEVC2, LEVDE y



Mar Menor) se determinará por comparación con los resultados del análisis llevado a cabo para las áreas LEVC1 y LEVOS. En este contexto, se entiende como variabilidad hidrológica la debida a los procesos oceanográficos que determinan la dinámica de meso-escala en la Demarcación, incluyendo los afloramientos (Font et al., 1988; López-García et al., 1994; Estrada, 1996; Salat, 1996; Pinot et al., 2002; Lucea et al., 2005; Canals y Calafat, 2008; D'Ortenzio y D'Alcalá, 2009). En principio, las desviaciones de la concentración de nutrientes respecto de estos valores permitirán determinar el impacto potencial de los aportes de nutrientes alóctonos.

Los datos de concentración de nitrato y fosfato disponibles para las áreas LEVDE y LEVC2 se muestran en las Figuras 5.28 y 5.29. El percentil 90 de nitrato calculado conjuntamente para estas dos áreas de productividad es significativamente mayor al obtenido para el área LEVC1 (4,37 frente a 2,00 $\mu\text{mol L}^{-1}$). El percentil 90 de fosfato en LEVDE+LEVC2 es también algo mayor al obtenido para LEVC1 (0,20 frente a 0,15 $\mu\text{mol L}^{-1}$), aunque la diferencia es menos notable que para nitrato. En cualquier caso debe notarse que la máxima concentración de fosfato registrada para las áreas LEVDE+LEVC2 es un orden de magnitud mayor que el máximo encontrado en LEVC1. Estos resultados indican que las áreas LEVDE y LEVC2 reciben aportes de nutrientes alóctonos, especialmente de nitrato. Dado que ambas áreas se localizan en zonas de influencia de las descargas de ríos, es muy probable que esta sea una de las fuentes principales de aporte, en cuyo caso se podría concluir que ambas áreas representan zonas de enriquecimiento natural. No obstante, no es descartable la influencia de las fuentes puntuales y difusas de contaminación. Respecto a estas últimas, la información disponible sobre la cantidad de nutrientes que alcanza la zona costera por vía de aguas subterráneas, lixiviado de agricultura, etc. se limita a estudios puntuales espacial y temporalmente, cuyos resultados difícilmente pueden extrapolarse a toda la Demarcación. Así por ejemplo, Sebastiá et al. (2012) describió altos niveles de fósforo en aguas del Puerto de Gandía, coincidiendo con períodos de fertilización agrícola con fosfato. Los mismos autores atribuyeron el exceso de nitrógeno y la alteración de la razón molar N:P en aguas costeras a las prácticas agrícolas del entorno. García-Solsona et al. (2010a) estimó el flujo de nitrógeno y fósforo inorgánico procedente de descargas de agua subterránea en el entorno de Castellón en octubre de 2006 y junio de 2007. Según sus cálculos, los flujos de NID variaron entre 1.500 y 8.300 $\mu\text{mol m}^2 \text{d}^{-1}$, mientras que el rango de variación para el PID fue de 19-40 $\mu\text{mol m}^2 \text{d}^{-1}$. Basterretxea et al. (2010) encontraron una correlación significativa entre la abundancia de fitoplancton y las descargas, evidenciando que esta fuente de nutrientes puede tener un impacto considerable sobre estas comunidades, como de hecho demuestran algunos experimentos llevados a cabo por Garcés et al. (2011). En todo caso, el



impacto de las aguas subterráneas parece ser muy localizado. Así por ejemplo, García-Solsona et al. (2010a) estimó que la pluma de agua dulce asociada a estas descargas presentó una extensión de entre 2,1 y 1,3 km². Por otro lado, los trabajos publicados evidencian que su incidencia depende fuertemente del régimen de precipitaciones y de las características del entorno local en el que se estudia el vertido. Así pues, dado el carácter puntual y episódico (tanto espacial como temporalmente) de estas fuentes contaminantes, se requiere mucha más información para poder evaluar su impacto a escala de Demarcación, o más en particular, sobre las áreas LEVC2 y LEVDE.

Es interesante notar que algunos estudios también demuestran la influencia de la contaminación difusa sobre la concentración de nutrientes en algunas áreas costeras de las Islas Baleares. Así, en el entorno de Menorca, los flujos estimados de NID y DIP fueron 18.000 y 140 $\mu\text{mol m}^2 \text{d}^{-1}$, respectivamente (García-Solsona et al., 2010b). Basterretxea et al. (2010) encontró una correlación entre la actividad humana y la carga de nutrientes procedentes de las aguas subterráneas en Mallorca.

La incidencia de los posibles aportes de nutrientes procedentes de ríos y de las diferentes fuentes de contaminación en las áreas LEVC2 y LEVDE debe ser evaluada con el fin de determinar cuál es la carga natural de nutrientes esperable, así como para establecer valores de base acorde con esta característica. Con los datos disponibles en el presente informe no es posible proponer dichos valores. Sin embargo, se cuenta con los valores de referencia de la DMA propuestos por las CCAA para las aguas costeras. Así, según los datos suministrados por la Comunidad Autónoma de Cataluña, el valor de referencia de nitrato para la definición del estado Bueno/Moderado (Figura 5.30) se excede en las masas de agua del entorno de Montgrí, Besós, Llobregat y Delta del Ebro. El valor de referencia de fosfato es sobrepasado con claridad en las masas de agua C19 y C21 (Figura 5.31). Debe notarse que algunas de ellas están catalogadas en su campo medio como Tipo IIIW, esto es, con escasa influencia de las descargas de ríos. Por lo tanto, el exceso de nutrientes sería atribuible a vertidos desde fuentes puntuales o difusas de contaminación.

De acuerdo con los datos reportados a WISE-SoE Marine, los valores de referencia del estado Bueno/Moderado de nitrato y fosfato no han sido sobrepasados en el período 2005-2010 en las estaciones costeras de las comunidades de Valencia y Murcia de las que se dispone datos (Figura 5.32, 5.33). Nótese que estas estaciones se localizan en el campo próximo (*in-shore*). Las masas de agua costera entre el límite norte de la Comunidad Valenciana y Denia han sido clasificadas como Tipo II, esto es, con moderada influencia de las descargas de ríos. Por el contrario, las masas de agua al sur de Denia han sido clasificadas como Tipo IIIW. Por tanto, los comparativamente altos valores de nitrato al norte de Denia pueden deberse, al menos parcialmente, a la



descarga de ríos. Para las Islas Baleares sólo se dispone de los valores medios de nitrato en 2010 para algunas estaciones costeras. Los datos, mostrados en la Figura 5.34, indican que en ninguna de estas estaciones se sobrepasa el umbral que define el estado Bueno/Moderado para aguas Tipo IIIW.

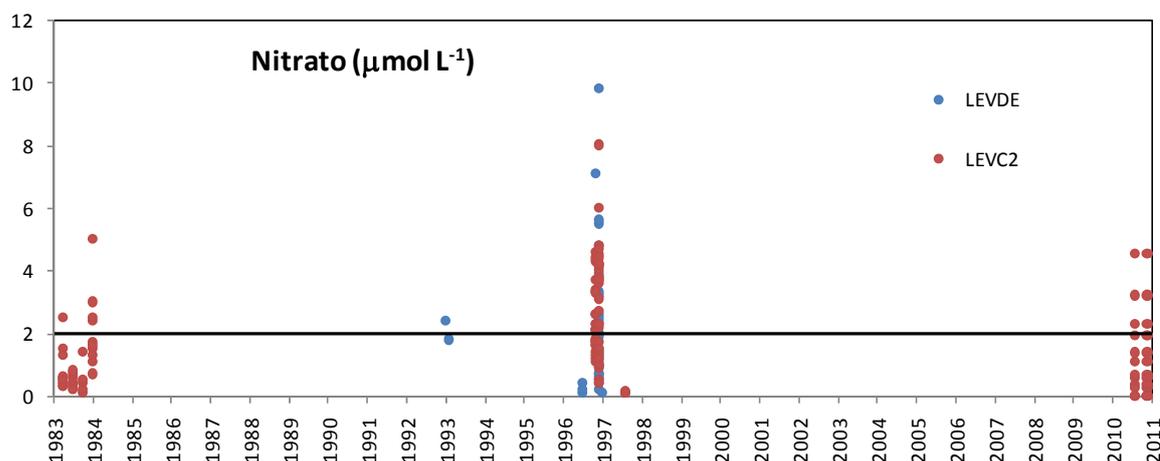


Figura 5.28. Concentraciones de nitrato obtenidas en estaciones localizadas dentro de las áreas de productividad LEVDE y LEVC2. La línea negra horizontal representa el percentil 90 de la concentración de obtenida para el área LEVC1.

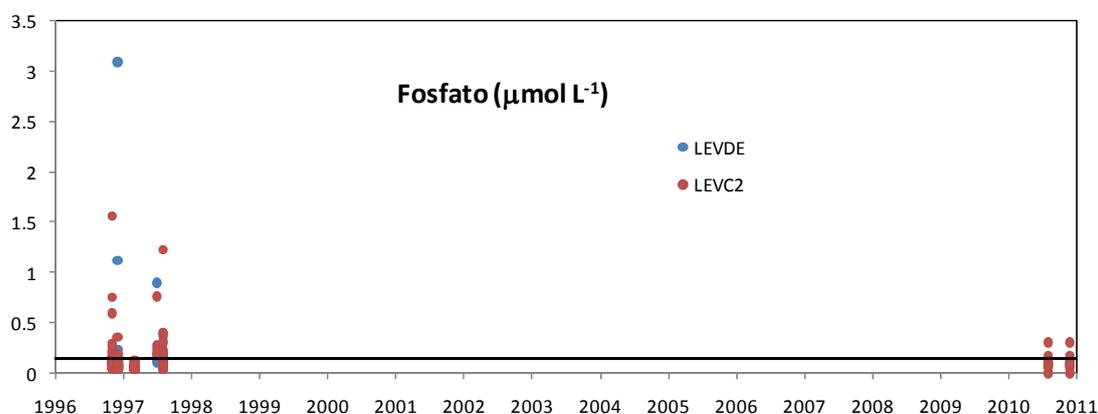


Figura 5.29. Concentraciones de fosfato obtenidas en estaciones localizadas dentro de las áreas de productividad LEVDE y LEVC2. La línea negra horizontal representa el percentil 90 obtenido para el área LEVC1 y la línea roja el umbral para el estado Bueno/Moderado de la DMA (Tabla 5.9).

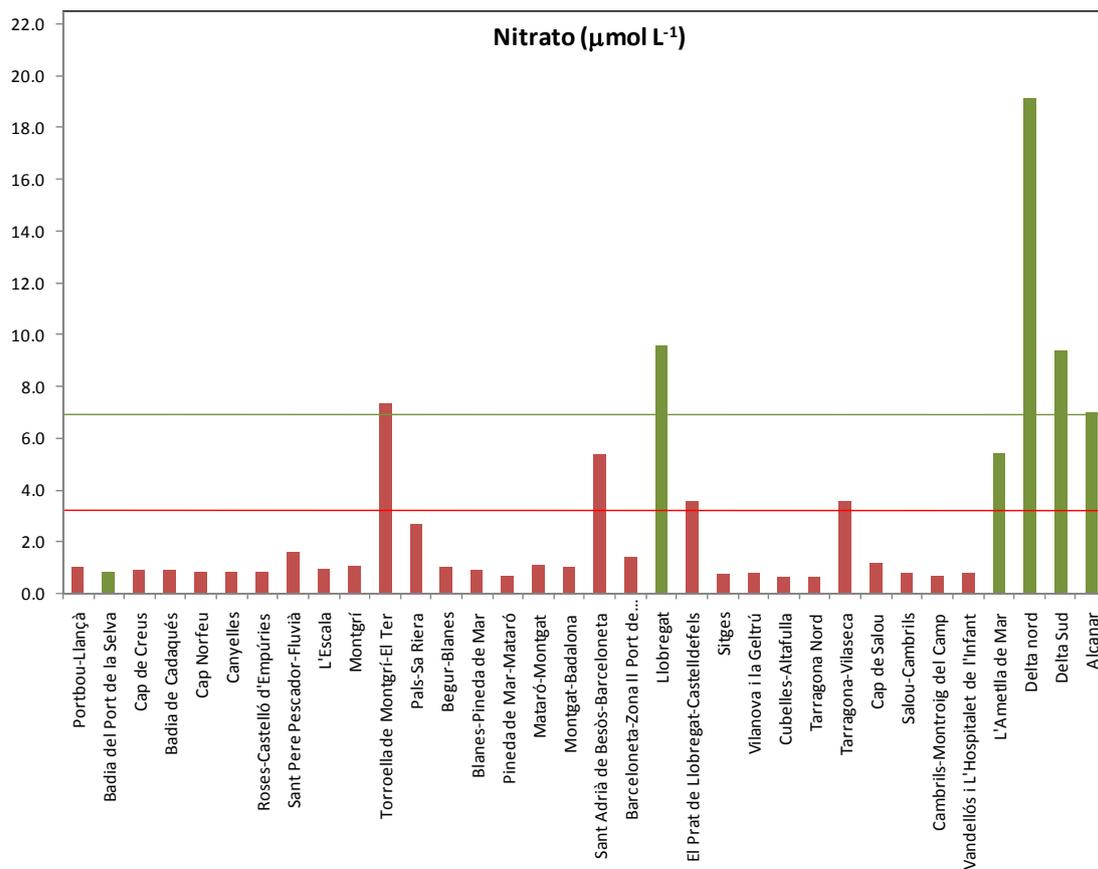


Figura 5.30. Media de concentración de nitrato calculada para el periodo 2007-2010 en las masas de agua costera de Cataluña en el campo medio (*near-shore*) según datos proporcionados por la Comunidad Autónoma. Las líneas horizontales roja y verde indican el umbral para el estado Bueno/Moderado definido por las CCAA para las aguas Tipo IIIW y Tipo II, respectivamente (Tabla 5.9). Las barras rojas corresponden a masas de agua Tipo IIIW y las verdes a las aguas Tipo II

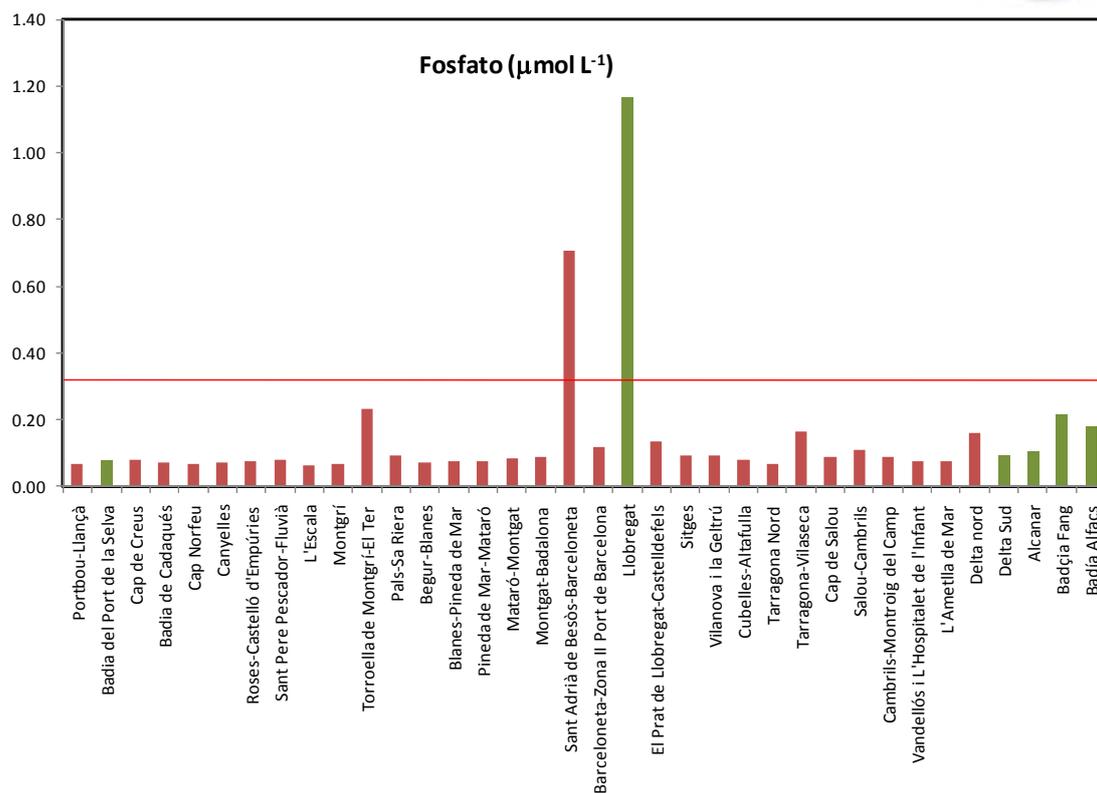


Figura 5.31. Media de concentració de fosfata calculada per al període 2007-2010 en les masses d'aigua costera de Catalunya en el seu camp mitjà (*near-shore*) segons dades proporcionades per la Comunitat Autònoma. La línia roja indica el límit de l'estat Bo/Moderat proposat per la CCAA per a la implementació de la DMA (Taula 5.9).

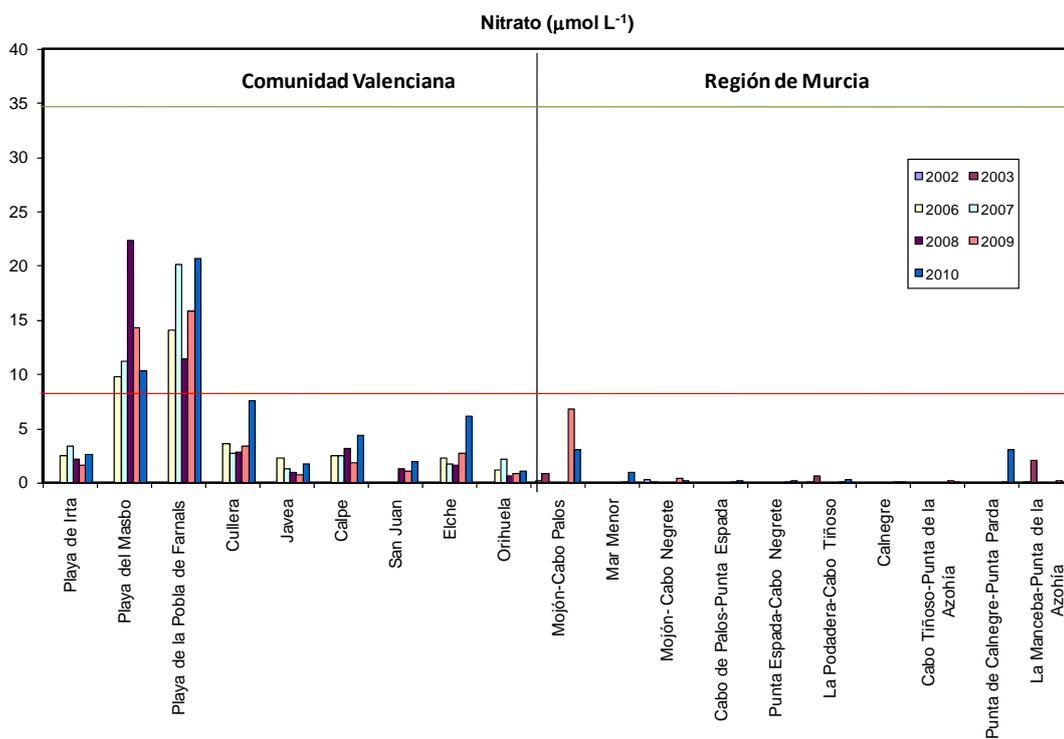


Figura 5.32. Valores medios anuales de concentración de nitrato reportados a WISE-SoE Marine por las CCAA para algunas estaciones localizadas en zonas *in-shore*. La líneas roja y verde indican el umbral del estado Bueno/Moderado para las aguas Tipo IIIW y II de la DMA (Tabla 5.9).

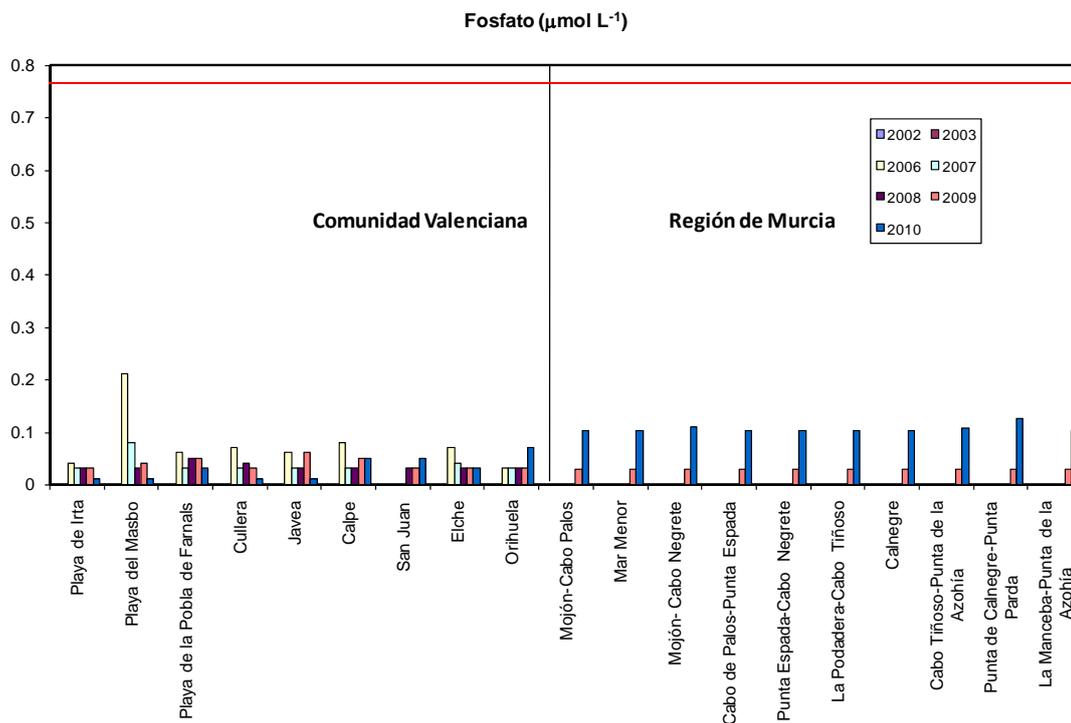


Figura 5.33. Valores medios anuales de concentración de fosfato reportados a WISE-SoE Marine por las CCAA para algunas estaciones localizadas en zonas *in-shore*. La línea horizontal roja indica el correspondiente límite del estado Bueno/Moderado de la DMA (Tabla 5.9).

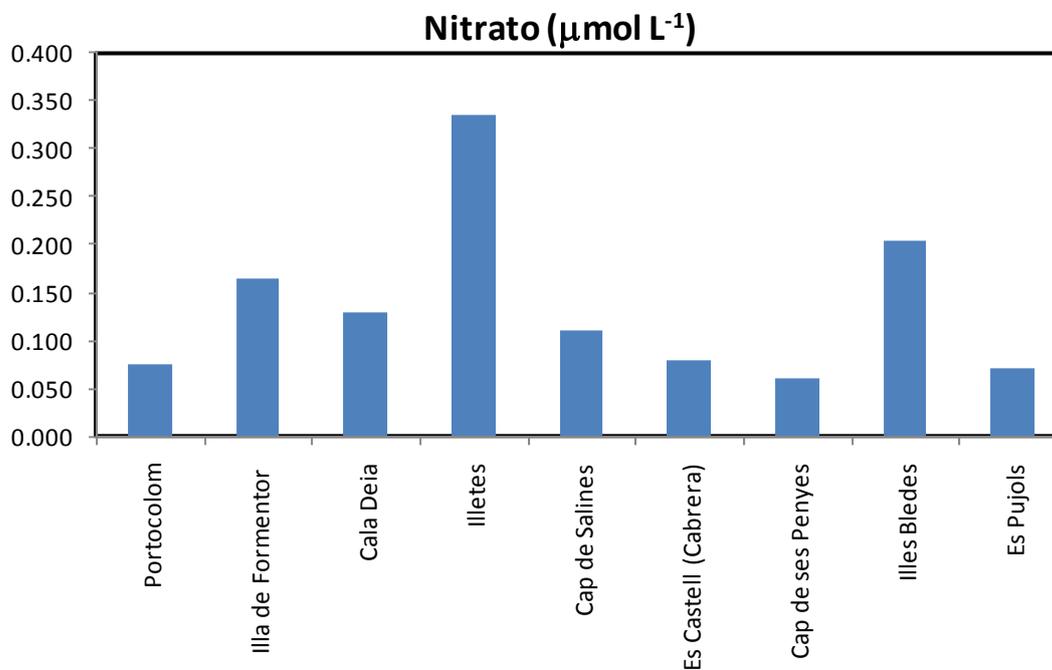


Figura 5.34. Concentración media de nitrato durante 2010 en algunas estaciones costeras de las Islas Baleares. Los datos han sido extraídos de WISE-SoE Marine.



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

Los datos de clorofila *a* recopilados para las áreas de productividad LEVC2 y LEVDE denotan que los valores del percentil 90 son mayores a los calculados para el área LEVC1 (Figura 5.35). La serie temporal también indica que durante 2010 los valores registrados de clorofila *a* son menores a los de los periodos previos, en que se llegaron a registrar máximos de $8 \mu\text{g L}^{-1}$. No obstante, los datos son insuficientes para determinar si ha habido alguna tendencia significativa de cambio en los últimos años. La mayor concentración de clorofila *a* en las áreas LEVC2 y LEVDE es concordante con las mayores concentraciones de nutrientes antes comentadas, independientemente del origen (natural o antropogénico) de los mismos. Como se ha comentado para los nutrientes, los datos disponibles para la elaboración del presente informe son insuficientes para el cálculo de valores de base adecuados a las características de estas áreas de productividad. Alternativamente, es posible comparar los datos disponibles con los valores de referencia de la DMA. No obstante, debe notarse que el percentil 90 calculado para el área LEVC1 es similar al valor de referencia para el estado Bueno/Moderado de las aguas *near-shore* Tipo IIIW, por tanto el valor de base calculado en el presente informe sí puede considerarse adecuado para evaluar las aguas costeras con estas características. Los datos disponibles para este informe sobre las masas de agua costera, provistos por las CCAA en aplicación de la DMA, corresponden a datos medios de toda la masa de agua o a estaciones puntuales. Por tanto no son directamente comparables con el valor de base de clorofila para el área LEVC1, aunque sí lo debe ser con la media estimada para esta área de productividad. Para las masas de agua costera de la Comunidad Autónoma de Cataluña, se dispone de la media calculada para el período 2007-2010, valores que se presentan en la Figura 5.36. De acuerdo la misma, la media calculada para el área LEVC1 se sobrepasó en las siguientes masas de agua costera catalogadas como Tipo IIIW: Roses, Sant-Pere Pescador-Fluviá, Mataró-Montgat, Montgat-Badalona, Sant Adriá del Besós y Tarrago-Vilaseca.

Los datos disponibles para las aguas costeras del litoral de la Comunidad Valenciana y de la de Murcia corresponden a valores promedio de estaciones puntuales localizadas en zonas *in-shore*, por tanto el valor medio calculado para LEVC1 no es una base útil de comparación. No obstante, los datos se presentan en la Figura 5.37. No se dispone de datos para las Islas Baleares.



Sólo hay datos disponibles de profundidad del disco de Secchi para algunas masas costeras de Cataluña y Murcia (Figura 5.38). La transparencia del agua fue comparativamente muy reducida en Cabo de Palos, Cabo Negrete y Punta de la Azohía. En estas tres áreas, la concentración de clorofila a no fue excesivamente alta, por tanto no es claro que esta baja transparencia de la columna de agua esté relacionada con la acumulación de fitoplancton. De hecho, la correlación entre concentración de clorofila a y profundidad de disco de Secchi para el conjunto de datos disponible no es significativa estadísticamente (Figura 5.39). Teniendo esto en cuenta, la transparencia de la columna de agua en las zonas costeras de la Demarcación podría no ser un indicador adecuado de biomasa de fitoplancton.

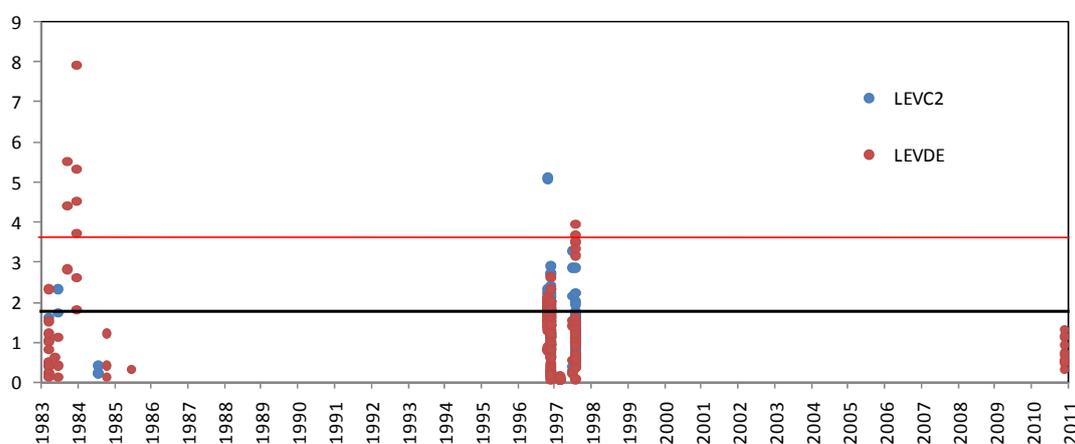


Figura 5.35. Datos de concentración de clorofila a recopilados para las áreas de productividad LEVC2 y LEVDE. La línea horizontal azul indica el percentil 90 obtenido para el área LEVC1. La línea roja muestra el límite del estado Bueno/Moderado de la DMA para las aguas Tipo II (Tabla 5.8). Nótese que el límite equivalente para las aguas Tipo IIIW coincide con el percentil 90 del área LEVC1.

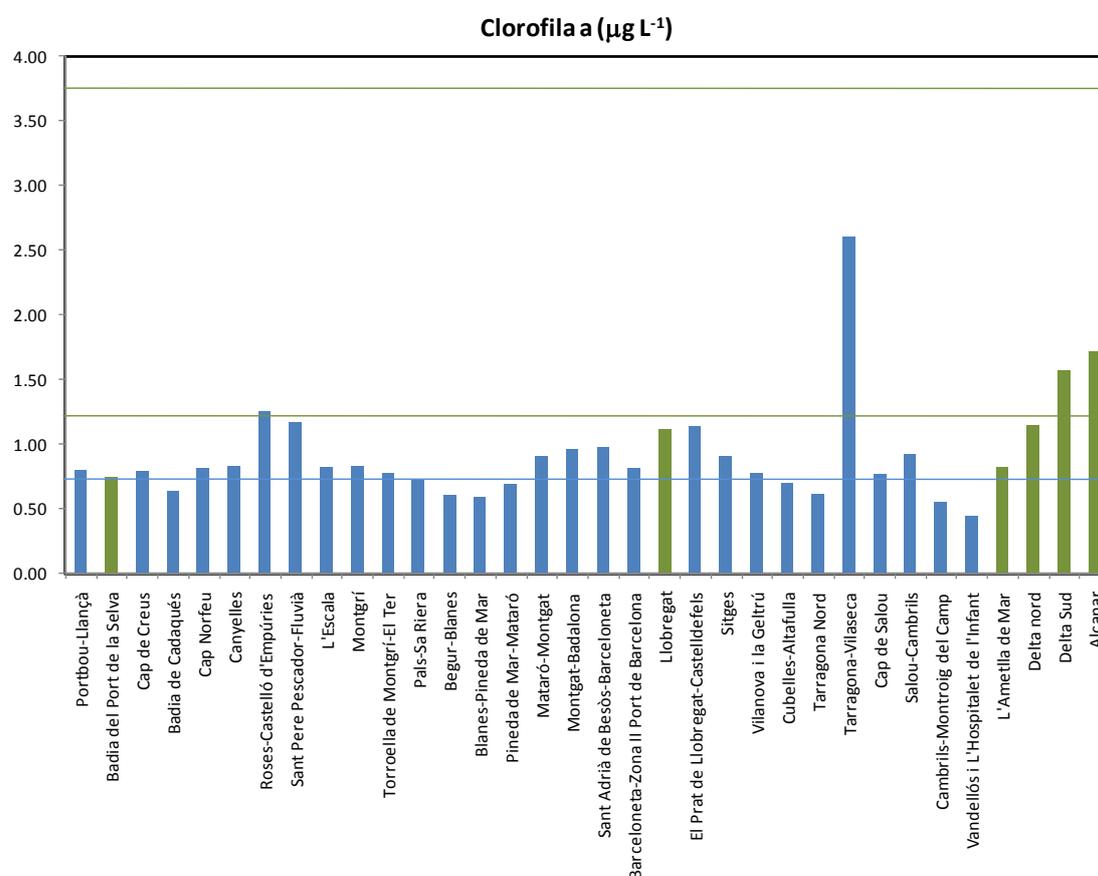


Figura 5.36. Valores medios de concentración de clorofila *a* calculados para el periodo 2007-2010 en las masas de agua costera de Cataluña (*in-shore*) según datos proporcionados por la Comunidad Autónoma. Las líneas horizontales continuas azul y verde indican los valores medios calculados para las áreas LEVC1 y LEVC2, respectivamente (Tabla 5.8). Las barras verdes corresponden a las masas de agua Tipo II.

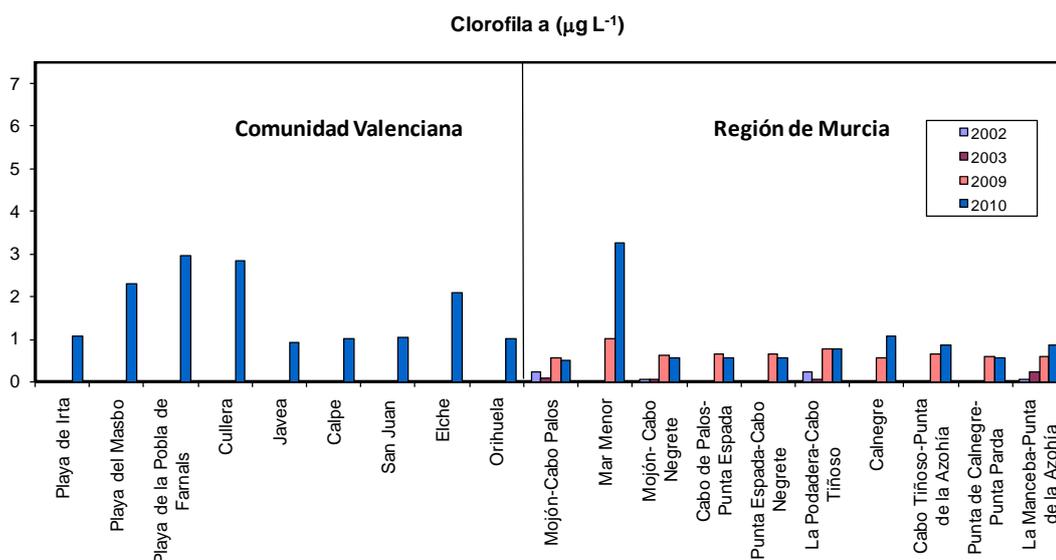


Figura 5.37. Concentración de clorofila *a* para algunas estaciones costeras (*in-shore*) de las comunidades de Valencia y Murcia. Datos tomados de WISE-SoE Marine.

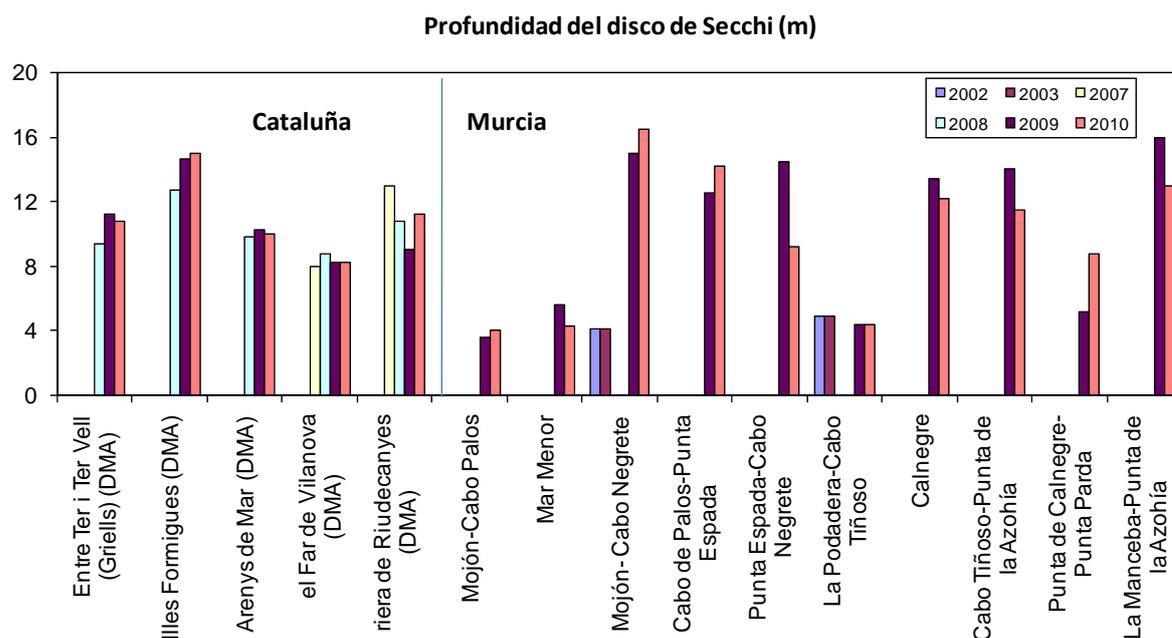


Figura 5.38. Profundidad del disco de Secchi promediada anualmente para algunas masas de agua costera de las comunidades autónomas de Cataluña y Murcia. Datos extraídos de WISE-SoE Marine (no hay datos disponibles para la Comunidad Valenciana).

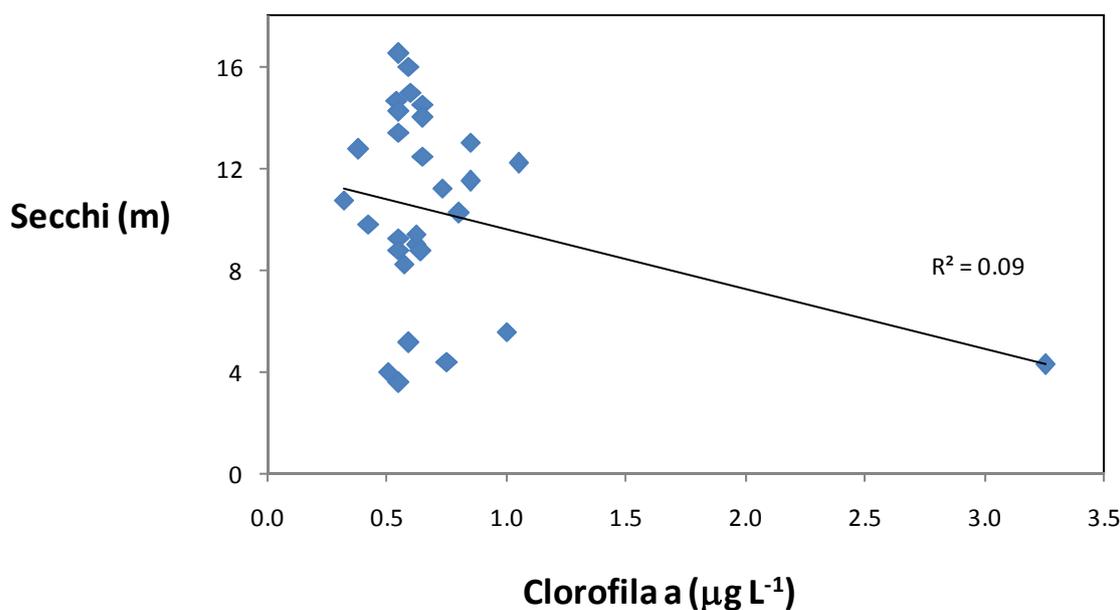


Figura 5.39. Correlación entre la concentración de clorofila *a* y la profundidad del disco de Secchi para el conjunto de datos mostrado en la Figura 5.41.

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

Según los datos reportados a WISE-SoE Marine, en ninguna de las masas de agua o estaciones costeras mostradas en las Figura 5.40 se registró una media del porcentaje de saturación de oxígeno en 2009-2010 inferior al 80%, que es el valor que normalmente se toma como umbral por debajo del cual se produce cierto déficit de oxígeno. No obstante, los datos disponibles son escasos, e insuficientes para evaluar este indicador en toda la Demarcación.

La calidad de las comunidades de macroalgas y *Posidonia* (una angiosperma autóctona del Mediterráneo considerada indicador de calidad ambiental) han sido evaluadas en las masas de agua costera de las CCAA en el marco de la aplicación de la DMA. Los resultados de esta evaluación en Cataluña se presentan en la Figura 5.41. De acuerdo con la misma, estas comunidades se encuentran en estado peor que bueno en Sitges, Villanova i la Geltrú, Cubelles, Salou-Cambrils, Mantroig del Camp y La'Ametlla de Mar. La evaluación de la DMA del elemento de calidad Macroalgas para toda la Demarcación Marina se muestra en la Figura 42. Según dicha evaluación, las únicas zonas en que las comunidades de macroalgas presentan un estado peor que bueno son las enumeradas en la Figura 5.41.

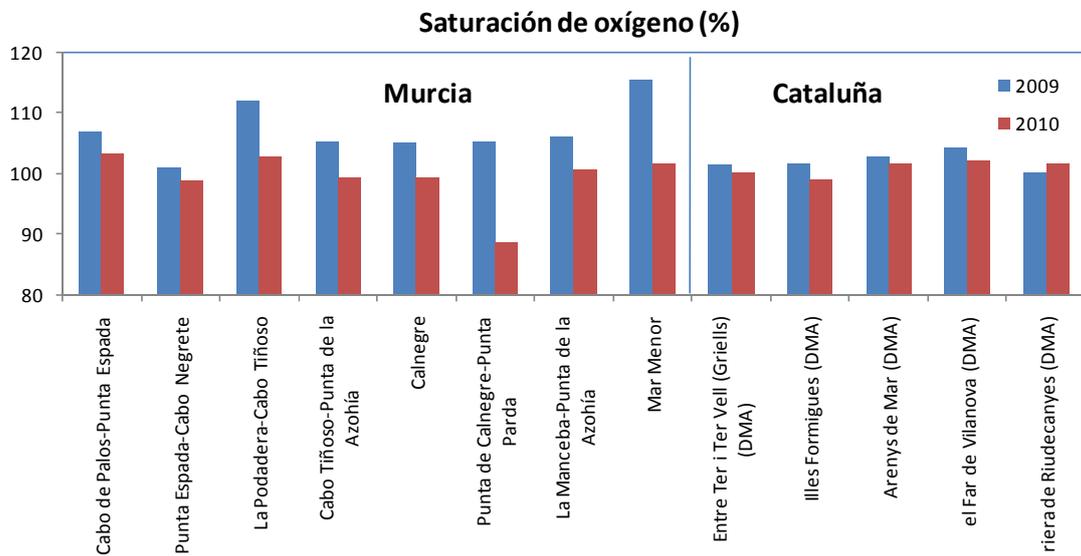


Figura 5.40. Saturación de oxígeno en algunas masas de agua costera de Murcia y Cataluña. Datos tomados de WISE-SoE Marine.

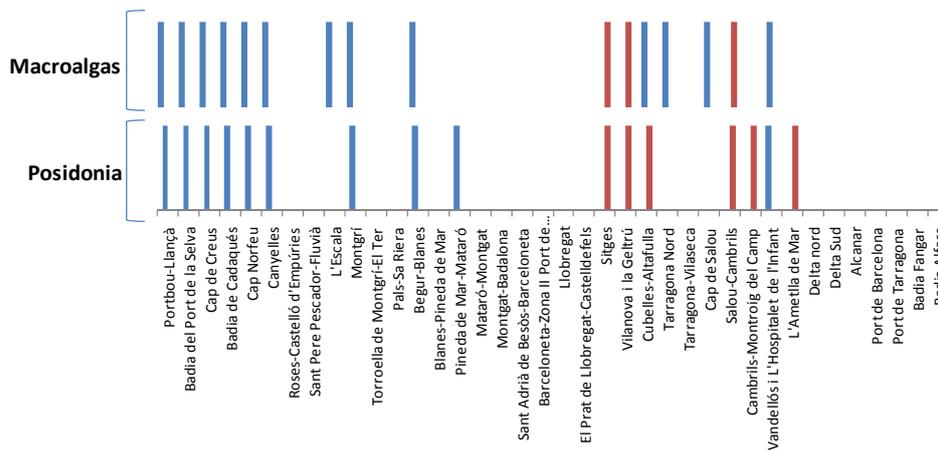


Figura 5.41. Evaluación de los elementos de calidad Macroalgas y *Posidonia* para el periodo 2007-2010, llevada a cabo por la Comunidad Autónoma de Cataluña en cumplimiento de la DMA. Las barras azules indican estado Bueno/Muy bueno; las marrones estado Moderado/Malo. Las masas de agua para las cuales no se presentan barras no han sido evaluadas por no presentar comunidades de macroalgas y/o *Posidonia*.

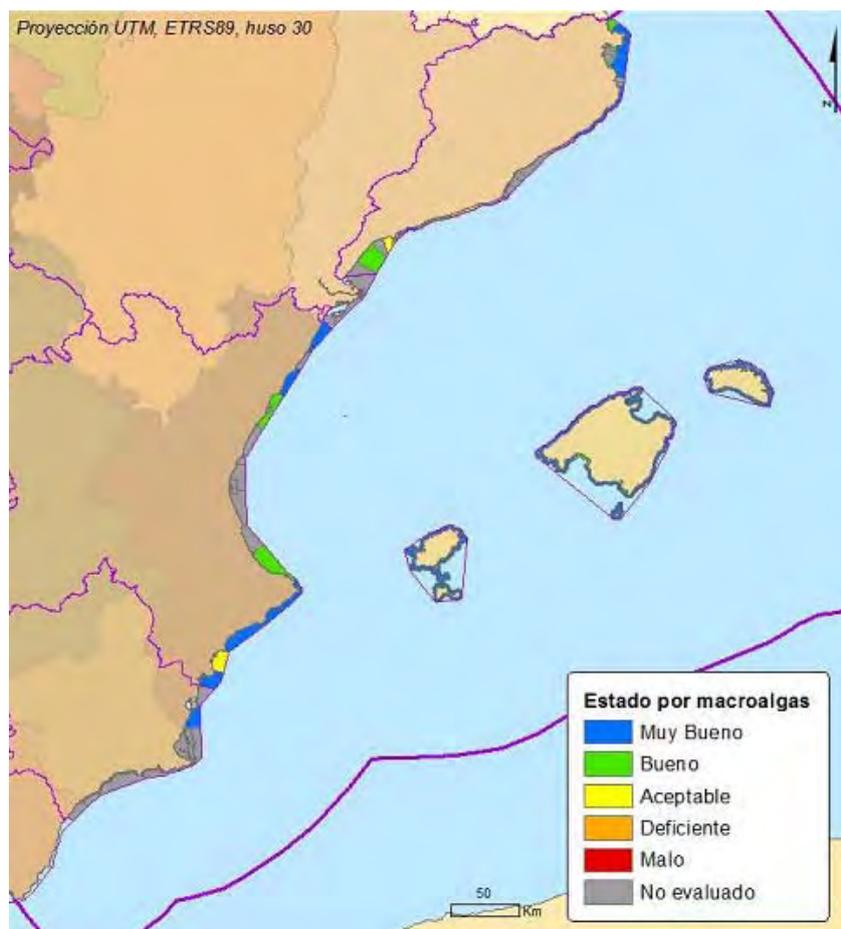


Figura 5.42. Evaluación del elemento de calidad macroalgas llevado a cabo en cumplimiento de la DMA.

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

En la estrategia MED POL de monitorización de la eutrofización se propone el uso del índice TRIX para la evaluación integrada de los indicadores de eutrofización. El índice TRIX combina valores de nutrientes, oxígeno disuelto y clorofila *a* para producir un valor de calidad ambiental en una escala de 0 a 10. Por tanto el índice incluye indicadores de presión y de efectos directos e indirectos representando una evaluación integrada de la eutrofización. La aplicación del índice TRIX al conjunto de datos mostrados no es posible debido a que la información disponible de cada uno de los indicadores es muy dispar. Por tanto, se opta por presentar una evaluación cualitativa integrada para cada grupo de indicadores que componen el descriptor.



- En las áreas alejadas de la costa así como en el área LEVC1, donde las concentraciones de nutrientes parecen depender mayormente de la dinámica hidrológica, no se obtienen tendencias significativas en la concentración de nutrientes. El análisis presentado para las áreas LEVC2 y LEVDE evidencia la incidencia de los aportes alóctonos de nutrientes. Para estas áreas, es muy probable que estos aportes procedan en buena medida de las descargas de ríos, aunque no es descartable también la incidencia de contaminación difusa y puntual. En todo caso, no se dispone de datos suficientes que permitan calcular la carga de nutrientes atribuibles a fuentes naturales (descarga de ríos) tal que se puedan calcular valores de base que tengan en cuenta estos aportes. Por otro lado, los datos disponibles tampoco permiten determinar si se ha producido o no un aumento de los nutrientes durante el periodo actual respecto a períodos previos (2005-2010). Así pues, no es posible evaluar en estas áreas las tendencias de los indicadores de eutrofización. Alternativamente, y de acuerdo con los valores de referencia utilizados por las CCAA en la implementación de la DMA, así como con los propios datos suministrados por las mismas, el umbral que define el estado Bueno/Moderado para nitrato se podría haber sobrepasado durante el periodo actual en las masas de agua costera de Torroella de Montgrí-El Ter, Sant-Adriá de Besós-Barceloneta, Llobregat, Tarragona-Vilaseca, Delta Nord y Delta Sud. Para el fosfato, los valores de referencia del estado Bueno/Moderado se podrían haber sobrepasado en Sant Adriá de Besós-Barceloneta y el Prat de Llobregat. En el resto de las masas de agua costera no hay evidencias de que los valores de referencia de nutrientes se hayan sobrepasado. Es interesante notar que estas zonas coinciden con algunas de las áreas identificadas como con moderado o alto riesgo de acumulación de nutrientes según el análisis resumido en la Figura 5.27.

Los resultados de estos análisis coinciden básicamente con las conclusiones de la evaluación del elemento de calidad físico-química que han elaborado las CCAA en aplicación de la DMA. Los resultados de esta evaluación se muestran en la Figura 5.43. Las únicas masas de agua costera que se han clasificado como en estado peor que bueno son Sant Adriá de Besòs-Barceloneta, Llobregat y Tarragona Vilaseca.

- Como ocurre con los nutrientes, no es posible estimar las tendencias temporales de la de clorofila *a* para las aguas más costeras de la Demarcación. Sin embargo, el análisis de las imágenes de satélite y de los datos *in situ*



evidencia que las áreas LEVC2 y LEVDE presentan en promedio valores de clorofila a mayores a los del área LEVC1. Este hecho sugiere que la mayor concentración de nutrientes en esas dos áreas trae consigo un mayor crecimiento del fitoplancton. Concordantemente, y según los datos suministrados por las CCAA, en algunas de las masas de agua costera donde se han encontrado altos valores de nutrientes (que se localizan en el área de productividad LEVC2) se encuentran también concentraciones relativamente altas de clorofila a (Sant-Adriá de Besós-Barceloneta, Llobregat, Tarrago-Vilaseca). Por el contrario, esto no ocurre en todas las masas de agua costera donde se superan los valores de base calculados en el presente informe para nutrientes. Así por ejemplo en la masa de agua costera de Torroella de Montgrí-El Ter se detectaron altos valores medios de nitrato pero no de clorofila a . Estos resultados indican que el aporte alóctono de nutrientes no necesariamente implica un aumento de la biomasa de fitoplancton. Debe notarse que las masas de agua costera de Sant-Adriá de Besós-Barceloneta y Tarragona-Vilaseca son clasificadas como agua tipo IIIW, esto es, con escasa influencia de los aportes de ríos. Por lo tanto, estas masas de agua costera localizadas dentro del área LEVC2, en que se encontraron valores altos de nutrientes y clorofila, presentaría problemas de eutrofización.

- Hay que notar que en el interior de la bahías de Palma y de Pollença, en las Islas Baleares, se detectan valores de clorofila de satélite mayores a la niveles de base propuestas para estas áreas (los descritos para LEVOS; Figura 5.10). Estos valores pueden estar asociados a aportes de nutrientes desde fuentes terrestres (Figura 5.27) pero no se dispone de datos de concentración en la columna de agua para contrastar esta hipótesis.
- Los datos disponibles de concentración de oxígeno se limitan a unas cuantas masas de agua en el litoral de Cataluña y Murcia, dentro de las cuales no se incluyen las masas de agua con problemas de eutrofización antes comentadas. Por lo tanto no es posible determinar si se produce una reducción de la concentración de oxígeno asociada al aumento de la productividad. Por otro lado, la relación entre el aumento de la productividad ligada a nutrientes alóctonos y la calidad de las comunidades de macroalgas y *Posidonia* no es clara desde los datos disponibles.



Tabla 5.10. Evaluación integrada de los indicadores por categorías (nutrientes, efectos directos y efectos indirectos). Se indican los criterios de evaluación utilizados para cada área de productividad: tendencia (tendencias temporales durante el período actual 2005-2010) y Valores de base (valores de base calculados en el presente informe, basados en el área de productividad LEVC1) y/o de referencia de la DMA. Debe notarse que los valores de base calculados sólo son de aplicación para las aguas costeras Tipo IIIW *near-shore*, esto es, con escasa influencia de los aportes de ríos. En azul se muestran los indicadores para los cuales no se han podido reunir datos suficientes para llevar a cabo la evaluación del estado actual.

	Indicador	LEVON	LEVOS	LEVC1	LEVC2+LEVDE
		Tendencia	Tendencia	Tendencia	Valor de base o valor de referencia para el estado Bueno/Moderado de la DMA
Nutrientes	NID Fosfato	= =	= =	= =	EXC. EXC.
Efectos directos	Clorofila	=	=	=	EXC.
	Cambio en especies				
Efectos indirectos				¿?	¿?
		Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	*Con problemas eutrofización

=; sin tendencia

EXC. Se ha excedido el valor de base en el periodo 2005-2010

OK. No se ha excedido el valor de base durante el período actual

¿?: se dispone de algunos datos pero no son suficientes para llevar a cabo la evaluación

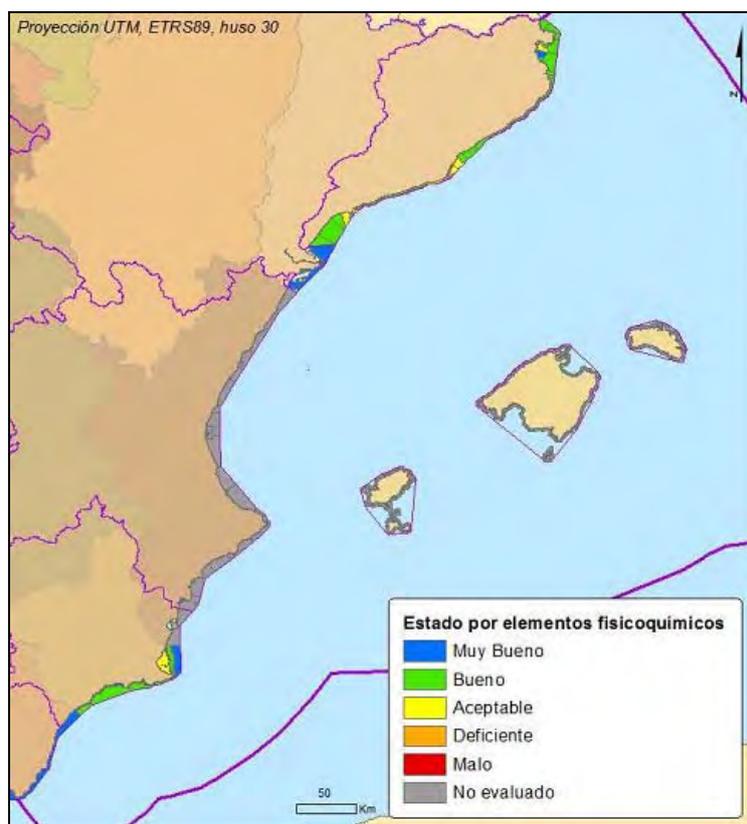


Figura 5.43. Resumen de la evaluación del elemento de calidad Fitoplancton de la DMA. Se detallan algunas de las zonas calificadas como en estado peor que bueno.

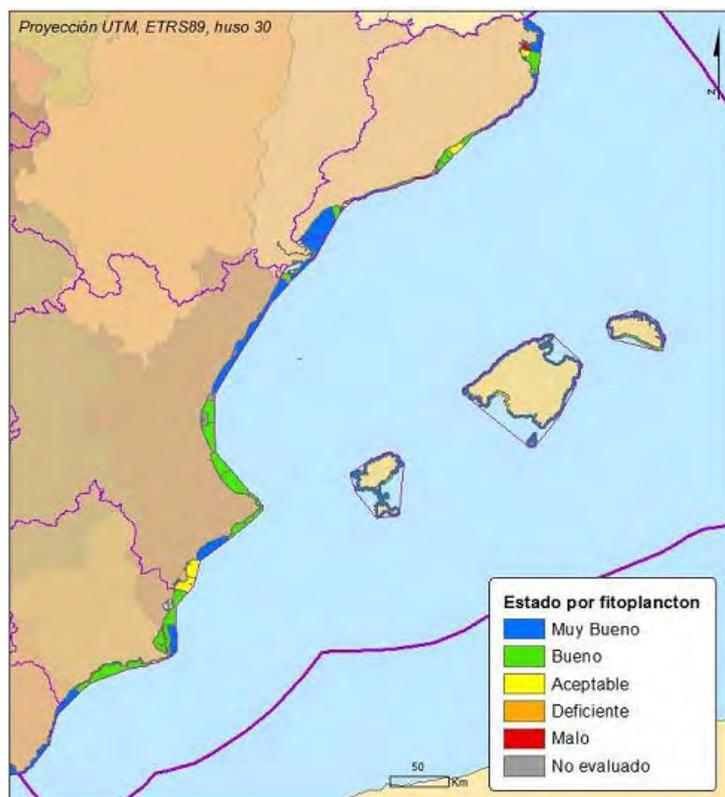


Figura 5.44. Resumen de la evaluación del elemento de calidad Físicoquímicos de la DMA. Se detallan algunas de las zonas calificadas como en estado peor que bueno.



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

En general, los datos disponibles han sido suficientes para llevar a cabo una evaluación inicial de la eutrofización. Sin embargo, existen lagunas importantes en la información disponible que deberían ser solventadas para mejorar los procesos futuros de evaluación:

- En relación con las presiones, la información cuantitativa de que se ha dispuesto (en términos de aportes de nutrientes) es escasa y se encuentra agregada espacial y temporalmente. Dada la variabilidad temporal de los indicadores de presión y de efectos directos del Descriptor 5, así como el carácter puntual (esto es limitado espacial y temporalmente) de los aportes de nutrientes procedentes de fuentes puntuales y difusas de contaminación, sólo es posible estudiar la relación funcional entre la contaminación y sus efectos en la columna de agua si se dispone de información suficientemente detallada. Esta información es crucial para determinar el origen del “exceso de nutrientes” encontrado en algunas áreas costeras, en particular en aquellas en que los aportes de agua dulce procedentes de ríos son significativos. También es necesaria para calcular valores de base de nutrientes y clorofila adecuados a las características de esas masas de agua. Es conveniente por tanto que para la próxima evaluación se cuente con datos desagregados por meses o estaciones del año de todas estas fuentes naturales y antropogénicas de nutrientes. Por otro lado, no se dispone de datos de deposición atmosférica de nutrientes en la Demarcación, con lo cual no ha sido posible evaluar su incidencia.
- Los escasos datos de que se ha dispuesto sobre concentración amonio en la columna de agua impiden valorar adecuadamente el impacto de los vertidos de aguas residuales. Muy probablemente esto se debe a las dificultades metodológicas que plantea la estimación de la concentración de amonio en agua de mar. En el mismo sentido, la información disponible de nitrógeno y fósforo total es relativamente escasa. 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 de la Demarcación.
- La información que se ha conseguido recabar sobre las comunidades de fitoplancton es en general muy reducida, a pesar de que la Administración lleva



a cabo muestreos de alta frecuencia en todo el litoral de la Demarcación, que incluyen entre otras variables la abundancia de especies potencialmente productoras de toxinas. Se requiere mayor conocimiento sobre la frecuencia y distribución de los *blooms* de fitoplancton (tóxicos o no) para poder realizar una adecuada evaluación de este componente del indicador de efectos directos. 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 monitoreo de la eutrofización.

- Algunas de las carencias comentadas pueden ser suplidas implementando un programa adecuado de monitoreo, suficientemente extenso como para abarcar todas las áreas de productividad contrastante identificadas en el presente informe. Dicho programa debería incluir todos los muestreos necesarios para contar con datos simultáneos de todos los indicadores del Descriptor de tal forma que sea posible el uso de algunos de los índices multiparámétricos disponibles para la evaluación del estado de eutrofización. La estrategia de monitoreo debería basarse en una optimización de la estrategia de seguimiento de MED POL y de la DMA, en la que se tenga en cuenta no sólo las masas de agua costeras, sino también zonas lo suficientemente alejadas de costa como para poder discernir los efectos directos de las plumas de los ríos que desembocan en la Demarcación.

2.6. Conclusiones

- (1) El análisis de las imágenes de satélite de clorofila *a* ha permitido delimitar seis áreas de productividad contrastante en la Demarcación Marina. Las áreas más productivas se han localizado en la zona costera de la mitad norte peninsular de la Demarcación (áreas denominadas en el informe LEVC2 y LEVDE). El resto de la franja costera es ocupada por el área LEVC1. De acuerdo con el análisis de las bases de datos disponible para cada una de estas áreas, así como de la información sobre la variabilidad hidrológica de meso-escala que se ha consultado, la mayor concentración promediada de clorofila en el área LEVC1 se explica por la variabilidad hidrológica. De acuerdo con esta hipótesis, se han generado valores de base de clorofila y nutrientes a partir de los datos disponibles del área LEVC1.
- (2) El análisis de los datos de nitrato recopilados para las áreas LEVC2 y LEVDE correspondientes al período 2005-2010 (su comparación con los valores de base obtenidos para el área LEVC1) evidencia que las concentraciones de nutrientes no



pueden explicarse por variabilidad hidrológica, esto es, deben tener su origen en aportes alóctonos procedentes de la escorrentía de los ríos o bien de fuentes puntuales y difusas de contaminación. Los datos de que se ha dispuesto para la elaboración del presente informe no permiten cuantificar los aportes de nutrientes alóctonos de origen natural, por tanto no permiten evaluar las áreas costeras de la Demarcación afectadas por estos aportes. Sin embargo, el análisis de los datos de las aguas costeras generados por las CCAA en cumplimiento de la DMA indica que los valores de referencia del estado Bueno/Moderado se han sobrepasado durante el período actual en algunas masas de agua localizadas en la costa de Cataluña, dentro del área LEVC2.

- (3) La concentración de clorofila *a* estimada *in situ* en las áreas LEVC2 y LEVDE es significativamente mayor a los valores de base calculados para LEVC1 (ANEXO II), lo que en general valida la información extraída del análisis de las imágenes de satélite a la vez que soporta la hipótesis de que probablemente las mayores concentraciones de nitrato en estas áreas dan lugar a un aumento de la biomasa de fitoplancton. Los datos de la DMA suministrado por las CCAA indican que los valores de referencia para el estado Bueno/Moderado sólo se sobrepasan en tres masas de agua costera localizadas en la costa de Cataluña, dentro del área de productividad LEVC2. Estos resultados indicarían que a lo largo de esta área de productividad se localizan núcleos muy limitados espacialmente con problemas de eutrofización.
- (4) Los escasos datos disponibles de concentración de oxígeno y del estado de las comunidades de macroalgas y angiospermas no permiten concluir que se estén produciendo efectos indirectos derivados del enriquecimiento de nutrientes en las áreas LEVC2 y LEVDE.
- (5) De acuerdo con la estructura del Descriptor, se puede afirmar que los efectos directos del enriquecimiento de nutrientes (no ligado a variabilidad hidrológica) se reducen a pequeños núcleos localizados en zonas de alto o moderado potencial de acumulación de nutrientes. En su conjunto, y de acuerdo con los análisis llevados a cabo, aproximadamente el 98% de la Demarcación se encuentra en BEA respecto a la eutrofización. Para el resto sería necesario disponer de más datos de las diferentes fuentes potenciales de nutrientes con el fin de delimitar cuál es el origen del exceso de nutrientes y poder así diseñar adecuadamente las medidas para mitigarlo.



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 producen 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” también 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 afectadas por aportes terrestres de nutrientes (vertidos de ríos o contaminación) que no han podido ser cuantificados. Alternativamente, se cuenta con la evaluación por comparación con valores de base definidos para las zonas de la Demarcación no afectadas potencialmente por aportes alóctonos o bien basada en los valores de referencia utilizados por las CCAA en la implementación de la DMA. 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 5.11. Como puede observarse, en la definición se recogen dos criterios: las tendencias temporales de los indicadores y los valores de base propuestos en los apartados anteriores. De acuerdo con esta definición, aproximadamente el 98% de la Demarcación Marina se encuentra en BEA para los indicadores 5.1 y 5.2 (niveles de nutrientes y efectos directos). Básicamente la superficie calificada como en BEA para estos indicadores corresponde a toda la Demarcación marina exceptuando las áreas de productividad LEVC2 y LEVDE.



Tabla 5.11. Definición del BEA de los grupos de indicadores del Descriptor 5

	Definición
Indicadores de presión	No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de nutrientes durante los últimos seis años, ni se han sobrepasado los valores de base con más frecuencia de lo esperable estadísticamente
Efectos directos	No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de clorofila <i>a</i> durante los últimos seis años, ni se han sobrepasado los valores de base con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal; no hay tendencia hacia la disminución de la transparencia ni cambios en las comunidades de algas atribuibles al enriquecimiento en nutrientes
Efectos indirectos	No se registran cambios en las comunidades de macrófitos atribuibles al aumento de la concentración de nutrientes; no hay una tendencia decreciente en la saturación de oxígeno ni se alcanzan valores inferiores al 80% más allá de lo esperable estadísticamente

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 redefinir como aquel en el cual la carga contaminante de nutrientes no produce efectos directos ni indirectos**. 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. El resultado de la aplicación de estos criterios para cada área de productividad contrastante se indica en la última fila de la Tabla 5.10. Según esta definición, el 98% de la Demarcación Marina se encuentra en BEA.



4. REFERENCIAS

- Abramic, A., González del Río, J., Martínez-Alzamora, N., Ferrer, J. 2012. Evaluation of the possibility for phytoplankton monitoring frequency reduction in the coastal waters of the Community of Valencia, in the scope of the Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin* 64:1637-1647.
- 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
- André, G., Garreau, P., Fraunié, P. 2005. Comparison between sea surface features from ocean color imagery and 3D modelling in the Gulf of Lions (Northern Mediterranean Sea). *Oceans Europe* 1078-1083. IEEE Brest, France.
- Badosa, A., Boix, D., Bruces, S., López-Flores, R. y Quintana, X.D. (2006). Nutrients and zooplankton composition and dynamics in relation to the hydrological pattern in a confined Mediterranean salt marsh (NE Iberian Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66:513-522.
- Barale, V., Masó, M., Vila, M., Lugliè, A., Sechi, N., Giacobbe, M.G. 2005. Satellite observations of bio-optical indicators related to dinoflagellates blooms in selected Mediterranean coastal regions. In: A. Marçal (eds.), *Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, 25th EARSeL Symposium*, Porto, Portugal, pp. 685-696. Millpress, Rotterdam.
- Barale, V., Jaquet, J.-M., Ndiaye, M. 2008. Algal blooming patterns and anomalies in the Mediterranean Sea as derived from the SeaWiFS data set (1998–2003). *Remote Sensing of Environment* 112:3300-3313
- Barale, V., Masó, M., Vila, M., Lugliè, A., Sechi, N., Giacobbe, M.G. 2012. Satellite observations of bio-optical indicators related to dinoflagellates blooms in selected Mediterranean coastal regions
- Basterretxea, G., Tovar-Sánchez, A., Beck, A.J., Masqué, P., Bokuniewicz, H.J., Coffey, R., Duarte, C.M., García-Orellana, J., García-Solosna, E., Martínez-Ribes, L., et al. 2010. Submarine Groundwater Discharge to the Coastal Environment of a Mediterranean Island (Majorca, Spain): Ecosystem and Biogeochemical Significance. *Ecosystems* 13:629-643.
- 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.



- Calvo, E., Simó, R., Coma, R., Ribes, M., Pascual, J., Sabatés, A., Gili, J.M., Pelejero, C. 2011. Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems: the case of the Catalan Sea. *Climate Research* 50:1-29
- Carvalho GA, Minnett PJ, Banzon VF, 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
- Comín, F.A., Menéndez, M. y Fores, E. (1987). Salinidad y nutrientes en las lagunas costeras del Delta del Ebro. *Limnetica* 3:1-8.
- Coppini, G., Lyubarstev, V., Pinardi, N., Colella, S., Santoleri, R., Christiansen, T. 2012. Chl *a* trends in European seas estimated using ocean-colour products. *Ocean Science Discussions* 9:1481-1518
- 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.
- Cotner, J.B., Suplee, M.W., Chen, N.W. y Shormann, D.E. (2004). Nutrient, sulphur and carbon dynamics in a hypersaline coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59:639-652.
- D'Ortenzio, F., Marullo, S., Ragni, M., d'Alcalá, M. R., and 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.
- D'Ortenzio F, D'Alcalá M.R. 2009. On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6, 1-10.
- Devred, E., Platt, T., and Sathyendranath, S. 2007. Delineation of ecological provinces using ocean colour radiometry, *Mar. Ecol. Progress S.*, 346, 1–7.
- Duarte CM, Agustí S, Kennedy H, Vaqué D. 1999. The Mediterranean climate as a template for Mediterranean marine ecosystems: the example of the northeast Spanish littoral. *Prog Oceanogr* 44:245–270
- Eiras-García C.A., Tavano-García 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.
- Estrada M. 1996. Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina* 60: 50-64
- Falco S., Hermosilla Z., Romero I., Martínez R., Sierra J.P., Mösso C., Mestres M. 2007. Spatial and temporal patterns of water quality in Cullera Bay. *Journal of Coastal Research* 47: 40-47.



- Flo, E., Garcés, E., Manzanera, M., Camp, J. 2011. Coastal inshore waters in the NW Mediterranean: Physicochemical and biological characterization and management implications. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93:279-289.
- Garcés, E., Basterretxea, G., Tovar-Sánchez, A. 2011. Changes in microbial communities in response to submarine groundwater input. *Marine Ecology Progress Series*, 438:47-58.
- García-Solsona, E., García-Orellana, J., Masqué, P., Rodellas, V., Mejías, M., Ballesteros, B., Domínguez, J.A. 2010a. Groundwater and nutrient discharge through karstic coastal springs (*Castelló*, Spain). *Biogeosciences* 7:2625-2638.
- García-Solsona, E., García-Orellana, J., Masqué, P., Garcés, E., Radakovitch, O., Mayer, A., Estradés, S., Basterretxea, G. 2010b. An assessment of karstic submarine groundwater and associated nutrient discharge to a Mediterranean coastal area (Balearic Islands, Spain) using radium isotopes. *Biogeochemistry* 97:211-229
- Gaudayol, O., Peter, F., Marrasé, C., Gasol, J.M., Roldán, C., Berdalet, E., Massana, R., Sabata, A. 2009. Episodic meteorological and nutrient-load events as drivers of coastal planktonic ecosystem dynamics: a time-series analysis. *Marine Ecology Progress Series* 381:139-155
- Gilabert, J. (2001). Seasonal plankton dynamics in a Mediterranean hypersaline coastal lagoon: the Mar Menor. *Journal of Plankton Research* 23:207-217.
- 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.
- González J., Romero I., Falco S., Rodilla M., Sáez M., Sierra J.P., Sánchez-Arcilla A., Möso C. 2007. Changes in phytoplankton population along the saline gradient of the Jucar Estuary and Plume. *Journal of Coastal Research*. 47: 62-67.
- Gordoa, A., Illas, X., Cruzado, A., Velásquez, Z. 2008. Spatio-temporal patterns in the north-western Mediterranean from MERIS derived chlorophyll *a* concentration. *Scientia Marina* 72: 757-767
- Granata T.C., Estrada, M., Zika, U., Merry, C. 2004. Evidence for enhanced primary production resulting from relative vorticity induced upwelling in the Catalan Current. *Scientia Marina* 68:113-119
- Hermosilla-Gómez, Z. (2009). Desarrollo metodológico para la correcta evaluación del estado ecológico de las aguas costeras de la Comunidad Valenciana, en el ámbito de la Directiva Marco del Agua, utilizando la clorofila a como parámetro indicador de la calidad. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia (Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente).



- 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
- Lazzari, P., Solidoro, C., Ibello, V., Salon, S., Terruzzi, A., Bérangers, K., Colella, S., Crise, A. 2011. Seasonal and inter-annual variability of plankton chlorophyll and primary production in the Mediterranean Sea: a modelling approach. *Biogeosciences Discussions* 8:5379-5422
- Lloret, J., Marín, A. y Marín-Guirao, L. (2008). Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78:403-412.
- Lucea A., Duarte C.M., Agustí S., Kennedy H. 2005. Nutrient dynamics and ecosystem metabolism in the Bay of Blanes (NW Mediterranean). *Biogeochemistry* 73: 303-323
- Macías, D., Navarro, G., Echevarría, F., García, C.M., Cueto, J.L. 2007. Phytoplankton pigment distribution in the northwestern Alboran Sea and meteorological forcing: A remote sensing study. *Journal of Marine Research* 65:523-543
- Mösso C., Sierra J.P., Romero I., Falco S., Cupul L., Mestres M., Hermosilla Z., González Del Río J., Sánchez-Arcilla A. 2006. Eutrophication monitoring in Cullera Bay, Spanish Mediterranean coast. *Proceedings of the IWA World Center Congress and Exhibition*. IWA Publishing, London, UK. Pp. 10-14.
- Muniz, K., Cruzado, A. y Ruiz de Villa, C. 2001. Statistical analysis of nutrient data quality (nitrate and phosphate), applied to useful predictor models in the northwestern Mediterranean Sea. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 17(3 y 4):221-231.
- Olivos-Ortíz, A., Masó-Agustina, M. y Camp-Sancho, J. 2002. Aportes continentales de nutrientes y su posible influencia sobre las relaciones estequiométricas (DIN:P:SI) en las aguas del noreste del Mediterráneo Español (Mar Catalán). *Ciencias Marinas* 4(28):393-406.
- 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
- Pérez-Ruzafa, A., Fernández, A.I., Marcos, C., Gilabert, J., Quispe, J.I. y García-Charton, J.A. 2005. Spatial and temporal variations of hydrological conditions, nutrients and



- chlorophyll a in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Hydrobiologia* 550:11–27.
- Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Bel-Lan, A., Moreno, V. y Gutiérrez, J.M. 1996. New approach to chlorophyll a determination in shallow coastal waters by remote sensing. *Scientia Marina* 60(1):19-27.
- 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
- Puigserver, M., Ramon, G., Moyá, G. y Martínez-Taberner, A. 2002. Planktonic chlorophyll a and eutrophication in two Mediterranean littoral systems (Mallorca Islands, Spain). *Hydrobiologia* 475/476:493-504.
- Sabatés, A., Olivar, P., Salat, J., Palomera, I., Alemany, F. 2007. Physical and biological processes controlling the distribution of fish larvae in the NW Mediterranean. *Progress in Oceanography* 74:355-376
- Salas, F., Marcos, C., Neto, J.M., Patrício, J., Pérez-Ruzafa, A. y Marques, J.C. 2006. User-friendly guide for using benthic ecological indicators in coastal and marine quality assessment. *Ocean & Coastal Management* 49:308–331.
- Salat J. 1996. Review of hydrographic environmental factors that may influence habitats in northwestern Mediterranean. *Scientia Marina* 60: 21-32
- Scharek R, Latasa M, Massana R, Balagué V (2007) Comparing microphytoplankton seasonality after 50 years at a coastal site in the northwest Mediterranean. In: Effects of climate change on the world's oceans. PICES Secretariat, Sydney
- Sebastiá, M.T., Rodilla M., Sanchís, J.-A., Altur, V., Gadea, I., Falco, S., 2012. Influence of nutrient inputs from a wetland dominated by agriculture on the phytoplankton community in a shallow harbour at the Spanish Mediterranean coast. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 152:10-20
- Segura-Nogueira, M., Cruzado, A. y Blasco, D. 2011. Nutrient preservation, analysis precision and quality control of an oceanographic database of inorganic nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll a from the NW Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 75(2):321-339.
- 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
- Sierra J.P., Sánchez-Arcilla A., González Del Río J., Flos J., Movellán E., Mösso C., Martínez M., Rodilla M., Falco S., Romero I. 2002. Spatial distribution of nutrients in the Ebro estuary and plume. *Continental Shelf Research* 22: 361-378.



- The MERMEX group, 2011, Marine Ecosystems Responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean, *Progress In Oceanography*, Volume 91, Issue 2, October 2011, Pages 97-166
- Vantrepotte, V., Mélin, F. 2010. Temporal variability in SeaWiFS derived apparent optical properties in European seas. *Cont. Shelf Res.*, 30, 319-334, 10.1016/j.csr.2009.11.012.
- Velasco, J., Lloret, J., Millán, A., Marín, A., Barahona, J., Abellán, P. y Sánchez-Fernández, D. 2006. Nutrient And Particulate Inputs Into The Mar Menor Lagoon (Se Spain) From An Intensive Agricultural Watershed. *Water, Air, & Soil Pollution* 176(1-4):37-56.
- Vila-Reixach, G., Gasol, J.M., Cardelús, C., Vidal, M. 2012. Seasonal dynamics and net production of dissolved organic carbon in an oligotrophic coastal environment. *Marine Ecology Progress Series* 456:7-19
- 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.

Convenio de Barcelona: Convenio para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación firmado en 1976. En 1995 el Convenio de Barcelona fue reformado pasando a denominarse Convenio para la protección del medioambiente marino y la región costera del Mediterráneo.

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

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

DMA: Directiva Marco del Agua.

DMEM: Directiva Marco sobre la Estrategia Marina.

DHE: Demarcación Hidrográfica del Ebro.

DHCIC: Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña.

DHIB: Demarcación Hidrográfica de las Islas Baleares.

DHJ: Demarcación Hidrográfica del Júcar.

DHS: Demarcación Hidrográfica del Segura.

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 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*.

MED POL: Herramienta científico-técnico desarrollada en el marco del Convenio de Barcelona con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo de estudiar y desarrollar programas de seguimiento de la contaminación. La eutrofización es uno de los componentes de MED POL. En sus primeras fases, MED POL se centró en la cuantificación y seguimiento de las fuentes de contaminación con origen en tierra, prestando menos atención a sus efectos sobre el medio marino. Este enfoque se amplió en 2005 para cubrir también el objetivo de hacer un seguimiento de la calidad del medio marino desde una aproximación basada en el ecosistema. MED POL entró entonces en la denominada Fase IV. La estrategia MED POL sobre eutrofización incluye la definición de las variables obligatorias que deben ser reportadas por cada país así como recomendaciones para el desarrollo de los programas de seguimiento.

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.



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

Si:P : Razón molar silicato:fosfato.

Anexo III. 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) no son utilizados 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 a algo menos de 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.

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 que en el Mediterráneo los datos de color del océano están afectados por un problema de calibración (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 un 30% en promedio 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* para las diferentes áreas de productividad es altamente significativa (Figura 5.45), por lo que se puede afirmar que los datos de satélite reproducen adecuadamente el ciclo anual de productividad descrito en la Demarcación, así como los principales gradientes espaciales de distribución. Así de hecho también lo indican los trabajos publicados en que se ha usado del satélite para describir patrones de variabilidad de la clorofila en el Mediterráneo (André et al., 2005; Barale et al., 2005; 2008; Lazzari et al., 2011; TheMERMEX Group, 2011; Coppini et al., 2012). En promedio, la incertidumbre asociada a la clorofila de satélite es de aproximadamente $\pm 26\%$ respecto a los datos *in situ*. No obstante, hay que notar que esta es sustancialmente mayor para el área de productividad LEVDE, por cuanto el valor promedio de clorofila de satélite para esta área es casi el doble que el calculado a partir de los datos *in situ*. Este hecho indicaría que el algoritmo OC3M tiende a sobreestimar la clorofila a en esta área costera. Dada la localización del área LEVDE, es posible que esta desviación se deba a la alteración de las características ópticas de estas aguas por la influencia de las descargas de ríos. Como se ha comentado previamente, el algoritmo OC3M no es adecuado para calcular concentración de clorofila a partir de satélite en aguas Tipo II.

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 Alborán 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 premisas: (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.



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 Levantino-Balear, 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) 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).

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.

Tabla III-1. Descripción estadística de las series temporales de datos de nitrato, nitrito y amonio recopiladas para la evaluación del Descriptor 5

Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	805	8,9	0,04	0,2	0,09	0,04	0,3	0,6
LEVON	774	8,9	0,04	0,4	0,12	0,04	0,9	0,8
LEVC1	331	9,6	0,04	0,8	0,2	0,04	2,0	1,5
LEVC2	100	8,0	0,08	2,01	1,5	0,4	4,3	1,7
LEVDE	36	9,8	0,1	2,3	1,8	1,8	5,1	2,1
LEVMM	121	7,2	0,1	0,91	0,4	0,1	2,3	1,5

Nitrito ($\mu\text{mol L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	518	1,2	0,04	0,08	0,04	0,04	0,15	0,12
LEVON	649	3,0	0,04	0,10	0,04	0,04	0,16	0,20
LEVC1	323	1,1	0,04	0,12	0,07	0,04	0,26	0,15
LEVC2	52	0,86	0,02	0,13	0,09	0,09	0,13	0,15
LEVDE	57	0,87	0,04	0,13	0,12	0,12	0,18	0,11
LEVMM	148	4,5	0,04	0,39	0,08	0,04	0,90	0,83



Amonio ($\mu\text{mol L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-
LEVON	32	1,08	0,04	0,11	0,04	0,04	0,20	0,20
LEVC1	21	0,45	0,06	0,29	0,28	0,28	0,43	0,10
LEVC2	50	0,82	0,04	0,16	0,13	0,15	0,23	0,15
LEVDE	43	5,0	0,04	0,30	0,08	0,04	0,61	0,77
LEVMM								

*En rojo se indican las masas de agua para la que no se han podido recopilar datos

Tabla III-2. Descripción estadística de las series temporales de datos de fosfato y silicato recopiladas para la evaluación del Descriptor 5

Fosfato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	802	2,0	0,04	0,07	0,04	0,04	0,10	0,10
LEVON	936	2,5	0,04	0,07	0,04	0,04	0,10	0,12
LEVC1	379	0,91	0,04	0,07	0,05	0,04	0,15	0,08
LEVC2	211	1,6	0,04	0,13	0,09	0,04	0,21	0,16
LEVDE	136	3,1	0,04	0,17	0,08	0,04	0,19	0,40
LEVMM	144	3,7	0,04	0,18	0,08	0,05	0,26	0,42

Silicato ($\mu\text{mol L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	846	9,2	0,04	1,2	0,90	0,67	2,4	0,89
LEVON	1264	9,3	0,04	1,04	0,76	0,71	1,9	0,86
LEVC1	331	9,1	0,07	1,5	1,1	0,80	3,1	1,3
LEVC2	270	6,6	0,10	2,7	2,6	2,5	4,3	1,2
LEVDE	141	9,0	0,10	3,4	3,2	3,1	5,4	1,5
LEVMM	51	9,4	0,60	2,9	1,6	1,6	7,4	2,7



Tabla III-3. Descripción estadística de las series temporales de datos de clorofila *a* recopiladas para la evaluación del Descriptor 5

Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)								
	n	max	min	media	mediana	moda	perct90	DE
LEVOS	634	1,6	0,04	0,12	0,06	0,03	0,26	0,16
LEVON	1233	3,7	0,04	0,29	0,17	0,07	0,60	0,38
LEVC1	241	8,1	0,04	0,69	0,28	0,10	1,8	1,2
LEVC2	270	7,9	0,04	1,2	1,0	0,20	2,0	1,0
LEVDE	165	5,1	0,10	1,4	1,3	1,7	2,3	0,79
LEVMM	223	3,6	0,06	0,31	0,20	0,20	0,6	0,33

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* recopilados. En la Tabla III-4 se muestran los resultados de las comparaciones entre las seis áreas de productividad contrastante. Así mismo, se presentan los resultados de estos análisis para nitrato y fosfato (Tablas III-5 y III-6).



Tabla III-4. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de clorofila *a in situ* entre las seis áreas de productividad contrastantes

Clorofila a					
	LEVON	LEVC1	LEVC2	LEVDE	LEVMM
LEVOS	***	***	***	***	***
LEVON		***	***	***	ns
LEVC1			***	***	***
LEVC2				***	***
LEVDE					***

ns: diferencias no significativas ($p > 0.05$); ***: $p < 0.0001$; **: $p < 0.001$; *: $p < 0.05$

Tabla III-5. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de nitrato *a in situ* entre las seis áreas de productividad contrastantes

Nitrato					
	LEVON	LEVC1	LEVC2	LEVDE	LEVMM
LEVOS	***	***	***	***	***
LEVON		***	***	***	ns
LEVC1			***	***	***
LEVC2				ns	***
LEVDE					***



Tabla III-6. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de nitrato *a in situ* entre las seis áreas de productividad contrastantes

Fosfato					
	LEVON	LEVC1	LEVC2	LEVDE	LEVMM
LEVOS	***	ns	ns	***	***
LEVON		***	***	***	***
LEVC1			***	***	***
LEVC2				***	***
LEVDE					ns

Análisis de tendencias temporales

Para la determinación de tendencias temporales de los indicadores en las áreas LEVOS, LEVON y LEVC1 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). Para las variables en las que no se dispuso de datos suficientes para llevar a cabo este análisis de tendencias, la significancia estadística de las diferencias entre el período actual (2005-2010) y el previo se contrastaron comparando ambas series de datos mediante el test no paramétrico de Kluskal-Wallis. El nivel de probabilidad escogido para determinar la significancia estadística fue $p = 0,05$.