



ESTRATEGIA MARINA
DEMARCACIÓN MARINA SUDATLÁNTICA
PARTE IV. DESCRIPTORES DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL
DESCRIPTOR 5: EUTROFIZACIÓN
EVALUACIÓN INICIAL Y BUEN ESTADO AMBIENTAL
EVALUACIÓN INICIAL Y BUEN ESTADO AMBIENTAL



Madrid, 2012



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

AUTORES DEL DOCUMENTO

Instituto Español de Oceanografía:

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

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Alejandro León

COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

Demetrio de Armas

Juan Bellas

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

José Luis Buceta Miller

Felipe Martínez Martínez

Ainhoa Pérez Puyol

Sagrario Arrieta Algarra

Jorge Alonso Rodríguez

Ana Ruiz Sierra

Javier Pantoja Trigueros

Mónica Moraleda Altares

Víctor Escobar Paredes



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

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

NIPO: 280-12-175-8



DESCRIPTOR 5: EUTROFIZACIÓN

Índice

1. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EVALUACIÓN DEL DESCRIPTOR	1
1.1. Incorporación de los trabajos de OSPAR y de la DMA	1
1.2. Escala espacial y temporal.....	3
1.3. Principales presiones e impactos	12
1.4. Fuentes de información.....	17
1.4.1. Programas de seguimiento.....	17
1.4.2. Fuentes de información.....	18
1.4.3. Otras fuentes de información.....	21
2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL	22
2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación	22
2.2. Elementos de evaluación.....	23
2.3. Determinación de niveles de base	27
2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos. ...	37
2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones.....	37
2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión.....	40
2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos	44
2.4.4. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos indirectos... ..	47
2.4.5. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor.....	48
2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento	51
2.6. Conclusiones.....	53
3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL.....	55
3.1. Interpretación del BEA en relación con los criterios del Descriptor 5	55
4. REFERENCIAS	58
5. ANEXOS	63
Anexo I. Glosario de términos y acrónimos.....	63
Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento	65



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 Marina Sudatlántica se exponen a continuación.

1.1. Incorporación de los trabajos de OSPAR y de la DMA

Como se ha comentado anteriormente, OSPAR ha emitido hasta la fecha dos informes integrados sobre el estado de eutrofización, que incluye sendas evaluaciones del área marítima de la Demarcación Marina Sudatlántica. La primera de estas evaluaciones está basada en datos del período 1991-2001 y la segunda en datos obtenidos de 2001 a 2005 (OSPAR, 2001, 2008). Aunque escasos, estas evaluaciones recogen datos sobre la carga de nutrientes y clorofila *a* de la Demarcación Marina así como una propuesta de valores de referencia para algunos de los indicadores y otra información adicional de interés. Las conclusiones de las evaluaciones y el resto de información comentada han sido utilizadas en el presente informe para la descripción y evaluación del estado actual y la definición del BEA del Descriptor 5. Además del uso de estos datos, el Procedimiento Común ha sido tenido en cuenta en la evaluación del Descriptor 5 en los siguientes aspectos:

- Las recomendaciones de la Estrategia de Eutrofización de OSPAR para la evaluación cuantitativa y/o cualitativa de cada uno de los indicadores del Descriptor 5 (o del parámetro armonizado equivalente). En especial se han tenido en cuenta las recomendaciones del comité HASEC recogidas en el documento *Development of advice on GES descriptor 5 (eutrophication)* (OSPAR, 2011) aun cuando se encuentra en su fase de borrador.



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

Por otro lado, y para las masas de agua costeras, se ha sido asumido la evaluación realizada por la Comunidad Autónoma en aplicación de la DMA. En particular, la integración de los trabajos llevados a cabo en cumplimiento de la DMA en la evaluación del Descriptor 5, se ha realizado en las siguientes fases:

1. En la Evaluación del Estado Actual, se ha tenido en cuenta la zonación de la franja costera para la descripción de las presiones, tal como se recoge en las Memorias de los proyectos de planes hidrológico de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas que presentan masas de agua costera localizadas en la Demarcación Marina (de oeste a este Demarcaciones Hidrográficas del Guadiana, del Río Tinto, Odiel y Piedra, del Guadalquivir y del Guadalete-Barbate). Por otro lado, se han incorporado al análisis los datos que la Comunidad Autónoma Andaluza ha generado en la implementación de la DMA a través del instrumento técnico que ha empleado para ello (el denominado Plan de Policía de Aguas). Estos datos se han usado en la medida en que se han hecho disponibles a través de informes y documentos oficiales, así como a través del Marine Water Data Center (WISE-SoE Marine).
2. En la definición del Buen Estado Ambiental, se han tomado como valores de referencia de clorofila α los publicados en la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre).

En la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008 de 10 de septiembre) se especifica la tipología de masas de agua en las que se deben clasificar las aguas costeras de cada demarcación hidrográfica. Así mismo, se publicaron las condiciones de referencia para el indicador de calidad Fitoplancton. A lo largo de 2011 se han dispuesto a consulta pública las memorias de los nuevos planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas que presentan masas de agua costera dentro de la Demarcación Marina Sudatlántica. En estos documentos se recogen todas las directrices emanadas de la Instrucción de Planificación Hidrológica (en definitiva, de la DMA).



1.2. Escala espacial y temporal

En el Golfo de Cádiz, el forzamiento atmosférico e hidrológico configura áreas oceánicas con diferente productividad que se caracterizan no sólo por una mayor o menor concentración de clorofila anual, sino también por diferencias en la intensidad y duración de los picos estacionales (Prieto et al., 1999; Echevarría et al., 2002; Huertas et al., 2006; Navarro et al., 2006; Reul et al., 2006; Criado-Aldeanueva et al., 2009; Navarro y Ruíz, 2006; Echevarría et al., 2009; Afounso et al., 2010; Navarro et al., 2011; Ramírez-Romero et al., 2012). En particular, aumentos de la productividad ligados a afloramientos inducidos por vientos del oeste han sido descritos en el sector noroeste de la Demarcación. La extensión e intensidad de los afloramientos es variable dependiendo de la intensidad de los episodios de viento y de la época del año (García-Lafuente y Ruíz, 2007). A esta variabilidad hidrológica hay que unir la debida a la influencia de los ríos que desembocan en la franja costera de la Demarcación, destacan las plumas del Guadalquivir y el Guadiana, que presentan una zona de influencia relativamente amplia y no limitada en principio estrictamente a la zona de la desembocadura (Ribas-Ribas et al., 2011; Caballero y Navarro, 2011). Así lo demuestran los mapas de distribución horizontal de la temperatura de satélite (Figura 5.1), que indican la presencia de un gradiente de temperatura casi permanente desde costa hacia mar adentro en la zona comprendida entre la desembocadura del Guadalquivir y la de los ríos Tinto y Odiel. El efecto de los aportes de agua desde estos ríos es particularmente notorio desde mayo a septiembre, cuando se detecta una masa de agua relativamente cálida asociada a la franja costera.

Bajo el punto de vista de la evaluación de la eutrofización en la demarcación es evidente que es preciso identificar estas áreas de productividad contrastante para describir un marco *esperable* (o si se quiere valores de base de clorofila *a*) que permita determinar la presencia de núcleos con alta productividad atribuibles en su caso a contaminación por nutrientes. La definición de estas áreas de productividad contrastante requiere el empleo de series temporales de datos con una alta resolución temporal, que sea además homogénea espacialmente. Los datos procedentes de campañas oceanográficas no cumplen estos requisitos ya que normalmente sólo se cuenta con muestreos puntuales o bien el esfuerzo de muestreo en unas zonas y otras es muy desigual. Por el contrario, las imágenes de satélite sí ofrecen una aproximación sinóptica de toda la demarcación con una alta resolución temporal. Es por esto que decidimos utilizar esta herramienta para llevar a cabo la de identificación de las áreas de productividad contrastante. El potencial de las imágenes de satélite para describir la variabilidad espacial y temporal de la clorofila *a* en 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 Prieto et al., 1999; Echevarría et al., 2002; Huertas et al., 2006; Navarro et al., 2006; Reul et al., 2006; Criado-Aldeanueva et al., 2009; Navarro y Ruíz, 2006; Echevarría et al., 2009; Afounso et al., 2010; Navarro et al., 2011; Ramírez-Romero 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), 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 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). Para solventar en lo posible estas limitaciones, se ha propuesto el uso de 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). Sin embargo, la incertidumbre podría ser aún mayor para las aguas costeras en las que el material particulado no algal o las sustancias coloreadas disueltas (que pueden alcanzar la costa por vía de la escorrentía de ríos y arroyos) modifican las propiedades ópticas de la columna de agua. Banks et al. (2012) discutieron ampliamente las limitaciones de las imágenes de satélite para reproducir los valores de concentración de clorofila a en masas de agua costera tipo II (esto es, en aguas donde el fitoplancton no es el principal componente que determina las propiedades ópticas de la columna de agua). Como alternativa al uso de los productos de satélite derivados de algoritmos globales, los autores propusieron utilizar la información de satélite en el marco de modelos biogeoquímicos más complejos basados en información sobre la estructura de la comunidad planctónica. Para la Demarcación Sudatlántica no ha sido posible el desarrollo de un algoritmo regional debido a que los datos de clorofila a *in situ* que se han conseguido recopilar han sido insuficientes, particularmente para las zonas costeras. Tampoco es posible desarrollar la aproximación propuesta por Banks et al. (2012), debido a que la información de que se dispone es incompleta y fragmentaria. 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 las áreas potencialmente más productivas, sin que en ningún caso se proponga su uso extensivo para la



determinación de valores de referencia o de base de clorofila α . No obstante, hay que señalar que Caballero y Navarro (2011) encontraron una buena correlación entre los productos derivados del satélite MODIS-Aqua y sus valores *in situ* en el estuario del río Guadalquivir.

La distribución de la clorofila α de satélite obtenida a partir del promedio de los valores proporcionados por el satélite MODIS-AQUA desde 2002 hasta 2010 (Figura 5.2) permite distinguir áreas con concentración de clorofila α de satélite muy contrastante en la Demarcación. En particular, la mayor productividad se encuentra en la franja costera donde la influencia de los ríos antes mencionados es también mayor. Nótese que la zona costera localizada entre la bahía externa de Cádiz y el límite oriental de la Demarcación es bastante menos productiva (si se exceptúa la propia bahía de Cádiz), aunque también se aprecia un cierto gradiente decreciente de productividad de costa hacia mar adentro. A la variabilidad horizontal en la concentración de clorofila α , se une la variabilidad estacional (Figura 5.3). De acuerdo con los promedios mensuales de clorofila, el período más productivo se extiende de marzo a mayo. Es interesante notar que incluso durante los meses menos productivos (junio, julio y agosto), la concentración de clorofila α en la franja costera antes mencionada se mantiene relativamente alta.

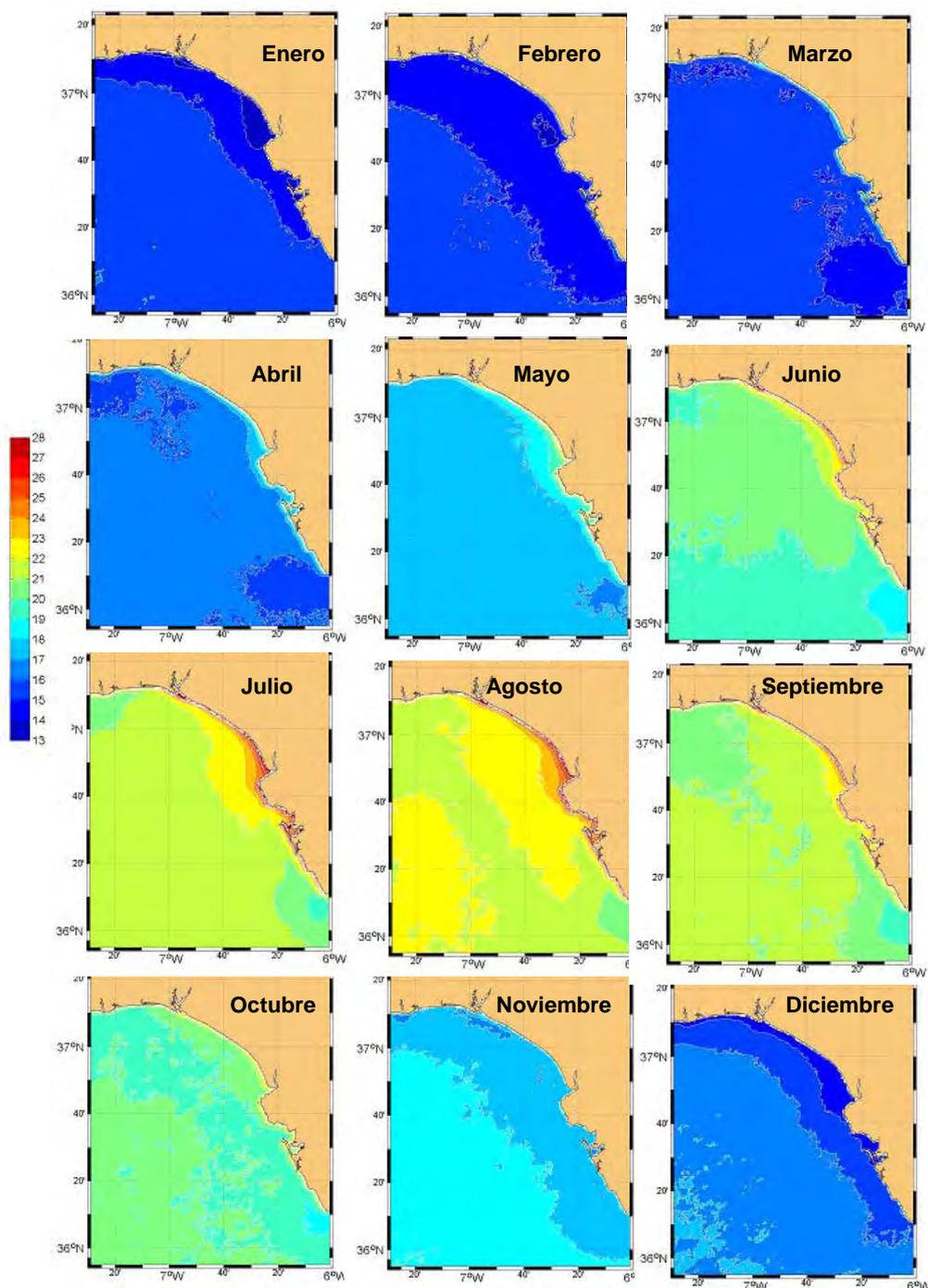


Figura 5.1. Variabilidad mensual de la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$) en la demarcación Sudatlántica. Las medias mensuales han sido calculadas a partir de los datos proporcionados por el satélite MODIS-Aqua durante el período 2002-2010.

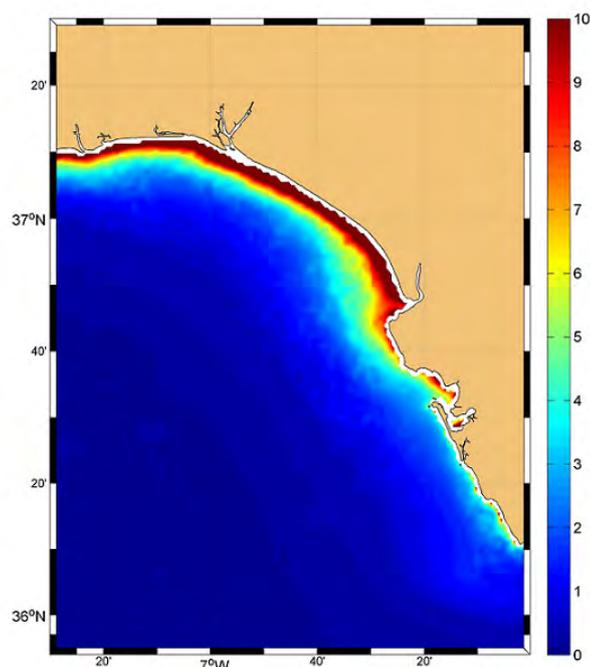


Figura 5.2. Distribución de la concentración de clorofila *a* de satélite en la Demarcación Sudatlántica, estimada a partir de los datos promediados proporcionados por MODIS-Aqua para el periodo 2002-2010.

En resumen, las imágenes de satélite demuestran que en la demarcación se encuentran áreas con productividad muy contrastante. La identificación de estas áreas es necesaria para describir un marco *esperable* (o si se quiere valores de base de clorofila *a*) que nos permita delimitar los núcleos con alta productividad y en su caso, cuál puede ser el origen de la misma (variabilidad hidrológica, descargas de los ríos o contaminación). La definición de estas áreas de productividad contrastante requiere el empleo de series temporales de datos con una alta resolución temporal, que sea además homogénea espacialmente. Los datos procedentes de campañas oceanográficas no cumplen estos requisitos ya que normalmente sólo se cuenta con muestreos puntuales o bien el esfuerzo de muestreo en unas zonas y otras es muy desigual. Por el contrario, las imágenes de satélite sí ofrecen una aproximación sinóptica de toda la demarcación con una alta resolución temporal. Es por esto que decidimos utilizar esta herramienta para llevar a cabo la identificación de las áreas de productividad contrastante.

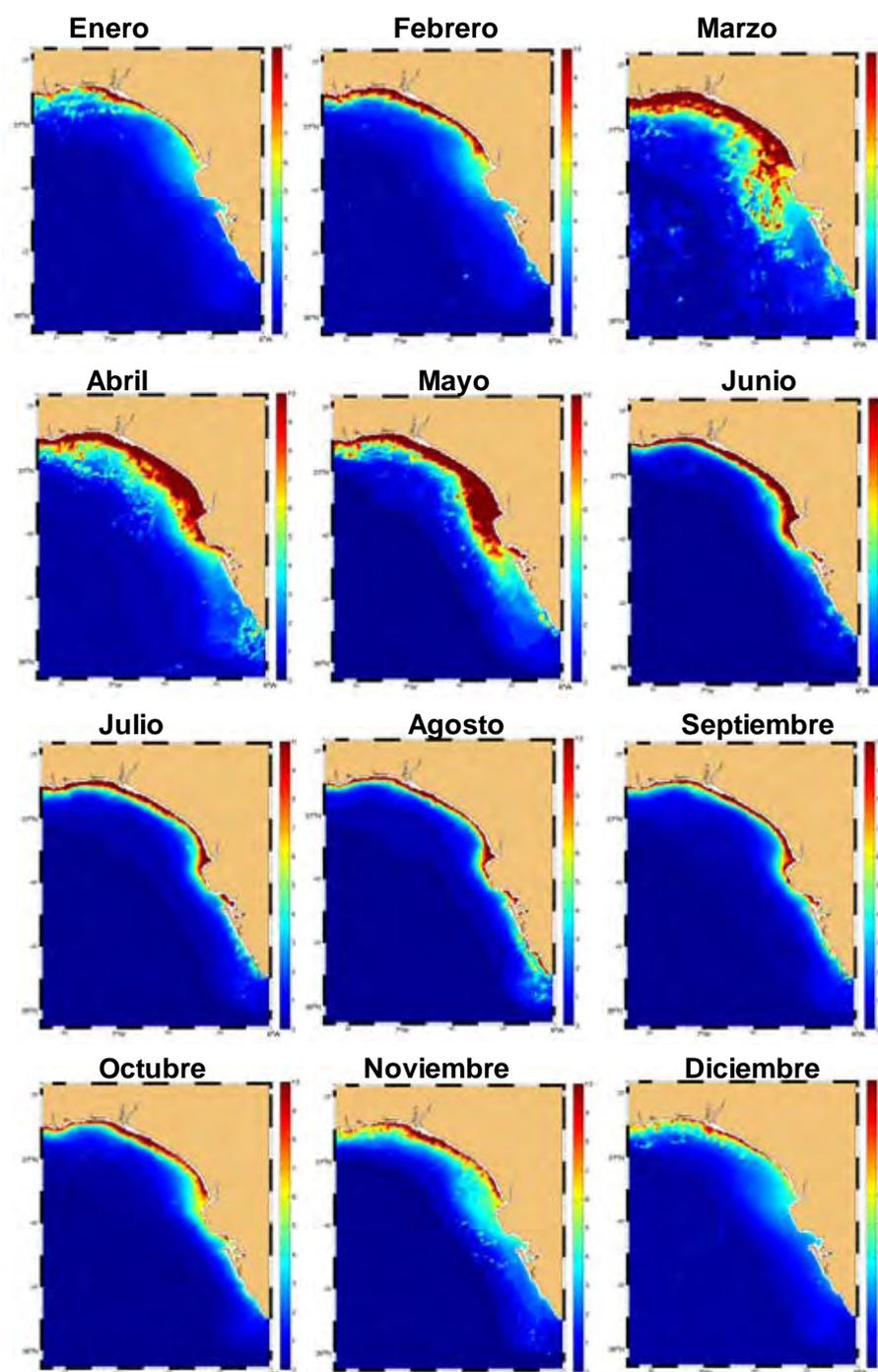


Figura 5.3. Distribución mensual de la clorofila a de satélite calculada a partir del promedio del período 2002-2010 (satélite Modis-Aqua).

Escala temporal

De acuerdo con la información obtenida desde imágenes de satélite (Figura 5.3), la clorofila a en la Demarcación Marina Sudatlántica presenta un ciclo estacional caracterizado por una mayor producción de marzo a mayo y valores relativamente



bajos durante el resto del ciclo anual, especialmente en verano. Es muy probable también que la producción primaria y las comunidades de fitoplancton presenten un patrón de variabilidad interanual caracterizado por la sucesión de ciclos de productividad alta seguidos por períodos menos productivos. Así se ha descrito en áreas cercanas como el mar de Alborán, donde la duración de los ciclos oscila entre tres y cuatro años (Mercado *et al.*, 2005, 2007). Sin embargo, la información publicada sobre la variabilidad interanual de la clorofila *a* y el fitoplancton en la Demarcación es escasa.

Idealmente el estudio de las tendencias de los indicadores de eutrofización debería estar basado en series temporales suficientemente largas como para integrar toda esta variabilidad. Teniendo en cuenta este hecho, se ha optado por no limitar temporalmente la serie de datos utilizada para establecer las condiciones de referencia respecto a la cuales comparar el estado actual. Dicho de otro modo, en la evaluación se han utilizado todos los datos disponibles sin acotar temporalmente la serie. Por el mismo motivo, y siguiendo las pautas que la propia DMEM marca para la re-evaluación de los Descriptores, se ha optado por considerar como “estado actual” el definido por el período 2005-2010.



Figura 5.4. Masas de agua costera identificadas en la Demarcación Sudatlántica en cumplimiento de la DMA.

Otras escalas espaciales y de zonación consideradas en la evaluación

Como resultado de la Directiva Marco del Agua, los Estados Miembros llevaron a cabo una zonación de sus aguas costeras. Las masas de agua costeras identificadas en la Demarcación Sudatlántica en el marco de la aplicación de la DMA se muestran en la Figura 5.4.

Por otro lado, en la Instrucción de Planificación Hidrológica se establece que las aguas costeras (*sensu* DMA) de la Demarcación pertenecen a uno de los siguientes tres tipos: 13, 19 y 20 (excluyendo las aguas calificadas como muy modificadas). Los tres tipos incluyen masas de agua someras (profundidad menor a 40 m) y con fondo arenoso o mixto (masa 20). Las masas tipo 13 y 20 se caracterizan por presentar influencia



mediterránea, mientras que la masa 19 presenta una alta influencia de agua dulce. En cuanto a su exposición al oleaje, las masas 14 y 19 se clasifican como moderadamente expuestas, mientras la masa 20 se clasifica como “expuesta”, así como con un rango mareal medio entre 1 y 5 m.

Las aguas costeras de la Demarcación Marina son gestionadas por cuatro Demarcaciones Hidrográficas: la del Guadiana (DHGU), la de los ríos Tinto, Odiel y Piedras (DHTOP), la del Guadalquivir (DHG) y la de Guadalete-Barbate (DHGB). Sólo las cuencas de DHTOP y la de DHGB son gestionadas íntegramente por la Comunidad Autónoma de Andalucía. Recientemente se ha presentado a consulta pública la memoria del Plan Hidrológico para ambas cuencas, que ofrece abundante información sobre las presiones en las masas de agua costeras (www.juntadeandalucia.es/mediambiente/site). Las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir son intercomunitarias, por tanto son gestionadas por el Gobierno Central. Las respectivas memorias de los planes de cuenca para estas dos demarcaciones hidrográficas han sido también presentadas para consulta pública recientemente.

Tabla 5.1. Masas de agua costera en la Demarcación Sudatlántica. La columna tipo indica la clasificación correspondiente según el documento de Planificación Hidrológica. ND. Información no disponible.

Código	Tipo	Límites	Extensión	Demarcación Hidrográfica
52007	Natural. 20 Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas	Punta de Tarifa-Límite con la Demarcación Estrecho y Alborán	30,7	DHGB
52006	Natural. 20 Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas	Cobo de Gracia-P. de Tarifa	77,75	DHGB
52005	Natural. 20 Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas	Natural. Marismas de Barbate-C. de Gracia	70,14	DHGB
52004	Natural. 20 Aguas costeras atlánticas influenciadas por aguas mediterráneas	PN Marismas de Barbate	36,64	DHGB
52003	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Frente a San Fernando	106,42	DHGB
52002	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	P. San Sebastián-Frente a San Fernando	37,14	DHGB
52000	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Bahía externa de Cádiz	73,44	DHGB
520017	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Límite con la DH del Guadalquivir	43,82	DHGB
520008	Muy modificada por presencia de Puerto. Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta	Puerto de Cádiz-B. interna de Cádiz	31,44	DHGB
520005	Muy modificada por presencia de Puerto.	Base naval de Rota	5,51	DHGB



Código	Tipo	Límites	Extensión	Demarcación Hidrográfica
	Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta			
5200057	Muy modificada por presencia de Puerto. Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta	Puerto de Tarifa	0,10	DHGB
520001	Muy modificada por presencia de Puerto. Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta	Ámbito de la desembocadura del Guadalete	22,94	DHGB
510002	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Pluma del Guadalquivir	ND	DHG
510001	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	PN de Doñana	ND	DHG
510000	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Doñana-Matalascañas	ND	DHG
440023	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Mazagón-Límite demarcación Tinto-Odiel/Guadalquivir	12,79	DHTOP
440020	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Límite de la Demarcación Guadiana/Tinto-Odiel- P.Umbría	130,98	DHTOP
440021	Muy modificada por presencia de Puerto. Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta	Punta Umbría-1500 m antes de la punta del Espigón de Huelva	23,06	DHTOP
440022	Muy modificada por presencia de Puerto. Tipo 4. Aguas costeras atlánticas de renovación alta	1500 m antes de la punta del Espigón de Huelva – Mazagón	13,53	DHTOP
400017	13 Aguas costeras atlánticas del Golfo de Cádiz	Isla Cristina	58,09	DHGU
400016	19. Aguas costeras influenciadas por aportes fluviales	Pluma del Guadiana	4,62	DHGU

1.3. Principales presiones e impactos

La Figura 5.5 muestra un esquema conceptual de las principales fuentes alóctonas que pueden determinar la carga de nutrientes en la zona costera. Independientemente de su intensidad, la materia orgánica y composición de nutrientes asociados a cada una de estas fuentes puede ser *a priori* bastante diferente. En general, los aportes procedentes de las descargas al mar de ríos y arroyos (escorrentía en la Figura 5.5) 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 no tratadas puede suponer también una fuente adicional de nutrientes cuya composición depende de la actividad que la origina. La calidad de las masas de agua continentales es analizada sistemáticamente en aplicación de la DMA. Los resultados pormenorizados de estos

análisis no están disponibles, aunque los datos integrados sí pueden ser consultados en las memorias de los planes hidrológicos que presentan masas de agua costera en la Demarcación Marina. A estas fuentes potenciales de contaminación hay que añadir los vertidos directos al mar procedentes de explotaciones marinas acuícolas que pueden aportar cantidades significativas de nutrientes, en especial amonio (Pitta et al., 2006).

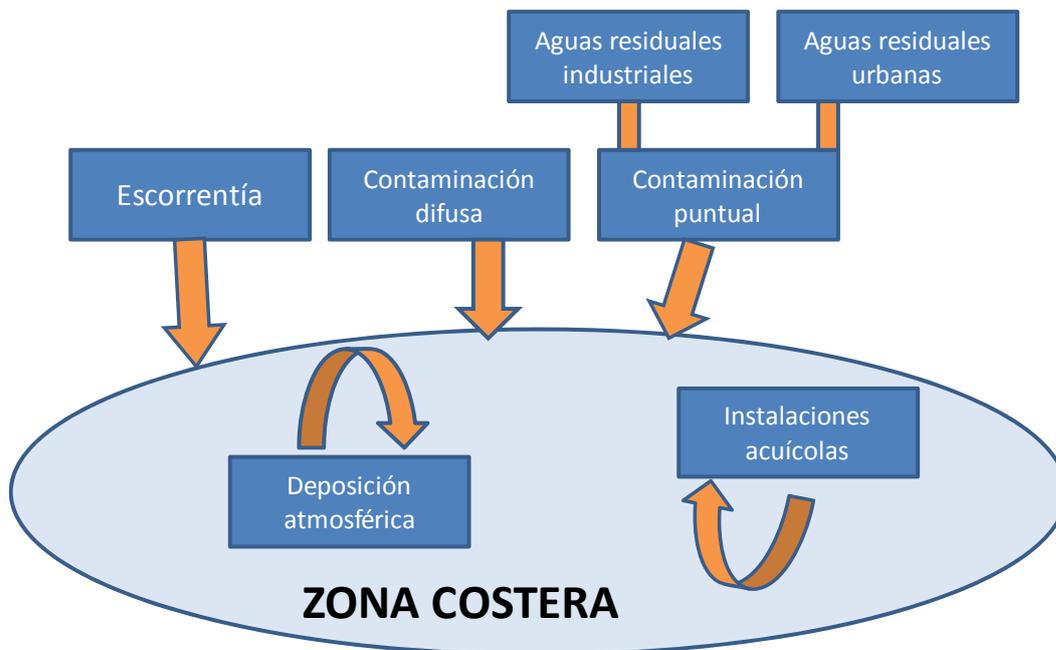


Figura 5.5. Esquema conceptual de las principales vías de descarga de nutrientes a la zona costera.

Escorrentía

El régimen de precipitaciones en las cuencas cuyos ríos desembocan en la demarcación se caracteriza por un período anual seco (meses de junio a agosto) mientras que las lluvias se concentran durante los meses de octubre a mayo. De acuerdo con la información disponible en las Memorias de los Planes Hidrológicos, la distribución anual de la escorrentía superficial sigue el mismo patrón temporal que las precipitaciones. La mayoría de los ríos en el sector oriental de la demarcación marina (pertenecientes a la DHGB) tienen un carácter típicamente mediterráneo, esto es son ríos cortos e intermitentes que sólo aportan agua al litoral durante los meses más húmedos. En esta zona tan sólo los ríos Guadalete y Barbate presentan un flujo continuo de agua durante todo el año en su curso bajo, aunque en todo caso las aportaciones de agua dulce al mar son relativamente escasas (Figura 5.6). Por el contrario, la mitad oeste de la demarcación destaca por la presencia de dos ríos que

aportan un caudal de agua considerable durante todo el año, al menos en comparación con los otros ríos de la Demarcación (Figura 5.6). El Guadalquivir es el río más caudaloso de la región y, como se ha comentado previamente, sus aguas parecen modificar notablemente las características físico-químicas de las masas de agua costeras que se localizan cercanas a su desembocadura.

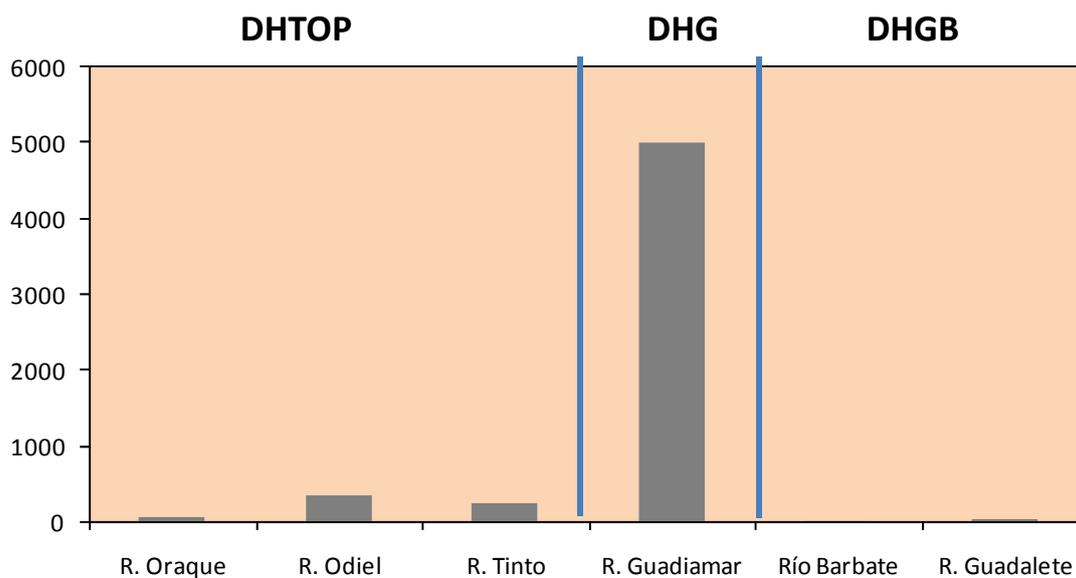


Figura 5.6. Aporte medio anual ($\text{hm}^3 \text{año}^{-1}$) de algunos de los principales ríos o afluentes de los mismos. Los datos corresponden a estaciones de medida localizadas en el curso bajo de estos ríos, cerca de su desembocadura, por tanto pueden considerarse orientativos de las aportaciones de agua dulce al litoral (datos extraídos de las memorias de los planes de cuenca correspondientes al promedio anual del periodo 2002-2006).

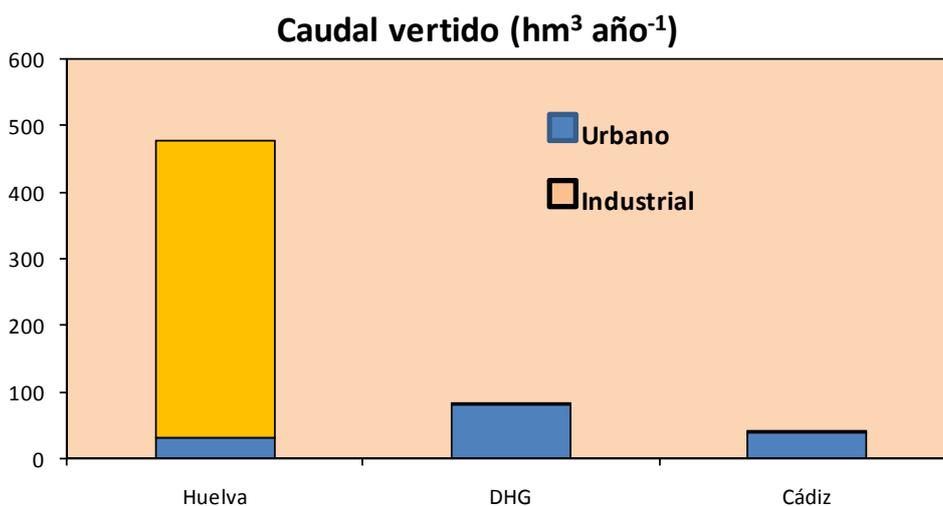


Figura 5.7. Caudal procedente de los puntos de vertido de aguas residuales urbanas e industriales inventariados en las aguas costeras y de transición del litoral de la provincia de Huelva, la demarcación



hidrográfica del Guadalquivir y el litoral de la provincia de Cádiz. Los datos corresponden al promedio de la carga anual de 2003 a 2008 según los datos contenidos en los Informes de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía de 2004 a 2009.

Aguas residuales

En total hay 22 puntos de vertidos de aguas residuales inventariados en la demarcación que vierten directamente a las aguas costeras o de transición (Tabla 5.2). La mayoría de ellos son depurados antes de su vertido. Tan sólo en la DHTOP se detectan problemas por falta de depuración y/o por tener un nivel de depuración insuficiente de acuerdo a la normativa vigente (según consta en el propio borrador de la memoria del Plan Hidrológico). En la DHGB los vertidos urbanos a las aguas costeras y de transición son previamente depurados excepto en Chipiona y Tarifa. La mayoría de los puntos de vertido de aguas residuales industriales se localizan en la costa de Huelva, donde la actividad industrial es más intensa. En el resto del litoral los vertidos industriales son bastante escasos (Figura 5.7).

Tabla 5.2. Puntos de vertidos de agua residuales que descargan directamente a las aguas costeras o de transición en la Demarcación Sudatlántica. Entre paréntesis se indican los vertidos procedentes de emisarios submarinos.

	Puntos de vertidos urbanos*	Puntos de vertidos Industriales
DH Guadalete-Barbate	8 (1)	7
DH Guadalquivir	2	0
DH Tinto, Odiel, Piedras	10 (2)	26
DH Guadiana	2	3

* Sólo se han contabilizado los vertidos superiores a 250 habitantes equivalentes.

En general, los aportes de nutrientes y materia orgánica procedentes de las aguas residuales dependen de la actividad que las genera. Las aguas residuales urbanas suelen presentar una alta carga de fosfato y nitrógeno inorgánico en su forma reducida (amonio). La actividad industrial puede generar grandes cargas de nitrato, fosfato y amonio, dependiendo de la industria de la que se trate. En la Figura 5.8 se muestra la cantidad de nitrógeno y fósforo total procedentes de los vertidos puntuales inventariados agregados por provincias. En general, los vertidos urbanos aportan la mayor carga de nitrógeno y fósforo en toda la Demarcación Marina, los vertidos industriales sólo aportan una cantidad significativa de ambos elementos en el litoral de Huelva. El nitrógeno es aportado principalmente en forma de amonio ya que este representa alrededor del 70% del total del nitrógeno procedente de estas fuentes de



contaminación. Por el contrario, el nitrato apenas representa el 10% del nitrógeno total.

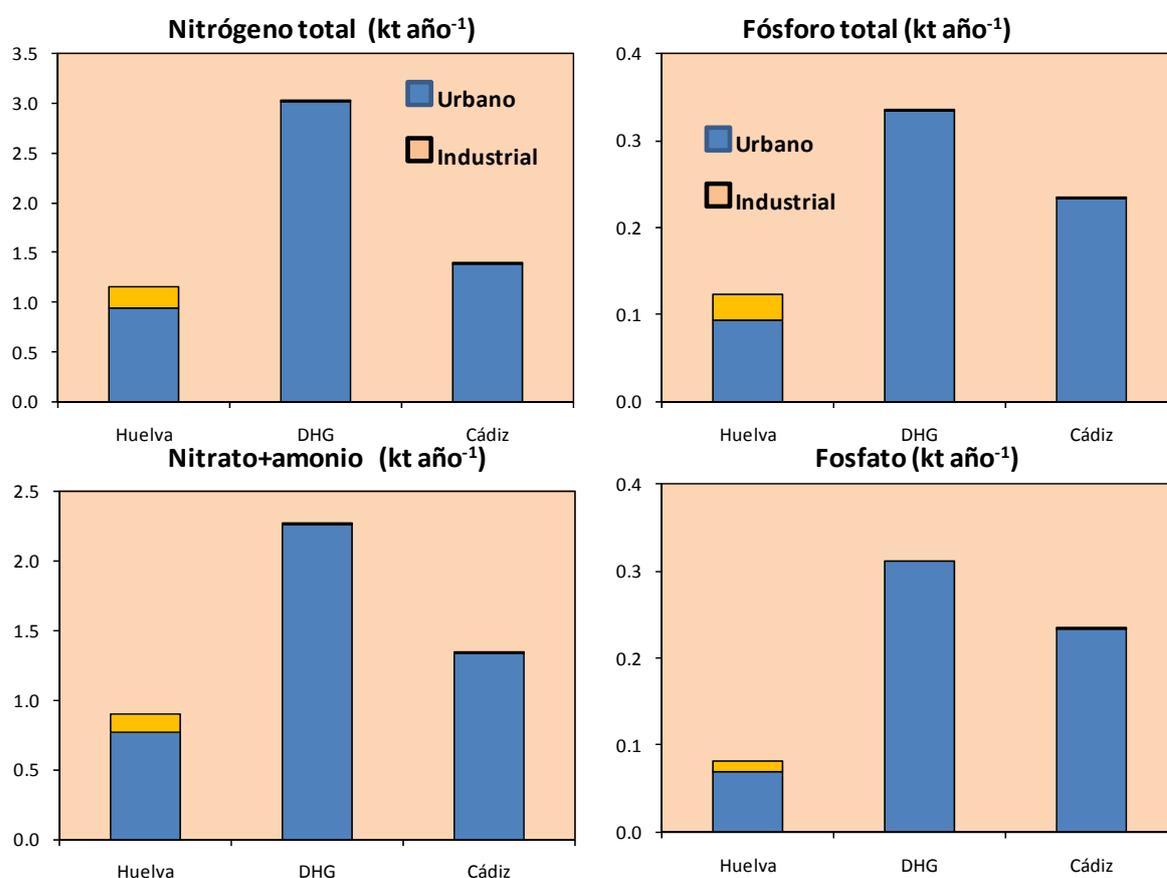


Figura 5.8. Carga anual de nitrógeno y fósforo total vertidos al litoral procedente de emisarios de aguas residuales urbanas, industriales y acuícolas. Los datos corresponden al promedio de la carga anual de 2003 a 2008 según los datos contenidos en los Informes de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía de 2004 a 2009.

Otras fuentes de contaminación por nutrientes

La cuantificación de los aportes de nutrientes desde fuentes difusas (agricultura, ganadería, escombreras, vertederos y otras fuentes) es compleja, debido a la propia naturaleza del vertido. Según las estimaciones globales para toda la demarcación hidrográfica del Guadalete-Barbate, la cantidad anual total de N y P procedente de estas fuentes es 33 y 21 kt año⁻¹, respectivamente. En la cuenca de los ríos Tinto, Odiel y Piedras la cantidad total de N y P es 21 t y 5,6 kt año⁻¹, respectivamente. Sin embargo, no se dispone de información que permita calcular cuánta de esta carga contaminante llega directamente a las aguas costeras. Tampoco se cuenta con datos



de deposición atmosférica de contaminantes más que las estimaciones procedentes del modelado de EMEP.

1.4. Fuentes de información

1.4.1. Programas de seguimiento

Hasta nuestro conocimiento, el único programa específico de seguimiento de la Eutrofización en la Demarcación es el que el Instituto Español de Oceanografía viene desarrollando en cumplimiento de la Estrategia de Eutrofización de OSPAR por encargo del Ministerio de Medio Ambiente. Los muestreos se realizan cada tres meses y comenzaron en 2010. Los datos han sido incorporados a la evaluación del Descriptor 5.

Según consta en la información de su página web, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, puso en marcha en 1988 el denominado Plan de Policía de Aguas que incluye una red de vigilancia de la calidad de las aguas litorales cuyo principal objetivo es vigilar los niveles de calidad de aguas y sedimentos acuáticos del litoral andaluz y de la zona de influencia mareal (Figura 5.9). La red de vigilancia no tiene como objetivo específico monitorizar el estado de eutrofización de la franja costera, sin embargo entre las variables que se determinan se incluye la concentración de nutrientes, la clorofila a , la transparencia del agua y la concentración de oxígeno. Anualmente el Plan de Policía de Aguas realiza la vigilancia de los niveles de calidad del medio cuyos resultados son publicados en los Informes Ambientales de Andalucía. Los datos para algunas estaciones son reportados al Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE Marine).

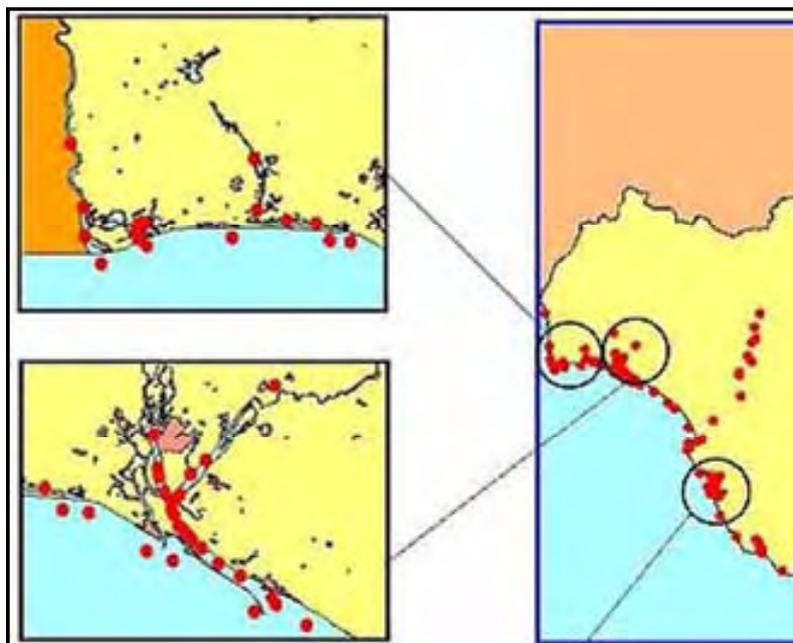


Figura 5.9. Puntos de la red de Muestreo del Plan de Policía de Aguas de la Junta de Andalucía. Mapa reproducido desde la página web de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

1.4.2. Fuentes de información

Para el cálculo de los valores de base y la evaluación del estado actual se ha optado en primer lugar por utilizar los datos disponibles en el Instituto Español de Oceanografía (IEO), procedentes de los Programas de muestreo que dicha institución ha desarrollado en el Golfo de Cádiz. El primero de ellos fue el proyecto denominado ICTIOALBORAN, en cuyo marco se realizaron muestreos exhaustivos de la columna de agua en julio de 1994, 1995 y 1996. El muestro se llevó a cabo en un profuso entramado de estaciones localizadas a un lado y otro del estrecho de Gibraltar. Gran parte de los resultados de estos muestreos han sido publicados en diferentes artículos científicos (ver Prieto *et al.*, 1999). Entre otras variables, durante estas campañas oceanográficas se recogieron muestras para análisis de nutrientes, clorofila *a* y fitoplancton.

Desde julio de 2009, el IEO en colaboración con la Universidad de Cádiz viene llevando a cabo el proyecto denominado ESTOCA, cuyo objetivo es implementar un programa de muestreo sistemático en el golfo de Cádiz. Las campañas oceanográficas del proyecto se realizan cada tres meses, periodicidad con la que se muestrean 16 estaciones distribuidas en tres transeptos perpendiculares a la costa.



Bases de datos

Para complementar la información proporcionada por los proyectos del IEO, se han consultado diferentes bases de datos. La principal base de datos consultada 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 Sudatlántica. En comparación, la información disponible sobre nutrientes y clorofila *a* es bastante limitada. El Centro de Datos del IEO es el encargado de proveer datos a SeaDataNet, la infraestructura pan-europea que se encarga de la gestión de datos marinos y oceánicos. Por tanto, los datos disponibles para el Golfo de Cádiz en ambas bases de datos son coincidentes. Se han hecho también consultas a la base de datos de la NOAA (*World Ocean Database*), que contiene algunos datos coincidentes con los disponibles en el Centro de datos del IEO. En cualquier caso, para nuestro análisis sólo se han utilizado los datos de buena calidad de acuerdo con la propia información proporcionada por los gestores de las propias bases de datos.

Se han incorporado al análisis los datos disponibles en el Sistema de Información del Agua para Europa (WISE-SoE MARINE), que son proporcionados por la Comunidad Autónoma de Andalucía procedentes de la implementación de la Directiva Marco del Agua. El Gobierno Andaluz ha proporcionado datos anuales medios (2009 y 2010) de nutrientes, clorofila *a* y transparencia procedentes de cuatro estaciones de muestreo. Adicionalmente, se han incorporado los datos de nutrientes y clorofila *a* contenidos en los Informes Ambientales de Andalucía, referentes a estaciones costeras de la Demarcación. Estos informes son publicados anualmente por la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno Regional, y recogen los datos obtenidos dentro del denominado Programa de Policía de Aguas. Los datos corresponden a valores medios anuales desde 1999 a 2004.

En conjunto, se han recopilado datos de nutrientes y clorofila *a* procedentes de muestreos llevados a cabo en 90 estaciones (Figura 5.10). Estos datos proporcionan información de unos 150 perfiles verticales en la columna de agua (Figura 5.11), aunque los datos disponibles para cada indicador son muy dispares. En particular, es de destacar que los datos de amonio son comparativamente muy escasos. Para todos los nutrientes excepto amonio, se dispone de datos desde el año 1987 si bien la distribución de los mismos por años es muy irregular. Una seria limitación de la base de datos es que no contiene registros para el período 2004-2008, aunque la información de 2009-2010 es relativamente abundante (gracias a los datos aportados desde el proyecto ESTOCA).

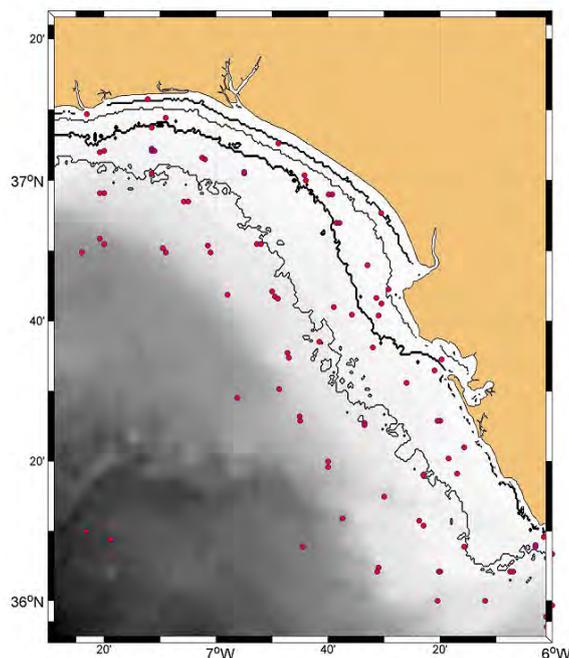


Figura 5.10. Posición de las estaciones de muestreo de las que se dispone información sobre algunos de los indicadores del Descriptor 5.

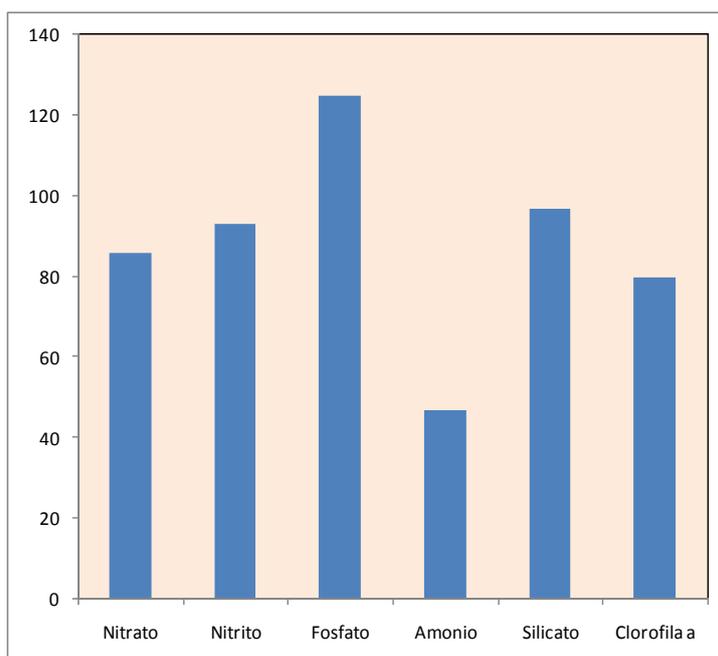


Figura 5.11. Número de perfiles de nutrientes y clorofila *a* recopilados para la evaluación de la eutrofización en la Demarcación Marina Sudatlántica.

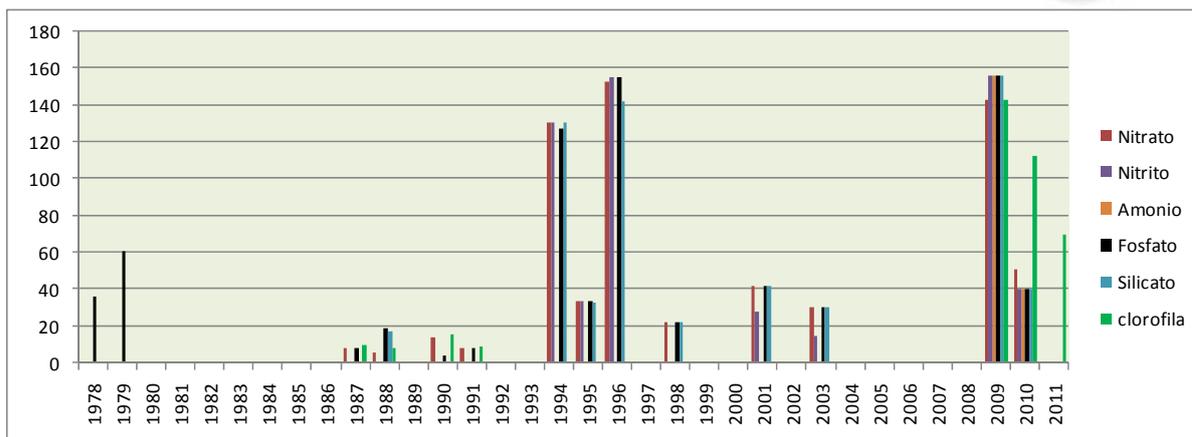


Figura 5.12. Distribución por años del número de registros obtenidos para los indicadores del Descriptor 5.

1.4.3. Otras fuentes de información

- *Imágenes de satélite de clorofila a.* Se han recopilado todas las imágenes del satélite MODIS-Aqua para la demarcación, suministradas diariamente desde 2002 hasta 2010. Las imágenes tienen una resolución espacial de 1,2 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).

- *Informes y artículos.* 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 las Consejerías de la Junta de Andalucía con competencias en temas marinos (Consejería de Agricultura y Pesca y Consejería de Medio Ambiente), 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*. Dado el número relativamente elevado de artículos científicos disponibles, se ha optado por citar preferentemente los artículos más recientes o bien aquellos que revisan información previa ya publicada.



2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL

2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación

Los indicadores del Descriptor 5 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 (al 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 (concentración de oxígeno) sólo serán evaluados en aquellas áreas en las que esta relación causa-efecto pueda ser inferida.

Teóricamente, la evaluación de la concentración actual de nutrientes y clorofila α 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 datos adecuados para calcular el impacto de los aportes de nutrientes desde los ríos ni desde las diferentes fuentes antropogénicas sobre el balance de nutrientes en el medio marino. Tampoco contamos con series temporales de datos lo suficientemente largas como para establecer cuáles deberían ser los valores de los indicadores en una situación prístina hipotética, esto es, en ausencia de presiones. Las series temporales de nutrientes y clorofila disponibles en la Demarcación abarcan desde 1987 (con algún dato puntual previo), por tanto integran en sí mismas los efectos del enriquecimiento antropogénico de nutrientes producido desde entonces. Una aproximación alternativa podría ser seleccionar las áreas con una menor presión antropogénica para establecer los valores de referencia de nutrientes y clorofila α . Sin embargo, el uso de esta aproximación en la Demarcación Sudatlántica



es complicado debido a que la variabilidad hidrológica y los aportes de los ríos determinan en principio una distribución horizontal de la clorofila *a* muy heterogénea. A esto hay que sumar que, de acuerdo con la distribución de puntos de vertidos antes mencionada, casi no hay ningún tramo en la franja litoral que esté libre en principio de aportes de nutrientes desde fuentes terrestres. Ante esta situación, optamos por definir *valores de base* para las diferentes áreas de la Demarcación a partir del análisis estadístico de las series temporales disponibles. La comparación de la serie completa con los valores obtenidos en la actualidad (periodo 2005-2010) 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 la concentración de nutrientes y los indicadores de efectos directos a una escala espacial relevante, se ha llevado a cabo el siguiente procedimiento:

- (1) Delimitar lo más precisamente posible las áreas con concentración de clorofila *a* contrastante (en adelante áreas de productividad contrastante). Estas áreas se delimitarán inicialmente a partir del tratamiento estadístico de las imágenes de clorofila *a* provistos por el satélite MODIS-Aqua, disponibles desde 2002. La zonación basada en las imágenes de satélite será validada comparando los datos de clorofila *a in situ* que se hayan podido recopilar para cada zona.
- (2) Generar una serie temporal de valores de los indicadores para cada zona, agregando los datos procedentes de muestreos realizados en las estaciones localizadas dentro de cada área. Los valores de base para los indicadores en cada zona se calcularán a partir del análisis estadístico de cada serie temporal. Los estadísticos que se usarán son la media y el percentil 90.
- (3) Analizar estadísticamente la serie temporal desde 2005 hasta 2010 para cada indicador con el fin de determinar si ha habido cambios significativos durante el período actual.
- (4) Comparar los valores de base y el estado actual con los valores de referencia de la DMA y los valores de evaluación de OSPAR en aquellas zonas próximas a las masas de agua costeras.

2.2. Elementos de evaluación

2.2.1 Nutrientes (indicador 5.1.1)

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



del Artículo 8 (Evaluación). Entre las características físico-químicas se enumeran los nutrientes que se espera sean tenidos en cuenta: nitrógeno inorgánico disuelto (NID), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico disuelto (PID), fósforo total (PT) y carbono orgánico total (COT). Las tres especies de 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 uno de los grupos de fitoplancton costero más importante cuantitativa y funcionalmente (diatomeas). 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 de cada uno de estos nutrientes para la demarcación es muy dispar, reflejando probablemente las dificultades metodológicas que plantean el análisis de los mismos. Así, se cuenta con mayor cantidad de datos de nitrato, nitrito, fosfato y silicato. Por el contrario la información disponible sobre amonio es comparativamente escasa y los datos de NT, PT y COT son prácticamente insuficientes para llevar a cabo cálculos de valores de base (Huertas et al., 2005; Ribas-Ribas et al., 2011). Por lo tanto, la evaluación del Descriptor 5 en la demarcación Sudatlántica se basará principalmente en las concentraciones de algunas de las formas inorgánicas de nitrógeno y fósforo (además de silicato).

Los nutrientes en el Golfo de Cádiz suelen presentar una distribución vertical no homogénea caracterizada por bajas concentraciones en la capa superficial y una fuerte nutriclina a profundidades intermedias (García-Lafuente *et al.*, 2007). Esta distribución resulta de un lado del mayor consumo llevado a cabo por el fitoplancton en la capa de superficie y de otro de la presencia en profundidad de una capa de agua más salina y fría, con una mayor concentración. Por lo tanto, la “columna de agua” como tal no se puede caracterizar por una única concentración de nutrientes. Más bien habría que definir concentraciones características asociadas a cada una de estas capas de agua. La dificultad añadida que se encuentra es que el grosor de la capa de agua superficial, normalmente empobrecida en nutrientes, es muy variable tanto espacial como temporalmente (García-Lafuente y Ruíz, 2007), lo que dificulta notablemente el cálculo de valores de referencia que sean comparables en toda la demarcación. En este informe se ha optado por considerar sólo la capa de agua más superficial (hasta 50 m) para el cálculo de este indicador. Normalmente la zona eufótica (la capa de agua a la que llega luz suficiente para que se produzca la fotosíntesis) se encuentra dentro de esta franja de la columna de agua, donde a su vez la limitación del crecimiento del fitoplancton por nutrientes suele ser mayor. Es evidente que el aporte antropogénico de nutrientes puede afectar a su concentración en toda la columna de agua



dependiendo de su naturaleza y posterior distribución por vía de las corrientes y de la dinámica hidrológica. Sin embargo, teóricamente sólo si ese exceso de nutrientes alcanza la capa eufótica es de esperar que favorezca el crecimiento del fitoplancton o de otras especies de algas con tendencia a producir *blooms*. Centrándonos sólo en la distribución de nutrientes en la capa de agua superior se enfoca el análisis del indicador 5.1.1 hacia los efectos más que hacia las presiones.

2.2.2. Razones de nutrientes (indicador 5.1.2)

Se asume que el término “razones de nutrientes” hace referencia a las razones elementales del total de nitrógeno, fósforo y sílice presentes en el agua. Como se ha comentado, sólo se dispone de datos extensivos de nitrato, nitrito y fosfato, por tanto se calcularán y evaluarán las razones entre estos nutrientes.

2.2.3. Concentración de clorofila *a* en la columna de agua (indicador 5.2.1)

Los perfiles verticales de clorofila en la Demarcación se caracterizan por la presencia de un máximo sub-superficial cuya posición es muy variable dependiendo del área de estudio y de las condiciones hidrológicas durante las cuales se realiza el muestreo. No obstante, el máximo sub-superficial de clorofila se suele encontrar dentro de la capa superior de 50 m, por debajo de esta profundidad la concentración de clorofila suele disminuir notablemente. Por otro lado, estudios anteriores indican que la concentración de clorofila en esta capa superficial está estrechamente correlacionada con la concentración de clorofila integrada en toda la columna de agua lo cual indica que la mayor parte de la producción primaria tiene lugar en esa capa de agua más superior. Así pues, y como en el caso de los nutrientes, para el uso de este indicador se ha optado por considerar sólo los valores de clorofila obtenidos en la capa superior de la columna de agua (hasta 50 metros).

Además de los datos de clorofila *a* procedentes de campañas de investigación oceanográfica, se ha llevado a cabo una recopilación de datos de clorofila superficial generados a partir de imágenes de satélite. El uso de imágenes de color del océano tiene enorme potencial en la monitorización de los riesgos de eutrofización en zonas costeras (Klemaš, 2011). De hecho, se ha aplicado a la detección de *blooms* de diferentes grupos taxonómicos de fitoplancton (Hu *et al.*, 2005; Ahn y Shanmugam, 2006; Carvalho *et al.*, 2011; Shanmugam *et al.*, 2008; Jackson *et al.* 2011) y de cambios regionales en los patrones de distribución de la clorofila *a* (Gohin *et al.*, 2008). Sin embargo, y como se ha discutido previamente, los algoritmos disponibles para calcular



concentración de clorofila a desde las imágenes de satélite proporcionan valores de concentración que en algunos casos no reproducen adecuadamente los valores medidos *in situ*, particularmente en áreas costeras (Cota *et al.*, 2004). Es por esto que en general se ha propuesto desarrollar algoritmos adaptados regionalmente (Bricaud *et al.*, 2002; Eiras-García *et al.*, 2005). En todo caso, las limitaciones de esta técnica para la estimación de valores de clorofila a con un adecuado grado de certidumbre son notables, en especial en aguas tipo II cuya presencia en algunas zonas de la Demarcación, asociadas al menos puntualmente a las plumas de los principales ríos que desembocan en la misma, no es descartable. Además ya se ha mostrado que no se dispone de un algoritmo regional para la Demarcación que en parte reduzca esta incertidumbre, por lo que en el presente informe se usará el algoritmo OC3M. Teniendo en cuenta estas limitaciones, la información de satélite en el presente informe será tratada estadísticamente con el fin de determinar los principales patrones de variabilidad espacial. El tratamiento estadístico de las imágenes de satélite (que se describe en detalle en el Anexo II) va encaminado a detectar estos patrones de variabilidad más allá de la incertidumbre asociada a los valores reales de clorofila a . En el mismo sentido, Vantrepotte y Mélin (2010) han demostrado que las imágenes de satélite reproducen adecuadamente la variabilidad estacional y temporal en los diferentes mares regionales europeos, independientemente de la incertidumbre asociada a los productos derivados de esta técnica.

2.2.4. Transparencia del agua (indicador 5.2.2)

Sólo se dispone de los datos reportados por las CCAA al Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE MARINE). Estos datos se limitan a promedios anuales de valores de profundidad del disco de Secchi obtenidos en algunas estaciones costeras. No se dispone por tanto de datos extensivos de transparencia para toda la zona costera de la demarcación, que es en principio la que es capaz de albergar comunidades fitobentónicas para las cuales la luz disponible puede ser un factor limitante del crecimiento.

2.2.5. Abundancia de macroalgas oportunistas (indicador 5.2.3)

No se dispone de un cartografiado exhaustivo de macroalgas oportunistas en la Demarcación tal que permita evaluar la tendencia temporal en la abundancia de estas especies ni su estado actual.



2.2.6. Cambios en la composición de especies (indicador 5.2.4)

No se dispone de datos de la composición taxonómica del plancton en la Demarcación Sudatlántica tal que permitan determinar si se han producido cambios 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. Por tanto, este indicador no será usado para evaluar el Descriptor 5.

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

Al igual que ocurre con el Indicador 5.2.3, la abundancia de algas perennes y angiospermas será evaluada en el marco del Descriptor 6, por tanto para la evaluación del indicador 5.3.1 se asume la presentada para el indicador 6.2.2 de dicho Descriptor.

2.2.8. 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.

2.3. Determinación de niveles de base

Áreas con diferente productividad

Con el fin de delimitar más claramente las áreas de productividad 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 a de satélite 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 $1,1 \times 1,1 \text{ km}^2$) se obtuvieron 12 valores mensuales de clorofila. El análisis

clúster se llevó a cabo con estos datos de manera que los píxeles quedaron agrupados según su similitud en cinco grupos (en el ANEXO II se detalla el procedimiento analítico y estadístico llevado a cabo con las imágenes de satélite). El resultado del análisis se muestra en la Figura 5.13.

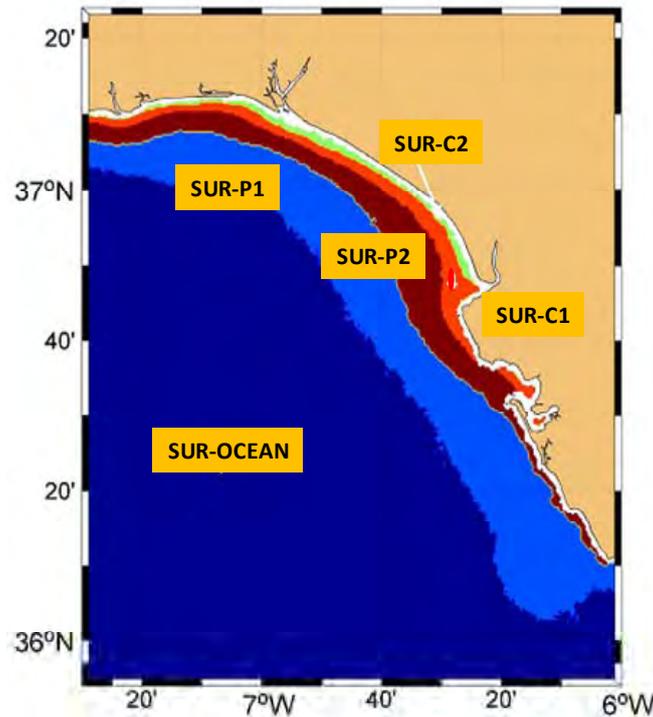


Figura 5.13. Clústeres obtenidos a partir de los valores mensuales promediados de clorofila *a* del satélite MODIS-Aqua para el periodo 2002-2010.

La distribución de las áreas de productividad contrastante responde principalmente al gradiente de productividad desde costa hacia mar adentro, que es más intenso en la franja costera de la mitad occidental. Así, la concentración de clorofila *a* de satélite promediada para cada clúster (Figura 5.14) indica que la zona más productiva se localiza en la franja costera entre la desembocadura del Guadalquivir y la del Tinto y Odiel (área SUR-C2). Abarca por tanto todas las masas de agua costera de las demarcaciones hidrográficas de las cuencas de ambos ríos. Esta área está rodeada por la SUR-C1, que se extiende además desde el límite oeste de la demarcación marina hasta la bahía externa de Cádiz.

Se ha de tener en cuenta que por razones técnicas las imágenes de satélite no permiten definir la franja litoral hasta una distancia de aproximadamente 1 km desde la línea de costa (franja sin color que circunda el litoral en la Figura 5.13). Por tanto las áreas de productividad contrastante identificadas mediante satélite incluyen únicamente las zonas más alejadas de la línea de costa en cada masa de agua costera



definida en la DMA. No obstante, el área SURC-C1 ocupa parte de las dos masas de agua costera de la DHGU y de las masas 520017, 52000 y 52002 (ver Tabla 5.1). SUR-C1 es circundada por SUR-P2, que ocupa además parte de las masas de agua costeras *sensu* DMA localizadas al este de la bahía de Cádiz.

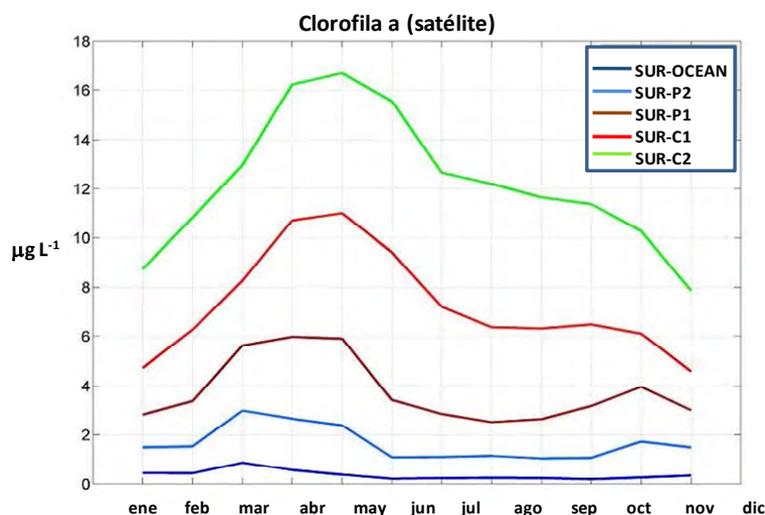


Figura 5.14. Promedio mensual de la clorofila a de satélite para las áreas de productividad contrastante identificadas en la demarcación (clústeres mostrados en la Figura 5.16).

Tabla 5.3. Áreas de productividad contrastante identificadas en la demarcación. Se indica su extensión relativa y las masas de agua costera de la DMA que incluye.

Identificador de las áreas	Denominación	Extensión (%)	Masas de agua de la DMA incluidas
SUR-OCEAN	Aguas oceánicas	74	-
SUR-P1	Aguas externas de plataforma	17	-
SUR-P2	Aguas externas de plataforma y costeras del tercio este	5,6	DHGB (52002,52003, 52004, 52005, 52006, 52007)
SUR-C1	Aguas costeras del sector oeste	2,5	DHGU, DHGB (520017, 52000)
SUR-C2	Aguas costeras del Guadalquivir y Tinto y Odiel	1,0	DHG, DHTOP

En general, la zonación obtenida es concordante con la información publicada (Prieto et al., 1999; Echevarría et al., 2002; Huertas et al., 2006; Navarro et al., 2006; Reul et al., 2006; Criado-Aldeanueva et al., 2009; Navarro y Ruíz, 2006; Echevarría et al., 2009;



Afounso et al., 2010; Navarro et al., 2011; Ramírez-Romero et al., 2012). Por otro lado, la correlación entre los promedios de clorofila *a* de satélite e *in situ* para las cuatro zonas de productividad para las que se dispone de datos (no se han obtenido datos *in situ* para el área SUR-C2, ver apartados siguientes) es altamente significativa ($r^2 = 0.83$; ver ANEXO II), lo que indica que las áreas de productividad identificadas mediante satélite se corresponden adecuadamente con los patrones de distribución horizontal de la clorofila determinados mediante muestreos *in situ*. La comparación de ambas bases de datos (de satélite e *in situ*; ANEXO II) revela que el satélite tiende a sobreestimar la concentración promediada de clorofila en las zonas con valores medios *in situ* inferiores a $1 \mu\text{g L}^{-1}$. (esto es, básicamente la zona más oceánica de la Demarcación). En las zonas con concentraciones *in situ* promediadas mayores que este valor, el satélite tiende a subestimar la concentración.

Valores de base de los nutrientes

A continuación se presentarán los valores de base para los indicadores que son susceptibles de análisis cuantitativo de acuerdo con los datos que se han conseguido recopilar para cada zona de productividad contrastante identificada por imágenes de satélite. Se ha optado por presentar la media y el percentil 90. Este último es el estadístico que normalmente se está usando para establecer los valores de evaluación en el marco de la aplicación de otras normativas (DMA) y del Procedimiento Común de OSPAR (al menos para clorofila). Hay que indicar que, de acuerdo con la distribución anual de la clorofila *a* en la demarcación, sería adecuado proveer valores de base diferenciados de nutrientes para el periodo más productivo (meses de marzo, abril y mayo) y para el resto del año. Sin embargo, la escasez de datos disponible no permite calcular valores robustos para los dos periodos. Se opta así por presentar un único valor de base que en principio se asume que es representativo de todo el período anual. En el ANEXO II se ofrece una descripción estadística exhaustiva de las series de datos para cada área de productividad a partir de los cuales se han generado los valores mostrados a continuación. Se incluyen además análisis estadísticos para validar el procedimiento de zonación.

Niveles de nutrientes (Indicador 5.1.1)

Las series temporales de nutrientes en la capa superficial de la Demarcación se caracterizan por su alta variabilidad, independientemente de lo cual se observan diferencias notables en su distribución horizontal. En general, las concentraciones de nitrato y fosfato siguen el mismo patrón de variabilidad, con valores decrecientes



desde el área más cercana a costa (SUR-C1) a la más alejada (SUR-OCEAN) [Nótese que no hay valores disponibles para el área SUR-C2]. En consecuencia, los valores promediados de nitrato y fosfato para las cuatro áreas de productividad contrastante difieren significativamente (Figura 5.15, 5.16; Anexo II). En contraste, las concentraciones medias de amonio son similares en las tres áreas para las que se dispone de datos.

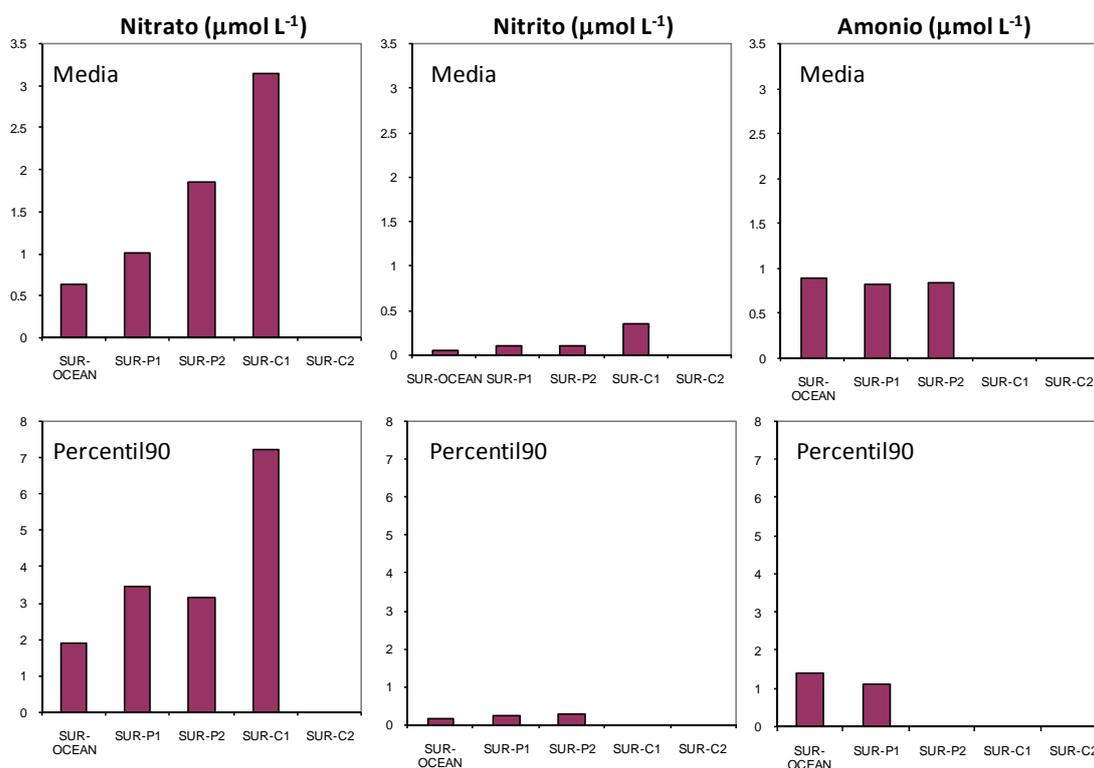


Figura 5.15. Valores medios y percentil 90 de las diferentes formas de nitrógeno inorgánico. Nótese que no hay datos disponibles de ninguna de estas formas para el área SUR-C2, ni de amonio para el área SUR-C1.

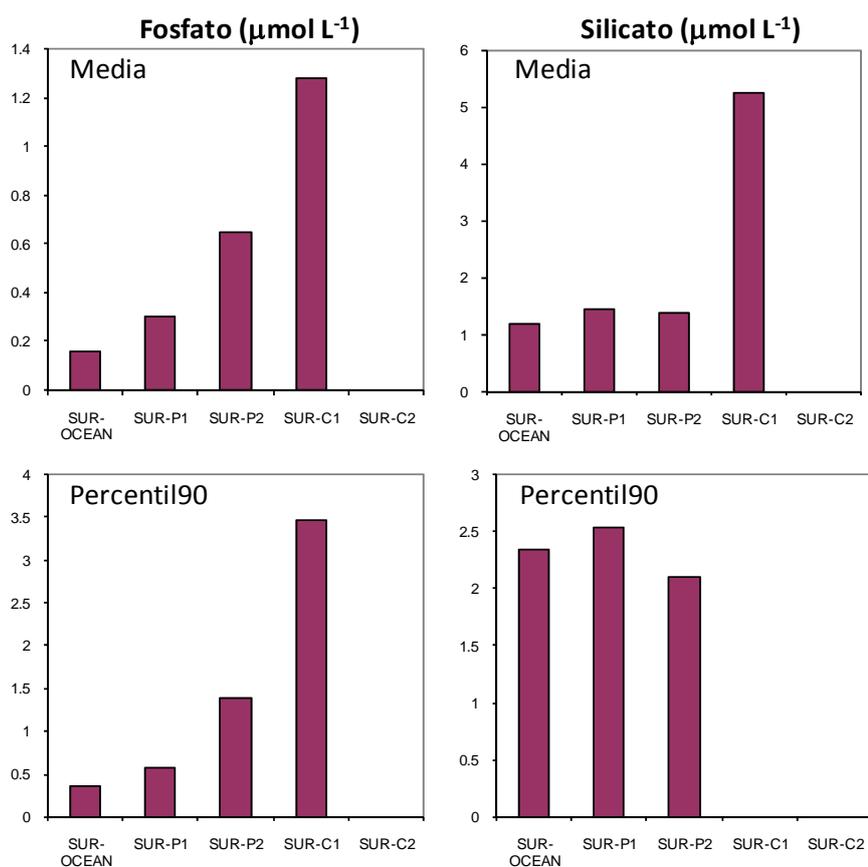


Figura 5.16. Valores medios y percentil 90 de fosfato y silicato. Nótese que no hay datos disponibles de ninguno de estos dos nutrientes el área SUR-C2. El percentil 90 no pudo calcularse para el área SUR-C1 debido a los escasos datos disponibles.

Proporciones de nutrientes (Indicador 5.1.2)

Las razones de nutrientes fueron altamente variables y a menudo no pudieron ser calculadas debido a que alguno de los nutrientes se encontraba a concentraciones menores al respectivo límite de detección. Por otro lado, hay que tener en cuenta que los nutrientes en la capa de superficie (la analizada en este informe), están sometidos a un fuerte consumo por el fitoplancton, incluso durante el periodo menos productivo. A concentraciones bajas de nutrientes, el consumo por el fitoplancton puede tener gran impacto sobre las razones molares. Por lo tanto, las razones de nutrientes en la capa superficial no necesariamente reflejan la proporción en que estos nutrientes alcanzan la zona de estudio (por ejemplo, por vía de escorrentía o vertidos puntuales). Más bien, las razones molares derivadas de las concentraciones de superficie deben considerarse como una indicación del régimen de nutrientes global de la demarcación, útil para estudiar qué nutriente principal controla la producción. En promedio, la razón molar Nitrato: Fosfato (N:P en la Figura 5.17) es considerablemente menor a la razón



de Redfield (16:1) en las 4 áreas de productividad de las que se dispone datos. No obstante, el percentil 90 de la razón N:P fue mayor de 16 en SUR-P2, indicando que los valores próximos o mayores a la razón de Redfield fueron más frecuentes en esta área. En cualquier caso, en general las razones de nutrientes indican que el nitrato fue a menudo el nutriente limitante del crecimiento del fitoplancton, lo que coincide en general con las conclusiones de los estudios oceanográficos realizados en el Golfo de Cádiz (ver lista de referencias).

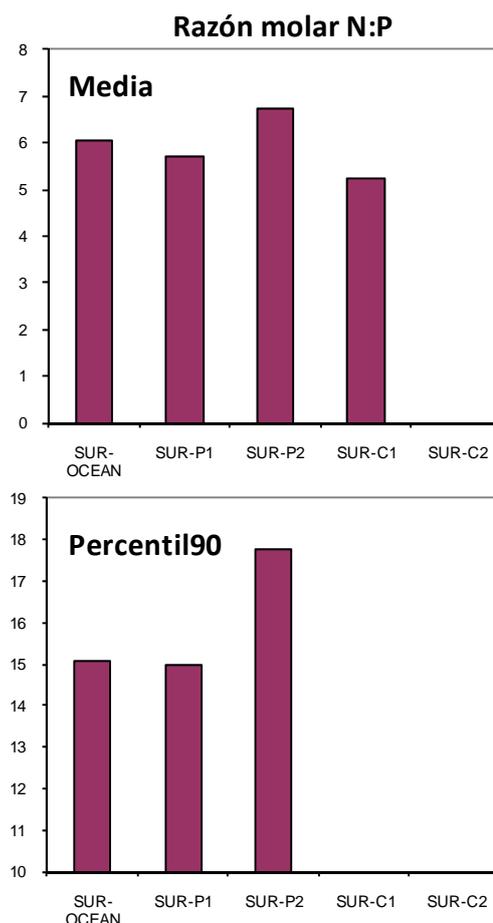


Figura 5.17. Valores medios y percentil 90 de la razón molar nitrato:fosfato (N:P). Nótese que no hay datos disponibles para el área SUR-C2. El percentil 90 no pudo calcularse para el área SUR-C1 debido a los escasos datos disponibles.

Valores de base de clorofila a (Indicador 5.2.1)

Para la clorofila *a*, se han calculado valores de base a partir de los datos procedentes de muestras recogidas *in situ* ($cl_{in situ}$). Para comparación se presentan también los datos proporcionados por el satélite ($cl_{satel.}$), que deben en todo caso ser interpretados con cautela como se ha discutido previamente. Por otro lado, hay que

tener en cuenta además que para el cálculo de los valores de base de $cl_{in\ situ}$ se han utilizado valores de concentración de 0 a 50 m de profundidad. Por contra, el satélite sólo proporciona información de la clorofila en la capa más superficial (la primera profundidad óptica). Aún así, la correlación entre los valores medios para cada área de productividad de $cl_{in\ situ}$ y cl_{satel} es altamente significativa (Anexo II).

Como era de esperar, las mayores concentraciones de $cl_{in\ situ}$ se obtuvieron en SUR-C1. Por el contrario, la zona menos productiva corresponde al área más alejada de costa. La cl_{satel} siguió un patrón de variación similar, tanto durante el período más productivo como durante el resto del año (Figura 5.18).

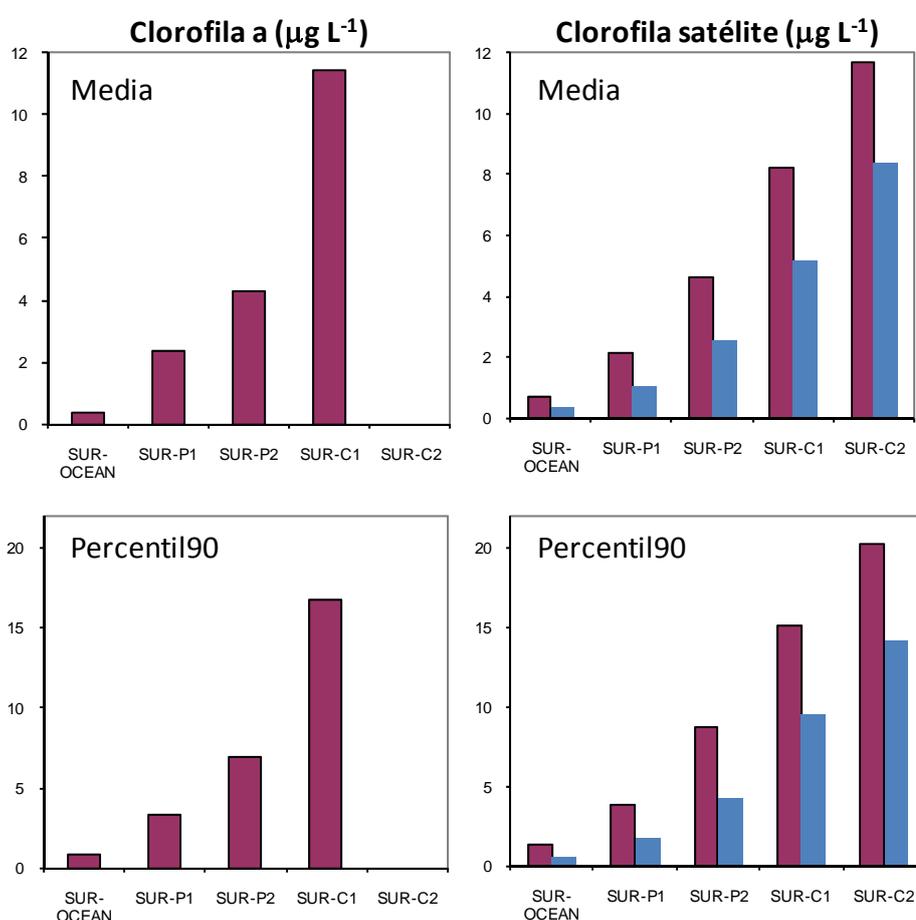


Figura 5.18. Valores medios y percentil 90 de la concentración de clorofila *a in situ* y la estimada a partir de las imágenes de satélite. Para esta última, se ofrecen valores del periodo productivo (columnas rojas) y del resto del año (columnas azules).



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

La Instrucción de Planificación Hidrológica (orden ARM/2656/2008, BOE 229), especifica las condiciones de referencia que deben ser tenidas en cuenta en la evaluación del elemento de calidad Fitoplancton para las aguas costeras tipo 13 en aplicación de la DMA (aguas del Golfo de Cádiz). En la Tabla 5.4 se recogen estos valores que están basados en el percentil 90. Son por tanto en principio comparables con los valores de base para las áreas de productividad SUR-P2, SUR-C2 y SUR-C1 identificadas en nuestro estudio (ya que las tres áreas incluyen masas de agua costera Tipo 13; Tabla 5.3). En todo caso, se ha de tener en cuenta que las áreas de productividad mencionadas, si bien comprenden las masas de agua costeras *sensu* DMA, presentan una distribución que excede los límites de las mismas. Por otro lado, por razones técnicas las imágenes de satélite no permiten definir la franja litoral hasta una distancia de aproximadamente 1 km, que es precisamente donde se espera que la incidencia directa de las escorrentías sea mayor. En todo caso, como indica la Tabla 5.4, los valores de base de clorofila *a* calculados en el presente informe son algo mayores a la condición de referencia de la DMA, pero se sitúan dentro de los límites de la categoría bueno/moderado excepto para el área SUR-C2 (no obstante, hay que tener en cuenta que los datos disponibles para esta área son relativamente escasos).

En la segunda evaluación integrada de la eutrofización en el área marítima de OSPAR basada en la aplicación del Procedimiento Común (OSPAR 2008) se establecieron los niveles de evaluación para nutrientes y clorofila para el área IV OSPAR (dentro de la cual queda incluida la Demarcación Marina Sudatlántica). Estos valores se muestran en la Tabla 5.5. Los valores medios de nitrato para las tres áreas de productividad costera son bastante menores a los niveles de evaluación de OSPAR para NID, sin embargo son muy próximos para clorofila. Por el contrario, los valores medios de fosfato para SUR-C1 y SURC2 son muy próximos a los de OSPAR. En todo caso, hay que tener en cuenta que los valores de evaluación de OSPAR se definieron para zonas de estuarios y aguas interiores de las bahías semicerradas, áreas que no son objeto de evaluación en el marco de la DMEM.



Tabla 5.4. Valores de evaluación de la clorofila utilizados en aplicación de la DMA para las aguas costeras Tipo 13 de la Demarcación Marina Sudatlántica. Se muestran para comparación los valores de base (percentil 90) obtenidos en este informe para las áreas de productividad contrastante que incluyen masas de agua costera Tipo 13.

Indicador	Condición de referencia	Límite bueno/muy bueno	Límite bueno/moderado	Valores de base del indicador 5.2.1
Clorofila α ($\mu\text{g L}^{-1}$)	3,33	5	10	3,4 (SUR-P2) 7,0 (SUR-C1) 16,8 (SUR-C2)

Tabla 5.5. Niveles de evaluación de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fósforo inorgánico disuelto (PID) y clorofila α utilizados en la aplicación del Procedimiento Común de OSPAR para la realización de la segunda evaluación del estado de eutrofización en las aguas costeras españolas (OSPAR 2008). Los valores de nutrientes están normalizados a salinidad de 30. Se muestran para comparación los valores de base (percentil 90) obtenidos en este informe para las áreas de productividad contrastante que incluyen masas de agua costera Tipo 13 (nótese que no se han podido establecer valores de base para el área SUR-C2)

Indicador	Niveles de evaluación	Valores DMEM*	
NID ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Suma de las formas inorgánicas de nitrógeno en la época de menor productividad (invierno)	12-15	1,8 (SUR-P2) 3,1 (SUR-C1)
PID ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Valores de invierno	0,62-1	0,6 (SUR-P2) 1,3 (SUR-C1)
Clorofila α ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Percentil 90	7-12	**

*Medias calculadas para las áreas de productividad que se indican

**Ver tabla 5.4.



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 mostrada anteriormente sobre la distribución de la carga contaminante a lo largo de la costa de la Demarcación, la característica más notable de la misma es que su incidencia es bastante heterogénea. Así, los vertidos residuales se concentran en el litoral de la provincia de Huelva mientras que las aguas costeras de la demarcación hidrográfica del Guadalquivir reciben una alta carga de agua dulce, lo que probablemente conlleva también un notable aporte de nutrientes.

Los datos recopilados de los planes hidrológicos de las cuencas cuyos ríos desembocan en la Demarcación no permiten estudiar las tendencias temporales en cada una de las fuentes inventariadas que aportan nutrientes al medio marino. No obstante, en los Informes de Medio Ambiente en Andalucía (Junta de Andalucía), sí se encuentran datos integrados anualmente de la carga contaminante procedente de vertidos de aguas residuales, que al menos dan idea de la variabilidad anual de los mismos. En la Figura 5.19 se presentan los datos agregados por provincias y demarcaciones hidrográficas desde 2003 hasta 2008. Sólo en el litoral de la provincia de Huelva se encuentran aportes significativos de nutrientes procedentes de aguas residuales industriales. En el resto de la demarcación, esta fuente de contaminación debe tener en principio un impacto muy limitado. Los datos evidencian por el contrario que las aguas residuales urbanas constituyen la principal fuente de nutrientes procedentes de vertidos puntuales. De entre estos destacan los aportes de amonio, que son en promedio tres veces mayores a los de nitrato. Es de destacar que los vertidos de este contaminante son comparativamente mayores en las aguas costeras de la DHG. La relación entre la carga de NID y la de fosfato procedente de estas fuentes es en promedio 11, aunque varía también según la zona del litoral considerada.

La variabilidad anual de la carga contaminante anual es alta, sobre todo la de nitrato y fosfato. En todo caso, las mayores cargas anuales de nutrientes en las tres franjas costeras consideradas se produjeron en 2005.

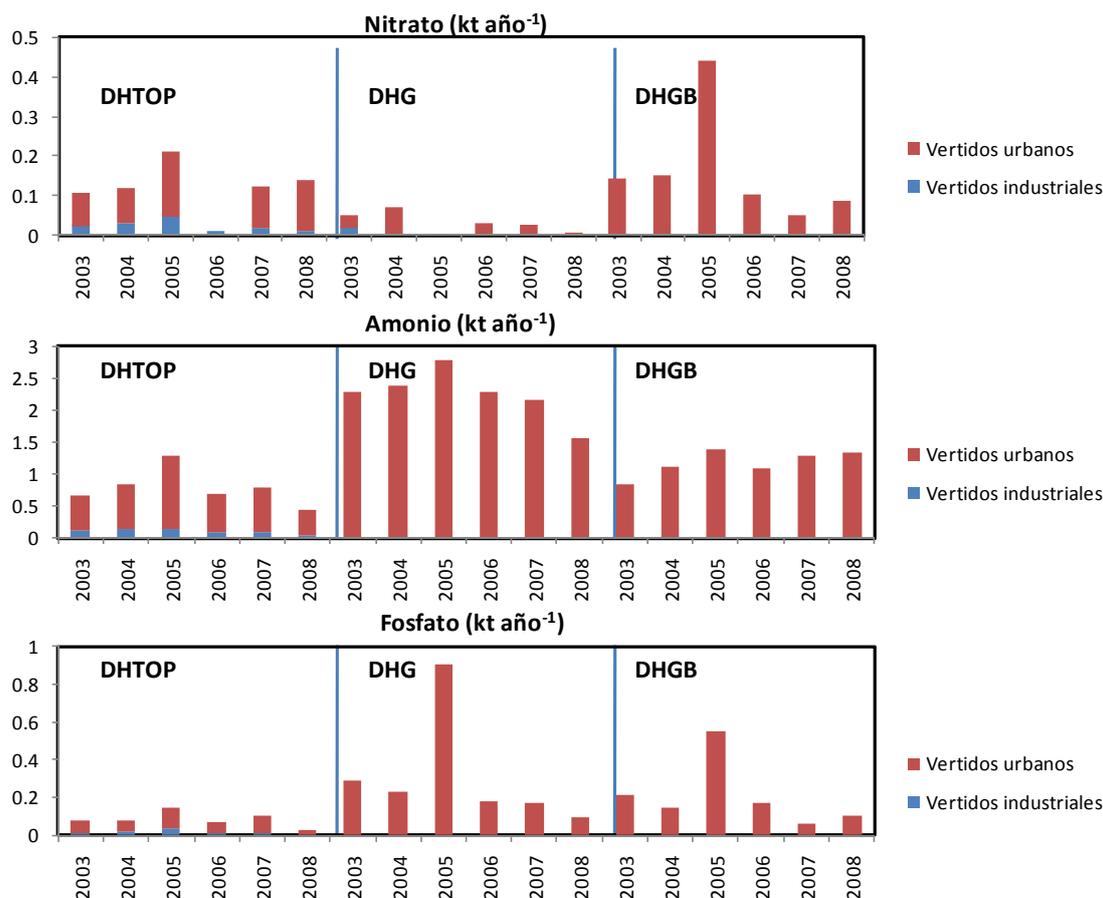


Figura 5.19. Carga contaminante vertida al litoral de las demarcaciones hidrográficas del Río Tinto, Odiel y Piedras (DHTOP), del Guadalquivir (DHG) y del Guadalete-Barbate (DHGB) procedente de fuentes puntuales de vertidos de aguas residuales. Nótese que no hay datos para la demarcación hidrográfica del Guadiana.

A falta de datos suficientes que permitan cuantificar adecuadamente todos los aportes de nutrientes a la zona costera desde las diferentes fuentes de contaminantes esquematizadas en la Figura 5.5, se ha elaborado un mapa de zonas de potencial acumulación de nutrientes con la información disponible sobre la distribución de los puntos de contaminación. La metodología para el cálculo se describe en detalle en el Documento Marco. Para el mismo se ha tenido en cuenta la presencia o cercanía de las siguientes fuentes de contaminantes:

- EDARs.
- Complejos industriales que tienen obligación de informar a la UE por vertido de nutrientes.

- Presencia de desembocaduras de ríos.
- Depositiones atmosféricas calculadas a partir del modelado EMEP.
- Fuentes de contaminación difusa procedente de vertederos de material dragado.

La metodología empleada en el cálculo de los índices se detalla en el Documento II: Análisis de Presiones e Impactos. Los resultados de este análisis cualitativo se muestran en la Figura 5.20, donde se evidencia que las zonas con un mayor riesgo potencial de acumulación de nutrientes son la desembocadura de la Ría de Huelva y la Bahía de Cádiz, mientras que la Desembocadura del Guadalquivir y la costa de Barbate presentan un riesgo moderado. El segundo informe sobre el estado de eutrofización del área marítima OSPAR (OSPAR 2008) se indicaba que los aportes totales de nitrógeno y fósforo disueltos disminuyeron en un 64% y 87%, respectivamente, en la bahía de Cádiz, durante el período 2001-2005 en comparación con el período 2000-2001.

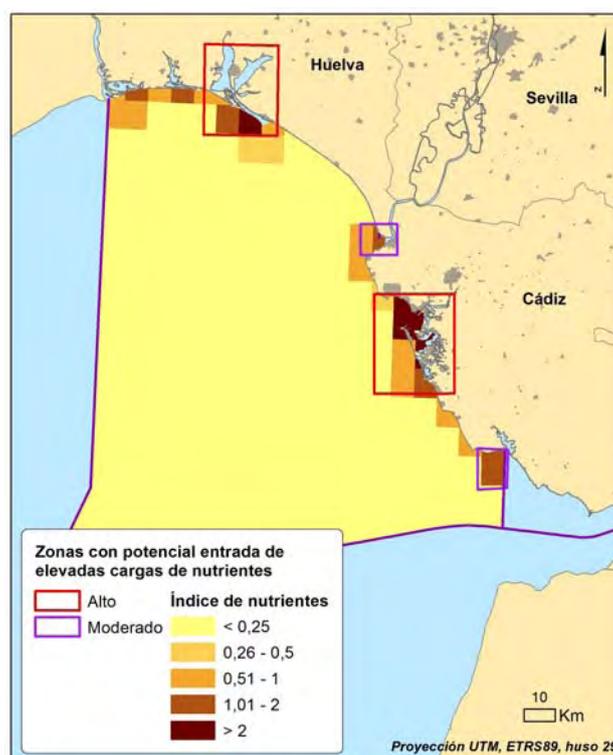


Figura 5.20. Zonas de acumulación potencial de nutrientes de origen alóctono.



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

Los datos disponibles de nutrientes no son suficientes para calcular tendencias temporales. No obstante, sí permiten comparar los datos obtenidos más recientemente (2009-2010) con los datos disponibles de períodos previos (Figuras 5.21-5.24). En general no se observan diferencias en la concentración promedio de nitrato y fosfato durante 2009-2010 y el periodo previo considerado en su conjunto. Por tanto, no hay indicios de que la concentración de nutrientes haya aumentado durante el período actual en ninguna de las áreas de productividad contrastante. Sí se obtienen sin embargo valores relativamente elevados de nitrito y silicato para algunas áreas. No hay datos disponibles de amonio anteriores al período 2009-2010, por tanto no se puede determinar si ha habido o no una tendencia de aumento en el periodo actual.

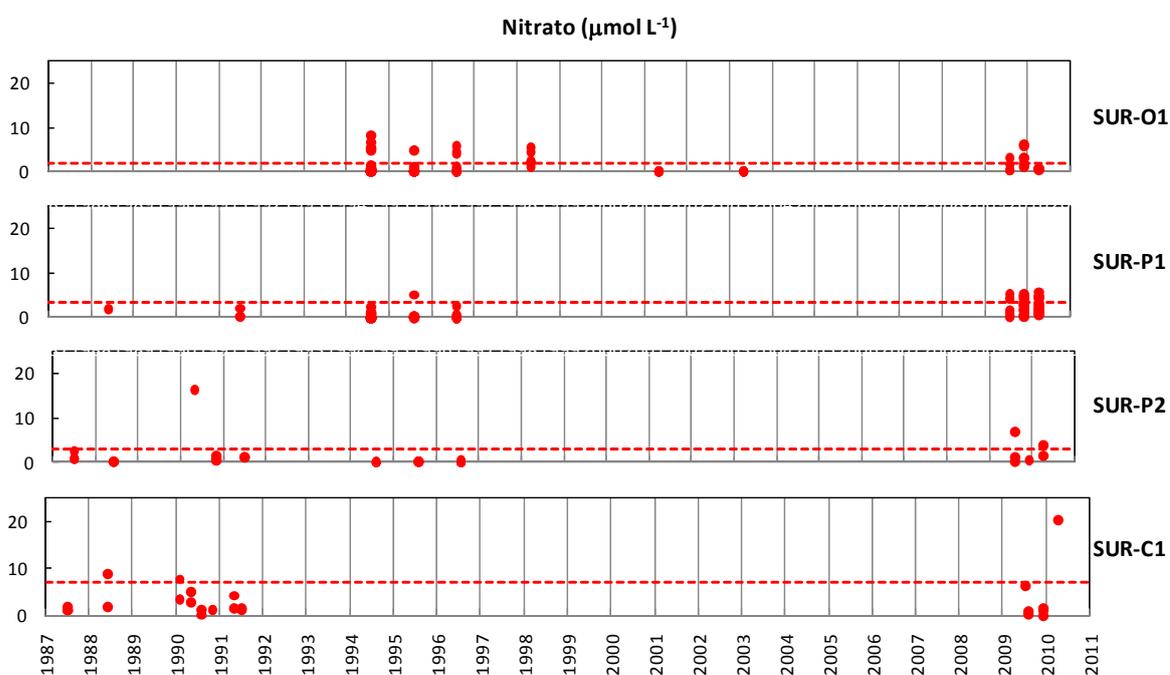


Figura 5.21. Variabilidad temporal de la concentración de nitrato en las áreas de productividad contrastante. La línea roja discontinua muestra el percentil90. No se dispone de datos para el área SUR-C2.

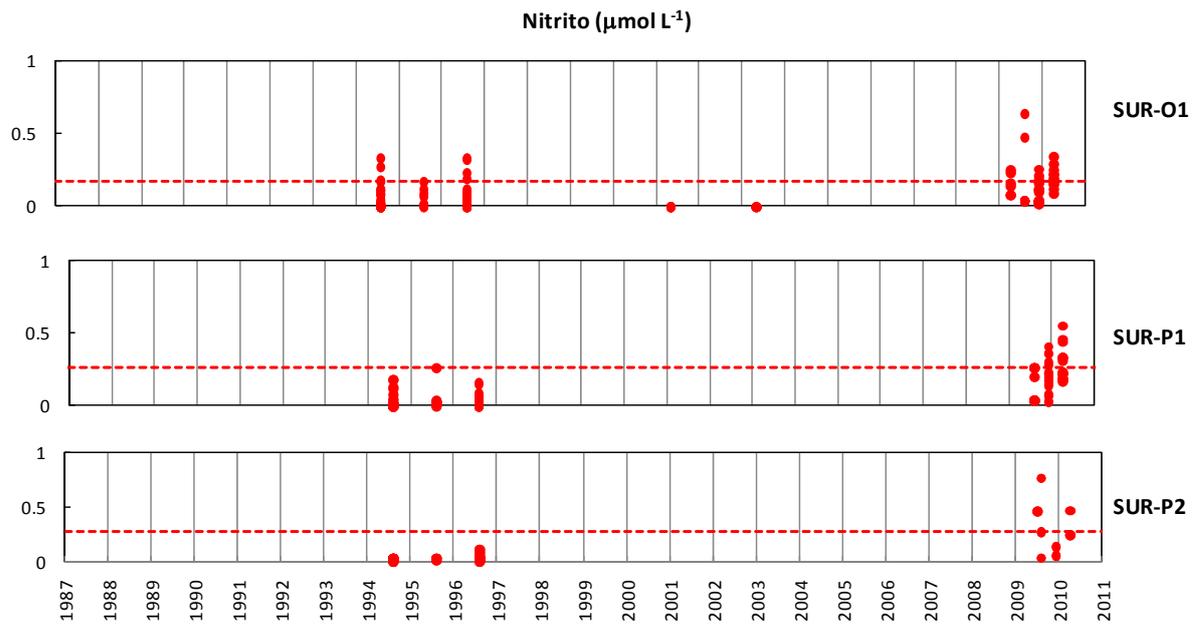


Figura 5.22. Variabilidad temporal de la concentración de nitrito en las áreas de productividad contrastante. La línea roja discontinua muestra el percentil90. No se dispone de datos para las áreas SUR-C1 y SUR-C2.

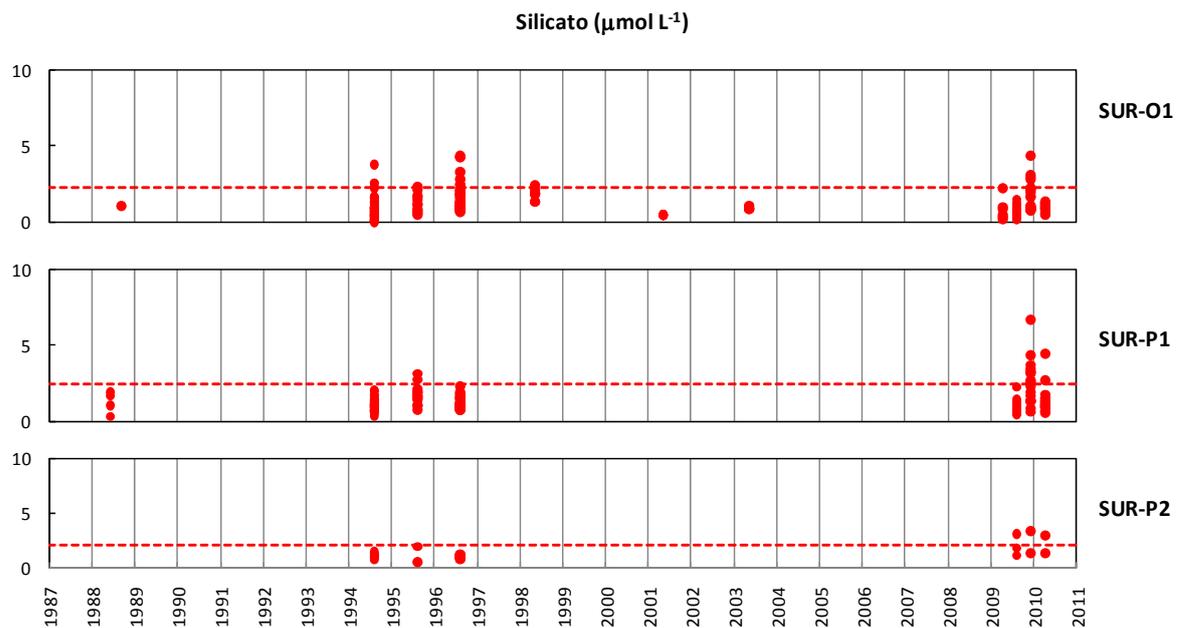


Figura 5.23. Variabilidad temporal de la concentración de silicato en las áreas de productividad contrastante. La línea roja discontinua muestra el percentil90. No se dispone de datos para las áreas SUR-C1 y SUR-C2.

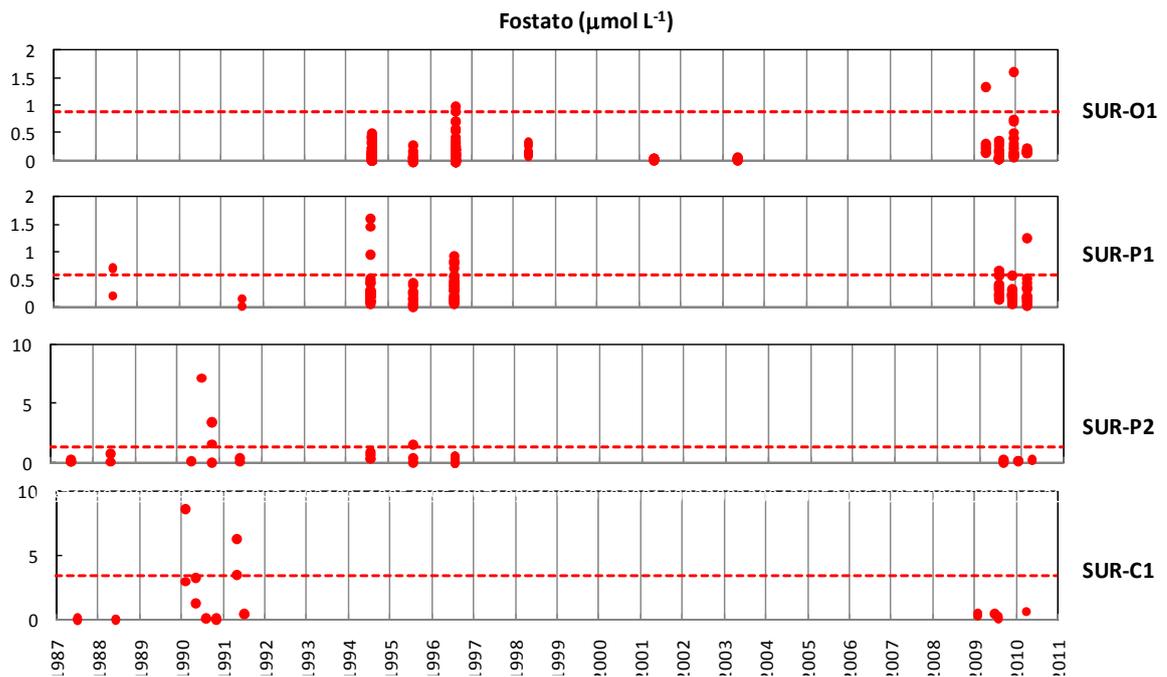


Figura 5.24. Variabilidad temporal de la concentración de nitrato en las áreas de productividad contrastante. La línea roja discontinua muestra el percentil90. No se dispone de datos para el área SUR-C2.

Una seria limitación de la base de datos presentada es que no se dispone de concentraciones de nutrientes para el área SUR-C2, precisamente la que se espera que reciba una mayor carga de nutrientes procedente de fuentes con origen en tierra. Los únicos datos disponibles para esta área, son los reportados por la Comunidad Autónoma de Andalucía al Sistema de Información del Agua para Europa (WISE-SoE Marine). Son promedios anuales de 2009 y 2010 procedentes de estaciones puntuales. Estos datos se muestran en la Figura 5.25, que recoge las concentraciones de nutrientes promediadas para estaciones localizadas en las masas de agua costera de Punta Umbría y Doñana, en principio comprendidas dentro del área SUR-C2. Se presentan además, para comparación, los datos para estaciones localizadas en las masas de agua de la Pluma del Guadiana y Bahía externa de Cádiz comprendidas dentro del área SUR-C1, y Punta de Tarifa, que se encuentra ocupada por el área SUR-P2.

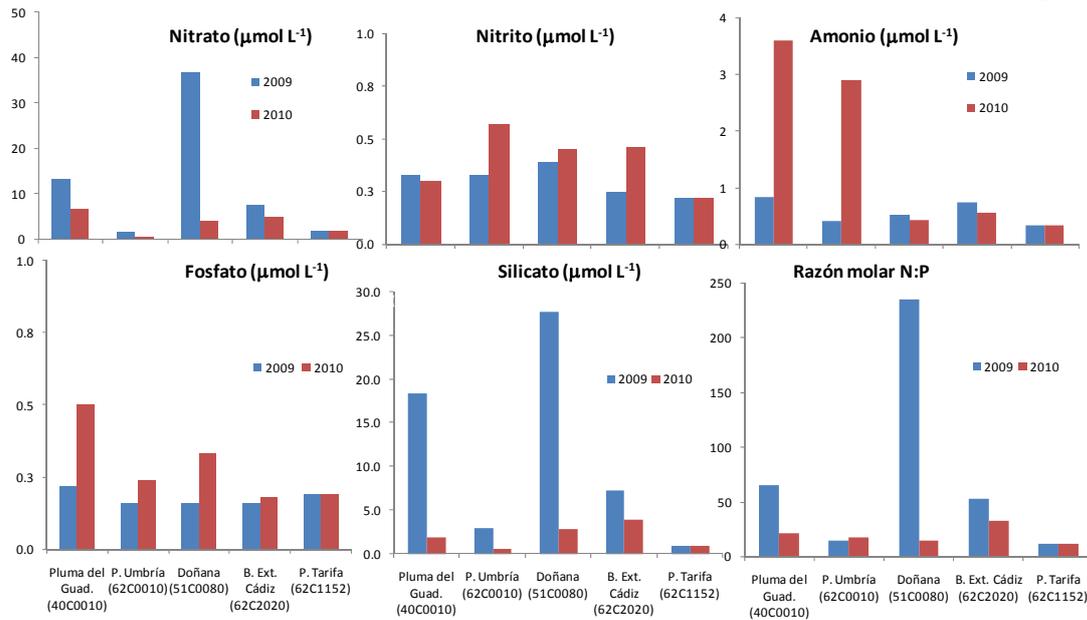


Figura 5.25. Concentraciones de nutrientes y razón molar entre la concentración de nitrógeno disuelto (nitrato+nitrito+amonio) y el fosfato (N:P) para algunas estaciones localizadas dentro de las masas de agua costera que se indican. Los datos han sido tomados del Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE Marine) y corresponden a valores medios anuales.

Las medias de las concentraciones de nutrientes para las estaciones localizadas en masas de agua situadas entre el extremo oeste de la demarcación marina y Doñana son bastante diferentes para 2009 y 2010 (en particular las de amonio), probablemente indicando que la variabilidad de la concentración de nutrientes es también muy alta. En todo caso es claro que la concentración durante 2009-2010 fue mucho mayor en esas estaciones que en el resto. Otro hecho relevante es la elevada razón N:P, particularmente la encontrada en Doñana. Es evidente que estos altos valores de concentración de NID frente a fosfato no pueden tener su origen en procesos relacionados con la hidrodinámica de las aguas marinas (afloramientos o advección desde otras áreas), ya que los valores de base calculados para las áreas de productividad contrastante que circundan las áreas costeras son bastante menores. Por tanto, es muy probable que las altas concentraciones de nutrientes en algunas de las estaciones mostradas en la Figura 5.25 se deban al vertido procedente de los ríos que descargan en la zona, ya que la composición de los vertidos procedentes de las otras fuentes puntuales de contaminación es muy diferente (por ejemplo, la razón N:P media de los vertidos de aguas residuales es inferior a 15). En todo caso hay que tener en cuenta que se trata de valores obtenidos en una sola estación, que dependiendo de su localización puede no ser necesariamente representativa de toda la masa de agua



costera en la que se encuentra la estación (y por extensión tampoco de toda la zona SUR-C2).

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

Al igual que ocurre con los nutrientes, la concentración de clorofila a *in situ* es bastante variable en todas las áreas de productividad (Figura 5.26), con valores registrados máximos notablemente altos en las cuatro áreas de productividad para las que se dispone de datos. Durante 2009-2010 no se han registrado valores por encima del percentil 90 salvo en SUR-O1 y SUR-P1. La concentración de clorofila *a* estimada a partir de satélite (Figura 5.27) presenta un rango de variabilidad similar a la estimada *in situ* en todas las masas de agua (nótese que sólo se dispone de datos desde 2002 a 2010). El análisis estadístico de los promedios anuales para el periodo más productivo y el resto del año revela que durante el periodo mencionado no ha habido tendencias significativas de cambio (ver Anexo II para una explicación del procedimiento seguido para el cálculo de las tendencias).

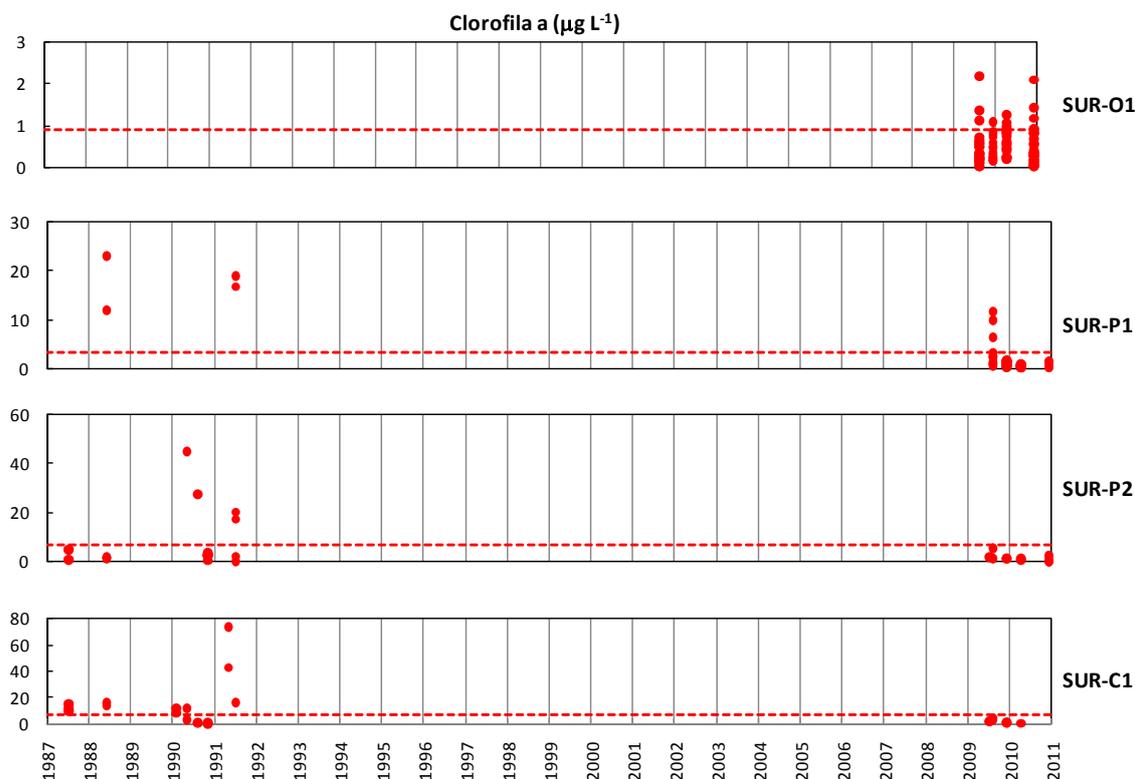


Figura 5.26. Concentración de clorofila *a* estimada a partir de los datos recogidos *in situ*. Nótese la diferente escala del eje y para cada área de productividad.

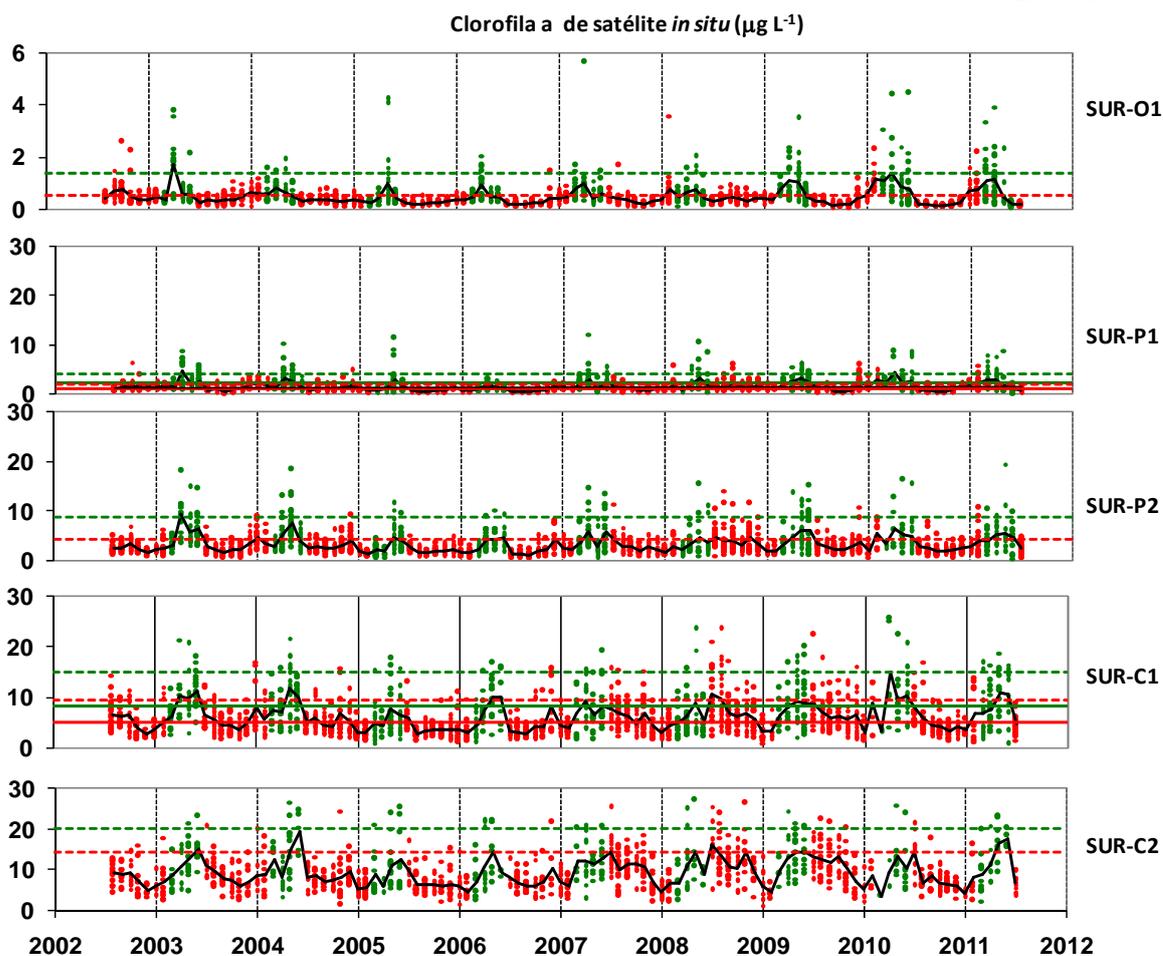


Figura 5.27. Concentración de clorofila de satélite para el período más productivo (puntos verdes) y el resto del año (puntos rojos). Las líneas horizontales discontinuas indican los correspondientes valores del percentil 90. La línea continua negra indica los promedios mensuales.

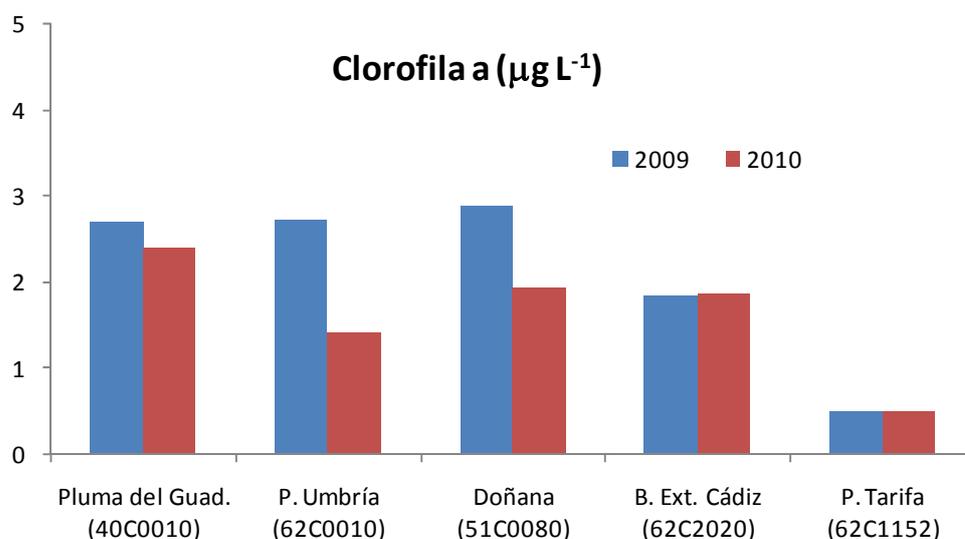


Figura 5.28. Concentración de clorofila a promediada para 2009 y 2010 en algunas estaciones costeras cuya localización se indica. Los datos han sido tomados del Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE MARINE) y corresponden a valores medios anuales.

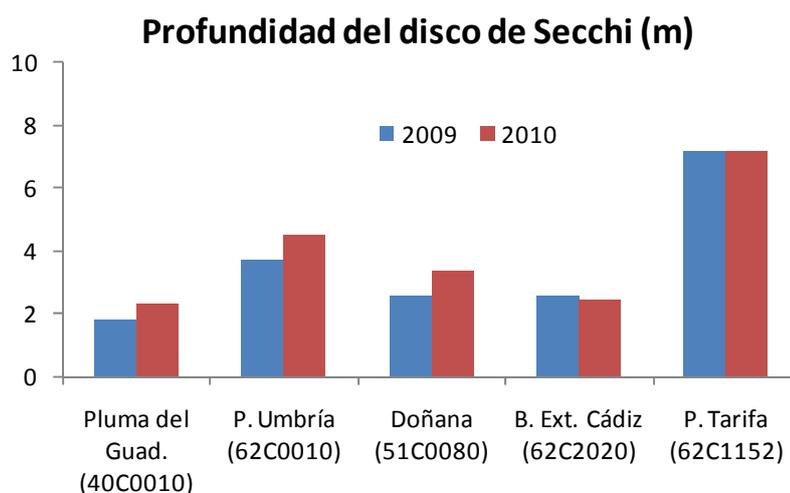


Figura 5.29. Profundidad del disco de Secchi promediada para 2009 y 2010 en algunas estaciones costeras cuya localización se indica. Los datos han sido tomados del Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE Marine) y corresponden a valores medios anuales.

Los valores medios de concentración de clorofila a en 2009 y 2010 para algunas estaciones costeras se muestran en la Figura 5.28 (las reportadas a WISE-SoE Marine por la Comunidad Autónoma de Andalucía). Estos son algo menores a la media de la concentración de clorofila a de satélite para las áreas SUR-C1 y SUR-C2 (6 y 9 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente). Este hecho resulta llamativo por cuanto la concentración de



nutrientes en alguna de las estaciones mostradas en la figura fue relativamente alta (ver Figura 5.25). Los datos indican que la alta concentración de nutrientes en estas estaciones no condujo a altas concentraciones de clorofila, lo que evidencia que la productividad primaria estuvo limitada por otros factores. Uno de estos podría ser la transparencia de la columna de agua, que es bastante reducida según indican los bajos valores de profundidad del disco de Secchi reportados en WISE-SoE Marine (Figura 5.29). Probablemente esta baja transparencia se deba a que las estaciones estuvieron situadas próximas a la desembocadura de los ríos, que deben aportar cantidades significativas de materia orgánica particulada y disuelta. Este hecho soportaría el que los datos reportados a WISE-SoE Marine podrían no ser representativos de toda la masa de agua costera en que se localiza la estación. Por el mismo motivo, tampoco es claro si estos valores pueden ser comparables a los obtenidos en el presente informe para el área SUR-C1.

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

No se dispone de datos de oxígeno extensivos para todas las áreas de la demarcación. Los únicos datos disponibles son los reportados en WISE-SoE Marine para las estaciones costeras cuya localización se indica en la Figura 5.30. Como se muestra en la misma, los valores medios anuales son mayores al 80% (que es el límite que normalmente se utiliza como umbral para definir déficit de oxígeno en la columna de agua).

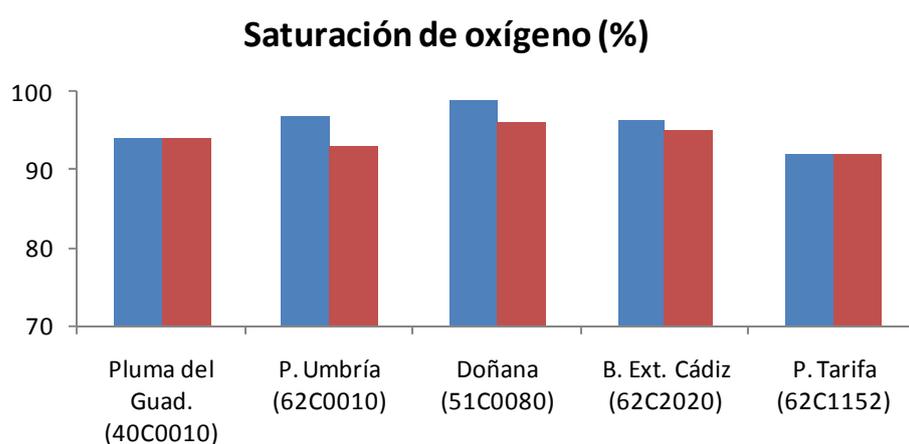


Figura 5.30. Porcentaje de saturación de oxígeno promediado para 2009 (barras azules) y 2010 (barras rojas) en algunas de las masas de agua costera de la demarcación marina. Los datos han sido tomados



del Sistema de Información del Agua de Europa (WISE-SoE Marine) y corresponden a valores medios anuales.

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

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

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

- (1) Las tendencias de los indicadores de presión y efectos directos registradas durante el período actual por comparación con periodos previos.
- (2) Los criterios de calidad definidos en la DMA y en el Procedimiento Común de OSPAR (valores de evaluación en la Tabla 5.5). El primero es de aplicación para clorofila a y el segundo para nutrientes. Para la clorofila a se usará el valor umbral definido por la DMA como límite para el estado Bueno/Moderado (Tabla 5.4). Puesto que estos valores se han definido para las masas de agua costeras Tipo 13, estos criterios sólo se aplicarán a las áreas SUR-P2 y SUR-C1 (notar que no se dispone de datos de clorofila a *in situ* para el área SUR-C2). Para nutrientes, a falta de contar con un valor de calidad claramente definido en aplicación de la DMA, se utilizará el valor de evaluación propuesto en aplicación del Procedimiento Común de OSPAR (Tabla 5.5), aun a pesar de que este se definió también para estuarios y bahías semicerradas. Las áreas SUR-P2 y SUR-C1 se encuentran más allá de la zona directa de vertido de los ríos. Por lo tanto es preciso establecer para las mismas valores umbrales específicos en los que se tenga en cuenta esta posible influencia. Los datos que se han conseguido recopilar son insuficientes para proponer estos valores umbrales.



Obviamente, estos dos criterios (tendencias y valores umbrales) sólo han podido ser aplicados a nutrientes y clorofila a , puesto que no se dispone de datos cuantitativos suficientes para los otros indicadores, cuyo estado actual no puede ser determinado.

El procedimiento de evaluación aplicado a nutrientes y clorofila es el siguiente:

- Respecto a las tendencias, se ha considerado que existen tendencias positivas (de aumento) del indicador en un área de productividad particular cuando más de un 10% de los registros obtenidos en el período 2005-2010 exceden el valor de base (percentil 90 estimado para toda la serie) o bien cuando se ha encontrado una tendencia positiva estadísticamente significativa para todo el período calculada a partir de los promedios anuales. Debido a los escasos datos disponibles, las tendencias sólo han podido ser calculadas para la clorofila a de satélite (ver Anexo II para una descripción del método utilizado para calcular tendencias).
- Respecto a los valores umbrales, se ha considerado que la clorofila a sobrepasa dicho valor cuando el percentil 90 calculado para el periodo 2005-2010 de los datos procedentes de muestreos *in situ* sobrepasan el valor del límite de estado Bueno/Moderado definido en la DMA. Para nutrientes, se considera que el valor umbral es sobrepasado cuando durante el período 2005-2010 se ha registrado algún valor de concentración mayor que el valor de evaluación de OSPAR (Tabla 5.5).

El resultado de la evaluación se muestra en la Tabla 5.6. De acuerdo con el mismo, en ninguna de las cinco áreas de productividad contrastante se detectan efectos directos de la contaminación por nutrientes (esto es, no hay niveles elevados de clorofila a). Por lo tanto, no presentarían problemas de eutrofización. Hay que notar que en las áreas SUR-P2 y SUR-C1 la media de la concentración de nitrato en el período evaluado (2005-2010) no supera los valores de evaluación de OSPAR. Sin embargo, en el área SUR-C1 sí se ha registrado algún valor mayor que dicho límite. Es interesante notar también que en algunas de las estaciones muestreadas por la Comunidad Autónoma se debió sobrepasar ampliamente este límite (Figura 5.25), aunque debido a que sólo se dispone de medias anuales y a que no es clara en qué medida la estación es

representativa de la masa de agua costera en que se encuentra, estos valores no se han considerado en la evaluación mostrada en la Tabla 5.6.

La evaluación presentada para la clorofila a es concordante con la evaluación de las masas de agua costera realizada en el contexto de la aplicación de la DMA. Así, todas las masas de agua costera de la Demarcación han sido evaluadas como en estado Bueno o Muy Bueno (Figura 5.31). Es interesante notar que los valores de clorofila a están también dentro de los niveles de evaluación que se utilizaron en la segunda aplicación del Procedimiento Común de OSPAR (OSPAR 2008; Tabla 5.5)



Figura 5.31. Evaluación del elemento de calidad Fitoplancton realizada en cumplimiento del proceso de evaluación de la DMA para las masas de agua costeras



Tabla 5.6. Evaluación del estado actual de la eutrofización en las áreas de productividad contrastante. La evaluación de cada indicador se ha realizado atendiendo a dos criterios: la tendencia (Tend., esto es, si ha habido cambios en el período actual respecto a los valores de base) y los valores umbrales (VU). En el caso de la clorofila se ha usado como VU el límite para el estado Bueno/Moderado de la DMA. Para los nutrientes se han usado los valores de evaluación de OSPAR. En azul se muestran los indicadores para los cuales no se dispone de información sobre el período actual.

	Indicador	SUR-OCEAN	SUR-P1	SUR-P2	SUR-C1	SUR-C2
		Tend. // VU	Tend. // VU	Tend. // VU	Tend. // VU	Tend. // VU
Nutrientes	NID Fosfato	= // NA = // NA	= // NA = // NA	= // OK = // OK	= // exc. = // OK	¿? // ¿? ¿? // ¿?
Efectos directos	Clorofila	= // NA	= // NA	= // OK	= // OK	= // ¿?
	Transparencia Cambio en especies					
Efectos indirectos	Oxígeno					
	Comunidades macrófitos					
Evaluación integrada	Estado actual de eutrofización	Sin problemas	Sin problemas	Sin problemas	Con problemas potenciales	¿?

=: No se han detectado tendencias significativas de cambio durante 2005-2010 respecto a periodos previos

NA: Criterio no aplicable o no disponible

OK: Se cumple el valor umbral

exc. : Se han registrado valores que exceden el VU

¿?: No se dispone de datos suficientes para llevar a cabo la evaluación

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

- En relación con las presiones, la información disponible es en general escasa y se encuentra agregada espacial y temporalmente. Dada la variabilidad temporal de los indicadores de presión y de efectos directos del Descriptor 5,



sólo es posible estudiar la relación funcional entre el vertido de nutrientes y su concentración y efectos en la columna de agua si se dispone de información sobre la periodicidad o frecuencia de estos vertidos a lo largo del ciclo anual. Además, no se dispone información sobre los vertidos de nutrientes procedentes de fuentes difusas. Es conveniente por tanto que para la próxima evaluación se cuente con datos desagregados por meses o estaciones del año de estos vertidos. Además, es necesario contar con datos que permitan estimar la cantidad de nutrientes aportados por los ríos que descargan en la Demarcación, sobre todo el Guadalquivir y el Guadiana que tienen *a priori* un fuerte impacto.

- Los datos que se han conseguido recopilar de algunos componentes de los indicadores de presión (niveles de nutrientes) no han sido suficientes para llevar a cabo una evaluación de los mismos. Así por ejemplo, los escasos datos disponibles de concentración amonio en la columna de agua impiden valorar adecuadamente el impacto de los vertidos de aguas residuales. En el mismo sentido, la información disponible de nitrógeno y fósforo total es relativamente escasa. Muy probablemente esta carencia de datos de algunos indicadores en relación con otros se debe a las dificultades metodológicas que plantea la estimación de los primeros en agua de mar. Se recomienda promover ejercicios de inter-comparación entre los laboratorios que producen datos de nutrientes que de una u otra forma pueden ser útiles para la evaluación de la eutrofización en la Demarcación.
- En cuanto a los indicadores de efectos directos, la información que se ha conseguido recabar sobre las comunidades de fitoplancton es 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 cosas la cuantificación de especies potencialmente productoras de toxinas. El acceso a estos datos y otros relevantes producidos en el marco del desarrollo de proyectos de financiación pública (llevados a cabo por instituciones públicas) ha sido en general muy complejo. Independientemente de este hecho, se requiere mayor conocimiento sobre la frecuencia y distribución de los *bloom* de fitoplancton (tóxico o no) para poder realizar una adecuada evaluación de este indicador. Dado el potencial de las imágenes de satélite para la detección y estudio de estos fenómenos, es necesario el desarrollo de un algoritmo regional para la Demarcación que permita optimizar el uso de esta herramienta para el seguimiento de la eutrofización. Igualmente, sería conveniente iniciar un



seguimiento continuado de la incidencia de las mareas verdes en la Demarcación.

- En general, los datos disponibles han sido suficientes para llevar a cabo una evaluación inicial de la eutrofización en toda la demarcación excepto en las áreas de productividad costeras. Es de esperar que esta falta de información vaya siendo solventada conforme los resultados de los programas de monitorización que se llevan a cabo en la zona en cumplimiento de la estrategia de eutrofización de OSPAR vayan produciendo resultados. Dicho programa debería ir enfocado a cubrir todas las carencias de información mencionadas.

2.6. Conclusiones

- Los datos mostrados ponen en evidencia que la descarga de los grandes ríos condiciona la distribución de la productividad en la Demarcación. Así, las mayores concentraciones de clorofila *a* y nutrientes obtenidas en las áreas SUR-C2 y SUR-C1 (e incluso SUR-P2) en comparación con las otras áreas marinas circundantes difícilmente pueden ser explicadas únicamente a partir de la variabilidad hidrológica. El impacto de los ríos excede por tanto el entorno inmediato de la desembocadura, lo que justifica que en la evaluación de la eutrofización se considere una escala espacial mayor a la propia de las masas de agua costera *sensu* DMA.
- Más allá del impacto de los ríos, las principales fuentes puntuales de contaminación que aportan nutrientes al medio marino son las aguas residuales urbanas. A falta de información más precisa sobre estas y otras fuentes de contaminación difusa, que permitan elaborar un modelo de aportes a partir del cual diseñar un programa adecuado de medidas, se ha generado un modelo cualitativo basado en la proximidad e intensidad de las fuentes de contaminación, para determinar el riesgo de contaminación por nutrientes en la Demarcación. Dicho modelo permite concluir que la desembocadura del Guadiana, la desembocadura del Guadalquivir y la Bahía de Cádiz presentan riesgo entre moderado y alto de acumulación de nutrientes.
- Coincidentemente con el riesgo de acumulación de nutrientes, la distribución horizontal de los mismos en la columna de agua indica que las aguas con mayores concentraciones se encuentran localizadas en la zona costera entre el extremo occidental de la Demarcación marina y la desembocadura del



Guadalquivir. En comparación, las concentraciones de nutrientes reportadas para la bahía externa de Cádiz son menores.

- No se han obtenido datos que indiquen que durante el período actual se ha producido un aumento de las concentraciones de nutrientes y clorofila en ninguna de las áreas de la Demarcación. Tampoco hay evidencias de que otros posibles efectos directos o indirectos de la eutrofización hayan experimentado un aumento.
- Los datos de concentración de clorofila obtenidos para las áreas costeras en el período actual no han sobrepasado los valores que definen el estado Bueno/Moderado según la DMA y los valores de evaluación de OSPAR. Por tanto, no se encuentran áreas en la demarcación con problemas de eutrofización. Sin embargo, el valor de evaluación de nitrato se ha sobrepasado puntualmente en el área SUR-C1, lo que lleva a calificarla provisionalmente como área “con problemas potenciales de eutrofización”.
- La evaluación presentada tanto en cuanto a presiones como en cuanto a indicadores es parcialmente concordante con la realizada en el contexto de la aplicación del Procedimiento Común de OSPAR, que calificó como áreas con problemas potenciales de eutrofización el estuario del Tinto-Odiel, el estuario del Guadalquivir y el PN Bahía de Cádiz. En relación con esta última zona hay que destacar que la bahía externa de Cádiz, según nuestro análisis no presentaría problemas potenciales de eutrofización, posiblemente porque dado su carácter poco expuesto, la acumulación de nutrientes se limita al área interna de la bahía.



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.

Tabla 5.7. Definición del BEA de los grupos de indicadores del Descriptor 5.

	Definición del BEA
Indicadores de presión	No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de nutrientes durante los últimos seis años, ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal
Efectos directos	No hay tendencias no explicables por variabilidad hidrológica hacia el aumento de la concentración de clorofila a, ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal, ni hay tendencia de disminución de la transparencia
Efectos indirectos	No se registran cambios en las comunidades atribuibles al aumento de la concentración de nutrientes, no se registran valores de saturación de oxígeno inferiores al 80%



En la evaluación presentada en la sección anterior, se han definido áreas de productividad relativamente homogéneas, que se espera por tanto que presenten una “sensibilidad” homogénea al enriquecimiento de nutrientes.

En la práctica no es posible definir cuantitativamente, con los datos disponibles, ese umbral máximo de carga de nutrientes, entre otras razones porque los datos se han recogido en zonas ya afectadas por contaminación. Alternativamente, se cuenta con la evaluación de los indicadores de eutrofización ya mostrada anteriormente. De acuerdo con esta evaluación, es posible definir un BEA para cada uno de los indicadores (o grupo de indicadores) en los términos que se recogen en la Tabla 5.7. Como puede observarse, en la definición se recogen los dos criterios complementarios utilizados anteriormente para la evaluación del BEA: las tendencias temporales de los indicadores y los valores de evaluación definidos en aplicación de la DMA y OSPAR. En la Figura 5.32 se muestra el porcentaje (en superficie) de la demarcación que se encuentra en BEA para los tres grupos de indicadores de presión y de efectos directos evaluados en este informe. Debe notarse que para el grupo de indicadores de efectos indirectos la información de la que se ha dispuesto es en general muy escasa, por lo que esta clasificación ha de tomarse todo caso como provisional.

Los indicadores del Descriptor 5 están estructurados jerárquicamente, de manera que sólo si se detecta una tendencia hacia el incremento de la concentración de nutrientes no ligada a variabilidad hidrológica se podrían esperar 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. Por otro lado, y de acuerdo con el Procedimiento Común de OSPAR, el BEA se alcanzaría en aquellas áreas que quedan definidas como “sin problemas de eutrofización”. De acuerdo con esta definición, toda la demarcación



Sudatlántica alcanza el BEA con respecto a la eutrofización aun cuando se detectan concentraciones elevadas de nutrientes en algunas áreas.

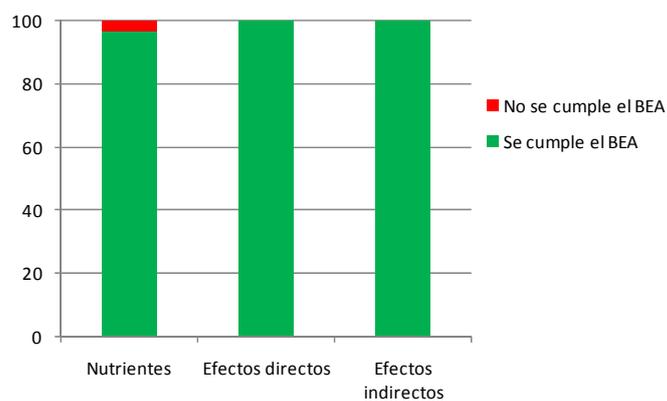


Figura 5.32. Porcentaje de la Demarcación que se encuentra en BEA para los nutrientes y los indicadores de efectos directos.



4. Referencias

- Ahn Y.-H., Shanmugam P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 104: 419-437
- Anfouso, E., Ponce, R., González-Castro, C., Forja, J.M. (2010). Coupling between the thermohaline, chemical and biological fields during summer 2006 in the northeast continental shelf of the Gulf of Cádiz (SW Iberian Peninsula). *Scientia Marina* 75S1: 47-56.
- Bailey, S.W., Werdell, P.J., 2006. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products. *Remote Sensing of Environment* 102, 12–23.
- Bailey, S.W., McClain, C.R., Werdell, P.J., Schrieber, B.D., 2000. Normalized waterleaving radiance and chlorophyll-a match-up analyses. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), 2000. SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series 10, SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 2. NASA Tech. Memo. 2000–206892, 10 (Greenbelt, MD, NASA Goddard Space Flight Center, USA).
- Banks, A.C., Prunet P., Chimot P, Pina, P., Donnadille, J., Jeansou , E., Lux , M., Petihakis G., Korres, G., Triantafyllou, G., Fontana, C., Estournel C., Ulses, C., Fernandez L., 2012. A satellite ocean color observation operator system for eutrophication assessment in coastal waters. *Journal of Marine System* 94:S2-S15.
- Bosc, E., Bricaud, A., Antoine, D. 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of Sea-WiFS observations, *Glob. Biogeochem. Cy.*, 18, GB1005, doi:10.1029/2003GB002034.
- Bricaud, A., Bosc, E., Antoine, D., 2002. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin: intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment* 81: 163–178.
- Caballero, I., Navarro, G. (2011) Dynamics of the turbidity plume in the Guadalquivir estuary (SW Spain): A remote sensing approach. *OCEANS IEE*, 1-11.
- Carvalho G.A., Minnett P.J., Banzon V.F., Baringer W., Heil C.A. 2011. Long-term evaluation of three satellite ocean color algorithms for identifying harmful algal blooms (*Karenia brevis*) along the west coast of Florida: A matchup assessment. *Remote Sensing of Environment* 115: 1-18
- Claustre, H., Morel, A., Hooker, S. B., Babin, M., Antoine, D., Oubelkheir, K., Bricaud, A., Leblanc, K., Quéguiner, B., Maritorena, S. 2002. Is desert dust making oligotrophic waters
- 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.
- Criado-Aldeanueva F., García-Lafuente J., Navarro G., Ruíz J. 2009. Seasonal and interannual variability of the surface circulation in the Easter Gulf of Cádiz (SW Iberia). *Journal of Geophysical Research* 114:C01011
- 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., Sathyendranath, S. 2007. Delineation of ecological provinces using ocean colour radiometry, *Mar. Ecol. Progress S.*, 346, 1–7.
- Echevarría F., Lafeunte J.G., Bruno J.G., Gorsky G., Goutx M., González N., García C.M., Gómez J.M., Vargas J.M., Picheral L., Striby L., Varela M., Alonso J.J., Reul A., Cozar A., Prieto L., Sarhan T., Plaza F., Jiémenz-Gómez F. 2002. Physical-biological coupling in the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research II* 49: 4115-4130
- Echevarría, F., Zabala, L., Corzo, A., Navarro, G., Prieto, L., Macías, D. 2009. Spatial distribution of autotrophic picoplankton in relation to physical forcings: the Gulf of Cádiz, Strait of Gibraltar and Alborán Sea case study. *Journal of Plankton Research*. 31:1339-1351.
- Eiras-Garcia C.A., Tavano-Garcia V.M., McClain C.R. 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans, *Remote Sensing of Environment*. 95: 125-137.
- 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 *Geophys. Res. Lett.*, 29, 107–111.
- Gregg, W.W., Casey, N.W., 2004. Global and regional evaluation of the SeaWiFS chlorophyll data set. *Remote Sensing of Environment* 93, 463–479.
- Helsel, D.R., Hirsch, R.M., 1992. *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier
- Hooker, S.B., McClain, C.R., 2000. The calibration and validation of SeaWiFS data. *Progress in Oceanography* 45, 427–465.
- Hu C., Muller-Karger F.-E., Taylor C., Carder K.L., Kelble C., Johns E., Heil C.A. 2005. Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data: A regional example in SW Florida coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 97: 311-321
- Huertas E., Navarro G., Rodríguez-Gálvez S., Prieto L. 2005. The influence of phytoplankton in surface sea water of a coastal area of the Gulf of Cádiz (southwestern Spain). *Canadian Journal of Botany* 83: 929-940



- Huertas, I.E., Navarro, G., Rodríguez-Gálvez, S., Lubián, L.M. 2006. Temporal patterns of carbon dioxide in relation to hydrological conditions and primary production in the northeastern shelf of the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Deep Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography*. 53: 1344-1362.
- 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.
- Lavender, S.J., Pinkerton, M.H, J-M. Froidefond, J.-M., Morales, J., Aiken, J., Moore, J.F. (2004). SeaWiFS validation in European coastal waters using optical and biogeochemical measurements. *Remote sensing*.25: 1481-1488.
- McClain, C.R., 2009. A decade of satellite ocean color observations. *Annual Review of Marine Science* 1, 19–42.
- Mercado, J.M., Cortés D., García A., Ramírez, T. 2007. Seasonal and inter-annual changes in the planktonic communities of the northwest Alboran Sea (Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography* 74: 273-293.
- Mercado, J.M., Ramírez T., Cortés D., Sebastián M., Vargas-Yañez, M. 2005. Seasonal and inter-annual variability of the phytoplankton communities in an upwelling area of the Alboran Sea (SW Mediterranean Sea). *Scientia Marina* 69: 451-465.
- Navarro G., Caballero I., Prieto L., Vázquez A., Flecha S., Huertas I.E., Ruíz J. 2011. Seasonal-to-interannual variability of chlorophyll-a bloom timing associated with physical forcing in the Gulf of Cadiz. *Advance in Space Research*, doi: 10.1016/j.asr.2011.11.034
- Navarro G., Ruíz J. 2006. Spatial and temporal variability of phytoplankton in the Gulf of Cádiz, through remote sensing images. *Deep-Sea Research II*, 53:1241-1260.
- Navarro G., Ruíz J., Huertas I.E., García C.M., Criado-Aldeanueva F., Echevarría F. 2006. Basin-scale structures governing the position of the deep fluorescence maximum in the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Research II*. 53: 1261-1281.
- Novoa, S., Chust, G., Sagarminaga, Y., Revilla, M., Borja, A., Franco, J., 2012. Water quality assessment using satellite-derived chlorophyll-a within the European directives, in the southeastern Bay of Biscay. *Marine Pollution Bulletin* 64: 739-750.
- O'Reilly J.E., Maritorena S., Siegel D.A., O'Brien M.C., Toole D., Mitchell B.G., et al. 2000 Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: version 4. In: Hooker SB, Firestone ER, editors. *SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3*. NASA Technical Memorandum 2000–206892, Vol. 11. Greenbelt, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center; pp. 9–23



- 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
- Prieto L., García C.M., Corzo A., Ruíz J., Echevarría F. 1999. Phytoplankton, bacterioplankton and nitrate reductase activity distribution in relation to physical structure in the northern Alborán Sea and Gulf of Cádiz (southern Iberian Peninsula). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 15: 1-4.
- Ramírez-Romero E., Macías, D., Bruno, M., Reyes, E., Navarro, G., García, C.M. 2012. Submesoscale, tidally-induced biogeochemical patterns in the Strait of Gibraltar. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 101: 24-32.
- Reul, A., Muñoz, M., Criado-Aldeanueva, F., Rodríguez, V. 2006. Spatial distribution of phytoplankton <math><13\ \mu\text{m}</math> in the Gulf of Cádiz in relation to water masses and circulation pattern under westerly and easterly wind regimes. *Deep Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography*. 53: 1294-1313.
- Ribas-Ribas M., Gómez-Parra A., Forja J.M. 2011. Spatio-temporal variability of the dissolved inorganic carbon and nitrogen in a coastal area affected by river input: The north Eastern shelf of the Gulf of Cádiz (SW Iberian Peninsula). *Marine Chemistry* 126: 295-308.
- Ruíz, J., Navarro, G. 2006. Upwelling spots and vertical velocities in the Gulf of Cádiz: An approach for their diagnosis by combining temperature and ocean colour remote sensing. *Deep Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography*. 53: 1282-1293.
- Sancak, S., Besiktepe, S.T., Yilmaz, A., Lee, M., Frouin, R., 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll-a in the Black and Mediterranean Seas. *International Journal of Remote Sensing* 26: 2045–2060.
- Shanmugam P., Ahn Y.-H., Ram P.S. 2008. SeaWiFS sensing of hazardous algal blooms and their underlying mechanisms in shelf-slope waters of the Northwest Pacific during summer. *Remote Sensing of Environment* 112: 3248-3270
- Vantrepotte, V., Mélin, F. (2010) Temporal variability in SeaWiFS derived apparent optical properties in European seas. *Continental Shelf Research* 30:319-334.
- 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.



Informes técnicos y textos legales

Acuerdo de 2 de noviembre de 2011, del Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía, por el que se aprueba inicialmente el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalete y Barbate. BOJA 216 de 4 de noviembre de 2011.

Acuerdo de 2 de noviembre de 2011, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba inicialmente el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras. BOJA 216 de 4 de noviembre de 2011.

Consejería de Agricultura y Pesca. 2006. Zonas de interés para el desarrollo de la acuicultura en el litoral andaluz. Pp. 483

Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010. Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Documento para consulta pública. Pp. 417

Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía Medio Ambiente en Andalucía. Informes 2001 a 2010.

Páginas web

<http://water.europa.eu/>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>

<http://indamar.ieo.es/>

<http://www.nodc.noaa.gov/>

http://cdiac.ornl.gov/oceans/CARINA/about_carina.html

<http://www.emodnet-hydrography.eu/>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/ima>

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

<http://apps.webofknowledge.com/>

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente>



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 geostroficos o a episodios de vientos que favorecen este fenómeno. BEA: Buen Estado Ambiental

Bloom: Crecimiento explosivo de algas

DHG: Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir

DHGB: Demarcación Hidrográfica del Guadalete-Barbate

DHGU: Demarcación Hidrográfica del Guadiana

DHTOP: Demarcación Hidrográfica del Tinto y Odiel y Piedras

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

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

DMA: Directiva Marco del Agua

DMEM: Directiva Marco sobre la Estrategia Marina

EEA: Agencia Europea de Medioambiente

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Si:P : Razón molar silicato:fosfato



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

Tratamiento de las imágenes de satélite

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

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

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



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

Es conocido (y así se ha discutido previamente) que los datos de clorofila a de satélite del océano están afectados por un problema de incertidumbre (Claustre et al., 2002; D'Ortenzio et al., 2002; Bosc et al., 2004; Volpe et al., 2007) lo que da lugar a que las concentraciones de clorofila a de satélite se desvíen en promedio un 35% respecto a los valores *in situ*. En nuestro conjunto de datos, la correlación entre los valores de clorofila calculados a partir de las imágenes de satélite y los recopilados *in situ* es altamente significativa (Figura 5.33), por lo que se puede afirmar que los datos de satélite reproducen adecuadamente el ciclo anual de productividad descrito en la Demarcación, así como sus gradientes espaciales de distribución (Prieto et al., 1999; Echevarría et al., 2002; Huertas et al., 2006; Navarro et al., 2006; Reul et al., 2006; Criado-Aldeanueva et al., 2009; Navarro y Ruíz, 2006; Echevarría et al., 2009; Afounso et al., 2010; Navarro et al., 2011; Ramírez-Romero et al., 2012). Por tanto, los datos presentados corroboran la hipótesis de que las imágenes de satélite sí expresan adecuadamente los cambios temporales y espaciales en la concentración de clorofila (si bien los datos de satélite en tanto que valores en términos absolutos de concentración deben usarse con precaución). Otro aspecto técnico que hay que tener en cuenta es que el satélite sólo proporciona información de la primera profundidad óptica de la columna de agua (los primeros 10-30 metros), por tanto no recoge información sobre la distribución vertical de la clorofila a . Sin embargo, la información disponible en la Demarcación indica que la clorofila a de superficie está fuertemente correlacionada con su concentración integrada en la columna de agua por lo tanto en principio las conclusiones extraídas desde el análisis de las imágenes de satélite (referentes a clorofila de superficie) podrían extrapolarse a toda la columna de agua con un error asumible. En resumen, el procedimiento de zonación de la Demarcación basada en imágenes de satélite se fundamenta en dos hipótesis: (1) que la variabilidad espacio-temporal de la clorofila a de satélite refleja la variabilidad de la clorofila a superficial *in situ* y (2) que la clorofila de superficie está correlacionada con la clorofila a en toda la columna de agua. La comparación de los promedios calculados para la clorofila a *in situ* con los de satélite indica que la primera hipótesis es razonable (Figura 5.33), aunque se requerirán datos adicionales para validarla completamente.



Procedimiento de zonación basado en imágenes de satélite

Se utilizaron las imágenes diarias de MODIS-Aqua para generar series climatológicas mensuales de clorofila a de satélite para cada uno de los píxeles en que se dividió la Demarcación. Previamente, se realizó un análisis de las series temporales diarias con el fin de comprobar que los huecos (días o zonas para los cuales no se pudieron obtener imágenes) se presentaban bien distribuidos en el espacio y en el tiempo. De esta forma se descartó que existieran sesgos en la información de satélite que pudiera restar robustez a las medias mensuales que fueron calculadas. Con las series mensuales obtenidas para cada píxel se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico del tipo *K-medias* (*K-means*) con la finalidad de agrupar estadísticamente los píxeles, que por consiguiente quedaron ordenados en función no sólo de su media estacional de clorofila a de satélite sino además de su distribución durante el ciclo anual. Este método de ordenación descrito inicialmente por Mac Queen (1967) minimiza la suma global de las distancias euclídeas cuadráticas entre los distintos píxeles y el centroide del clúster al que asignan. Se trata de un proceso iterativo en dos fases (asignación de puntos a los centroides y recalcado 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 Sudatlántica, el análisis se llevó a cabo ensayando diferente número de grupos. Atendiendo a la distancia entre los centroides y a la distribución estacional de los mismos que se obtuvo después de diferentes ensayos (partiendo de un número de grupos de 2 hasta 7) se decidió agrupar los píxeles en cinco clústeres, ya que la distribución espacial resultante fue la que reprodujo de forma más adecuada las características hidrológicas de la Demarcación (en particular el gradiente costa-mar adentro de temperatura y clorofila descrito en la literatura) y la distribución estacional de la clorofila a (ver Figura 5.14). Es interesante señalar que se realizaron diferentes ensayos para asegurar que las soluciones del modelo de ordenación convergieron independientemente del punto de partida.

De esta forma, el análisis clúster permitió obtener de manera relativamente sencilla y objetiva imágenes integradas de la Demarcación basadas en las variaciones espaciales del ciclo estacional de la clorofila. Esta técnica estadística ha sido utilizada



previamente por varios autores con la misma finalidad (Devred et al., 2007; D'Ortenzio y D'Alcalà 2009).

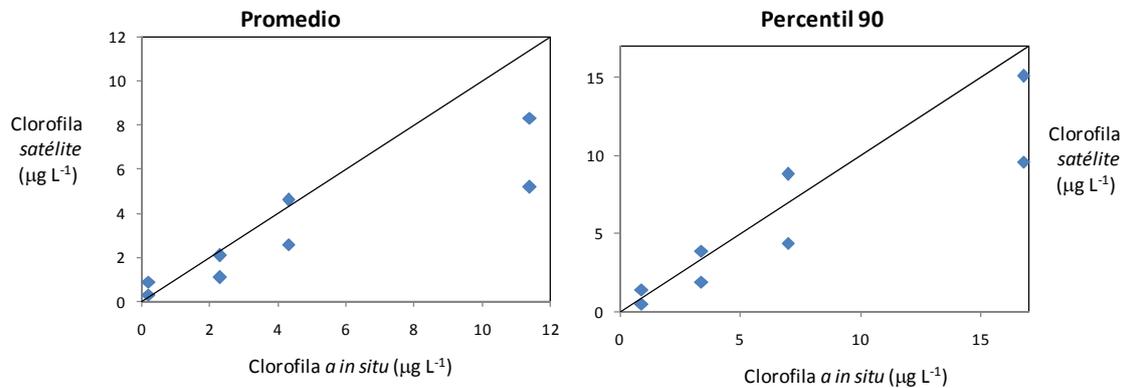


Figura 5.33. Comparación entre los valores medios de clorofila *in situ* y de satélite calculados para las diferentes áreas de productividad contrastante (se incluyen los valores obtenidos para el periodo más productivo y para el resto del ciclo anual). El área SUR-C2 no se incluye en la comparación puesto que no se dispone de datos *in situ*.

Descripción estadística de las series temporales

Para cada una de las zonas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación se ha realizado una recopilación de datos de nutrientes y clorofila *a*. De esta forma se han construido series temporales de valores de estos indicadores para cada zona (excepto para el área SUR-C2). La descripción estadística de cada serie temporal 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. En cada tabla *n* representa el número de observaciones, *max*, el valor máximo de toda la serie, *perc90*, el percentil 90 y *DE* la desviación estándar.

Se muestra también la descripción estadística de la serie temporal (2002-2010) de concentración de clorofila *a* de satélite.



Tabla III.1. Descripción estadística de las series temporales de nitrato, fosfato y clorofila *a* para cada área de productividad contrastante identificada en la Demarcación (excepto para SUR-C2 de la que no se han podido recopilar datos).

Nitrato ($\mu\text{M L}^{-1}$)							
	n	max	media	Mediana	moda	perc 90	DE
SUR-OCEAN	186	8,2	0,6	0,1	0,04	1,9	1,4
SUR-P1	139	5,9	1,0	0,2	0,04	3,4	1,5
SUR-P2	46	36,7	1,8	0,1	0,10	3,2	5,9
SUR-C1	29	20,3	3,1	1,5	1,8	7,2	4,3
SUR-C2							

Fosfato ($\mu\text{M L}^{-1}$)							
	n	max	media	mediana	moda	perc 90	DE
SUR-OCEAN	274	1,6	0,2	0,1	1,0	0,4	0,2
SUR-P1	141	1,6	0,3	0,2	0,1	0,6	0,2
SUR-P2	44	7,2	0,6	0,3	0,1	1,4	1,3
SUR-C1	24	8,7	1,3	0,3	0,1	3,5	2,2
SUR-C2							

Clorofila <i>a in situ</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)							
	n	max	media	mediana	moda	perc 90	DE
SUR-OCEAN	132	2,2	0,2	0,3	0,5	0,9	0,4
SUR-P1	72	23,2	2,3	1,1	1,4	3,4	4,3
SUR-P2	40	45,0	4,3	1,4	1,7	7,0	8,7
SUR-C1	26	73,8	11,4	9,3		16,8	15,6
SUR-C2							



Tabla III.2. Descripción estadística de las series temporales de clorofila *a* de satélite para cada área de productividad contrastante identificada en la Demarcación. Se analizan por separado las series correspondientes al período del ciclo anual más productivo y al resto del año.

Período anual más productivo						
	n	max	media	mediana	perc 90	DE
SUR-OCEAN	649	5,7	0,7	0,5	1,4	0,6
SUR-P1	616	12,1	2,1	1,6	3,9	1,7
SUR-P2	474	19,5	4,6	3,8	8,8	3,1
SUR-C1	553	25,7	8,3	7,2	15,1	4,6
SUR-C2	302	27,0	11,7	10,6	20,3	5,5

Resto del ciclo anual						
	n	max	media	mediana	perc 90	DE
SUR-OCEAN	1432	3,6	0,3	0,3	0,5	0,2
SUR-P1	1395	6,4	1,1	1,0	1,9	0,7
SUR-P2	1291	14,1	2,6	2,1	4,4	1,6
SUR-C1	1159	23,6	5,2	4,3	9,6	3,2
SUR-C2	808	26,5	8,4	7,5	14,2	4,2



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

Con el fin de comprobar la validez estadística del procedimiento de zonación de la Demarcación (basado en datos de satélite), se han realizado análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis ANOVA) con todos los datos de las series temporales de clorofila *a in situ* y nutrientes. Adicionalmente, se han comparado también los valores de clorofila de satélite (medias mensuales de 2002 a 2010). En las Tablas III-3, III-4 y III-5 se muestran los resultados de las comparaciones entre las cuatro áreas de productividad contrastante de las que se dispone datos. En el caso de los datos de clorofila de satélite se han comparado las cinco áreas de productividad contrastante. Los resultados de los análisis evidencian que las diferencias en clorofila y nitrato entre el área más oceánica y el resto de áreas de la demarcación fueron significativas estadísticamente tanto para clorofila como para nutrientes. Las diferencias en concentración de fosfato no respondieron sin embargo al gradiente esperado de costa hacia mar adentro.

Tabla III-3. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de clorofila *a in situ* entre las cuatro áreas de productividad (nótese que no se dispone de datos para SUR-C2). Las comparaciones se llevaron a cabo mediante el test de Fisher LSD.

Clorofila <i>a in situ</i>			
	SUR-P1	SUR-P2	SUR-C1
SUR-OCEAN	***	***	***
SUR-P1		Ns	***
SUR-P2			***

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



Tabla III-4. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de nitrato y fosfato entre las cuatro áreas de productividad (nótese que no se dispone de datos para SUR-C2). Las comparaciones se llevaron a cabo mediante el test de Fisher LSD.

Nitrato			
	SUR-P1	SUR-P2	SUR-C1
SUR-OCEAN	***	***	***
SUR-P1		Ns	*
SUR-P2			ns

Fosfato			
	SUR-P1	SUR-P2	SUR-C1
SUR-OCEAN	*	***	ns
SUR-P1		***	ns
SUR-P2			***

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 clorofila de satélite entre las cinco áreas de productividad. Las comparaciones se llevaron a cabo mediante el test de Fisher LSD.

Clorofila a de satélite				
	SUR-P1	SUR-P2	SUR-C1	SUR-C2
SUR-OCEAN	***	***	***	***
SUR-P1		***	***	***
SUR-P2			***	***
SUR-C1				***

Análisis de tendencias temporales

Para la determinación de tendencias temporales de clorofila a de satélite se calcularon valores anuales promediados para todo el período del que se dispuso de datos. Las tendencias temporales de serie 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 $p = 0,05$.