





## DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL INDICADOR

La fuente de información fundamental la constituyen las imágenes que proporciona el sensor SeaWiFS, espectrorradiómetro montado en el satélite SeaStar para los años 2000-2004 y, con las imágenes que proporciona el sensor MODIS, del satélite AQUA, para realizar el cálculo a partir de 2005. En el año 2021 se ha incorporado además, el cálculo con imágenes SENTINEL-3 proporcionadas por el instrumento OLCI, cuyas bandas están optimizadas para medir el color del océano en zonas costeras y de mar abierto. Los datos de todos los sensores son comparables entre sí puesto que utilizan el mismo algoritmo. Éstas son transformadas en imágenes de Clorofila-a CHL<sub>a</sub>).

La unidad de tiempo que se utiliza es el año natural desde enero a diciembre.

## SUBINDICADOR

Este indicador no cuenta con información de apoyo o subindicadores.



## **INTERÉS DEL INDICADOR**

La clorofila puede ser detectada fácilmente mediante Teledetección gracias a su comportamiento frente a la luz. La concentración de ésta en una muestra de agua permite una estimación de la concentración de fitoplancton e, indirectamente, de la actividad biológica. Los organismos que contienen clorofila se encuentran en la base de la cadena alimenticia, por lo que la determinación de concentraciones de clorofila-a es uno de los índices claves de monitoreo de la población de fitoplancton y de la salud de nuestro sistema natural. Además la medición de clorofila-a puede ser utilizada como instrumento de vigilancia de los procesos de eutrofización.

## **UNIDAD DE MEDIDA**

mg/cm<sup>3</sup>.

## **DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS**

La concentración de clorofila-a (Chl a) en las aguas es un indicador de producción primaria, y por lo tanto también lo es de la actividad biológica. Su concentración depende fundamentalmente de la disponibilidad de luz y nutrientes. Es por tanto, un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton que le da un color verdoso a éste. La concentración de este pigmento permite poder estimar la concentración de fitoplancton y por lo tanto, de la actividad biológica.

En ambientes marinos la producción primaria es el resultado del movimiento de las masas de agua y de las condiciones de luz y nutrientes (Picado et al., 2013). Los pigmentos de la clorofila tienen una firma espectral específica y distintiva, pues absorben en las longitudes de onda correspondientes a los colores azul (455-492nm) y rojo (622-700nm) del espectro, así como una reflectancia fuerte en el verde (492-577nm), afectando por lo tanto al color del océano. Las observaciones multiespectrales del océano con sensores espaciales, permiten la observación de estos cambios de color en el océano localizando las áreas de concentración de fitoplancton (Somoza et al., 2007). Observando los datos satelitales y conociendo las áreas con mayor concentración de fitoplancton, se pueden localizar las mejores zonas pesqueras, puesto que las áreas ricas en fitoplancton son las más activas biológicamente y las más favorables para la pesca. El fitoplancton está siempre presente en el agua, pero la luz del sol más fuerte en primavera, así como los aportes de sedimentos ricos en nutrientes del agua dulce que descargan los ríos, hacen que tengan lugar concentraciones de fitoplancton de gran intensidad durante esta época del año. Además de los espectaculares blooms primaverales también ocurren eventos similares durante el verano cuando, debido a



las condiciones atmosféricas, tiene lugar el fenómeno de aforamiento o upwelling producido por el viento. Durante el otoño y el invierno, las variaciones de Chl a dependen de factores como el aporte de nutrientes transportados por los ríos o la ocurrencias de temporales en el océano que mezclen las aguas superficiales con las aguas profundas. (Álvarez et al., 2012).

En el área de estudio Océano Atlántico y Mar de Alborán, se observa un máximo de concentración, más o menos intenso, en los meses de primavera que coincide con el blooms de fitoplancton característico de esta época del año. Sin embargo, dependiendo del área observada podemos encontrar otros máximos secundarios relacionados con los fenómenos de aforamiento producidos por las condiciones atmosféricas o por periodos de intensa descarga fluvial, echo que suele ocurrir sobre todo en los meses de invierno. Los máximos debidos a condiciones de aforamiento por efecto de los vientos propiciados por las condiciones atmosféricas, por regla general ocurren durante los meses de verano, y tienen lugar principalmente en el litoral Atlántico.

En primavera cabe destacar un máximo de concentración de clorofila localizado en la región occidental del litoral en el golfo de Cádiz y otro de menor intensidad pero de valores significativamente mayores que los de su alrededor en el mar de Alborán. Los máximos de invierno se encuentran fundamentalmente localizados en las zonas de descarga de ríos como el Guadiana y/o el Guadalquivir.

Si analizamos espacialmente la distribución de la clorofila según los datos obtenidos a partir de las imágenes de satélite, la concentración de clorofila en aguas abiertas del Atlántico es baja, del orden de 0,01-0,5 mg/cm<sup>3</sup>, que es lo normal en estas latitudes, excepto en los meses de abril y mayo, donde debido al blooms de fitoplancton la distribución de ésta se expande mar adentro con valores no muy superiores a 2,5 mg/cm<sup>3</sup>, y sólo en la proximidad de la costa, debido a los aportes terrígenos en la desembocadura de los ríos, o en zonas de aforamiento de aguas frías profundas ricas en nutrientes, se eleva esta concentración.

En el caso del Mediterráneo, la variabilidad de este parámetro en mar abierto es algo mayor, alcanzándose los valores más bajos en verano y otoño y los más elevados en los meses de invierno y primavera. Las bajas temperaturas y sobretodo el cambio en la dirección e intensidad de los vientos en las estaciones de invierno y primavera en la zona más noroccidental de Alborán y en la costa de Málaga provocan el aforamiento de aguas profundas más frías y enriquecidas en nutrientes, lo que conlleva un aumento en la concentración de clorofila-a en esas localizaciones, sosteniendo así una producción primaria más elevada que en el resto del mar de Alborán, aunque en general, la concentración de clorofila-a en el Mediterráneo es muy baja.



Independientemente de la variabilidad anual, las comunidades de fitoplancton presentan un patrón de variabilidad interanual que se caracteriza por la sucesión de ciclos de productividad alta seguidos por periodos menos productivos con una duración entre 3-4 años (Mercado et al, 2005, 2007, 2012).

Analizando la variabilidad temporal de la concentración de clorofila-a a lo largo de la serie de años con disponibilidad de datos (de 2000 a 2023) se observa que las menores concentraciones se registran siempre en los meses de verano y otoño, variando la concentración de este parámetro de 0,4 a 0,7 mg/cm<sup>3</sup>. Considerando los valores promedios de la serie, en el caso de la estación de verano, la concentración de clorofila-a presenta un promedio en torno a 0,4 mg/cm<sup>3</sup> y en otoño de 0,5 mg/cm<sup>3</sup>. Sin embargo, en la época invernal y principios de primavera estas variaciones son más marcadas que las variaciones de los veranos u otoños. En este caso, el intervalo de variación de clorofila-a está entre 0,5 y 1,4 mg/cm<sup>3</sup> con un promedio en torno a 0,8 mg/cm<sup>3</sup> en la estación invernal y 0,6 en primavera. Esto puede explicarse por el efecto que conlleva sobre la población de fitoplancton el afloramiento de aguas profundas más frías y ricas en nutrientes.

Según observamos en la gráfica para el año 2023 y desde 2018, existe un suavizado de los valores extremos tendiendo a regularse los valores de clorofila-a hacia un comportamiento medio, próximo al obtenido con el cálculo de la media histórica. Así, para el año 2023 la clorofila se encuentra por encima de los valores medios de la serie histórica en todos los meses excepto en marzo, abril y diciembre donde los valores son aproximados a la media.

En cuanto a la variabilidad espacial de la clorofila-a, se observa que durante todo el año en la zona atlántica, la concentración es muy alta (> 0,7 mg/cm<sup>3</sup>), situándose los valores máximos en la franja más costera. Esta franja muy eutrófica se mantiene a lo largo de todo el año, cambiando la anchura de la misma. Desde los máximos primaverales hasta los mínimos estivales, la concentración de clorofila disminuye paulatinamente, observándose a lo largo de todos los meses que en la zona más oceánica, dicha concentración disminuye hasta valores cercanos a 0,1 mg/cm<sup>3</sup>. Se observan dos bloom de fitoplancton a lo largo del ciclo anual. El primero de ellos, de mayor intensidad se produce en los meses de invierno-primavera (con una concentración media cercana  $\pm$  0,80 mg/cm<sup>3</sup>) y está relacionado con el bloom primaveral para aguas de latitudes medias, mientras que el segundo, de menor intensidad, se da en los meses de otoño ( $\pm$  0,55 mg/cm<sup>3</sup>). Estas concentraciones superiores en la costa, podrían estar asociadas al aporte de nutrientes proveniente de los ríos que desembocan en la cuenca atlántica o relacionadas con situaciones concretas de vertido. En el Mediterráneo, la mayor concentración de clorofila en 2023 se



consigue en los meses de febrero y marzo, mesese en los que casi toda la costa presenta concentraciones superiores a 0,4 mg/cm<sup>3</sup>. A partir de este mes la concentración de clorofila va disminuyendo, tanto en la costa como en mar abierto, has los meses de noviembre y diciembre donde vuelve a ver un repunte debido a afloramientos de aguas mas frías ricas en nutrientes. A medida que se aproxima el verano comienzan a decaer los valores de clorofila, tanto en la costa como en mar abierto.

### FÓRMULA

Este indicador se calcula por un lado, a partir de las medias mensuales de la superficie marina para cada año de la serie temporal, y por otro, a partir de la climatología, entendiéndose como tal el promedio de la clorofila-a para cada mes a lo largo de la serie temporal. Como resultado se alcanza un valor para cada mes, pudiéndose establecer diferencias cuantitativas entre unos años y otros, además de la tendencia de la serie.

#### - Índice de Clorofila-a Medio Mensual frente a los valores de climatología.

Promedio mensual de clorofila-a a partir de los valores diarios, frente al promedio de CHLa para cada mes a lo largo de la serie temporal. Como resultado se alcanza un valor para cada mes, pudiéndose establecer diferencias cuantitativas entre unos años y otros, además de la tendencia de la serie.

$$\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{CHLa}}{n} \right) = \text{Índice de CHLa medio mensual, siendo } n \text{ el número de imágenes disponibles al mes.}$$
$$\left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{CHLa medio mensual}}{n} \right) = \text{Índice de Climatología, siendo } n \text{ el número de años de la serie temporal.}$$

### UNIDAD TERRITORIAL DE REFERENCIA

Andalucía. Litoral Andaluz, Mar de Alborán y Golfo de Cádiz.

### PERIODICIDAD DE CÁLCULO Y ACTUALIZACIÓN DE DATOS



Anualmente

### ACLARACIONES CONCEPTUALES

- **Clorofila-a:** pigmento fotosintético presente en los organismos que se encuentran en la base de la cadena alimenticia, por lo que la determinación de concentraciones de clorofila-a es uno de los índices claves de monitoreo de la población de fitoplancton y de la salud de nuestro sistema natural.
- **SeaWIFS:** Sea-viewing Wide Field of view Sensor. Espectroradiómetro montado en el satélite SeaStar, el cual fue puesto en órbita en septiembre de 1997. El propósito de este sensor es el de obtener datos de color de los océanos, es decir, examinar los factores biogeoquímicos del océano que afectan ó influyen en el cambio global.
- **MODIS:** MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer. Sensor a bordo del satélite TERRA y AQUA de la NASA con una alta resolución espacial. Los satélites AQUA y TERRA son parte de la Earth Science Enterprise de la NASA y poseen órbitas con ciclo diario sincronizado.
- **SENTINEL 3 OLCI:** El instrumento Ocean and Land Color Instrument (OLCI) a bordo del satélite SENTINEL 3, tiene 300 metros de resolución espacial y cuenta con 21 bandas distintas que permiten una cobertura global en menos de cuatro días. Es un instrumento óptico utilizado para proporcionar continuidad de datos para el MERIS de ENVISAT, cuyo objetivo es crear un sistema permanente de observación del océano en cuanto a color del océano.
- **Climatología:** promedio del parámetro para cada mes a lo largo de la serie temporal.
- **Producción Primaria:** se denomina producción primaria a la producción de materia orgánica que realizan los organismos autótrofos a través de los procesos de fotosíntesis o quimio síntesis.

### FECHA DE ACTUALIZACIÓN DE LA FICHA

Anualmente

### ENLACES RELACIONADOS/WEBS RELACIONADAS



- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).  
<http://www.eea.europa.eu/es/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico  
<https://www.miteco.gob.es/es/>
- Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul  
<https://www.cma.junta-andalucia.es/medioambiente/portal/home?categoryVal>
- Centro de Recepción Proceso Archivo y Distribución de datos de observación de la Tierra (CREPAD)  
<https://crepadweb.cec.inta.es/es/plataformas/terra.html>
- SeaWiFs  
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>
- MODIS  
<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- NOAA  
<https://www.noaa.gov/>
- SENTINEL 3  
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>
- Indicadores Ambientales de Andalucía  
[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/indicadores\\_ambientales](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/indicadores_ambientales)

#### **ESTADO DEL INDICADOR**

Finalizado

#### **SERIE TEMPORAL**

2000-2023

#### **SISTEMA DE INDICADORES AL QUE PERTENECE**





Informe de Medio Ambiente de Andalucía, IMA.

**PUBLICACIONES EN LAS QUE APARECEN**

IMA

**USUARIOS**

IMA