

### 3.3. Controles de la dinámica del fitoplancton en el mar Catalán

Marta Estrada, Miquel Alcaraz, Laura Arin

El mar Mediterráneo puede considerarse globalmente como oligotrófico, aunque presenta un conjunto de mecanismos de fertilización a diversas escalas espaciales y temporales. En este ensayo, revisamos algunos de estos mecanismos, que son responsables de situaciones de elevada biomasa y producción de fitoplancton en el mar Catalán.

#### Factores de fertilidad en el mar Catalán

En el Mediterráneo noroccidental, las corrientes marinas fluyen del NE al SO a lo largo de la costa catalana y vuelven hacia el NE cerca de las Islas Baleares. Este giro ciclónico deja una zona de divergencia en el centro, separada de las aguas costeras por frentes de plataforma-talud.

En invierno, el enfriamiento de las capas superficiales facilita la mezcla de la columna de agua y la entrada de nutrientes procedentes de

aguas más profundas hacia la zona eufótica. En la cuenca Liguro-Provenzal, en el límite septentrional del mar Catalán, la elevación de las isopícnas en la zona de divergencia, en combinación con la pérdida de calor y la evaporación provocadas por vientos del norte intensos y secos, puede dar lugar a convección profunda y mezcla vertical del agua hasta el fondo, con introducción de nutrientes en las capas superiores y formación de aguas profundas que se extienden por la cuenca. La convección profunda es un importante motor de la dinámica y producción del fitoplancton, no solo a nivel local, sino también en zonas distantes de la cuenca. Por ejemplo, el 25 de marzo de 2005, la clorofila *a* superficial alcanzó  $7 \text{ mg m}^{-3}$ , uno de los valores más altos medidos en la región, y el 22 de marzo de 2009, con  $2,3 \text{ mg m}^{-3}$  de clorofila superficial (figura 1), la producción primaria integrada verticalmente (0-80 m) alcanzó  $1800 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Estrada *et al.* 2014).

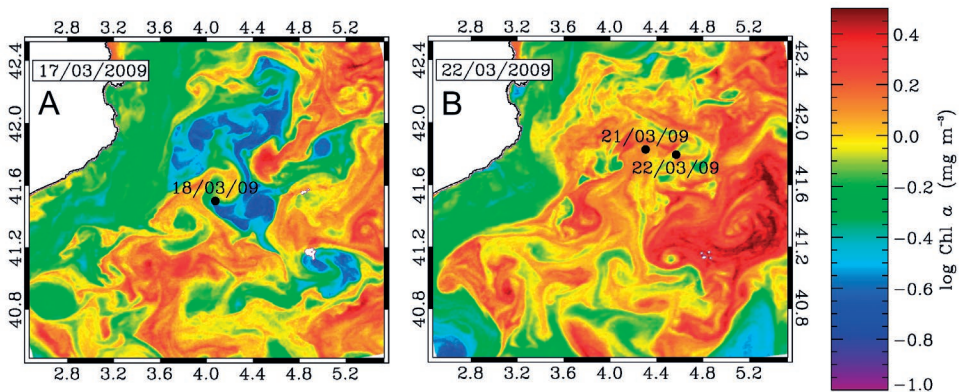


Figura 1. Imágenes de teledetección de la distribución de la clorofila *a* en el Mediterráneo noroccidental, el 17 (A) y el 22 de marzo de 2009 (B). Nótese el aumento de la concentración de clorofila *a* del 17 al 22 de marzo. La zona de baja clorofila *a* (azul) del 17 de marzo es el resultado de convección profunda. Los puntos negros indican las posiciones de las estaciones durante la campaña Famoso 1. Reproducido de Estrada *et al.* (2014), con permiso.

Entre finales del invierno y principios de la primavera, el aumento de la irradiación solar y el inicio de la estratificación térmica inducen el crecimiento de una intensa floración de fitoplancton en las aguas superficiales. Posteriormente, la estratificación se intensifica y se desarrolla un pronunciado gradiente de densidad vertical (la picnoclina) entre la capa superior de mezcla y las aguas más profundas. El crecimiento del fitoplancton agota los nutrientes (como el nitrato, el fosfato y el silicato) en la parte superior e iluminada de la columna de agua. En estas condiciones, el equilibrio entre los nutrientes que se difunden desde debajo de la termoclina y la disponibilidad de luz desde arriba conduce a la aparición de un máximo de fitoplancton y clorofila en profundidad, acompañado de acumulaciones de zooplancton (Estrada *et al.* 1993, Alcaraz *et al.* 2007). En la región de divergencia, la picnoclina es más superficial y la mayor disponibilidad de luz potencia el crecimiento del fitoplancton en el máximo profundo. A su vez, los frentes de plataforma-talud que bordean el giro presentan remolinos, meandros y filamentos que junto con la circulación ageostrofica (Estrada *et al.* 1999) pueden generar eventos de fertilización. A menudo, también se produce un pico de fitoplancton en otoño, cuando el enfriamiento del agua superficial erosiona la picnoclina.

Otras contribuciones importantes al enriquecimiento de nutrientes en el mar Catalán se originan en los aportes de agua continental y en la deposición atmosférica. En el noroeste del Mediterráneo, los ríos más influyentes son el Ródano y el Ebro; sin embargo, los vertidos de ríos más pequeños y los desbordamientos de aguas residuales, en particular después de las tormentas, pueden ser también localmente destacados.

## La sucesión del fitoplancton

Las fluctuaciones de la biomasa de fitoplancton a lo largo del ciclo estacional están asociadas a marcados cambios en la composición de la comunidad. La sucesión de los grupos dominantes desde el pico de invierno-primavera hasta la estratificación estival ha sido caracterizada por

Ramón Margalef en función de la intensidad de la turbulencia del agua y de la disponibilidad de nutrientes (Alcaraz y Estrada 2022). Los grupos de crecimiento rápido, como las diatomeas, dominan cuando la turbulencia y la concentración de nutrientes son elevadas, mientras que en aguas estratificadas y pobres en nutrientes son más abundantes los dinoflagelados, que son móviles y pueden migrar hacia arriba y hacia abajo en la columna de agua. Otros grupos, como los coccolitóforos, tienden a prosperar en situaciones intermedias. En las últimas décadas, nuevas metodologías para la caracterización de fitoplancton basadas en marcadores pigmentarios o en técnicas de genética molecular han proporcionado información sobre la distribución de taxones como las cianobacterias o muchos flagelados, que debido a su pequeño tamaño o a la falta de rasgos morfológicos distintivos no habían sido cuantificados adecuadamente en los estudios anteriores.

## ¿Qué podemos aprender de las series temporales a largo plazo?

Al igual que ocurre en tierra, existen fuertes fluctuaciones interanuales en los patrones de sucesión del fitoplancton a lo largo de un ciclo estacional. Además, el cambio global antropogénico puede interactuar con la variabilidad natural de maneras que aún desconocemos. Por lo tanto, para determinar los factores de cambio e identificar las tendencias a largo plazo se requiere la recopilación de series temporales largas de variables ecosistémicas ambientales y biológicas con una resolución adecuada.

Como contribución a estos objetivos, el Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) mantiene varias series temporales en aguas del mar Catalán. En el litoral de Barcelona, el Observatorio Oceánico Costero (<https://coo.icm.csic.es/ca>) mide varios parámetros en tiempo real y, desde marzo de 2002, realiza campañas mensuales para evaluar variables ambientales y biológicas. Esta serie a largo plazo ha proporcionado importantes conocimientos sobre el funcionamiento del ecosistema planctónico costero del mar Catalán. En este sentido, Arin *et al.* (2013) encontraron que la descarga fluvial fue la prin-

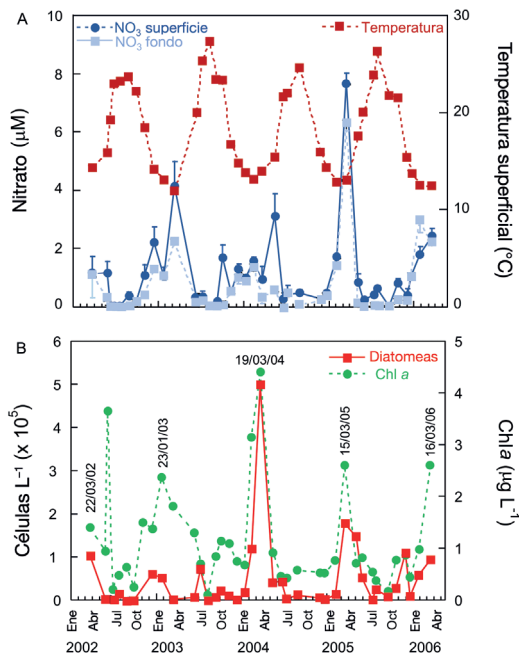


Figura 2. A, concentración de nitrato en superficie y en el fondo (mediana + desviación absoluta de la mediana) de 8 estaciones de muestreo del Observatorio del Océano Costero frente a Barcelona (marzo de 2002 a marzo de 2006) y ciclo anual de temperatura en superficie; B, clorofila *a* (Chl *a*) en superficie y abundancia de diatomeas durante el mismo periodo, en una estación representativa.

principal fuente de nutrientes para los máximos de invierno-primavera de 2003 y 2004, mientras que los episodios de fertilización que alimentaron las floraciones de fitoplancton de 2005 y 2006 se debieron a la intrusión de aguas de alta mar asociadas a los fuertes eventos de mezcla de los inviernos inusualmente fríos y secos de estos dos años (figura 2). En la serie del Observatorio de la Bahía de Blanes (<http://bbmo.icm.csic.es/>), el estudio de catorce años (2000-2014) de muestras permitió caracterizar el ciclo estacional de los principales grupos de fitoplancton y mostró que, además de seguir el patrón general, las diatomeas y los prasinofitos (un grupo de flagelados) proliferaban en respuesta a la fertilización por escorrentía debida a las tormentas (Nunes *et al.* 2018). Esta serie también reveló una tendencia decreciente en la concentración de clorofila *a*

que podría atribuirse a una reducción de la disponibilidad de nutrientes debida a las mejoras del tratamiento de aguas residuales en la zona.

## Observaciones finales

El Mediterráneo ha sido considerado como un modelo reducido y más accesible de los océanos del mundo. De forma similar, el mar Catalán concentra muchos de los procesos ecológicos y socioeconómicos que ocurren en todo el Mediterráneo. La información procedente de estudios oceanográficos y series temporales en el mar Catalán y otras zonas marinas del mundo ayuda a revelar cómo las interacciones entre la variabilidad natural y la antropogénica influyen en el ecosistema pelágico y pone de manifiesto la importancia del seguimiento a largo plazo para mejorar las proyecciones futuras y las decisiones de gestión.

## Referencias

- Alcaraz M., Calbet A., Estrada M., *et al.* 2007. Physical control of zooplankton communities in the Catalan Sea. *Prog. Oceanogr.* 74: 294-312.
- Alcaraz M., Estrada M. 2022. Turbulencia y dinámica del plancton en un océano más cálido. En: Pelegrí J.L., Gili J.M., Martínez de Albéniz M.V. (eds.), *El océano que queremos: ciencia oceánica inclusiva y transformadora*. Institut de Ciències del Mar, CSIC. Barcelona, pp. 139-141.
- Arin L., Guillén J., Segura-Noguera M., Estrada M. 2013. Open sea hydrographic forcing of nutrient and phytoplankton dynamics in a Mediterranean coastal ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 133: 116-128.
- Estrada M., Marrasé C., Latasa M., *et al.* 1993. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92: 289-300.
- Estrada M., Varela R.A., Salat J., *et al.* 1999. Spatio-temporal variability of the winter phytoplankton distribution across the Catalan and North Balearic fronts (NW Mediterranean). *J. Plankton Res.* 21: 1-20.
- Estrada M., Latasa M., Emelianov M., *et al.* 2014. Seasonal and mesoscale variability of primary production in the deep winter-mixing region of the NW Mediterranean. *Deep-Sea Res. Pt I.* 94: 45-61.
- Nunes S., Latasa M., Gasol J.M., Estrada M. 2018. Seasonal and interannual variability of phytoplankton community structure in a Mediterranean coastal site. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 592: 57-75.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14077>