

4.6. Turbulencia y dinámica del plancton en un océano más cálido

Miquel Alcaraz, Marta Estrada

La energía del viento, diferencias en la temperatura y el contenido de sales del agua que determinan su densidad, y la rotación de la Tierra, impulsan un sistema de circulación oceánica complejo y variable. La energía mecánica así generada, imprescindible para mantener la dinámica de los ecosistemas marinos, produce remolinos turbulentos que se dividen en remolinos cada vez más pequeños, hasta que llegan a un tamaño, la escala de Kolmogorov, en que la viscosidad vence a la inercia.

Turbulencia: características y efectos sobre el plancton

Los movimientos turbulentos a las escalas mayores (meso- y macroescala, de metros a cientos de kilómetros) tienen un papel principalmente de transporte. A las escalas más pequeñas, del orden de milímetros (turbulencia de pequeña escala y de microescala), los gradientes de velocidad generados por la turbulencia afectan directamente partículas en el rango de tamaños de los organismos del plancton, una comunidad que vive suspendida en la columna de agua y que incluye prácticamente todos los grupos biológicos, desde virus y bacterias, a larvas de pez.

La materia orgánica que hace funcionar la red trófica marina la produce el fitoplancton o «plancton vegetal», que comprende algas unicelulares de características muy diversas (figura 1). De los grupos dominantes en la comunidad fitoplanctónica dependen en gran medida tanto la producción pesquera, como la captación de CO₂ por el ecosistema marino. Los cambios estacionales de los grupos dominantes a lo largo del ciclo anual fueron explicados por el Prof.

Ramón Margalef mediante un modelo conceptual. En la representación gráfica del modelo, conocido internacionalmente como el *Mandala de Margalef*, las diferentes formas biológicas (grupos que comparten determinadas características fisiológicas) de fitoplancton se sitúan en un plano en el que los ejes de coordenadas son la intensidad de la turbulencia y la concentración de nutrientes.

Preguntas derivadas del *Mandala de Margalef* han dado origen a una fructífera línea de trabajo del Institut de Ciències del Mar (ICM) sobre los efectos de la turbulencia de pequeña escala en el conjunto del plancton marino, y propiciaron la celebración del primer curso internacional sobre el tema: *Lectures on Plankton and Turbulence*, financiado por la UE, y coordinado por investigadores del ICM, la UB y otras organizaciones científicas (Marrasé *et al.* 1997).

La imposibilidad de aislar en el medio natural los efectos de la turbulencia de los que originan otros factores exige experimentación de laboratorio. Tanques o acuarios que contienen desde litros (microcosmos) a metros cúbicos de agua de mar (mesocosmos), permiten controlar la intensidad de la turbulencia y las condiciones de temperatura, nutrientes o iluminación, así como las especies o comunidades de plancton a estudiar (Estrada *et al.* 1988).

La importancia de la turbulencia sobre la selección de formas biológicas de fitoplancton se debe a que puede favorecer la absorción de nutrientes por las células, o contribuir a mantenerlas en suspensión en la columna de agua. La turbulencia también afecta la estrategia migratoria de algunos grupos (dinoflageladas), o puede actuar negativamente cuando es muy alta (Berdalet *et al.* 2007).

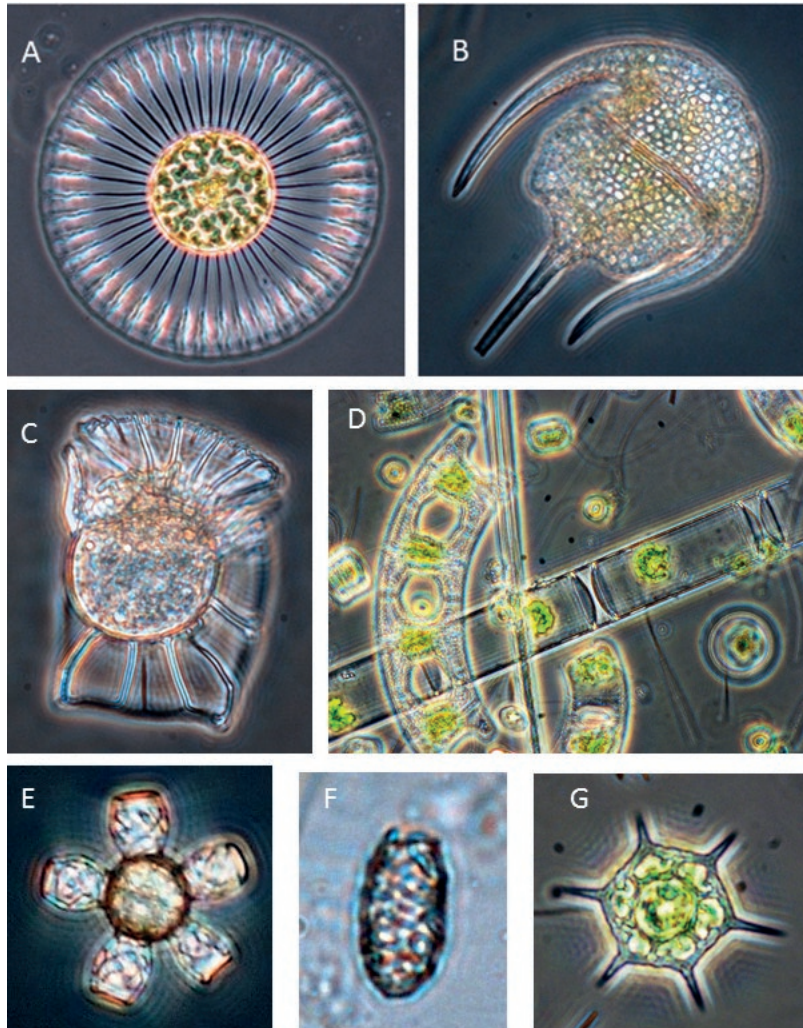


Figura 1. Diversidad de formas en el fitoplancton (fotografías al microscopio óptico). A, D, diatomeas; B, C, dinoflageladas; E, F, cocolitóforos; G, silicoflagelada. El diámetro de las células oscila entre poco más de unos 10 micrómetros en E y F, y más de 100 micrómetros en B y C. (Fotos: M. Estrada)

Cambios en su intensidad interactúan con la motilidad, forma y tamaño celular o de las colonias de células y ayudan a mantener una elevada diversidad específica (figura 1)

Para el zooplancton, provisto de microsensors químicos y del movimiento, la turbulencia puede representar un aumento de la ingestión de alimento (mayor frecuencia de contacto con partículas alimenticias), o afectar la localización de una posible pareja borrando los rastros de feromonas que dejan las hembras como señal. También puede confundir el movimiento turbulento con distorsiones en el movimiento del agua generadas por

posibles presas o depredadores, induciendo el ataque o aumentando la frecuencia de las reacciones de escape que tienen un alto consumo metabólico (figura 2). Otros efectos de la turbulencia son cambios en la proporción entre sexos, con mayor abundancia de machos, y reducción del tamaño medio de los individuos (Saiz 1991).

Turbulencia y plancton en un Océano más cálido

El cambio climático ya en marcha predice un Océano futuro no solo más cálido, sino también

expuesto a una mayor frecuencia e intensidad de episodios atmosféricos altamente energéticos que generan turbulencia. Ambas variables, temperatura y turbulencia, no solo son análogas en su naturaleza (desorden molecular la temperatura, desorden hidrodinámico la turbulencia), sino que provocan respuestas muy similares en algunas propiedades y actividades fundamentales de los organismos.

El incremento de turbulencia y temperatura supone, entre otros efectos, una mayor actividad metabólica, un aumento de las tasas de ingestión, y una reducción en el tamaño medio de los individuos. Esto último tiene un efecto acumulativo sobre el metabolismo, ya que las tasas metabólicas por unidad de biomasa son inversamente proporcionales al tamaño individual.

Mientras se sabe que las funciones vitales son solo posibles entre unos márgenes de temperatura inversamente proporcionales a la complejidad del organismo o función, y que la respuesta de la actividad tiene forma de campana (aumenta con la temperatura hasta un valor óptimo a partir del cual decrece), se desconoce la dinámica de los procesos en el caso de la turbulencia. Además, experimentos de laboratorio demuestran que la turbulencia incrementa el cociente entre el carbono producido por el fitoplancton y el respirado por toda la comunidad (Alcaraz *et al.* 2002). Aunque parte de las consecuencias de un aumento de temperatura se amplificarían por la similitud de los efectos derivados de la turbulencia, el papel de esta última en el balance producción/respiración introduce una nueva incógnita, por lo que debe ser tenida cuenta en los modelos predictivos de un futuro Océano más cálido.

Referencias

Alcaraz M., Marrasé C., Peters F., Arin L., Malits A. 2002. Effects of the turbulence conditions on the balance between production and respiration in

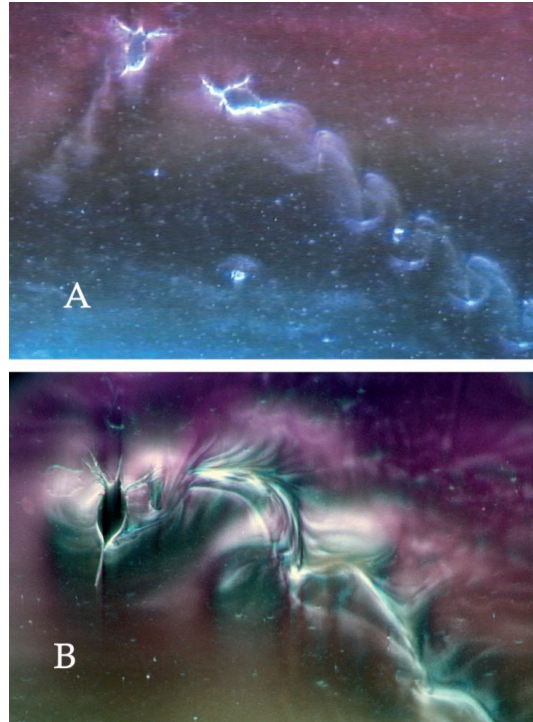


Figura 2. Huellas o pistas hidrodinámicas creadas por la natación del zooplancton. A, de un copépodo carnívoro persiguiendo una presa, y la de esta antes de percibir la señal del depredador y escapar. B, reacción de escape de la presa, un cladóceros de agua dulce (Óptica de Schlieren, Foto: J.R. Strickler).

- marine planktonic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 242: 63-71.
- Berdalet E., Peters F., Koumandou V.L., Roldán C., Guadayol Ò., Estrada M. 2007. Species-specific physiological response of dinoflagellates to quantified small-scale turbulence. *J. Phycol.* 43: 965-977
- Estrada M., Marrasé C., Alcaraz M. 1988. Phytoplankton response to intermittent stirring and nutrient addition in marine microcosms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48: 225-234.
- Marrasé C., Saiz E., Redondo J.M., eds. 1997. Lectures on plankton and turbulence. *Sci. Mar.* 61 (Suppl. 1). 238 pp.
- Saiz E. 1991. Importància de l'energia auxiliar en la dinàmica dels sistemes pelàgics: Turbulència i zooplancton. PhD thesis, UB. 154 pp.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14091>