

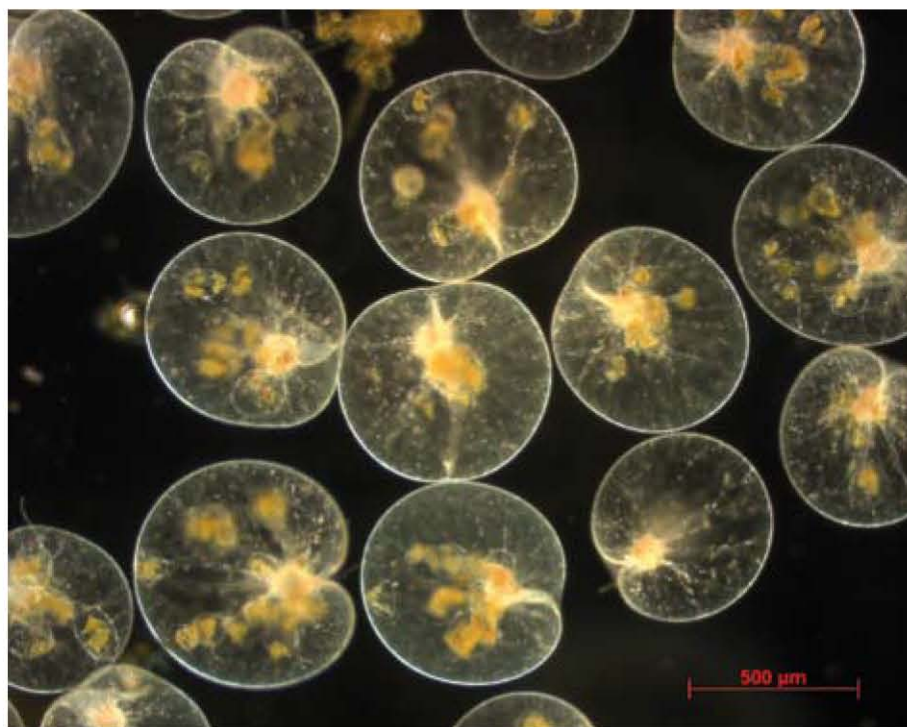
LA VIDA TURBULENTA DE LES DINOFLAGEL·LADES

Escrit per

Gisela Llaveria Almacellas

Institut de Ciències del Mar

CMIMA - CSIC

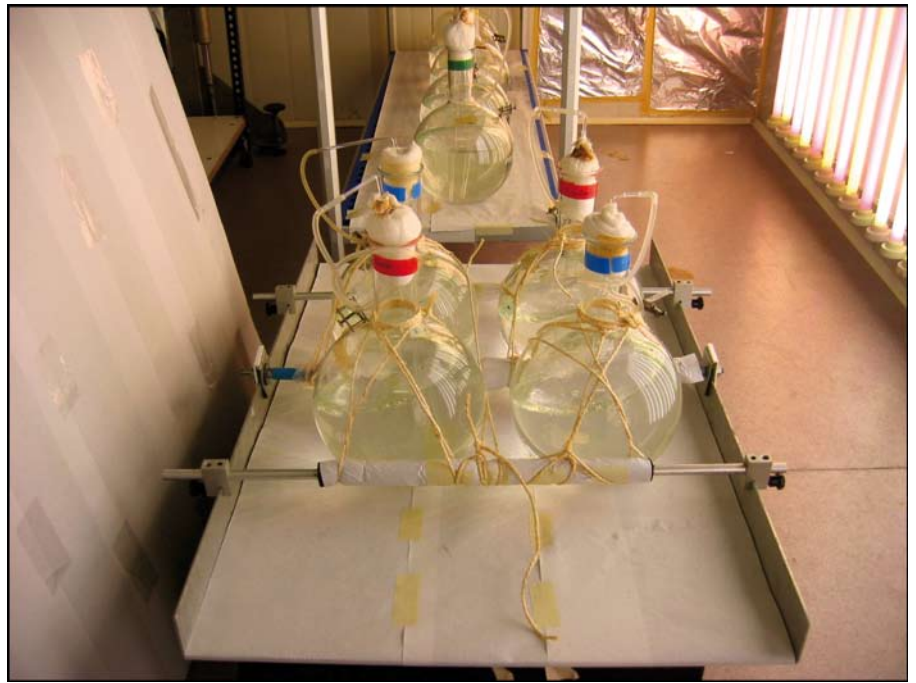


Noctiluca scintillans Foto: NIOZ

La comprensió de la dinàmica de les proliferacions algals nocives (en anglès, *Harmful Algal Blooms*, HABs) requereix de l'estudi de les interaccions entre la biologia i la física, un enfocament científic emergent en l'actualitat. El cas concret de les dinoflagel·lades és de particular interès ja que la seva ecofisiologia és sensible a la turbulència de petita escala i s'hi inclouen espècies tòxiques responsables d'intoxicacions per consum de mol·luscs bivalves, afeccions respiratòries i mortaldat en peixos i bentos.

Les proliferacions massives de microalgues (les mal anomenades marees roges) són un fenomen recurrent en les aigües costaneres, i la seva freqüència sembla haver augmentat en els darrers anys. El grup de les dinoflagel·lades, entre les quals s'inclouen algunes espècies tòxiques, és un dels potencials causants d'aquest fenomen. Tot i les implicacions econòmiques i ecològiques que això comporta, existeixen importants llacunes en el coneixement dels factors desencadenants de la seva aparició. En el cas de les dinoflagel·lades, les seves proliferacions apareixen relacionades amb certa estabilitat i altes concentracions de nutrients en la columna d'aigua (Margalef, 1978). Les dinoflagel·lades generalment són mòbils, i posseeixen dos flagels desiguals, un transversal i un longitudinal. Aquesta característica els permet desplaçar-se en la columna d'aigua, de forma que, en aigües sense turbulència, presenten cert avantatge en front a altres algues unicel·lulars, com ara les diatomees. El confinament de les masses d'aigua que es dona en certes zones costaneres, com ara els ports, n'afavoreix la proliferació. La poca renovació de l'aigua dificulta la dispersió física dels organismes i permet un major desenvolupament de la població. A més a més, algunes espècies d'aquest grup fitoplanctònic es veuen negativament afectades d'una manera directa per la turbulència de petita escala.

La turbulència és un estat del flux d'un fluid caracteritzat per moviments estocàstics en el temps i l'espai (Peters i Redondo, 1997). Es tracta d'un fenomen àmpliament present a la natura. En el mar, pot estar generada per l'acció del vent (responsable de la formació de l'onatge), els gradients de propietats fisicoquímiques (que poden originar corrents), i fins i tot, les marees. És a través d'aquests mecanismes diversos que el sistema marí rep una important entrada d'energia a mesoescala (ordre de magnitud de metres o uns pocs quilòmetres), la qual es va transmetent a mode de "cascada" d'escala grans a escales més petites (Daly i Smith, 1993). A les petites escales, la viscositat domina sobre les forces



Experiments en el laboratori per a comprendre com la turbulència influeix en l'ecofisiologia de les dinoflagel·lades tòxiques.

inercials i l'energia es va dissipant progressivament en forma de calor.

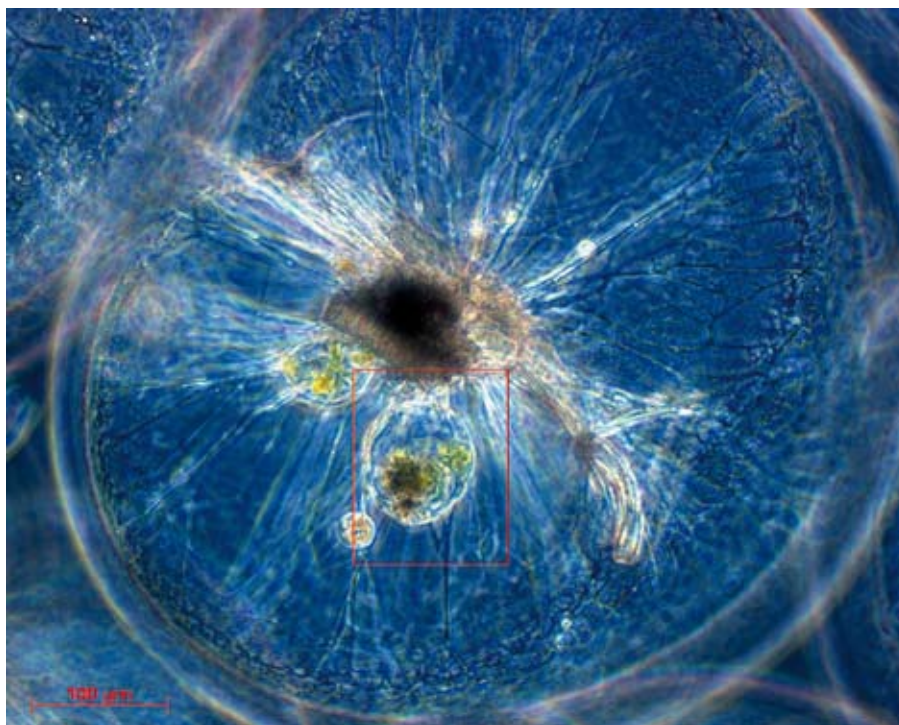
En parlar de turbulència de petita escala fem referència principalment al domini de l'escala de longitud de Kolmogorov, on les forces inercials s'equiparen a la viscositat. Per sota d'aquest punt, en el qual se situa la mida de la majoria del microfitoplàncton, les forces viscoses dominarien. Tanmateix, molts treballs experimentals suggereixen que la turbulència pot tenir repercussions en la biologia del fitoplàncton, i les dinoflagel·lades són especialment sensibles davant aquest estímul.

La sensibilitat de les dinoflagel·lades a la turbulència ha estat documentada en treballs de camp i sobretot al laboratori. De tota manera, la bibliografia mostra una gran variabilitat de resultats i no sembla possible generalitzar els efectes de la turbulència en les dinoflagel·lades. Això es deu, en part, a la naturalesa estocàstica de la turbulència, la qual en dificulta la seva reproducció en el laboratori, així com la seva quantificació. Hi ha una gran diversitat de sistemes experimentals de generació de turbulència difícilment compara-

bles. A més, l'estudi de processos a microescala implica problemes tant tècnics com conceptuals. Finalment, hi ha molta diversitat d'espècies estudiades, en condicions fisiològiques i experimentals molt diferents en cada estudi. En qualsevol cas, actualment es desconeix de quina manera la turbulència pot controlar la divisió cel·lular i d'altres processos fisiològics.

Dades experimentals indiquen que, en general, la turbulència pot disminuir la taxa de creixement d'una bona part de les dinoflagel·lades (revisió de Berdalet i Estrada, 2005) i comportar una inhibició de la divisió cel·lular juntament amb un augment de la grandària i dels continguts en DNA i RNA cel·lulars (Berdalet, 1992), alterar la producció de toxines (Juhl et al., 2001) i interferir en el seu complex cicle de vida.

La naturalesa peculiar del nucli de les dinoflagel·lades ha intrigat molts investigadors al llarg del temps. En moltes espècies, la cromatina es troba permanentment condensada en cromosomes ben definits (de 4 a 200, en funció de l'espècie). La divisió mitòtica en les dinoflagel·lades, anomenada dinomitosi per Chatton el 1920, és particular-

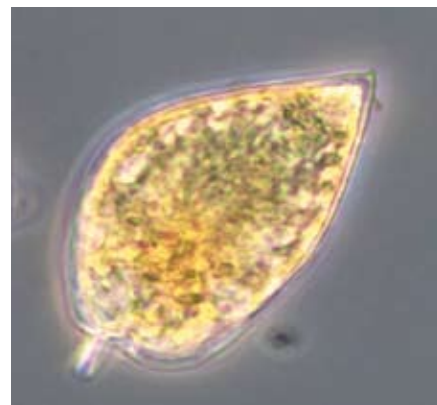


Noctiluca scintillans és una dinoflagel·lada heteròtrofa que és capaç d'il·luminar el mar de nit (bioluminiscència). Tot i que aquesta espècie sistemàticament forma part del fitoplàncton, no conté clorofil·la i necessita ingerir partícules de nutrients de la columna d'aigua. El quadre vermell mostra un vacúol alimentari. Foto: NIOZ

Durant els darrers dos anys hem realitzat experiments en el laboratori per a comprendre com la turbulència influeix en l'ecofisiologia de les dinoflagel·lades tòxiques. Hem utilitzat diferents sistemes experimentals i hem sotmès diverses espècies a l'efecte de la turbulència. Potser la pregunta que més vegades he afrontat és: com s'assembla la turbulència que generes en el laboratori a la que existeix en realitat en el medi natural? Els resultats que obtens, pots extrapolar-los al mar? La resposta no és senzilla; la taxa de dissipació d'energia turbulenta que apliquem en els nostres experiments és elevada i de llarga durada, ja que pretenem forçar la resposta biològica en front a un estímul físic. No pretenem imitar la natura, ja que cap sistema experimental pot reproduir la turbulència en el mar, així com la situació "control negatiu" tampoc és realista. És necessari tenir sempre en ment les limitacions (i els avantatges) del treball en el laboratori en front a la feina de camp.

Aquest any estrenarem projecte nou: volem integrar els nostres estudis al laboratori amb feina de camp. Però abans de treballar *in vivo* era necessari fer-ho *in vitro*. I, de fet, fins ara hem mantingut un contacte estret i constant amb el grup del Programa de Vigilància de Fitoplàncton Nociu i Tòxic a la Costa Catalana (ICM-ACA), i hem tingut sempre present que aquest lligam és imprescindible per comprendre l'ecofisiologia de les dinoflagel·lades en front a la turbulència.

Prorocentrum micans



ment original: la membrana nuclear no desapareix i els microtúbuls del fus mitòtic, encarregats de la segregació dels cromosomes, travessen la membrana per uns canals citoplasmàtics.

Karentz (1987) i Berdalet (1992) van proposar que la turbulència podria alterar físicament aquest acoblament tant delicat i dificultar la divisió cel·lular. Altres estudis mostren una aturada transitòria del cycle cel·lular en la fase G1, prèvia duplicació del DNA, en aplicar agitació a cultius de certa dinoflagel·lada (Yeung i Wong, 2003)

El bloqueig del cycle cel·lular en determinades fases per efecte de la turbulència pot interferir en la producció de certs metabòlits, com ara les toxines. Taroncher-Oldenburg et al (1997) van descriure la relació entre la síntesi de toxines i la duració de certes fases cel·lulars; Podria existir, doncs, una interacció entre turbulència, cycle cel·lular i toxicitat.

El cycle de vida de les dinoflagel·lades també és complex i pot veure's influenciat per la turbulència de petita escala. Sovint, les dinoflagel·lades formen cists en resposta a condicions adverses. A més, en moltes espècies, els cists formen part dels seus cycles de vida. Algunes d'aquestes espècies poden formar cists de tipus sexual, anomenats també de resistència o hipnozigots. El procés de generació d'aquest tipus de cists comença amb la fusió de dos gàmetes, la qual cosa produeix un planozigot (o zigot nedador). Els cists de resistència es troben de forma rutinària en poblacions naturals de plàncton (Garcés, 2004). Per altra banda, algunes espècies de dinoflagel·lades presenten també cists de tipus asexual, anomenats també temporals. En aquest cas es tracta de cèl·lules immòbils formades per ecdisi, és a dir, la pèrdua de la teca d'una cèl·lula vegetativa. La raó de l'existència d'aquestes formes cel·lulars així com de la seva funció, la durada del període de dormició i els factors que en regulen la germinació es troben actualment en discussió.

Bibliografia:

- Berdalet, E. (1992) "Effects of turbulence on the marine dinoflagellate *Gymnodinium nelsonii*" J. Phycol. 28:267-272
- Berdalet, E., Estrada, M. (2005) "Effects of small-scale turbulence on the Physiological Functioning of Marine Microalgae", a Subba Rao, D. V. (Ed.). Algal Cultures, Analogues of Blooms and Applications, Vol. 2, p. 459-499
- Daly, K. L., Smith, W. O. (1993) "Physical-biological interactions influencing marine plankton production" Annu. Rev. Ecol. Syst. 24: 555-585
- Garcés, E., Bravo, I., Vila, M., Figueroa, R. I., Masó, M., Sampedro, N. (2004) "Relationship between vegetative cells and cyst production during *Alexandrium minutum* bloom in Arenys de Mar". J. Plan. Res., 26(6), 637-645
- Juhl, A. R., Trainer, V. L., Latz, M. I. (2001) "Effect of fluid shear and irradiance on population growth and cellular toxin content of the dinoflagellate *Alexandrium fundyense*. Limnol. Oceanogr." Limnol. Oceanogr. 46:758-764
- Karentz, D. (1987) "Dinoflagellate cell cycles". A D.H. Kumar (ed.) Phycotalk. Vol. I, Print House, India, pp. 377-397.
- Margalef, R. (1978) "Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment", Oceanologica Acta 1:493-509
- Peters, F., Redondo, J. M. (1997) "Turbulence generation and measurement: application to studies on plankton" a Marrasé, C., E. Saiz i J. M. Redondo (Eds.). Lectures on plankton and turbulence. Sci. Mar. 61 (Supl. 1):205-228
- Taroncher-Oldenburg, G., Kulis, D. M., Anderson, D. M. (1997) "Toxin variability during the cell cycle of the dinoflagellate *Alexandrium fundyense*" Limnol. Oceanogr. 42:1178-1188

"Marea vermella" de *Noctiluca scintillans* a la costa central de Nova Gal·les del Sud, Austràlia. Foto: Ricky Chan i Shauna Murray, Universitat de Nova Gal·les del Sud.

