





ANTÀRTIDA  
TEMPS DE CANVI  
MIREYA MASÓ

BARCELONA 2010



\_RTS S\_NT\_ MÒNIC\_



## Edició

Actar / Arts Santa Mònica  
© dels textos, els autors  
© de les imatges i les fotografies, els fotògrafs  
© de les traduccions, els traductors  
© d'aquesta edició:  
Actar/Arts Santa Mònica – Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació de la Generalitat de Catalunya

## Distribució

ACTAR D  
Roca i Batlle, 2  
08023 Barcelona  
Tel.: +34 93 417 49 93  
Fax: +34 93 418 67 07  
office@actar-d.com  
www.actar-d.com

Llibreries de la Generalitat de Catalunya  
www.genocat.cat/publicacions

ISBN 978-84-393-8283-6 (Arts Santa Mònica)  
ISBN 978-84-92861-31-6 (Actar)  
Dipòsit Legal

Arts Santa Mònica  
La Rambla, 7  
08002 Barcelona  
Tel.: +34 93 316 28 10  
www.artssantamonica.cat

Actar  
Barcelona/New York  
www.actar.com



## Generalitat de Catalunya Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació

Conseller de Cultura i Mitjans de Comunicació  
Joan Manuel Tresserras

Secretari General  
Lluís Noguera

Secretari de Cultura  
Eduard Voltas

Secretari de Comunicació  
Carles Mundó

Entitat Autònoma de Difusió Cultural  
Gerent  
Conxita Oliver

## Arts Santa Mònica

Direcció  
Vicenç Altaió

Àmbit d'Arts  
Manuel Guerrero

Àmbit de Ciència  
Josep Perelló

Àmbit de Comunicació  
David Vidal

Coordinació General  
Marta García  
Fina Duran

Administració  
Cristina Güell

Relacions externes  
Alicia Gonzalez

Edicions  
Cinta Massip

Comunicació i premsa  
Neus Purri  
Cristina Suau

Producció i coordinació  
Lurdes Ibarz  
Ester Martínez  
Arantza Morlius

Àrea Tècnica  
Xavier Roca  
Eulàlia Garcia

Secretaria  
Pep Xaus  
Carles Ferry

L'Arts Santa Mònica compta amb el suport de la Corporació Catalana de Mitjans Audiovisuals, i amb *La Vanguardia*, *Vilaweb* i *Mau Mau* com a mitjans de comunicació col·laboradors. I amb la Fundació Bosch i Gimpera, de la Universitat de Barcelona, i l'INCOM, de la Universitat Autònoma de Barcelona, com a institucions acadèmiques col·laboradores.

## Exposició

Projecte original de Mireya Masó en col·laboració amb Mercedes Masó, de l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) Expedició a l'Antàrtida el febrer i març de 2006, organitzada per Mario Manríquez, director tècnic de la Unitat de Tecnologia Marina (UTM-CSIC)

Direcció de l'exposició  
Josep Perelló

Comissariat  
Alicia Chillida

Documentació  
Enric Puig Punyet, Patricia Homs

Coordinació  
Arantza Morlius

Assessorament de muntatge  
Olga Subirós

Disseny gràfic  
Ena Cardenal de la Nuez

Responsable tècnic  
Xavier Roca

Sincronia de les projeccions  
Albert Coma

Muntatge  
Marc Ases, Lluís Bisbe, Juan Carlos Escudero, David Garcia, Juande Jarillo, Pere Jobal

## Programa Antàrtic Argentí

Director Nacional del Antàrtic  
Mariano Memolli

Director del Instituto Antàrtic Argentí  
Sergio Marensi

Components i membres de la Campanya Antàrtica Argentina 2005-2006  
Sergio Policastro, responsable del Programa de Comunicacions i Relacions Institucionals i coordinador de projectes culturals, artístics i educatius  
María Noel Prol Castagno, assistent de comunicació, educació i cultura  
Alejandro Berto, cap de la Base Antàrtica Esperanza  
Rubén Montiel, responsable del Museo de la Base Antàrtica Esperanza  
Dotació 2006 de la Base Antàrtica Esperanza  
Comandant i tripulació del «Buque Rompehielos Almirante Irizar»  
Comandant i tripulació del «Buque Oceanográfico Puerto Deseado»  
Comandant i tripulació del «Avión de Transporte Hércules C130»  
I tots els participants a la campanya de l'estiu austral 2006 i els de les bases visitades durant l'expedició

## Fitoplancton

Mostreig  
Base Esperanza: Mercedes Masó (ICM-CSIC) Almirante Irizar: Raúl Codina. Facultat de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, La Plata

Preparació de mostres  
Sonia Quijano-Scheggia, Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas (Universidad de Colima) i Mercedes Masó (ICM-CSIC)

Micrografies  
José Manuel Fortuño, responsable del Servei de Microscòpia Electrònica de l'ICM-CSIC, Mireya Masó i Mercedes Masó

## Fotografies

Retoc digital  
Juande Jarillo

Escàners  
José Ignacio Delgado, laboratori EGM

Còpia fotogràfica  
Ramón Canut, laboratori EGM

## Vídeo

Edició de vídeo  
Adolf Alcañiz

Edició de so  
Ferran Conangla

Agraïments  
Claire Allen, Teresa Blanch, Mara Dierssen, Jorge Felipe, José Manuel Fortuño, Luis E. Fraguada, Ille C. Gebeshuber, José María Gili, Víctor Gómez Pin, Richard Gordon, Joan Isern, Marta Malé-Alemany, Mercedes Masó, Nina Masó, Mariano Arnaldo Memolli, Jaume Piera, Sergio Policastro, Ted Scambos, Renate Scharek, Rafel Simó, Virginia Torrente, Begoña Vendrell, Andrzej Witkowski, Santa & Cole

El projecte «Antàrtida. Temps de canvi» de Mireya Masó s'ha desenvolupat en col·laboració amb la Unitat de Tecnologia Marina (UTM-CSIC), la Dirección Nacional del Antàrtico – Instituto Antàrtico Argentí, l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona (ICM-CSIC) i l'Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya.

«Antàrtida. Temps de canvi» participa en el programa «I do». Aquest és el missatge d'ACCENT, una iniciativa que reuneix centres de recerca i museus per participar en una acció col·lectiva contra el canvi climàtic, dins el 7è Programa Marc de la Unió Europea.

Arts Santa Mònica, Barcelona  
Del 16 de març al 27 de juny de 2010

«Programa de Cooperación Cultural y Científica del Centro Cultural de España en Montevideo»  
Del 2 de setembre al 13 de novembre de 2010

## Llibre

Edició a cura de  
Alicia Chillida, Mireya Masó, Cinta Massip,  
Josep Perelló

Fotografies  
Mireya Masó

Disseny gràfic  
Ena Cardenal de la Nuez

Maquetació  
Cromotext

Traduccions  
Pere Farré, Àngels Gregori, Patricia Homs,  
Xavier Pàmies

Correccions  
Pere Farré

Coordinació editorial  
Patricia Homs, Enric Puig Punyet

Impressió  
Ingoprint S.A.

«Antàrtida. Temps de canvi» de Mireya Masó és una producció d'Arts Santa Mònica – Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació de la Generalitat de Catalunya

## SUMARI

- p. 9 Vicenç Altaió. *L'artista de la societat del coneixement*
- p. 10 Josep Perelló. *Continent austral. Laboratori ambiental*
- p. 13 Mercedes Masó. *Extractes del diari de Mercedes Masó*
- p. 33 Alicia Chillida. *Temps de canvi*
- p. 36 Patricia Homs. *La percepció de l'immutable?*
- p. 38 Mireya Masó. *Qüestions*

### 1. Percepció

- p. 45 Mara Dierssen. *El misteri dels icebergs en moviment*
- p. 47 Enric Puig Punyet. *Sensors: percepció i traducció*
- p. 65 Víctor Gómez Pin. *Lleis pròpies de la bidimensionalitat i aprehensió del temps*
- p. 68 Ted Scambos. *Els icebergs i l'Ice Trek Project*
- p. 72 José Manuel Fortuño. *Reflexions davant del microscopi*

### 2. Diatomees

- p. 76 Renate Scharek. *Les diatomees antàrtiques, una visió biològica*
- p. 84 Richard Gordon, Andrzej Witkowski, Ille Christine Gebeshuber i Claire S. Allen.  
*Les diatomees de l'Antàrtida i el seu paper potencial en la nanotecnologia*
- p. 113 Marta Malé-Alemaný i Luis E. Fraguada. *Noves espècies en arquitectura*

### *Les diatomees de l'Antàrtida i el seu paper potencial en la nanotecnologia*

Richard Gordon, Andrzej Witkowski, Ille Christine Gebeshuber i Claire S. Allen

La nanotecnologia biològica i la nanotecnologia artificial encara difereixen de forma substancial actualment (Abdel-aal & Ille C. Gebeshuber, 2010). Mentre que als sistemes biològics es formen complexos estructures jeràrquiques amb funcionalitats integrades a diferents escales de magnitud (des de l'escala nanomètrica fins a la mil·limètrica passant per la micromètrica), els enginyers encara s'esforcen per dominar la forma o les funcionalitats dels seus nanodispositius; i és que som ben bé a les beceroles del desenvolupament d'estructures tècniques elaborades artificialment. Les diatomees, amb les seves estructures i funcionalitats sorprenents, amb la seva capacitat per dividir-se una vegada al dia o fins i tot més sovint, i amb la seva capacitat de produir sílice fins i tot a l'Antàrtida, on la temperatura de l'aigua és inferior als 0° C, poden servir de base per a la tecnologia humana proporcionant-li materials, estructures i processos sostenibles. Durant aquestes dues últimes dècades, les diatomees s'han convertit en un atractiu per al món industrial, especialment per la capacitat que tenen de crear estructures sòlides de molts tipus dintre d'un ample ventall d'escales de magnitud. N'hi ha que tenen motors sense elements mòbils que funcionen amb una eficàcia del 99,9% (Gordon, 1987), i totes produeixen una mena de petroli amb el qual podríem fer anar els nostres cotxes de forma sostenible (Ramachandra *et al.*, 2009). Les diatomees antàrtiques realitzen aquestes proeses en condicions extremes, amb baixes temperatures i una elevada salinitat adjacent al glaç o en el glaç mateix (Janech *et al.*, 2006; Krell *et al.*, 2008), i sovint sota una intensa radiació solar ultraviolada (Helbling *et al.*, 1996; Skerratt *et al.*, 1998; Hernando & Ferreyra, 2005; Wulff *et al.*, 2008). Sobreviuen durant sis mesos a l'hivern antàrtic amb poca llum o gens (Wulff *et al.*, 2008), moltes es mantenen en vida fins i tot quan queden congelades a la banquisa o enterrades als sediments, i n'hi ha que poden reproduir-se al cap de molts anys (Davis, 1972; Zgurovskaya, 1977; Hollibaugh, Seibert & Thomas, 1981; Ligowski, Godlewski & Łukowski, 1992). Les diatomees antàrtiques, doncs, pertanyen amb tot el dret al grup de microorganismes anomenats extremòfils (Sterrenburg *et al.*, 2007). Com demostrarem, aquestes propietats poden resultar útils en aplicacions per a la nanotecnologia de diatomees.

Les diatomees són alhora la causa i la possible solució del problema de l'actual escalfament del planeta, per bé que l'escalfament planetari té almenys un aspecte positiu, ja que l'agricultura hi ha contribuït durant 5.000 anys i potser ha ajornat la pròxima era glacial (Ruddiman, 2005). Els qui suportem els hiverns canadencs o en fugim sospirem esquizofrènicament a vegades per l'escalfament planetari. El paper de les diatomees és bastant senzill: bona part del petroli que extraïem de sota terra procedeix de les diatomees, i encara és visible a l'interior de les membranes de diatomees mortes de fa molt temps. Si haguéssim de recórrer a les diatomees vives, potser posades en plaques solars i modificades genèticament perquè secretessin el petroli que fabriquen, o fins i tot gasolina (Ramachandra *et al.*, 2009), aleshores no hi hauria un increment net del diòxid de carboni, perquè n'assimilarien tant com nosaltres n'aboquéssim a l'atmosfera cremant el seu petroli. A més a més, no caldria recórrer a nous tipus de motors de cotxe, com ara els elèctrics o els d'hidrogen.

La nanotecnologia ha acabat sent sinònim de tots els objectes diminuts que fabriquem. Un físic guanyador del premi Nobel, Robert L. Laughlin, qualifica aquesta fal·lera de producció de «nanobagatel·les, estructures de gran atractiu i bellesa que es formen espontàniament a petita escala però que no tenen cap aplicació coneguda si no és entretenir [...]». Encara que el nostre coneixement del món nanoscòpic està augmentant actualment de forma quasi inversemblant, quasi tot el que conté és d'una insignificança extrema [...]. La idea que els objectes nanoscòpics haurien de ser controlables és tan atractiva que ens fa tancar els ulls a l'evidència aclaparadora que no poden ser-ho» (Laughlin, 2005).

La tècnica habitual de la nanotecnologia és la litografia (Sargent, 2005; Dupas, Houdy & Lahmani, 2007; Reisner, 2008; Gebeshuber, 2009) o la reacció química, sovint bioquímica (Goodsell, 2004; Rehm, 2006; Renugopalakrishnan & Lewis, 2006; Gazit, 2007; Papazoglou & Parthasarathy, 2007). Aquí ens centrarem en la nanotecnologia de

diatomees, en què es fa servir els organismes vius per formar les nanoestructures que es desitja en comptes d'intentar fabricar-les un mateix:

«Les diatomees [...] formen micromembranes de sílice d'estructura nanoscòpica (frústuls) amb milers de morfologies específiques per a cada espècie. La reproducció continuada d'una espècie de diatomea en concret pot produir una quantitat enorme de frústuls amb morfologies tridimensionals semblants. Aquest complex i genèticament precís autoassemblatge tridimensional paral·lel fet en condicions ambientals supera de bon tros les possibilitats actuals de fabricar objectes microscòpics i nanoscòpics artificials» (Weatherspoon *et al.*, 2007).

De forma impremeditada, un de nosaltres va crear la disciplina de la nanotecnologia de diatomees quan el van convidar a fer la seva primera conferència en un congrés d'enginyeria i, com que no sabia què dir, va decidir suggerir que les diatomees podien proporcionar coses que els enginyers necessitaven (Gordon & Aguda, 1988). Des d'aleshores s'ha convertit en un gran projecte per a moltes persones, i ha posat en relació biòlegs, anomenats diatomistes, amb industrials (Gordon, Sterrenburg & Sandhage, 2005; Kroth *et al.*, 2007; Allison *et al.*, 2008; Kröger & Poulsen, 2008; Bozarth, Maier & Zauner, 2009). Abraça un camp molt ample que inclou qualsevol cosa en petit, «fins els claus de la paret»:

«Accionador, antena, barra, cantilèver, càpsula, catalitzador, con, cub, cilindre, matriu, xarxa de difracció, disc, fibra, farciment, filtre, embut, engranatge, intercanviador de calor, frontissa, panell alveolar, aïllant, lent, palanca, barra de llum, imant, membrana, malla, mirall, mesclador, motor, agulla, tovera, motor d'explosió, planxa, prisma, politja, bomba, reactor, xarxa de refracció, relé, coet, rotor, sensor, separador, colador, esfera, espiral, molla, substrat, interruptor, xeringa, etiqueta, tetràedre, tetradecàedre, transductor, tub, turbina, vàlvula, falca, roda» (Gordon, 2010).

Potser Laughlin té raó, perquè aquest centenar de milions de dòlars d'inversió encara avui no s'ha amortitzat en forma de cap producte comercial (Gordon, 2010). Potser amb el temps s'amortitzarà, però. En tot cas, les diatomees apareixen en una forma d'art més aviat poc apreciada pel món de l'art: la delicada disposició de les diatomees en forma de motius i dibuixos visibles únicament amb el microscopi (Nagy, 2002; Matthias Burba, 2008; Kemp, 2009). Les diatomees, incloses les de l'Antàrtida, han aparegut en segells de correus.

La nanotecnologia de diatomees està íntimament relacionada amb el camp de la morfogènesi, que tracta de comprendre com els organismes adquireixen la forma que tenen (és a dir, la seva morfologia). Aquest és un dels problemes essencials que la biologia encara té per resoldre. Un dels aspectes interessants de tota aquesta atenció per les diatomees és que, a l'hora de manipular-les, la majoria d'industrials i de científics que col·laboren amb ells creuen que podria ser útil que fóssim capaços d'imaginar-nos com les diatomees fabriquen les seves estructures de sílice. Això ha donat un gran impuls a la ciència pura, i, tot i que encara no se les hagi fet encaixar per obtenir una explicació coherent, ja s'han trobat moltes de les peces del trencaclosques (Gordon, 2008). Jugar amb totes aquestes nanobagatel·les, doncs, només pot comportar grans avenços en la nostra comprensió de la vida en general: «S'estan gastant molts diners, i s'han fet i s'han perdut grans fortunes [...]». La temptació que porta a internar-se en aquesta regió verge i anàrquica és la possibilitat constant de fer algun descobriment fortuït de gran importància» (Laughlin, 2005).

L'essencial de la morfologia de les diatomees ja s'ha tractat en aquest llibre (Scharek, 2010). Les associacions de diatomees de l'Antàrtida i de les illes de l'oceà Antàrtic són úniques en molts aspectes. En primer lloc, viuen a la banquisa o en aigües entre fredes i molt fredes (Medlin & Priddle, 1990). En segon lloc, els seus hàbitats estan subjectes a vents molt forts. Aquest fenomen és el que causa la barreja de les associacions, i fa que tant les associacions marines com les terrestres estiguin formades per espècies marines i espècies d'aigua dolça (Witkowski, Riaux-Gobin & Daniszewska-Kowalczyk, 2010). A més a més, tota l'àrea considerada com l'oceà Antàrtic està aïllada de les àrees adjacents per una poderosa barrera hidrològica: el front polar. L'existència del front polar redueix de forma significativa l'intercanvi dels organismes amb les regions geogràfiques de més al nord. En aquestes condicions ambientals tan rigoroses, s'han format associacions concretes d'espècies de diatomees endèmiques de l'Antàrtida (de l'oceà Antàrtic) a conseqüència dels

FIGURA 6



FIGURA 7



FIGURA 6. Un cingol de 0,4 mm de diàmetre d'una diatomea cèntrica «gigant» de l'Antàrtida del gènere *Arachnoidiscus*. Apareix decorada amb *Cocconeis* adherides molt més petites, unes diatomees pennades que es distingeixen més bé a l'ampliació. Les barres de referència corresponen a 0,3 mm i 0,03 mm respectivament.

FIGURA 7. Visió valvar d'una diatomea gegant *Trigonium arcticum* de 0,5 mm d'ample, i d'una *Coscinodiscus asteromphalus* de 0,25 mm d'ample, trobades totes dues en aigües antàrtiques, l'última de les quals es podria fer servir com a nanofiltre per la disposició dels porus.

FIGURA 8

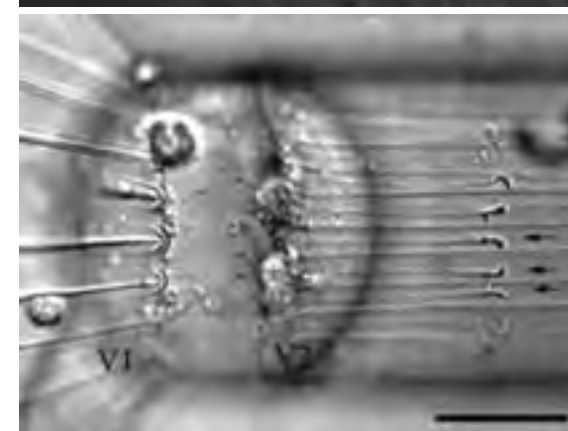
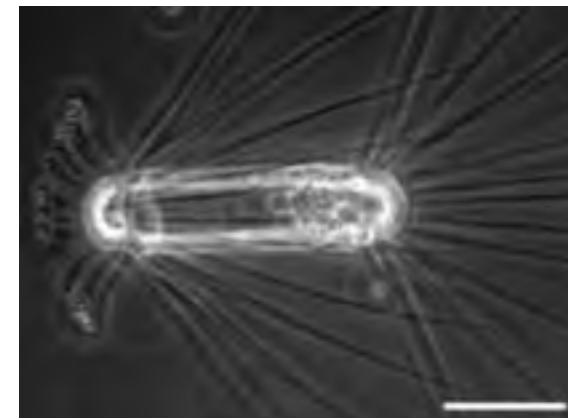


FIGURA 9

FIGURA 8. Les dues valves de *Corethron* a tots dos extrems d'un llarg cilindre de cingols. La valva de la dreta té un conjunt d'espines llargues fixat a la vora, mentre que la valva de l'esquerra té unes espines semblants però amb una sèrie d'espines corbades més fines que s'hi intercalen. Barra de referència de 50  $\mu\text{m}$ . Imatge utilitzada amb permís dels autors (© R.M. Crawford i F. Hinz, de Gebeshuber & Crawford, 2006).

FIGURA 9. Una cèl·lula de *Corethron* amb la valva vella (V1) a l'esquerra mostrant la base d'unes quantes espines llargues, i amb la valva nova (V2) a la dreta. A la valva nova, les espines encara estan orientades paral·lelament al cilindre de cingols. Barra de referència de 20  $\mu\text{m}$ . Imatge utilitzada amb permís dels autors (© R.M. Crawford i F. Hinz, de Gebeshuber & Crawford, 2006).

FIGURA 10

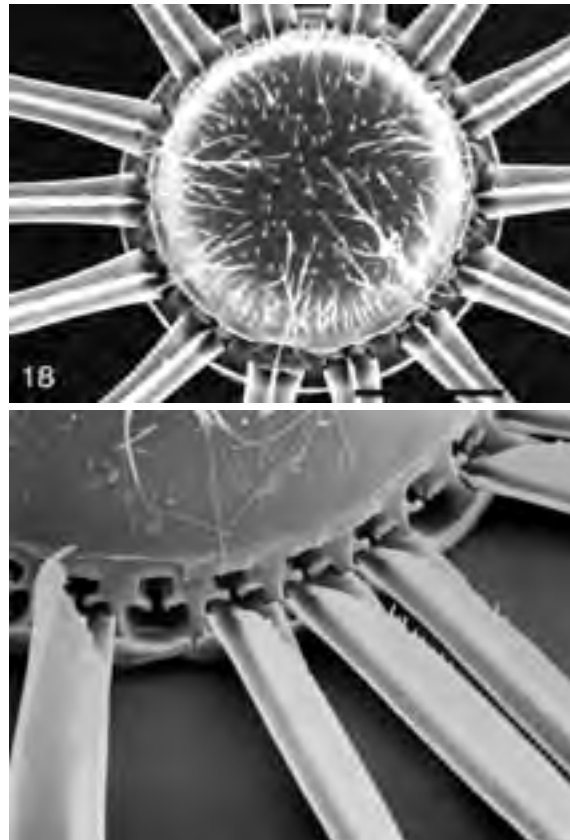


FIGURA 10. a) Visió superficial d'una valva semblant a la de la part dreta de la figura 8, mostrant la inserció de les espines llargues a la vora de la valva. Barra de referència de 10 µm. Imatge utilitzada amb permís dels autors. (© R.M. Crawford i F. Hinz, de Gebeshuber & Crawford, 2006). / b) Primer pla.

FIGURA 11

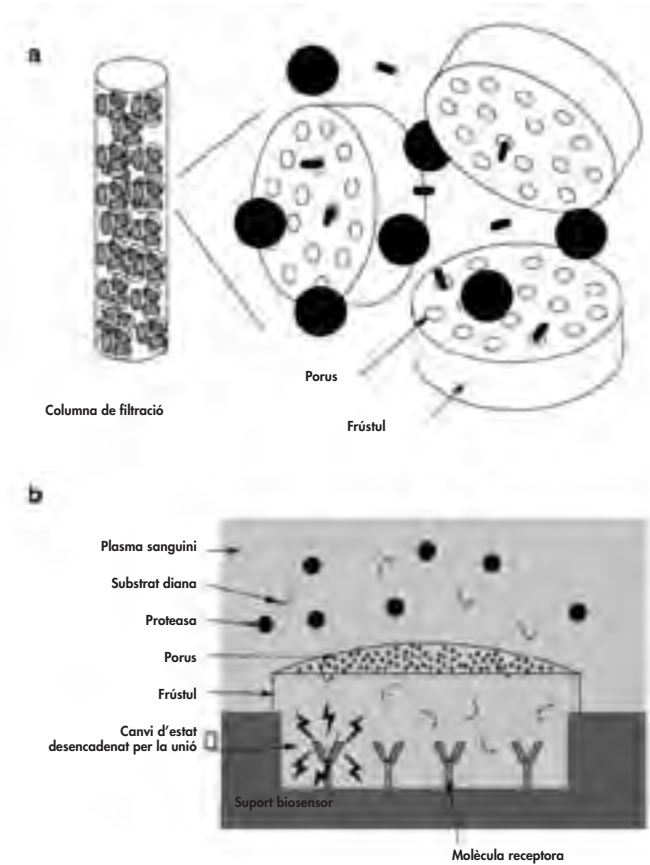


FIGURA 11. «Aplicacions de les diatomees com a filtres. (a) S'omple una columna de filtració amb frústuls de diatomea. Les molècules més grans passaran per la columna relativament de pressa, mentre que les molècules més petites podran entrar als frústuls a través dels porus i per tant s'eliminaran a un ritme molt més baix. (b) Filtre biosensor: en una aplicació típica (el control de la glucosa de la sang, per exemple), les molècules receptors estan contingudes (lliures o bé fixes al suport, com és aquí el cas) en una cambra coberta per un frústul de diatomea. Les molècules petites poden entrar-hi a través dels porus del frústul i unir-se als receptors, cosa que genera un senyal. Les molècules més grans que serien capaces d'interrompre el senyal (les proteases, per exemple) no poden entrar a la cambra.» Reproduït amb permís dels autors (Elsevier, de Parkinson & Gordon, 1999).

límits establerts pel front polar. En aquesta associació hi ha molts gèneres, però els més interessants són *Fragilariopsis* i *Eucampia*. Tant l'un com l'altre són indicatius de gel marí o de condicions determinades de la columna d'aigua, cosa que fa que tinguin un paper molt important com a indicadors del canvi climàtic (Zielinski & Gersonde, 1997).

Les associacions de diatomees que hem estudiat es van formar en estacions més aviat profundes (fins a 50 m). Contenen un nombre elevat d'espècies i estaven compostes sobretot per espècies bentòniques, tot i que també s'hi van observar diatomees planctòniques i de la banquisa. Això només és possible per l'elevada transparència de la columna d'aigua, que permet que la claror del sol arribi fins a molta fondària. Encara se saben molt poques coses de l'ecologia i la composició específica de les associacions de diatomees del litoral i el sublitoral antàrtic (vora la costa). La recerca s'ha centrat sobretot en les diatomees planctòniques i de la banquisa, perquè tenen un paper important en la producció primària de les aigües antàrtiques. Això fa que molts estudis s'hagin centrat en les estratègies de supervivència de les diatomees antàrtiques. Una cosa interessant és que algunes diatomees planctòniques presenten formes hivernals (Fryxell, 1994), mentre que altres sobreviuen a la banquisa (Cunningham & Leventer, 1998).

Aquest desequilibri pel que fa a l'atenció que es dona a les diatomees planctòniques i de la banquisa, per una banda, i a les diatomees bentòniques marines de l'Antàrtic, per l'altra, es fa difícil d'entendre perquè aquestes presenten morfologies molt més diverses i insòlites que no es poden observar enlloc més del món. Això proporciona apassionants possibilitats per a la recerca, especialment als diatomistes que estudien la biodiversitat i la taxonomia (noves espècies i tàxons superiors) i als nanotecnòlegs (noves ultraestructures).

Donem ara un cop d'ull a algunes de les parts de les diatomees per veure per què els enginyers estan interessats en les seves possibilitats. Farem servir exemples del nostre propi treball. Un de senzill és la circumferència o cercol procedent dels cingols de sílice que posseeixen la majoria de les diatomees. El que té de notable aquest exemple és l'elevat grau de perfecció en la circularitat, com si estigués «mecanitzada amb precisió» (figura 6), només que no disposem de torns tan petits. Sens dubte, un anell tot just és un element d'una nanomàquina potencial, però tot i així és última tecnologia, perquè encara ningú no ha aconseguit muntar cap aparell amb elements mòbils de diatomea. S'ha proposat de fer un nanorobot (o nanobot) consistent en un frústul de diatomea impulsat per motors bacterians per introduir fàrmacs en el nostre corrent sanguini, i és fàcil imaginar-se la capacitat de difracció òptica de frústuls de diatomea que compleixin la seva funció en disposicions més fantàsiques que els micromiralls mòbils (Link & Zimmerman, 2007).

Les morfologies de les diatomees són admirables no només per la seva varietat i la seva perfecció geomètrica, sinó també pel seu ample ventall de dimensions. Les diatomees antàrtiques tenen una mida que va des de tot just 1 o 2 micres de llarg i d'ample (per exemple *Fragilariopsis cylindrus*, figura 5) fins a 3 o 4 mm de llarg i només unes quantes micres d'ample (els gèneres *Thalassiothrix*, *Trichotoxon* i *Entopyla*) o bé centenars de micres de diàmetre (com els gèneres *Arachnoidiscus*, v. figura 6, i *Coccinodiscus*, v. figura 7 i figura 5). En una sola espècie mateix, la relació de mida entre diferents individus pot ser gairebé d'un ordre de magnitud (10x)! Això pot passar especialment a l'Antàrtida, on les condicions extremes poden inhibir la reproducció sexual excepte potser una vegada a l'any en una orgia en massa (Crawford, 1995; Crawford, Hinz & Rynearson, 1997).

Algunes de les diatomees més grans es troben en aigües antàrtiques (figura 7). A l'Antàrtida, la distribució de les diatomees està influïda sobretot per la progressió estacional de la banquisa. Això és especialment cert en el cas de les diatomees grans, perquè els espais porosos de l'interior del glaç són petits i les diatomees més grans de 30-40 micres s'esclafen amb facilitat durant el procés de congelació. Això fa que les diatomees més grans de l'Antàrtida hagin de sobreviure sota la banquisa —a força profunditat de la columna d'aigua, en hàbitats bentònics i epibentònics— o bé a mar oberta, enfora de la banquisa. Les bentòniques «gegants», d'altra banda, semblen ser més cosmopolites que les planctòniques, i moltes poblen tant regions litorals de latituds temperades i tropicals com les costes de l'Antàrtida. *Arachnoidiscus japonicus* viu sobretot al Pacífic tropical, i s'ha trobat a l'Antàrtida no fa gaire (Al-Handal & Wulff, 2008). La seva variabilitat de mida sembla

superar qualsevol altra descripció coneguda, i podria ser una versió algal del «gigantisme» descobert en altres organismes marins antàrtics (Woods *et al.*, 2009)!

Les espècies de diatomees antàrtiques més corrents, *Corethron criophilum* i *C. pennatum*, són magnífics exemples de mecànica integrada a escala microscòpica i nanoscòpica (figures 3-5). Tant la seva estructura com la seva funció són de gran interès per als nanotecnòlegs (Gebeshuber & Crawford, 2006; Gebeshuber, 2009). *C. criophilum* i *C. pennatum* existeixen com a cèl·lules individuals (és a dir, no formen colònies), i presenten dues valves diferents per cèl·lula (heterovalvia). Una de les valves és hemisfèrica i té un conjunt d'espines llargues que estan fixades a la valva en una sèrie d'alvèols de la vora de la valva (figura 8 a la dreta). L'altra valva té espines semblants però amb una sèrie d'espines corbades més fines que s'hi intercalen (figura 8 a l'esquerra). Les espines es poden moure fins a cert punt dintre l'alvèol, però el lloc en què es troben a la cèl·lula madura independent no és el mateix on es van formar. El procés de formació de la valva nova en aquestes diatomees és complex (Crawford & Hinz, 1995; Crawford, Hinz & Honeybill, 1998). Les espines es formen juntament amb les valves noves, a l'interior, protegides pel cilindre dels dos conjunts de cingols (figura 9). Durant el cicle de divisió cel·lular, la cèl·lula s'allarga molt i forma molts cingols, de tal manera que deixa un espai allargat entre les cèl·lules filles un cop dividides. Aquest espai permet que s'hi formin les espines llargues. Quan les cèl·lules noves són madures, s'allarguen i aparten el cilindre de cingols de la base de les espines, cosa que permet que les espines es despleguin i agafin la seva disposició definitiva (figura 10). Quan fan això, van més enllà d'un topall que ha de tenir una estructura que asseguri: a) que hi haurà dues posicions en què la base de les espines podrà acomodar-se; b) que la primera posició, situada sota el cilindre de cingols, serà prou inestable perquè quan el cilindre de cingols alliberi l'espina aquesta passi a la segona posició; c) que la posició final de tots tres conjunts d'espines serà estable, i d) que l'orientació de tots tres conjunts d'espines serà diferent (Richard Crawford, comunicació personal). Aquest cas únic d'un mecanisme de topall en un element micromecànic rígid és un exemple d'«estàndard de qualitat» per la seva relació entre estructura i funció a la naturalesa.

La diatomea antàrtica *Corethron* serveix de base per a la microtecnologia i la nanotecnologia, on és d'importància cabdal trobar idees originals sobre com fabricar estructures tridimensionals a partir d'estructures bidimensionals per desplegament i estructuració posterior (Gebeshuber & Crawford, 2006; Gebeshuber *et al.*, 2009). La pregunta que queda per respondre als futurs estudiosos de diatomees és: Què fa que les espines llargues empenyin el cilindre de cingols i vagin més enllà del límit del topall? Imaginem-nos MEMS i NEMS plans inspirats en la diatomea *Corethron* que es despleguessin, s'expandissin i formessin la seva estructura tridimensional establerta i definitiva cada vegada que fes falta!

Una característica comuna dels frústuls de les diatomees és que tenen els porus bastant uniformes (figura 2). Una aplicació possible d'aquestes diatomees és la de filtre selectiu, retenint les molècules més grans i deixant passar les més petites (figura 11).

Les diatomees, a causa de la complexa estructura que presenten a diferents escales de magnitud, tenen una gran superfície amb relació a la seva mida. Això les fa molt sensibles a l'adsorció de quantitats molt petites de molècules de gas. Com que les seves propietats òptiques canvien quan adsorbeixen gasos, a partir d'elles s'han pogut fer alguns detectors experimentals de nivells baixos de gasos perillosos (Lettieri *et al.*, 2008). Es pot fer que diverses molècules s'uneixin a la superfície dels frústuls, on poden reaccionar amb altres molècules i formar un autèntic «laboratori damunt una diatomea» (De Stefano *et al.*, 2009).

Una de les aplicacions més avançades de les diatomees és la de transformar les seves membranes de sílice sense canviar-ne la forma. Això s'aconsegueix coent-les a temperatura elevada en un vapor que contingui àtoms que no siguin de silici. En aquestes condicions, quan un àtom de silici s'evapora de la membrana és substituït de seguida per l'àtom alternatiu, de manera que el conjunt de l'estructura es manté intacte d'una forma relativament semblant al replicador de *Star Trek* (Drum & Gordon, 2003). És un procés anàleg al de restaurar un edifici de maó canviant-ne els maons un per un,



substituint cada maó d'argila, per exemple, per un d'or. Les forces que hi ha entre els àtoms adjacents constitueixen el «morter». Amb aquesta tècnica s'han fet «diatomees» de ceràmica (Dickerson *et al.*, 2005) i d'aliatges metàl·lics (Sandhage & Bao, 2008). La sílice és Si(OH)<sub>4</sub>, i un procés semblant elimina els àtoms d'oxigen i d'hidrogen i hi deixa silici pur (Si). Segurament es podria fer una «diatomea» tota de silici per crear nous ordinadors tridimensionals (Bao *et al.*, 2007). Les diatomees també es poden utilitzar com a motllos per fabricar nanoestructures d'altres substàncies (Losic *et al.*, 2007).

L'enginyeria genètica de diatomees ja ha començat amb la seqüenciació completa de l'ADN d'unes quantes espècies (Projecte Genoma, 2009c, b, a; Karthick, 2009) i la manipulació directa del genoma (Kroth, 2007; Gordon *et al.*, 2009).

Si es té preferència pels hàbitats bentònics és perquè les diatomees gegants de l'Antàrtida no presenten l'inconvenient d'estar gaire silicificades i també perquè són molt més grosses que les seves parentes tropicals (el gènere *Ethmodiscus*, per exemple). Encara es desconeix si els frústuls grans i molt silicificats tenen una producció cel·lular important de petroli, però les grans diatomees antàrtiques podrien tenir un gran paper sobre l'escalfament del planeta per mitjà de la retenció de carboni (Pollock, 1997), a la qual contribueixen de forma notable (DiTullio *et al.*, 2000; Grigorov, Pearce & Kemp, 2002). Tornem, doncs, al problema d'una font de gasolina sostenible, que es podria basar en les diatomees antàrtiques.

Els Estats Units estan al capdavant del consum mundial de gasolina, amb una mitjana de 10 barrils per persona i any (StateMaster.com, 2009). Posem que poguéssim manipular genèticament les diatomees gegants antàrtiques per tal que secretessin diàriament pels volts d'un 25% del seu volum en petroli col·locades dintre d'unes plaques solars dissenyades expressament (Ramachandra *et al.*, 2009). Les diatomees antàrtiques més grans són quasi totes epibentòniques, i les centrals més grans són les del gènere *Arachnoidiscus* (d'entre 0,4 i 1 mm en general). El volum d'una cèl·lula gegant de 2 mm de diàmetre de les espècies tropicals i subtropicals *Ethmodiscus rex* o *E. gazellae* és d'uns 4 mm<sup>3</sup> (Villareal *et al.*, 2007), de manera que una *Arachnoidiscus* gegant antàrtica deu fer 1 mm<sup>3</sup>. Deu barrils equivalen a 1.640 milions de mm<sup>3</sup> (1,64x10<sup>9</sup> mm<sup>3</sup>), un volum de petroli que segurament podria ser produït per 20 milions de cèl·lules en el transcurs d'un any. Una capa doble d'un milió de cèl·lules d'*Arachnoidiscus* d'un mm de diàmetre ocuparia 10 m<sup>2</sup>. Així com aquestes cèl·lules tenen grans vacúols que ocupen cap al 99% del seu volum (Woods & Villareal, 2008), n'hi ha d'altres que, en canvi, poden arribar a tenir fins al 85% del seu volum en forma d'olis o lípids (Ramachandra *et al.*, 2009). A més a més, podríem reduir la mida dels vacúols per selecció artificial (Gordon, 1996). Tot plegat ens permet fer una estimació aproximada de quanta superfície necessitaríem cobrir amb plaques solars secretores de gasolina per persona. Potser la producció per cèl·lula seria més baixa, però el nombre de capes de cèl·lules podria ser més gran, i, com que hi ha una ampla varietat de mides de cèl·lules i unes 100.000 espècies de diatomees per triar (Fourtanier & Kociolek, 2009), aprofitar el petroli que secreten les diatomees podria ser una cosa viable. Els avantatges de les plaques solars és que es poden instal·lar a les teulades, les parets, els deserts i altres llocs que acostumen a ser improductius, que no competeixen amb la ramaderia per l'aliment, i que es poden repartir per tot arreu, amb la qual cosa es redueixen els costos de transport de la distribució de gasolina.

En resum, la nanotecnologia basada en les diatomees pot resultar una iniciativa decisiva i lucrativa alhora. Pel fet de pertànyer a un medi únic i de biodiversitat alta (Brandt, 2005), les diatomees antàrtiques (WynnWilliams, 1996), incloent les dels llacs interiors (Jones, 1996; Laybourn-Parry & Pierce, 2007), mereixen la nostra especial atenció.

#### Referències

- Abdel-aal, H.A. & Ille C. Gebeshuber (2010). Número especial sobre: «Design in Nature». *International Journal of Design Engineering (IJDE)*, en preparació.
- Al-Handal, A.Y. & A. Wulff (2008). Marine epiphytic diatoms from the shallow sublittoral zone in Potter Cove, King George Island, Antarctica. *Botanica Marina* 51(5), 411-435.
- Allison, D.P., Y.F. Dufrene, M.J. Doktycz & M. Hildebrand (2008). Biominalization at the nanoscale: learning from diatoms. *Methods in Cell Biology* 90, 61-86.

- Bao, Z., M.R. Weatherspoon, S. Shian, Y. Cai, P.D. Graham, S.M. Allan, G. Ahmad, M.B. Dickerson, B.C. Church, Z. Kang, H.W. Abernathy III, C.J. Summers, M. Liu & K.H. Sandhage (2007). Chemical reduction of three-dimensional silica micro-assemblies into microporous silicon replicas. *Nature* 446, 172-175.
- Bozarth, A., U.G. Maier & S. Zauner (2009). Diatoms in biotechnology: modern tools and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology* 82(2), 195-201.
- Brandt, A. (2005). Evolution of Antarctic biodiversity in the context of the past: the importance of the Southern Ocean deep sea. *Antarctic Science* 17(4), 509-521.
- Crawford, R.M. (1995). The role of sex in the sedimentation of a marine diatom bloom. *Limnology and Oceanography* 40(1), 200-204.
- Crawford, R.M. & F. Hinz (1995). The spines of the centric diatom *Corethron criophilum*: light-microscopy of vegetative cell division. *European Journal of Phycology* 30(2), 95-105.
- Crawford, R.M., F. Hinz & T. Rynearson (1997). Spatial and temporal distribution of assemblages of the diatom *Corethron criophilum* in the Polar Frontal region of the South Atlantic. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography* 44(1-2), 479-496.
- Crawford, R.M., F. Hinz & C. Honeywill (1998). Three species of the diatom genus *Corethron* *Castracane*: structure, distribution and taxonomy. *Diatom Research* 13(1), 1-28.
- Cunningham, W.L. & A. Leventer (1998). Diatom assemblages in surface sediments of the Ross Sea: relationship to present oceanographic conditions. *Antarctic Science* 10(2), 134-146.
- Davis, J.S. (1972). Survival records in the algae, and the survival role of certain algae pigments, fat, and mucilaginous substances. *The Biologist* 54(2), 52-93.
- De Stefano, L., L. Rotiroli, M. De Stefano, A. Lamberti, S. Lettieri, A. Setaro & P. Maddalena (2009). Marine diatoms as optical biosensors. *Biosens. Bioelectron.* 24(6), 1580-1584.
- Dickerson, M.B., R.R. Naik, P.M. Sarosi, G. Agarwal, M.O. Stone & K.H. Sandhage (2005). Ceramic nanoparticle assemblies with tailored shapes and tailored chemistries via biosculpting and shape-preserving inorganic conversion. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 5(1), 63-67.
- DiTullio, G.R., J.M. Grebmeier, K.R. Arrigo, M.P. Lizotte, D.H. Robinson, A. Leventer, J.B. Barry, M.L. VanWoert & R.B. Dunbar (2000). Rapid and early export of *Phaeocystis antarctica* blooms in the Ross Sea, Antarctica. *Nature* 404(6778), 595-598.
- Drum, R.W. & R. Gordon (2003). Star Trek replicators and diatom nanotechnology. *TibTech (Trends in Biotechnology)* 21(8), 325-328.
- Dupas, C., P. Houdy & M. Lahmani (2007). *Nanoscience: Nanotechnologies and Nanophysics*. Berlin, Springer-Verlag.
- Edlund, M.B. (2009). Diatoms in philately: postage stamps depicting diatoms. In: *20th North American Diatom Symposium, Iowa Lakeside Laboratory 23-27 September, 2009, and a special celebration of the life of Charles W. Reimer*. Eds.: M.B. Edlund & S. Spaulding. <http://www.northamericadiatomsymposium.org/pdfs/Edlund.pdf>.
- Fourtanier, E. & J.P. Kociolek. (2009). Catalogue of Diatom Names. <http://research.calacademy.org/research/diatoms/names/>
- Fryxell, G.A. (1994). Planktonic marine diatom winter stages: Antarctic alternatives to resting spores. *Memoirs of the San Francisco Academy of Sciences* 17, 437-448.
- Gazit, E. (2007). *Plenty of Room for Biology at the Bottom: An Introduction to Bionanotechnology*. Singapore, World Scientific.
- Gebeshuber, I.C. & R.M. Crawford (2006). Micromechanics in biogenic hydrated silica: hinges and interlocking devices in diatoms. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology* 220(J8), 787-796.
- Gebeshuber, I.C. (2009). Nanoelectromechanical systems (NEMS) - Introduction, application and challenges of nanoelectromechanical systems. In: *The A to Z of Nanotechnology*. Eds.: A. Choi.
- Gebeshuber, I.C., H. Stachelberger, B.A. Ganji, D.C. Fu, J. Yunas & B.Y. Majlis (2009). Exploring the innovational potential of biomimetics for novel 3D MEMS. *Journal of Advanced Materials Research* 74, 265-268.
- Genome Project. (2009a). *Cyclotella meneghiniana*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=genomeprj&cmd=ShowDetaiView&TermToSearch=32153>
- Genome Project. (2009b). *Phaeodactylum tricoratum*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=genomeprj&cmd=ShowDetailView&TermToSearch=13153>
- Genome Project. (2009c). *Thalassiosira pseudonana*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=genomeprj&cmd=ShowDetaiView&TermToSearch=9562>
- Goodsell, D.S. (2004). *Bionanotechnology, Lessons from Nature*. Hoboken, NJ, Wiley-Liss.
- Gordon, R. (1987). A retaliatory role for algal projectiles, with implications for the mechanochemistry of diatom gliding motility. *J. Theor. Biol.* 126, 419-436.
- Gordon, R. & B.D. Aguda (1988). Diatom morphogenesis: natural fractal fabrication of a complex microstructure. In: *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Part 1/4: Cardiology and Imaging, 4-7 Nov. 1988, New Orleans, LA, USA*. Eds.: G. Harris & C. Walker. New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers: 273-274.
- Gordon, R. (1996). Computer controlled evolution of diatoms: design for a compustat. *Nova Hedwigia* 112(Festschrift for Prof. T.V. Desikachary), 213-216.
- Gordon, R., F.A.S. Sterrenburg & K. Sandhage (2005). A Número especial sobre Diatom Nanotechnology. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 5(1), 1-4.

- Gordon, R. (2008). The Glass Menagerie: Diatom Nanotechnology and Its Implications for Multi-Scale Manufacturing and Oil Production. In: *2nd International Conference on Multi-Scale Structures and Dynamics of Complex Systems: Processes & Forces for Creation of Designer Materials with Multi-Scale Structures, 4-5 September, 2008, Bangalore, India*. Eds.: J.S. Raut & R. Venkataraghavan. Bangalore, Unilever.
- Gordon, R., D. Losic, M.A. Tiffany, S.S. Nagy & F.A.S. Sterrenburg (2009). The Glass Menagerie: diatoms for novel applications in nanotechnology [invited]. *Trends in Biotechnology* 27(2), 116-127.
- Gordon, R. (2010). Diatoms and nanotechnology: early history and imagined future as seen through patents [Invited]. In: *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Eds.: J.P. Smol & E.F. Stoermer. Cambridge, Cambridge University Press. 2nd: en premsa.
- Grigorov, I., R.B. Pearce & A.E.S. Kemp (2002). Southern Ocean laminated diatom ooze: mat deposits and potential for palaeo-flux studies, ODP leg 177, Site 1093. *Deep-Sea Research Part I-Topical Studies in Oceanography* 49(16), 3391-3407.
- Hasle, G.R. & E.E. Syvertsen (1996). Marine diatoms. In: *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Eds.: C.R. Tomás San Diego, Academic Press: 5-385.
- Helbling, E.W., B.E. Chalker, W.C. Dunlap, O. Holmhansen & V.E. Villafane (1996). Photoacclimation of Antarctic marine diatoms to solar ultraviolet radiation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 204(1-2), 85-101.
- Hernando, M.P. & G.A. Ferreyra (2005). The effects of UV radiation on photosynthesis in an Antarctic diatom (*Thalassiosira* sp.): Does vertical mixing matter? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 325(1), 35-45.
- Hollibaugh, J.T., D.L.R. Seibert & W.H. Thomas (1981). Observations on the survival and germination of resting spores of three *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) species. *Journal of Phycology* 17, 1-9.
- Janech, M.G., A. Krell, T. Mock, J.S. Kang & J.A. Raymond (2006). Ice-binding proteins from sea ice diatoms (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology* 42(2), 410-416.
- Jones, V.J. (1996). The diversity, distribution and ecology of diatoms from Antarctic inland waters. *Biodiversity and Conservation* 5(11), 1433-1449.
- Karthick, B. (2009). Genome sequencing of cells that live inside glass cages reveals their past history. *Current Science* 96(3), 334-337.
- Kemp, K.D. (2009). MicroLife Services, Specialist in diatom microslides and diatom arrangements. <http://www.diatoms.co.uk>
- Krell, A., B. Beszteri, G. Dieckmann, G. Glockner, K. Valentin & T. Mock (2008). A new class of ice-binding proteins discovered in a salt-stress-induced cDNA library of the psychrophilic diatom *Fragilariopsis cylindrus* (Bacillariophyceae). *European Journal of Phycology* 43(4), 423-433.
- Kröger, N. & N. Poulsen (2008). Diatoms: from cell wall biogenesis to nanotechnology. *Annu. Rev. Genet.* 42, 83-107.
- Kroth, P., R. León, A. Gaván & E. Fernández (2007). Molecular biology and the biotechnological potential of diatoms. *Advances in Experimental Medicine & Biology* 616, 23-33.
- Kroth, P.G. (2007). Genetic transformation: a tool to study protein targeting in diatoms. *Methods Mol Biol* 390, 257-268.
- Laughlin, R.B. (2005). *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*. New York, Basic Books.
- Laybourn-Parry, J. & D.A. Pearce (2007). The biodiversity and ecology of Antarctic lakes: models for evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 362(1488), 2273-2289.
- Lettieri, S., A. Setaro, L. De Stefano, M. De Stefano & P. Maddalena (2008). The gas-detection properties of light-emitting diatoms. *Advanced Functional Materials* 18(8), 1257-1264.
- Ligowski, R., M. Godlewski & A. Łukowski (1992). Sea ice diatoms and ice edge planktonic diatoms at the northern limit of the Weddell Sea pack ice. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 5, 9-20.
- Link, R.J. & D. Zimmerman (2007). An approach for model updating of a multiphysics MEMS micromirror. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the ASME* 129(3), 357-366.
- Losic, D., J.G. Mitchell, R. Lal & N.H. Voelcker (2007). Rapid fabrication of micro- and nanoscale patterns by replica molding from diatom biosilica. *Advanced Functional Materials* 17(14), 2439-2446.
- Matthias Burba. (2008). Diatoms (from an 1891 J.D. Möller arrangement) (65X). <http://www.nikonsmallworld.com/moreinfo.php?grouping=year&year=2008&imagepos=50>
- Medlin, L.K. & J. Priddle (1990). *Polar Marine Diatoms*. Cambridge, British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council.
- Nagy, S.S. (2002). Montana Diatoms. <http://montanadiatoms.tripod.com/>
- Papazoglou, E.S. & A. Parthasarathy (2007). *BioNanotechnology*, Morgan and Claypool Publishers.
- Parkinson, J. & R. Gordon (1999). Beyond micromachining: the potential of diatoms. *Trends Biotechnol (Tibtech)* 17(5), 190-196.
- Pollock, D.E. (1997). The role of diatoms, dissolved silicate and Antarctic glaciation in glacial/interglacial climatic change: a hypothesis. *Global and Planetary Change* 14(3-4), 113-125.
- Ramachandra, T.V., D.M. Mahapatra, Karthick B. & R. Gordon (2009). Milking diatoms for sustainable energy: biochemical engineering versus gasoline-secreting diatom solar panels [invited]. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 48(19, Complex Materials II special issue, October), 8769-8788.
- Rehm, B.H.A. (2006). *Microbial Bionanotechnology: Biological Self-Assembly Systems and Biopolymer-Based Nanostructures*, Taylor & Francis.
- Reisner, D.E., Ed. (2008). *Bionanotechnology: Global Prospects*. Boca Raton, CRC.
- Renugopalakrishnan, V. & R.V. Lewis, Eds. (2006). *Bionanotechnology: Proteins to Nanodevices*, Springer.
- Ruddiman, W.E. (2005). How did humans first alter global climate? *Scientific American* 292(3), 46-53.
- Sandhage, K.H. & Z. Bao (2008). *Methods of fabricating nanoscale-to-microscale structures [United States Patent Application US 2008/0038170 A1]*.
- Sargent, E.H. (2005). *The Dance of Molecules: How Nanotechnology is Changing Our Lives*. Toronto, Viking Canada.
- Scharek, R. (2010). A biological view on Antarctic diatoms. In: *Antarctica. Time of Change*. Barcelona, ACTAR / Arts Santa Mònica.
- Skerratt, J.H., A.D. Davidson, P.D. Nichols & T.A. McMeekin (1998). Effect of UV-B on lipid content of three antarctic marine phytoplankton. *Phytochemistry* 49(4), 999-1007.
- Stasiuk, L.D. & H. Sanei (2001). Characterization of diatom-derived lipids and chlorophyll within Holocene laminates, Saanich Inlet, British Columbia, using conventional and laser scanning fluorescence microscopy. *Organic Geochemistry* 32(12), 1417-1428.
- StateMaster.com. (2009). Energy Statistics > Gasoline Consumption (per capita) (most recent) by state. [http://www.statemaster.com/graph/ene\\_gas\\_con\\_percap-energy-gasoline-consumption-per-capita](http://www.statemaster.com/graph/ene_gas_con_percap-energy-gasoline-consumption-per-capita)
- Sterrenburg, F.A.S., R. Gordon, M.A. Tiffany & S.S. Nagy (2007). Diatoms: living in a construal environment. In: *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments. Series: Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology, Vol. 11*. Eds.: J. Seckback. Dordrecht, The Netherlands, Springer: 141-172.
- Villareal, T.A., R.M.L. McKay, M.M.D. Al-Rshaidat, R. Boyanapalli & R.M. Sherrell (2007). Compositional and fluorescence characteristics of the giant diatom *Ethmodiscus* along a 3000 km transect (28 degrees N) in the central North Pacific gyre. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 54(8), 1273-1288.
- Weatherspoon, M.R., M.B. Dickerson, G. Wang, Y. Cai, S. Shian, S.C. Jones, S.R. Marder & K.H. Sandhage (2007). Thin, conformal, and continuous SnO<sub>2</sub> coatings on three-dimensional biosilica templates through hydroxy-group amplification and layer-by-layer alkoxide deposition. *Angewandte Chemie-International Edition* 46(30), 5724-5727.
- Witkowski, A., C. Riaux-Gobin & G. Daniszewska-Kowalczyk (2010). Diatom (Bacillariophyceae) flora of the Austral Islands Kerguelen, with consideration on biogeographic distribution of established and newly described taxa. *Iconogr. Diatomol.*, presentat.
- Woods, H.A., A.L. Moran, C.P. Arango, L. Mullen & C. Shields (2009). Oxygen hypothesis of polar gigantism not supported by performance of Antarctic pycnogonids in hypoxia. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 276(1659), 1069-1075.
- Woods, S. & T.A. Villareal (2008). Intracellular ion concentrations and cell sap density in positively buoyant oceanic phytoplankton. *Nova Hedwigia* (Suppl. 133), 131-145.
- Wulff, A., M.Y. Røleda, K. Zacher & C. Wiencke (2008). Exposure to sudden light burst after prolonged darkness: a case study on benthic diatoms in Antarctica. *Diatom Research* 23(2), 519-532.
- WynnWilliams, D.D. (1996). Antarctic microbial diversity: The basis of polar ecosystem processes. *Biodiversity and Conservation* 5(11), 1271-1293.
- Zgurovskaya, L.N. (1977). Effect of addition of nutrients on growth of spores and division of planktonic algae from bottom sediments. *Okeanologiya* 17(1), 119-122.
- Zielinski, U. & R. Gersonde (1997). Diatom distribution in Southern Ocean surface sediments (Atlantic sector): Implications for paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 129(3-4), 213-250.

Richard Gordon, biòleg teòric, va quedar captivat per les diatomees a causa del moviment fascinant de la diatomea colonial *Bacillaria paradoxa*. Ha tractat d'entendre el mecanisme de motilitat i la morfogènesi de les membranes de les diatomees, i inconscientment ha creat la disciplina de la nanotecnologia de diatomees. Altres camps en què investiga són la morfogènesi dels embrions dels primers vertebrats, la detecció precoç del càncer de mama i la contenció de l'epidèmia de la sida.

Andrzej Witkowski és un geòleg i oceanògraf de formació que va començar a estudiar les diatomees mentre feia el seu doctorat sobre els processos de fossilització de les catifes microbianes siliciclàstiques. Des d'aleshores, la seva recerca s'ha centrat en aspectes paleontològics de les diatomees marines i en la composició específica, la biodiversitat i la biogeografia de les diatomees dels litorals marins de tot el món. Recentment ha investigat sobre les diatomees marines del litoral de les illes Kerguelen i Sud-africanes, i d'algunes parts de l'Antàrtida. És editor de *Diatom Monographs*.

Ille C. Gebeshuber és una física experimental que treballa amb diatomees des del 1999, any en què va esdevenir la primera persona a veure diatomees vives *in situ* sota l'aigua amb resolució nanomètrica i a descobrir les propietats autoreparadores de les diatomees, que les feien d'interès de cara a fabricar coles submarines sintètiques d'alta tecnologia. Al 2004 va crear la disciplina de la tribologia de diatomees, en què les diatomees serveixen de base per fer dispositius microelectromecànics i nanoelectromecànics (MEMS i NEMS). El sorprenent mecanisme de topall (*click-stop*) que presenten les diatomees antàrtiques *Corethron pennatum* i *C. criophilum* ens proporciona la base per fabricar les estructures MEMS optimitzades més diminutes que es despleguen i que a continuació queden fixades de forma irreversible.

Claire Allen és una paleoceanògrafa del British Antarctic Survey que actualment treballa en el grup de «Sediments quaternaris» del programa de recerca «Química i paleoclima». Utilitza diatomees conservades als sediments marins per reconstruir els canvis que en temps passats van tenir lloc als oceans i al clima de l'Antàrtida per tal de comprendre més bé el paper de l'Antàrtida en el sistema climàtic planetari. Ha participat en sis expedicions científiques a la península Antàrtica i al mar de Scotia, on ha agafat mostres d'aigua i de sediments per contribuir a fer veure la importància ecològica de les dades sobre les diatomees de l'oceà Antàrtic.

