

Hugo Martínez-Tormo. *Nanopaper*, 2010. Creació digital, 21 x 28 cm.

# UNA REVOLUCIÓ EN PETIT

## MIG SEGLE DE NANOTECNOLOGIA

Pedro A. Serena

### *Mini-revolution: Half a Century of Nanotechnology.*

Nanoscience has progressed over the last 50 years from a scattered set of basic but outstanding breakthroughs to hundreds of research groups world-wide, continuously announcing the discovery of novel nanomaterials and fascinating nanodevices. Nanotechnology is becoming real; in fact, many of these advances have become part of our daily life. This article describes the basic features characterizing current research in nanotechnology and its main application sectors. In addition, this study also covers other issues like funding or public perception of this multidisciplinary field.

El prefix *nano* (que prové de la paraula grega que significa “petit”) equival a la milmilionèsima part de la unitat de mesura a la qual acompanya. D'aquesta manera, un nanòmetre (1 nm) és una longitud equivalent a la milionèsima part d'un mil·límetre. De manera arbitrària es defineix l'anomenada *nanoescala* com el rang de longituds o grandàries comprès entre 1 nm i 100 nm. En la nanoescala ens trobem amb àtoms, molècules, proteïnes, virus, cadenes d'àcid desoxiribonucleic (ADN), nanotubs de carboni, nanopartícules... Tots ells són els nanoobjectes d'interès per a la nanociència i la nanotecnològia.

El terme *nanociència* fa referència a les investigacions destinades a comprendre l'estructura i propietats de materials i objectes que presenten grandàries característiques pròpies de la nanoescala. La nanotecnologia parteix d'aquests coneixements per generar materials, estructures i dispositius amb noves propietats degudes a unes dimensions nanomètriques.

El prefix *nano* també es fa servir amb disciplines ja existents, quan es vol emfatitzar que s'orienten a estudiar fenòmens en la nanoescala. D'aquesta manera es parla de nanoelectrònica, nanofotònica, nanobiotecnologia, etc.

La nanociència i la nanotecnologia s'han desenvolupat d'una manera relativament silenciosa fins a la dècada dels noranta. Ha transcorregut quasi mig segle des del visionari discurs de R. Feynman, que va permetre somi-

ar d'entendre i dominar la matèria a escala nanomètrica. El mateix terme *nanotecnologia* ja ha fet 35 anys, des que va ser encunyat per N. Taniguchi el 1974. En les darreres dues dècades, els denominats microscopis de proximitat, inventats per H. Rohrer i G. Binnig, s'han convertit en eines habituals per a observar i moure nanoobjectes. Els nanotubs de carboni, grans protagonistes de la nanociència, els va descobrir el 1991 l'investigador japonès S. Iijima. Ara, a les acaballes de la primera dècada del segle xx, som conscients del llarg camí recorregut.

L'impuls donat a les nanotecnologies ha estat més evident durant els últims deu anys, gràcies als ingents recursos financers que els governs i empreses dels països més desenvolupats han invertit per fomentar la investigació en nanotecnologia i per transferir-la al sector productiu. Hi ha la convicció generalitzada que aquest nou saber permetrà consolidar un nou model econòmic, que potser serà la porta al tan anhelat desenvolupament sostenible. Tampoc

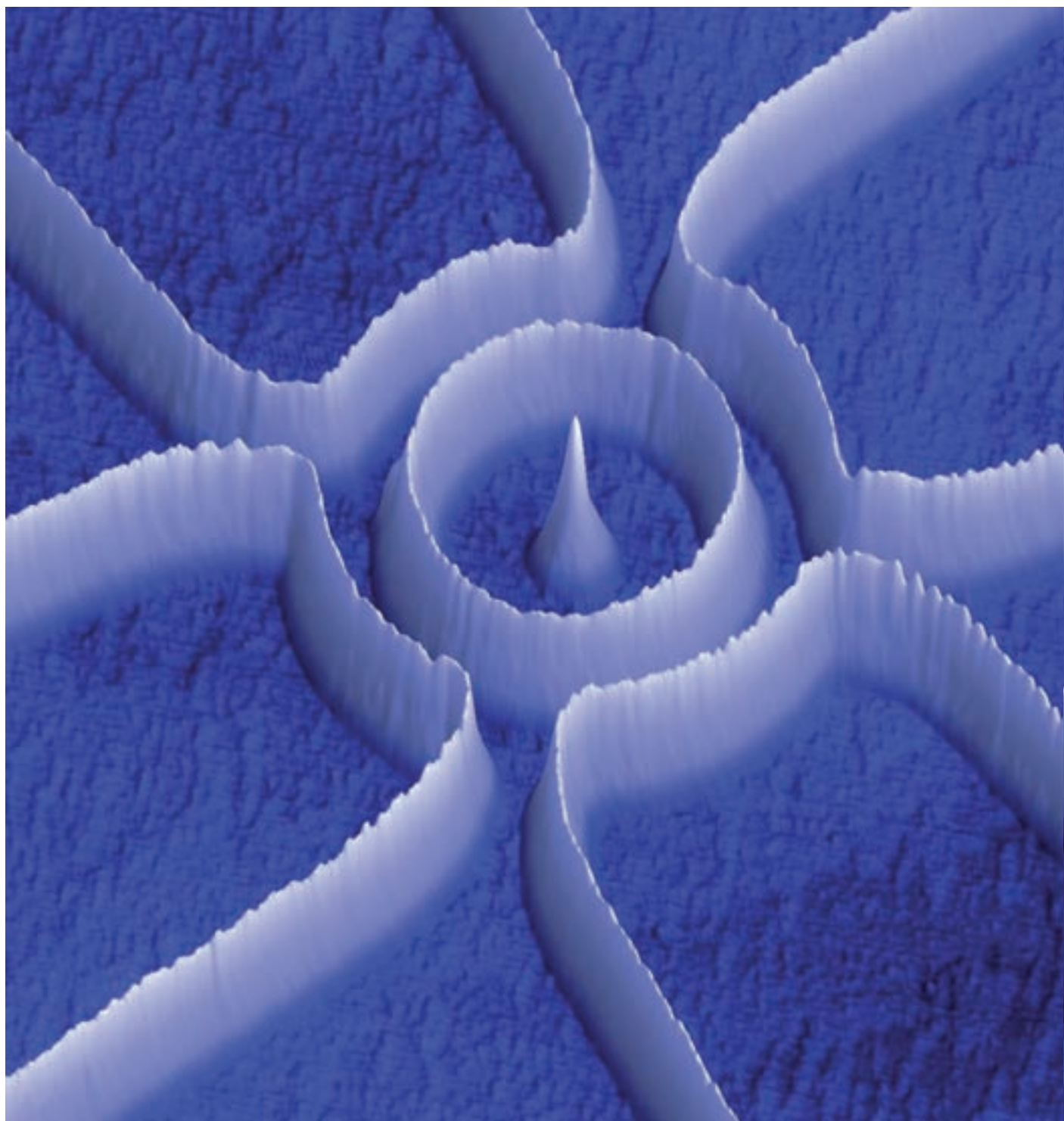
no podem oblidar un altre factor clau: la nanotecnologia generarà un negoci que previsiblement assolirà la xifra de dos bilions d'euros el 2015.

### ■ DE DALT CAP AVALL, DE BAIX CAP AMUNT

Un dels pitjors problemes de les nanotecnologies és la dificultat de transferir-les a una escala industrial.

«LA NANOCIÈNCIA  
FA REFERÈNCIA  
A LES INVESTIGACIONS  
DESTINADES A COMPRENDRE  
L'ESTRUCTURA  
I PROPIETATS DE  
MATERIALS I OBJECTES QUE  
PRESENTEN GRANDÀRIES  
CARACTERÍSTIQUES PRÒPIES  
DE LA NANOESCALA»





En aquesta imatge obtinguda mitjançant microscòpia de forces atòmiques (AFM) es mostra un nanodispositiu amb forma anular d'un micró de diàmetre connectat mitjançant quatre terminals. Totes les línies (d'una altura de 15 nm) s'han dibuixat sobre el material GaAlAs mitjançant la tècnica litogràfica d'oxidació local usant la punta del microscopi AFM. Aquest dispositiu permet observar interessants efectes quàntics en el transport electrònic, i obre la porta a futurs dispositius nanoelectrònics. Aquesta tecnologia és un exemple de mètode *bottom-up*. No obstant això, l'elaboració d'aquestes estructures és encara massa lenta per a competir amb les actuals tecnologies de miniaturització. A. Fuhrer, de l'Institut Federal Suís de Tecnologia de Zuric (ETH), és l'autor d'aquesta imatge, titulada *Nanorings*, i que va ser guanyadora del concurs internacional SPMAGE07 (<http://www.icmm.csic.es/spmage>).





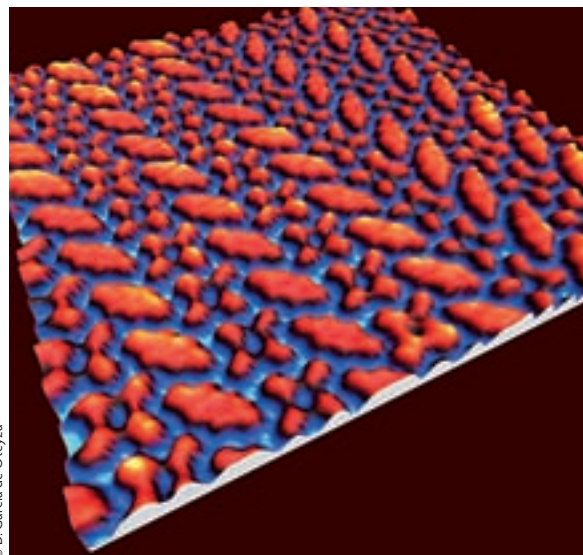
© A. Führer

Aquesta incorporació a les indústries es pot fer de dues maneres diferents. Per un costat hi ha processos de tipus descendent o *top-down* (de dalt cap avall), en què es parteix de sistemes grans per a, mitjançant tècniques d'atac, tall, polit, litografia, etc, obtenir sistemes amb parts nanomètriques. Aquesta aproximació, per exemple, és la que ha permès un increment incessant de la densitat de transistors que s'integren en una oblia de silici. D'altra banda, la nanotecnologia ofereix una altra alternativa, la denominada ascendent o *bottom-up* (de baix cap amunt), en la qual es parteix d'elements petits (àtoms, molècules, cadenes d'ADN, nanoestructures,...) per construir sistemes complexos capaços de realitzar diverses funcions. L'únic sistema que funciona completament seguint aquest tipus de procediments ascendent és la vida; les estructures biològiques i els seus mecanismes de funcionament són els exemples a imitar en el disseny de tecnologies *bottom-up*.

La nanotecnologia és un espai de convergència multidisciplinària de químics, biòlegs, físics i enginyers. D'aquesta convergència s'esperen plantejaments abans insospitats que proporcionen noves solucions a problemes plantejats en un gran nombre de sectors d'aplicació. Tot seguit es detallen algunes propostes de base nanotecnològica per a alguns dels sectors esmentats.

#### ■ BIOTECNOLOGIA I MEDICINA

En aquestes àrees es desenvolupen noves tècniques d'observació de fenòmens biològics gràcies a equips com els microscopis de forces atòmiques. A més es van implantant noves vies de diagnòstic basades en l'ús de nanopartícules funcionalitzades (és a dir, recobertes d'un material que els confereix noves propietats com la de detectar el focus de la malaltia). Aquestes nanopartícules, que s'usen com a marcadors òptics o magnètics per a la detecció primerenca de malalties, en algun cas també poden actuar com a element terapèutic, destruint els teixits malalts a què s'han adherit. La diagnosi de malalties es podrà beneficiar del desenvolupament de sensors nanoelectrònics que realitzaran un seguiment precís del nostre estat de salut. Diferents dispositius nanoelectrònics també es faran servir per restaurar capacitats òptiques i auditives de pacients amb pèrdua de vista o d'audició. També hi ha una forta investigació destinada a desplegar sis-



© D. García de Oteyza

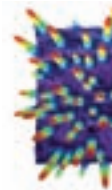
Aquesta imatge ha estat obtinguda mitjançant microscòpia d'efecte túnel (STM) i mostra una superfície d'or recoberta de dos tipus de molècules amb estructura plana: di-perilè (DIP) i ftalocianina de coure (CuPc). Aquesta estructura ordenada s'ha aconseguit usant tècniques d'epitàxia de feixos moleculars (MBE). Les molècules s'ordenen espontàniament (s'autoassemblen) en fileres alternants seguint orientacions ben definides. Aquest és un exemple de tecnologia massiva de tipus *bottom-up* que algun dia permetrà la fabricació a gran escala de dispositius. L'autor d'aquesta imatge, titulada (*Nano*)-blossoms in the Dark, és D. García de Oteyza, de l'Institut Max Planck d'Investigació en Materials (Stuttgart, Alemanya). Aquesta imatge va ser finalista del concurs internacional SPMAGE07.

**«LA NANOTECNOLOGIA  
ÉS UN ESPAI DE  
CONVERGÈNCIA  
MULTIDISCIPLINÀRIA  
DEL QUAL S'ESPEREN  
PLANTEJAMENTS ABANS  
INSOSPITATS QUE  
PROPORCIONEN NOVES  
SOLUCIONS EN UN GRAN  
NOMBRE DE SECTORS  
D'APLICACIÓ»**

temes capaços de dosificar l'alliberament de fàrmacs en el moment i lloc adequats. Finalment, els nanomaterials biocompatibles ja s'aprofiten per fabricar pròtesis més resistents.

#### ■ ENERGIA I MEDI AMBIENT

Sens dubte aquests temes han cobrat importància gràcies a les evidències del canvi climàtic i a les mesures de contenció d'aquest que impliquen la disminució de les emissions de diòxid de carboni, la necessitat d'acudir a fonts renovables d'energia i l'optimització de l'ús de les fonts convencionals d'energia. Altres temes, com facilitar l'accés generalitzat a recursos hídrics i el control i la remediació de la contaminació, també són prioritaris en el camí cap al desenvolupament sostenible global. En l'àmbit de l'energia, els catalitzadors nanoporosos o nanoparticulats continuaran essent peces fonamentals



en l'obtenció de derivats del petroli i en una infinitat de processos químics industrials. Els materials nanoestructurats seran aplicats en cèl·lules de combustible, en producció d'hidrogen i en bateries alcalines de nova generació. Els panells solars augmentaran l'eficiència mitjançant l'ús de materials nanoestructurats (ja siguin basats en silici o en altres semiconductors orgànics o inorgànics). L'energia eòlica podrà ser més eficient gràcies als materials nanocompostos (*nanocomposites*), que permetran fabricar aerogeneradors de majors dimensions. Quant a la gestió de recursos hídrics, les nanotecnologies milloraran les tècniques actuals de dessalatge, depuració i potabilització d'aigua. La detecció de la contaminació es podrà efectuar de manera més ràpida i eficient gràcies a l'ús de xarxes de nanosensors.

## ■ TECNOLOGIES DE LA INFORMACIÓ I LES COMUNICACIONS

Aquestes tecnologies han estat pioneres en tot allò que s'ha relacionat amb la miniaturització, de manera que tant la densitat de transistors en un processador com la de bits en un sistema d'emmagatzemament de dades han augmentat uns quants ordres de magnitud en les quatre últimes dècades. Es pot dir que fa aproximadament deu anys la fabricació de dispositius electrònics va entrar en l'àmbit de la nanotecnologia. S'espera que aquest ritme continue mantenint-se fins que el silici no es pugui continuar utilitzant. No obstant això, quan les propietats del silici s'hagen exhaurit, es necessitaran alternatives que proporcionen les mateixes prestacions

### EL CAS D'ESPANYA: XARXES AUTOGESTIONADES I ACCIONS ESTRATÈGIQUES

Els beneficis de les nanotecnologies seran per a aquells països que lideren la investigació en nanociència i siguin capaços de transferir-la al sector productiu. Però en quina situació es troba Espanya? Ací la nanotecnologia s'ha desenvolupat seguint un patró semblant, amb els seus pros i els seus contres, al de les altres disciplines científiques, i en l'actualitat hi ha prop de tres-cents grups d'investigació que pràcticament cobreixen totes les temàtiques de la nanociència i la nanotecnologia.

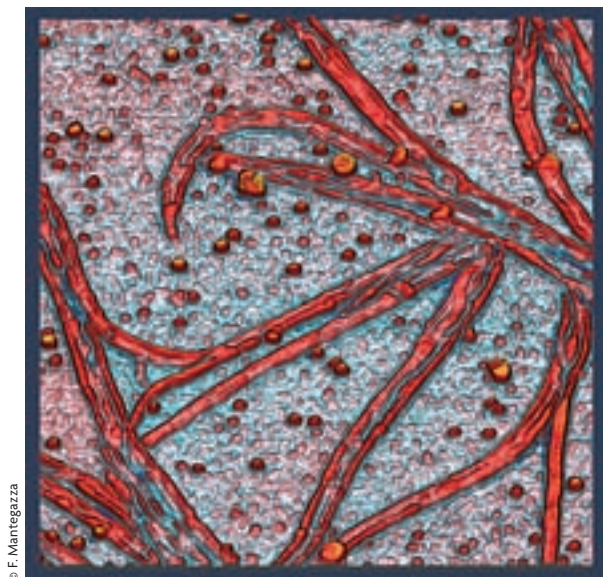
A partir de l'any 2000, i sota l'impacte global de la Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dels EUA i les polítiques de la Unió Europea, els investigadors espanyols es van organitzar al voltant de xarxes com la desapareguda Red Nanociència o la xarxa NanoSpain. Aquestes estructures van contribuir a exercir pressió sobre les administracions i van aconseguir la implantació de l'Acció Estratègica de Nanociència i Nanotecnologia en els Plans Nacionals de Recerca, Desenvolupament i Innovació (R+D+I) dels períodes 2004-2007 i 2008-2011. A més d'aquestes accions estratègiques, el Programa Ingenio 2010, la finalitat del qual és accelerar la convergència científicotècnica amb la Unió Europea, ha promogut la investigació en nanociència i nanotecnologia a través dels programes Cénit i Consolidar. A aquests esforços caldria afegir l'efectuat pels governs de les comunitats autònomes. Amb l'ajuda de tots aquests nous instruments de planificació i finançament s'ha generant una dinàmica positiva en l'àmbit de la nanotecnologia que es reflecteix en la posada en marxa de quasi una desena de nous centres d'investigació. En conjunt, la inversió efectuada ha permès



Espanya no es vol quedar endarrerida en la implantació de les nanotecnologies. En aquests moments s'estan posant en marxa nou centres que tenen com a objectiu potenciar la investigació en nanociència i nanotecnologia: (1) Laboratori Ibèric Internacional de Nanotecnologia (INL), centre conjunt hispanoportuguès ubicat a Braga (Portugal); (2) Centro de Investigación en Nanomateriales y Nanotecnología de Asturias; (3) CIC nanoGUNE, ubicat a Sant Sebastià; (4) Instituto Universitario de Investigación en Nanociencia de Aragón (INA), emplaçat a Saragossa; (5) Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2), ubicat a Barcelona; (6) Institut de Ciències Fotòniques (ICFO) de Barcelona; (7) Institut Universitari de Tecnologia Nanofotònica de la Universitat Politècnica de València; (8) Centro Andaluz de Nanomedicina y Biotecnología (BIONAND) de Màlaga; i (9) IMDEA-Nanociencia (Madrid).

millorar les capacitats d'investigació del país, però són insuficients per a aconseguir una posició de lideratge internacional i, a més, l'actual situació econòmica pot truncar part del camí recorregut fins avui.

P. A. S.



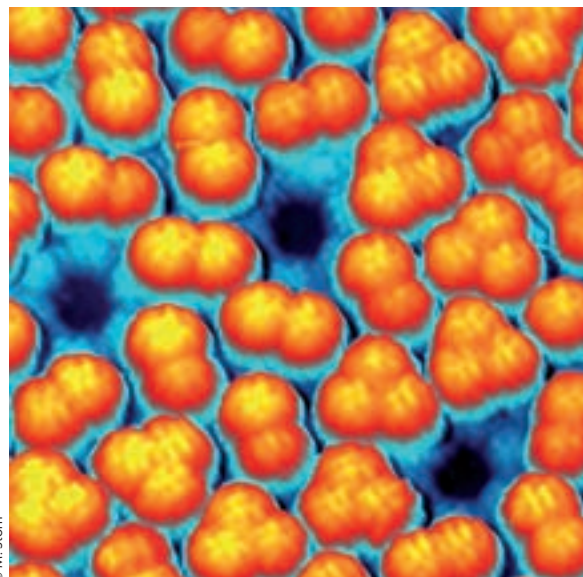
© F. Mantegazza

Els microscopis de forces atòmiques són unes poderoses eines per a observar i modificar mostres biològiques en la nanoescala. En aquesta imatge es mostren filaments del pèptid beta-amiloide, involucrat en la malaltia d'Alzheimer, dipositat sobre mica. Aquestes observacions poden ser efectuades en mitjans líquids, per la qual cosa obren la porta a l'estudi de processos biològics en temps real. L'autor d'aquesta imatge, titulada *Venis of Coral*, és F. Mantegazza, de la Universitat de Milà Bicocca (Itàlia). Aquesta imatge ha estat premiada en el concurs internacional SPMAGE09.

i que tinguen costos semblants. Siga quina siga l'alternativa que es porte a la pràctica, estem raonablement segurs que es basarà en els desenvolupaments nanotecnològics que ara es plantegen als laboratoris. Podem destacar-ne els basats en l'ús de molècules i nanotubs de carboni com a elements constitutius dels processadors i de les memòries del futur. Tampoc no podem oblidar el desenvolupament de les tècniques nanofotòniques per al processament de la informació. En aquests casos la nanotecnologia s'utilitzarà per fabricar, amb precisió nanomètrica, estructures capaces de manipular la llum.

### ■ INDÚSTRIES TRADICIONALS

Ací ens referim a les nanotecnologies que es comencen a aplicar en sectors com la construcció, la fabricació de productes tèxtils, l'automoció, la indústria cosmètica, etc. En la major part d'ells, la nanotecnologia apareix com a subministrador de nous materials que conferiran un valor més gran afegit als productes. Per exemple, els nanotubs de carboni ja s'utilitzen com a reforç en materials de construcció, en algunes peces de vehicles o en material esportiu. Distintes nanopartícules hidròfobes ja s'incorporen en materials per aconseguir su-



© M. Stöhr

Els ful·lerens, el representant més conegut dels quals és el  $C_{60}$ , són molècules formades a base de carboni que es proposen per a ser usades com a elements rectificadors en els circuits electrònics del futur. La imatge obtinguda mitjançant microscòpia STM mostra parells i trímers de molècules de  $C_{60}$  atrapades en una estructura porosa de gran estabilitat tèrmica, amb una morfologia de tipus bresca fabricada amb un derivat del perillè. L'estructura regular de clots hexagonals proporciona llocs d'ancoratge on poder dipositar i fixar altres molècules. Aquesta imatge, titulada  *$C_{60}$  trapped within a nano-porous network*, va ser obtinguda per M. Stöhr, de la Universitat de Basilea (Suïssa), i va ser imatge finalista del concurs internacional SPMAGE07.

perfícies que no s'embruten ni s'entelen. S'incorporen nanopartícules de plata, amb propietats bactericides, en productes tèxtils o en filtres per a equips d'aire condicionat. En la formulació de pintures i vernissos s'inclouen nanopartícules per augmentar la resistència a petites ratlladures. Les indústries tradicionals es beneficiaran dels nanosensors, que, inclosos en distints materials, permetran conèixer variables tant de l'entorn (temperatura, humitat, etc.) com del mateix material (grau de fatiga, aparició de defectes, etc.). Finalment cal mencionar que diversos materials nanoporosos ja es fan servir en la indústria cosmètica per dispensar substàncies, i que en aquest sector també s'utilitzen nanopartícules com a bloquejant de radiació ultraviolada tant en maquillatges com en cremes protectores.

### ■ EUFÒRIA, POR, PRECAUCIÓ I CONTROL DEL RISC

Amb tantes aplicacions en marxa o en perspectiva, és lògic esperar beneficis suculentos per a aquelles empreses que lideren l'aplicació de les nanotecnologies. No obstant això, l'arribada de les aplicacions està condicionada per la percepció de la població sobre la nanotec-



## NANOCIÈNCIA EN L'AULA



### **Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro**

José Ángel Martín Gago  
(coordinador)

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.  
Madrid, 2009. 247 pàgines.

Excel·lent unitat didàctica que acostua la nanotecnologia i les aplicacions que té al gran públic, i en especial als estudiants de secundària i batxillerat, d'una manera molt didàctica i alhora rigorosa. Durant l'elaboració del llibre ha funcionat un *feedback* continu entre els autors i els professors i alumnes que ha quedat plasmat en el llibre. Els professors i alumnes són protagonistes actius i van incorporant al llibre les seues idees i concepcions sobre la nanotecnologia. Això, unit a l'experiència divulgadora dels autors, ha permès fer d'aquest text un referent de la nanociència i la nanotecnologia en les aules.

Com els autors mateixos indiquen, el llibre no és només una font de consultes, sinó també un estimul i una font de recursos per convidar professors i alumnes a submergir-se en les possibilitats que ens brinda aquesta tecnologia a escala atòmica. Si bé és un llibre que pot ser utilitzat en diferents assignatures d'ESO i batxillerat, em sembla especialment útil per a la nova assignatura de Ciències per al Món Contemporani (primer de batxillerat), una assignatura molt oberta i propícia per a la indagació i el debat.

El llibre es divideix en nou capítols. El primer ens aproxima al potencial d'aquesta tecnologia operant en les petites escales de la matèria, la seua història i la gramàtica subjacent (mecànica quàntica). En el segon capítol podem acostar-nos a les enginyoses estratègies que han dissenyat els investiga-

dors per travessar la barrera d'allò que és invisible i allò que és manipulable. Avui som capaços de *veure* àtoms i molècules i moure'ls a voluntat. La història de la humanitat ha estat sempre marcada pels materials que la nostra espècie tenia al seu abast. En el tercer capítol s'exposen alguns dels nous materials que ens proporciona la nanotecnologia, com els fullerenes i els nanotubs de carboni, i les seues propietats tan fascinants. La química és una subtil dansa d'àtoms i molècules. I se'n parla en el quart capítol, dedicat a la nanoquímica.

Una de les grans aplicacions de la nanotecnologia es dirigeix a l'àmbit de la salut humana i la malaltia, matèria del cinquè capítol. Potser la informàtica, l'electrònica i, en general, les noves tecnologies de la informació i la comunicació siguen l'exemple més evident d'aquesta «cursa cap a la petitesa», tòpic que s'aborda en el sisè capítol. És més ràpid i econòmic assajar prèviament amb llapis i paper abans de passar al laboratori. Una cosa semblant al que s'esdevé en la construcció en la vida quotidiana: primer es dissenya el pla de l'edifici i després aquest es construeix atenent a les indicacions del pla. Aquestes estratègies es revisen en el setè capítol, dedicat a les simulacions.

De vegades, les promeses de la nanotecnologia semblen acostar-nos al terreny de la ciència-ficció. Però la veritat és que ja tenim productes ben fascinants en el mercat, com ens mostra el vuitè capítol del llibre. El novè i darrer capítol és una reflexió sobre l'impacte de la tecnologia en la nostra societat. Vivim en una societat científicotecnològica i per això és molt important conèixer el paper que la nanociència i la nanotecnologia representen en els nous avenços tecnològics. Trobe que aquest llibre ho ha aconseguit.

AMADOR MENÉNDEZ VELÁZQUEZ

Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias y del Centro Mixto de Investigación en Nanomateriales y Nanotecnología (CSIC-Universidad de Oviedo)

© D. Danzebrink

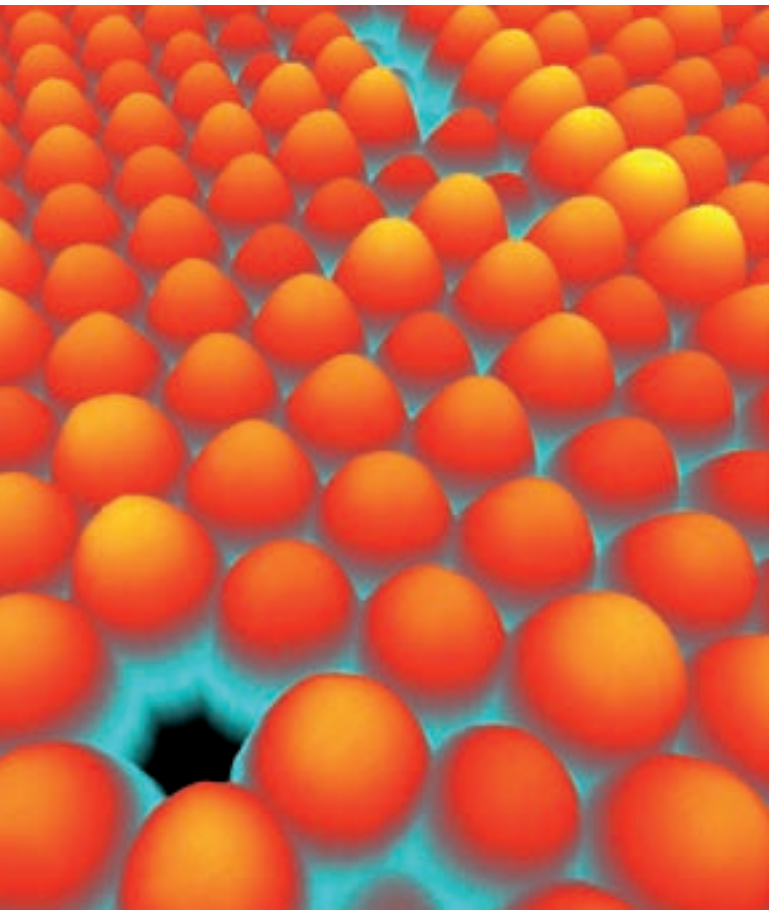


nologia. Al llarg de l'última dècada s'ha passat de tenir una visió positiva i esperançadora de la nanotecnologia a una situació d'una certa incertesa sobre els possibles impactes. Aquest canvi de percepció és degut a l'activitat de diversos grups i organitzacions que han donat la veu d'alarma sobre la proliferació de nanoproductes en el mercat i al desconeixement existent sobre l'impacte d'aquests en la salut de treballadors i consumidors o en el medi ambient. En diversos fòrums s'ha arribat a proposar una moratòria per a la comercialització de nanoproductes.

La por a les nanotecnologies pot retraure les inversions i retardar l'arribada de la tan promesa revolució industrial del segle XXI. La reacció dels governs i les empreses ha estat relativament ràpida, s'han posat en marxa projectes per estudiar l'impacte real de les nanotecnologies sobre el medi ambient, els operaris que les utilitzen i els usuaris finals. Tots aquests estudis són el germen d'una nova disciplina: la nanoecotoxicolo-

gia. D'altra banda, s'està posant èmfasi en l'aplicació del principi de precaució per minimitzar el possible risc existent en laboratoris o centres de producció. No obstant això, és prou complex gestionar un risc que és d'una magnitud i conseqüències desconegudes. Tots els aspectes relacionats amb la presa de decisions en aquest nou context propicien els estudis en nanoètica. També cal mencionar que s'ha constatat la necessitat de millorar la formació i informació sobre aquest tema, de manera que molts governs plantegen iniciatives serioses per a l'elaboració de continguts educatius i materials divulgatius accessibles a la població en premsa, museus, televisió, etc.

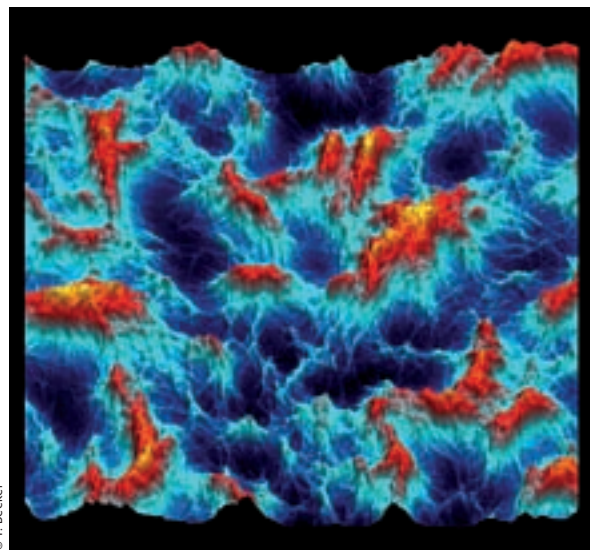
Comptat i debatut, és obvi que la transversalitat de les nanociències i les nanotecnologies transcendeix les disciplines merament experimentals i s'insereix fermament en camps com ara la seguretat laboral, l'impacte ambiental, els aspectes sociològics i culturals, els aspectes ètics, l'aparició de noves qüestions legals, etc.



Aquesta imatge mostra una estructura ordenada de nanoesferes de poliestirè de 200 nm de diàmetre, obtinguda per autoassemblatge a partir d'una dissolució col·loidal. Aquesta estructura forma el que s'anomena un cristall *fotoònic*, que pot ser usat per controlar i manipular la llum, i seran peces clau en el desenvolupament dels futurs ordinadors òptics. En la imatge s'observen alguns defectes en l'estructura cristal·lina bidimensional. Aquesta imatge es titula *Aesthetic imperfections*, i va ser presentada per D. Danzebrink, de l'institut PTB d'Alemanya, al concurs internacional SPMAGE09.

## ■ MIRANT ENDAVANT

Ningú no posa en dubte el paper que tindrà la nanotecnologia en el nostre futur a mitjà i llarg termini; per tant és imperatiu estar prou preparats per ajudar a construir aquest nou paradigma científicotècnic i coliderar la transferència als sectors productius i la societat. És necessària una actitud decidida per continuar invertint en projectes ambiciosos i promoure mecanismes de transferència eficients i professionalitzats. En cas contrari, continuarem generant una nanociència competitiva però seguirem augmentant el nostre dèficit comercial en productes de base tecnològica. És cert que l'actual conjuntura econòmica no invita a l'optimisme, però és precisament ara quan s'ha de mantenir l'impuls inver-



© T. Becker

Aquesta imatge AFM mostra la topografia, en presència d'humitat, de les fibres d'un hidrogel crescut sobre mica a partir de calixarè i NaBr. Les altures màximes observades són d'uns 50 nm. Aquesta mena de materials s'han proposat per a usar-los com a sensors químics i com a sistemes per a l'alliberament controlat de fàrmacs. Aquesta imatge va ser obtinguda per T. Becker, de la Universitat Tecnològica Curtin (Perth, Austràlia), i amb el títol *Hydrogel Network* va ser finalista del concurs internacional SPMAGE09.

sor en temes capdavanters, com la nanociència i la nanotecnologia, i quan s'ha de dur a terme una optimització dels recursos existents. Tampoc no s'ha de descuidar la formació en nanotecnologia en tots els nivells educatius, des de la primària al postgrau, posant en marxa programes semblants als ja existents en altres països. Al cap i a la fi la societat ha de ser beneficiària i còmplice del desenvolupament de la nanotecnologia. ☺

## BIBLIOGRAFIA

- AZKARATE, G. (dir.), 2008. *Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020* [en línia]. Fundación OPTI/ Fundación INASMET-TECNALIA. Madrid. Disponible en: <<http://www.opti.org/publicaciones/pdf/texto10.pdf>>
- CORREIA, A.; SÁENZ, J. J. i P. A. SERENA, 2006. «El lento despertar de la nanotecnología en España». *Revista Sistema Madri+d*, 15: 3-7.
- CORREIA, A. (coord.), 2008. *Nanociencia y Nanotecnología en España: Un análisis de la situación presente y de las perspectivas de futuro* [en línia]. Fundación Phantoms. Madrid. Disponible en: <<http://www.phantomsnet.net/Resources/NNE.php>>
- DELGADO, G. C., 2008. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. Ceecih/UNAM. Mèxic.
- FONTELA, E. et al., 2006. «Convergencia NBIC 2005. El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)». Fundación Escuela de Organización Industrial (EOI). Madrid.
- MARTÍN-GAGO, J. A. et al., 2008. *Unidad Didáctica Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. FECYT. Madrid.
- SERENA, P. A. i A. CORREIA, 2003. «Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica». *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 9: 32-42

**Pedro A. Serena.** Investigador de l'Institut de Ciència de Materials de Madrid. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).