

Informe científic per a la presa de decisions



## Nanotecnologia: què és i com ens afectarà?

Informe divulgatiu des d'una perspectiva catalana  
sobre la nanotecnologia, les seves possibles implicacions  
econòmiques i socials i el paper de la política pública



Informe 02  
Juny 2009



## **NANOTECNOLOGIA: QUÈ ÉS I COM ENS AFECTARÀ?**

*Informe divulgatiu des d'una perspectiva catalana sobre la nanotecnologia, les seves possibles implicacions econòmiques i socials i el paper de la política pública.*

## **NANOTECNOLOGIA: QUÈ ÉS I COM ENS AFECTARÀ?**

Informe divulgatiu des d'una perspectiva catalana sobre la nanotecnologia, les seves possibles implicacions econòmiques i socials i el paper de la política pública.

Edita: Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI), juny 2009

Direcció: Judit Castellà

Coordinació: Dolors López

Text: Boaz Kogon

Revisió científica: Jordi Pascual

Revisió lingüística: Montserrat Miras

Disseny gràfic i maquetació: Iván Barreda

Impressió:

Dipòsit legal:

© S'autoritza la reproducció per a fins no comercials, sempre que se'n conegui la font i l'editor hagi rebut un avís previ; igualment ha de rebre'n una còpia

## EL VALOR AFEGIT DE LA INDEPENDÈNCIA



Fruit de la reordenació de les activitats de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI), aquesta és avui un instrument hàbil i expert capaç de proporcionar al sistema català de recerca elements d'anàlisi i de comprensió de la ciència i la tecnologia per a tots els públics. Complementa així les funcions de promoció del nostre sistema i, molt especialment, de difusió del coneixement científic.

En el marc dels reptes i compromisos consensuats al Pacte Nacional per a la Recerca i la Innovació (PNRI), signat el novembre de 2008, aquesta fundació aporta un caràcter vertebrador i independent que li permet la connexió interinstitucional per coordinar activitats i programes i en conseqüència elaborar estudis objectius per avaluar necessitats i resultats de recerca, la seva regulació i impacte.

Aquesta capacitat de projecció i servei al sistema català de recerca i innovació, derivada en part del nostre excepcional caràcter públicoprivat, ens posiciona en trajectòria, legitimitat i capacitat de consens per coordinar grups d'anàlisi i estudi sobre el desenvolupament de la recerca. En els propers mesos, les actuacions de remodelació del sistema català de recerca per a fer-lo més efectiu segons es deriva del PNRI podran configurar amb noves característiques aquesta fundació. En qualsevol dels casos, però, la capacitat de consens i objectivitat hauran de ser preservades per seguir disposant d'elements solvents d'anàlisi i prospectiva.

Al començament de 2008 vam posar en marxa la col·lecció d'informes per a la presa de decisions estratègiques en ciència i tecnologia (ICPDE). Teniu a mans un nou volum d'aquets informes, dedicat ara a les nanotecnologies, un dels camps de frontera de la ciència més interdisciplinaris i, a la vegada, més ple de reptes per a la nostra estructura productiva i per a la mateixa societat, per a la vida de les persones i que no deixa de comportar controvèrsies i interrogants.

Com podreu comprovar en aquestes pàgines, amb els informes ICPDE es vol fer accessible a la societat i les institucions els resultats, actors i tendències de la recerca internacional. L'actual tasca assessora i de prospectiva de l'FCRI, i el total de les seves accions, es desenvolupa amb una veritable vocació de punt neutre i que es perllonga i enriqueix, en l'àmbit assessor, amb altres accions en la mateixa línia, com ara la nostra profunda vinculació a la xarxa EPTA (European Parliamentary Technology Assessment), la col·laboració amb la unitat STOA (Science and Technology Options Assessment) del Parlament Europeu, així com al Consell Assessor del Parlament sobre Ciència i Tecnologia (CAPCIT), que assessora el Parlament de Catalunya en aquests temes.

L'FCRI esdevé un veritable ens catalitzador d'iniciatives del sistema. Una estructura flexible, potenciada, professionalment i políticament independent i al servei del país de la qual, estic totalment segur, sabrem treure tots el màxim profit i rendibilitat dins de la nova estructura de la recerca a Catalunya.

Joan Comella  
Director de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació

## INFORMACIÓ PER A LA PRESA DE DECISIONS.... SOBRE NANO?

L'any passat, la universitat de Harvard va recomanar el llibre **Physics for future presidents**, amb gran èxit de venda, en el qual es posava en llenguatge entenedor la rellevància d'alguns processos físics útils per entendre i decidir sobre fonts energètiques, apostes de recerca o riscos de la carrera espacial.

Simultàniament a Barcelona, la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI) posava al carrer la col·lecció d'Informes Científics per a la Presa de Decisions (ICPDE) amb un objectiu molt similar: fer arribar a l'opinió pública informació rellevant sobre una tecnologia o un àmbit científic en un llenguatge divulgatiu i rigorós a la vegada.

Naturalment, per prendre posició, per decidir sobre opcions o per conèixer un tema en detall per a construir opinió es requereix informació. En especial quan es tracta de temes científics i tecnològics, per a la comprensió i valoració dels quals la informació necessària ha de ser especialitzada i no sempre és a l'abast de tothom. D'altra banda, Internet i les noves tecnologies ens faciliten accedir a informació, a vegades tanta que se'ns fa difícil discriminar i seleccionar.

Davant aquestes necessitats i acomplint la finalitat d'apropar el coneixement científic al conjunt de la societat, l'FCRI va endegar la col·lecció d'informes que anomenem ICPDE, amb la voluntat de construir un cos informatiu i d'anàlisi, que faciliti l'adopció de decisions i posicionaments estratègics en ciència i tecnologia i que proporcioni a la vegada un fons documental de referència per a un públic no especialment expert; donar a conèixer l'abast i les conseqüències que les noves tecnologies o la seva regulació poden generar, i també, perquè és la nostra vocació, afavorir el desenvolupament de la recerca i la innovació al nostre país.

La presa de decisions sobre temes que tenen components relacionades amb el coneixement científic demana informació sobre els desenvolupaments i àrees de la ciència i tecnologia que susciten demanda per part de la societat i incorporar-los a l'agenda política. També cal conèixer els aspectes de controvèrsia, les causes i conseqüències, i les relacions, tant causals com casuals, amb els diferents actors implicats.

L'avaluació tecnològica (Technology Assessment) d'una tecnologia o un àmbit de desenvolupament científic no és només l'anàlisi tècnica, econòmica i de l'impacte social de les seves aplicacions. És també l'anàlisi de les diferents postures davant aquesta tecnologia, les seves raons i interessos i la prospectiva del seu desenvolupament.

Els informes ICPDE estan pensats per a un públic obert i dinàmic que va des de les institucions del nostre país que prenen les decisions polítiques fins a les institucions que les executen, les avaluen, les assessoren o les expliquen a la resta de ciutadans.

Així doncs, com a directora d'aquesta col·lecció de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació, em plau presentar el segon informe ICPDE Nanotecnologia, què és i com ens afectarà?, realitzat per membres experts del nostre equip i que de ben segur esdevindrà una eina pràctica de suport per totes aquelles persones i grups que ho necessitin.

Judit Castellà  
Directora de Programes de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació



## PRÒLEG

De vegades hi ha fets que quan es produeixen canvien radicalment la manera de veure les coses i ajuden a enfocar des de noves perspectives els problemes i les oportunitats. Aquest és el cas de la nanotecnologia. Richard Feynmann, Premi Nobel de Física, va fer una conferència a la reunió de la Societat Americana de Física que va tenir lloc al Caltech (California Institute of Technology), el desembre de 1959, el títol de la qual s'ha fet famós, "There's Plenty of Room at the Bottom", on el científic plantejava la possibilitat de la manipulació individual d'àtoms i les seves conseqüències. Aquestes idees es van començar a fer realitat al començament dels anys vuitanta del segle passat, en què Binnig i Rohrer, dos investigadors dels laboratoris IBM de Zuric, van idear un nou microscopi, l'anomenat microscopi d'efecte túnel, que permetia resseguir la topografia d'una superfície a nivell atòmic.

La comunitat científica va entendre de seguida la importància capital de la troballa i no van trigar gaire a rebre el reconeixement general, i el 1986 se'ls va concedir el Premi Nobel de Física.



D'aleshores ençà les expectatives científiques, tecnològiques i d'impacte social del que s'ha encunyat amb el nom de nanotecnologia, no han deixat de créixer d'una manera exponencial. La Unió Europea i els Estats Units d'Amèrica al cap davant, però també els països més desenvolupats i emergents, han redactat iniciatives i comunicats, i han estructurat polítiques de suport al desenvolupament de la nanotecnologia. Catalunya no n'ha quedat al marge. Catalunya s'ha afegit als compromisos acordats per la UE a les reunions de Lisboa (2000) i Barcelona (2002) en què s'apostava per potenciar un model de creixement econòmic basat en el coneixement, i la nanotecnologia entra de ple dins d'aquest esquema. Així, ja en el Pla de Recerca i Innovació de Catalunya 2005-2008, la nanotecnologia va ser considerada com un dels set eixos de l'estratègia sectorial i tecnològica que calia incentivar per tal d'assolir els nivells adequats de competitivitat en sectors estratègics, i de competitivitat a mitjà termini en el conjunt dels sectors productius.

Però, què és exactament la nanotecnologia?, quins àmbits abasta?, quina incidència té en el món productiu?, com afecta el benestar social de les persones?, quins riscos potencials planteja? Aquestes i altres preguntes han de tenir una resposta clara i entenedora perquè els polítics del país prenguin consciència de la importància que té i perquè ara i aquí es dissenyin línies d'actuació necessàries per tal que el desenvolupament científic es tradueixi en desenvolupament tecnològic i d'innovació en els sectors comercials.

Aquest informe de la Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació dona resposta d'una manera clara, rigorosa i pedagògica a les preguntes a dalt formulades. Hi ha tres punts sobre els quals voldria fer especial èmfasi. A l'informe es compara la incidència que pot tenir en la societat la nanotecnologia amb el que va suposar a la fi del segle XVIII la irrupció de l'electricitat. La comparació em sembla de tot pertinent ja que es preveu que en un futur proper la nanotecnologia estigui present en totes les activitats de l'ésser humà. A més, aquest esperit encaixa amb la meua percepció personal que la nanotecnologia està cridada a esdevenir la propera revolució industrial. El segon punt al qual em vull referir és el de l'impacte de la nanotecnologia a la indústria. La nanotecnologia s'ha de concebre com una oportunitat de valor afegit quant a la millora de les

tecnologies però, a més, el sector productiu ha d'estar preparat per abraçar noves aplicacions la base de les quals rau en la nanotecnologia. El punt clau que cal tenir present és que moltes aplicacions no necessiten disposar de tecnologies sofisticades sinó d'idees noves. La nanotecnologia és, en molts camps, de cost assequible. A més, encara som a temps de participar activament en aquesta revolució i el Pacte Nacional per a la Recerca i la Innovació (PNRI) ha de ser la base del full de ruta. El tercer punt que voldria emfasitzar és el del control dels possibles riscos potencials. La UE en particular està esmerçant-hi molts esforços i tal com s'indica als informes de Comunicació de la Comissió, referits a l'estratègia europea per a les nanotecnologies, està promovent polítiques proactives per salvaguardar la salut i la seguretat dels ciutadans.

El document que teniu a mans forma part de la sèrie d'informes científics per a la presa de decisions (ICPDE). Al final del text es presenta un seguit de recomanacions que considero molt encertades i pertinents. No és fàcil fer un informe sobre un tema tan ampli i transversal com és el de la nanotecnologia i tocar de forma clara i gens farragosa la disparitat de qüestions que s'aixopluguen sota el nom de la nanotecnologia.

En definitiva, aquest document i el complement de l'acurada bibliografia a què fa referència el text, ha de servir perquè la classe política pugui fonamentar les seves decisions en arguments sòlids basats en un coneixement profund del tema, tal com aquest document pretén i aconsegueix fer.

Jordi Pascual  
Director  
Institut Català de Nanotecnologia



## SOBRE L'AUTOR



Nascut a Melbourne (Australia), Boaz Kogon va estudiar bioquímica, tecnologies de la informació i matemàtiques aplicades a la University of Western Australia. Recentment ha realitzat un MSC en Economia de la Ciència i la Innovació a la Barcelona Graduate School of Economics.

La seva carrera professional s'ha desenvolupat principalment en el sector agroalimentari. Entre les empreses on ha treballat destaquen AION Diagnostics gestor, on va treballar com a gestor d'R+D, i Milne Agrigroup, on va ocupar el càrrec de gerent de màrqueting, ambdues situades a Perth. També ha ocupat diferents càrrecs a empreses d'Auckland i Tel-Aviv.

Actualment és gestor de projectes a l'Institut Català de Nanotecnologia i també consultor freelance en màrqueting i estratègia comercial, fonamentalment en el sector agroalimentari i biotecnològic.

## NANOTECNOLOGIA: QUÈ ÉS I COM ENS AFECTARÀ?

El govern i la indústria inverteixen milers de milions d'euros en el desenvolupament de la nanotecnologia, alhora que els mitjans de comunicació i les empreses de productes de consum fan servir el prefix «nano» amb una freqüència creixent. Poques persones fora de la comunitat científica, però, entenen què és la nanotecnologia, tot i que és molt probable que les seves implicacions, tant positives com negatives, afectin molts aspectes de les nostres vides en la propera dècada. Aquest informe ofereix una perspectiva general, si bé resumida, de la nanotecnologia: què és i quin impacte tindrà sobre la indústria, l'economia, el medi ambient i la societat, i suggereix algunes accions que es poden adoptar a escala regional per abordar els principals temes problemàtics, centrant-se sobretot a Catalunya.

### PARAULES CLAU

Nano, nanotecnologia, partícules, R+D, transferència tecnològica

CONTENIDO

1. EL VALOR AFEGIT DE LA INDEPENDÈNCIA

2. INFORMACIÓ PER A LA PRESA DE DECISIONS..... SOBRE NANO?

3. PRÒLEG

4. SOBRE L'AUTOR

5. NANOTECNOLOGIA: QUÈ ÉS I COM ENS AFECTARÀ?

6. RESUM EXECUTIU

7. INTRODUCCIÓ

8. TEMA PRINCIPAL

8.1 Què és la nanotecnologia? ..... 18

8.2 Per què s'està desenvolupant la nanotecnologia tan ràpidament? ..... 24

8.3 Quin serà l'impacte de la nanotecnologia? ..... 27

8.3.1 Cronologia .....27

8.3.2 Impacte en el medi ambient .....31

8.3.3 Impacte en la societat .....33

8.3.4 Creació de llocs de treball, educació i formació .....36

8.4 Inversió actual en nanotecnologia ..... 39

8.5 Seguretat i regulació de la nanotecnologia ..... 41

8.5.1 Legislació de la UE .....41

8.5.2 Preocupació pública .....42

8.6 La producció de nanotecnologia ..... 46

8.6.1 Enfocament top-down (de dalt a baix) o enfocament bottom-up (de baix a dalt)47

8.6.2 Instrumentació i control de qualitat .....48

8.7 Quin paper hi juguen els governs?..... 49

8.7.1 Nivell de la UE.....49

8.7.2 Nivell regional.....51

8.7.3 Estimulació de la transferència de tecnologia de la nanociència al sector empresarial .....52

8.8 La nanotecnologia a Espanya i Catalunya ..... 55

9. CONCLUSIONS

10. RECOMANACIONS

10.1 Recomanació 1: desenvolupament de nanotecnologies clau per recolzar la indústria catalana ..... 60

10.2 Recomanació 2: selecció i concentració dels esforços a determinades àrees clau amb la finalitat d'erigir-se en líder d'un nínxol concret del mercat. 62

10.3 Recomanació 3: adopció de polítiques proactives en matèria de salut i seguretat ..... 65

11. ANNEX 1: Bibliografia recomanada

12. ANNEX 2: Aplicacions de la nanotecnologia

12.3.1 Aplicacions mèdiques .....69

12.3.2 Aplicacions en tecnologia de la informació i la comunicació (TIC) .....72

12.3.3 Aplicacions energètiques .....74

12.3.4 Aplicacions materials.....76

12.3.5 Aplicacions industrials i de fabricació .....77

12.3.6 Aplicacions en el camp de l'alimentació .....78

12.3.7 Aplicacions ambientals.....79

12.3.8 Aplicacions de seguretat .....80

12.3.9 Aplicacions militars.....81

13. ANNEX 3: Aspectes ètics, legals i socials

14. ANNEX 4 : Extractes sobre salut i seguretat de la Comunicació de 2004 de la CE Vers una estratègia europea per a les nanotecnologies

15. ANNEX 5: Legislació de seguretat de la UE aplicada a la nanotecnologia

16. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

## RESUM EXECUTIU

«Nanotecnologia» és un terme general que comprèn multitud de tecnologies i aplicacions que fan servir el comportament peculiar que té la matèria, quan aquesta forma estructures molt petites (inferiors a 100 nm: 0,0000001 m aproximadament). A aquesta escala, les lleis clàssiques de la física cedeixen pas a les lleis de la física quàntica, i normalment s'obtenen materials amb unes propietats molt diferents de les que presenten en la seva forma macroscòpica.<sup>1</sup> Aquests canvis inclouen el color, la conductivitat, la reactivitat i la resistència,<sup>2</sup> entre d'altres.

L'enorme importància de la nanotecnologia rau en el fet que mostra tots els signes de convertir-se en una potent tecnologia d'aplicació general (TAG o GPT en les seves sigles angleses, *General Purpose Technology*), similar a l'electricitat, la màquina de vapor i l'ordinador.<sup>3</sup> Les TAG es caracteritzen per la seva versatilitat d'aplicació en diversos sectors industrials i per la magnitud del seu impacte en d'altres tecnologies, a més de per propiciar importants canvis en la productivitat econòmica. Malgrat ser summament positives a llarg termini en qüestió de productivitat, les TAG poden provocar un trasbals important i requerir grans inversions en infraestructura en ser adoptades.

La nanotecnologia, però, no és només una idea per al futur: molts productes disponibles al mercat fan servir ja nanotecnologies.<sup>4</sup> Tanmateix, l'ús del terme «nano» no està regulat i molts articles s'etiqueten com a «nano» per la senzilla raó de ser petits o nous, malgrat no incorporar cap producte nanotecnològic.<sup>5</sup>

En el decurs de la passada dècada, la nanotecnologia va experimentar un creixement espectacular arreu del món, tant en termes d'evolució com d'inversió, comparable al que va passar amb les tecnologies genètiques a la dècada dels noranta. Aquesta aparició sobtada respon a moltes raons, atès que la nanotecnologia és el resultat de tecnologies convergents (vegeu Informe ICPDE núm. 01 *Avaluació tecnològica de les tecnologies convergents*, FCRI, juliol 2008). Per a la seva emergència va ser necessari el desenvolupament previ de tot un ventall de capacitats en molts camps diferents;<sup>6</sup> en destaquen: avenços en microscòpia que han possibilitat captar imatges d'àtoms individuals; avenços en la teoria científica que han permès explicar el comportament peculiar de la matèria a escala nanomètrica; avenços en la síntesi que han proporcionat més control sobre la grandària, la forma i l'assemblatge, i avenços en tècniques de fabricació impulsats per la indústria dels semiconductors que permeten produir fàcilment partícules i estructures a escala nanomètrica.

La nanotecnologia té aplicacions pràctiques a gairebé tots els camps. Les nanotecnologies mèdiques<sup>7</sup> ofereixen tractaments, implants i aparells quirúrgics molt millorats; els nanomaterials proporcionen materials de construcció més resistents i lleugers, a més de superfícies resistents a la corrosió i fins i tot materials completament nous que integren aspectes biològics i inorgànics; la nanoelectrònica, per la seva banda, ha permès crear dispositius de computació més petits i cada cop més potents, així com pantalles de vídeo flexibles i circuits entreteixits en roba; les nanopartícules ofereixen millors cosmètics i catalitzadors, i existeixen també importants aplicacions en energia, electrodomèstics, alimentació, medi ambient i tecnologia aeroespacial i militar.

En general, la major part de les prediccions divideixen el desenvolupament de la nanotecnologia en tres grans fases:<sup>8</sup>

- ▲ **fase inicial (propers 5 anys):** la nanotecnologia es troba en fase de recerca i el coneixement científic es comença a traduir en aplicacions sòlides;
- ▲ **desenvolupament comercial (5-10 anys):** durant aquest període es preveu que es desenvolupin i es comencin a produir a escala industrial moltes aplicacions diferents;
- ▲ **ús generalitzat (10-15 anys):** la nanotecnologia s'haurà consolidat com a indústria i els consumidors gaudiran d'un ampli espectre de productes que incorporin nanotecnologia. En aquest punt es preveu que el mercat mundial de les aplicacions i els productes amb nanotecnologia superi el bilió de dòlars.

L'impacte en la indústria diferirà en funció del sector. Per a algunes indústries, les nanotecnologies oferiran millores progressives i aquests canvis possiblement s'absorbiran fàcilment com a part d'un programa de millora continuada. Altres sectors, per contra, hauran de dur a terme una renovació generalitzada d'infraestructures i equipaments obsolets, cosa que podria tenir conseqüències negatives.

Cal apuntar que no sempre resulta car aplicar la nanotecnologia. Un cop es coneguin i es comercialitzin els mètodes de producció, aquests podrien implicar senzilles actualitzacions o millores de processos ja existents. Així doncs, algunes indústries incorporaran de manera natural les nanotecnologies sense haver-hi de fer grans inversions.

Pel que fa al medi ambient, es preveuen efectes tant positius com negatius<sup>9</sup>. Moltes nanotecnologies augmentaran l'eficiència (faran servir menys energia i materials) i reduiran els subproductes contaminants. També es faran servir nanotecnologies per supervisar el medi ambient i corregir problemes com els vessaments de petroli o controlar brots de malalties. Alguns nanomaterials, però, en especial les nanopartícules, podrien resultar tòxics i difícils de contenir i, en conseqüència, comportar riscos per a la salut humana i ambiental. La inexistència actual d'una regulació i un control ferris en aquest àmbit és una de les principals causes de preocupació<sup>10</sup> entre l'opinió pública.

Es preveu que l'impacte en la societat sigui profund<sup>11</sup> i afecti múltiples facetes de la vida quotidiana, alhora que comporti una millora significativa en la qualitat de vida. Tanmateix estan aflorant una sèrie d'inquietuds socials greus: algunes nanotecnologies, com els sensors i els robots, podrien plantejar desafiaments importants al dret a la privacitat; les desigualtats potencials entre els qui tenen accés a les nanotecnologies i els qui no podrien generar tensions; les nanotecnologies podrien augmentar el risc que suposen individus malèfics i organitzacions terroristes, així com els riscos per a la salut, tant dels treballadors com dels consumidors i del medi ambient, potser l'aspecte que més preocupa a la societat. Tot i ser importants, cal destacar que aquests recels no són exclusius de la nanotecnologia, sinó compartits amb la major part de les noves tecnologies.

El motor inicial que va propiciar l'avenç mundial de la nanotecnologia va ser el finançament públic, que continua exercint un paper fonamental. La UE encapçala la inversió pública mundial en aquest sector (la CE i els seus membres hi inverteixen més de dos mil milions de dòlars l'any d'ençà 2005), seguida pels Estats Units amb 1.700 milions, Japó amb mil milions i la resta del món amb 700 milions.<sup>8</sup> Això es reflecteix en la producció científica: la UE ha produït al voltant del 40% de la literatura científica sobre nanotecnologia revisada per experts en l'última dècada.

D'altra banda, el finançament privat de la nanotecnologia (que actualment supera el públic a escala mundial) a la UE se situa per darrera del finançament a la resta del món desenvolupat. La inversió privada als EUA supera els dos mil milions de dòlars i al Japó els 1.700 milions, mentre que el sector industrial europeu només hi inverteix mil milions de dòlars l'any. Aquesta manca d'implicació per part de la indústria es reflecteix en el nombre de patents contractades i de productes trets al mercat, àmbit on els EUA<sup>12</sup> i el Japó superen amb escreix a Europa, que únicament produeix el 12% de productes basats en nanotecnologia comercialitzats avui dia.

Espanya, com la majoria dels països desenvolupats, ha enregistrat un fort creixement en R+D relacionada amb nanotecnologia en l'última dècada. L'any 2000 menys de 100 científics a escala nacional es dedicaven a la nanotecnologia, xifra que avui dia supera el miler, la majoria d'ells implicats en projectes que incorporen aspectes de la nanotecnologia en les seves recerques.<sup>13</sup>

Malgrat això, la inversió que fa Espanya en nanotecnologia és molt inferior a la d'altres països d'unes dimensions similars o fins i tot inferiors, tant a nivell general com per càpita. És més, el problema general europeu de la transferència de tecnologia sembla ser especialment agut a Espanya.<sup>14</sup>

Dins del territori nacional, Catalunya posseeix el major nombre de grups de nanotecnologia després de Madrid, així com un Institut de Nanotecnologia propi i un conjunt d'instituts i grups de recerca addicionals que treballen amb nanotecnologia.

D'uns anys ençà s'han redactat multitud d'informes relatius als diversos aspectes tecnològics, industrials i socials que envolten la nanotecnologia.<sup>15,16,17</sup> La majoria aposten per una acció contundent en política pública amb la finalitat de continuar invertint en recerca bàsica alhora que es fomenta i estimula la transferència de tecnologia i el desenvolupament d'aplicacions comercials; regular els temes de salut i seguretat i concebre estàndards de mesura i etiquetatge internacionals; i abordar les necessitats de la mà d'obra establint programes d'educació i formació multidisciplinaris, recolzats per una educació pública més general sobre nanotecnologia.

A banda d'aquests objectius generals, regions com ara Catalunya haurien d'avaluar també la millor manera d'utilitzar els recursos limitats. D'altres regions i països petits proven de trobar nínxols concrets al mercat de les capacitats tecnològiques i industrials amb la finalitat d'assolir el lideratge en un o més sectors. Catalunya compta amb fonaments sòlids en diverses indústries i tecnologies, com ara la biociència, les quals es podrien estimular en aquest sentit.



## INTRODUCCIÓ

La nanotecnologia abraça qualsevol tecnologia que utilitza les propietats peculiars de la matèria que es comencen a manifestar quan aquesta s'estructura a una escala inferior als 100 nm (0,0000001 metres). Els nanoefectes, però, no són nous, sinó que estan presents en abundància a la natura, per exemple a les nanopartícules del carbó del sutge dels focs i als colors brillants de les ales de papallona, produïts per la superfície nanoestructurada de les seves escames.

### LA NANOTECNOLOGIA A LA NATURA: Ales de papallona

Els colors d'una papallona no es formen amb pigments, com ara el color dels nostres ulls i els tints usats per acolorir la nostra roba, sinó més aviat mitjançant el control i la manipulació de la llum a través de nanoestructures complexes.

Les ales de papallona estan cobertes per milers d'escates diminutes, cadascuna de les quals és una nanoestructura que fan que només certs colors de llum es reflecteixin des de diferents angles. Aquest tipus de nanoestructures es denominen cristalls fotònics i n'hi ha molts exemples a la natura, com ara els colors iridescents de les plomes dels paons i els misteriosos colors de l'òpal.

[Fotografia de la papallona blava (Morpho menelaus) de Gregory Phillips, disponible lliurement a [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blue\\_morpho\\_butterfly.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blue_morpho_butterfly.jpg), i sota llicència GNU]



La novetat rau en la nostra capacitat d'observar, manipular i controlar la matèria a l'escala nanomètrica, i fer-ho en quantitats comercials. Una potent conjuminació de noves eines, capacitats i coneixements permet avui dia als científics no només observar, sinó també manipular i formar partícules i estructures a escala nanomètrica.

Aquesta ciència s'està comercialitzant ràpidament en un ampli ventall de noves partícules i dispositius amb aplicacions pràctiques,<sup>18</sup> com ara: sensors ultrasensibles capaços de detectar contaminants i patògens, sensors de moviment microscòpic per a aplicacions de seguretat, partícules medicinals capaces de subministrar fàrmacs directament als tumors, superfícies adherents (o antiadherents) o dispositius integrats *lab-on-a-chip* («laboratori en un xip») capaços de proveir resultats instantanis per a diagnòstics realitzats a casa. La llista és infinita.

La primera onada de productes comercials ja ha arribat, amb més de 807 al mercat internacional,<sup>4</sup> incloent-hi articles quotidians com ara dentífrics, cosmètics, raquetes de tennis i mitjons. Fins ara es tracta d'articles relativament senzills tant pel que fa a la tecnologia com a la seva funció, però el fet que més de 420 empreses en 21 països proclamïn públicament estar desenvolupant productes amb nanotecnologia convida a preveure que la quantitat i la complexitat de les nanotecnologies faci explosió aviat i s'anticipa<sup>8,15</sup> que el volum en vendes assolirà un bilió de dòlars el 2015.

Ara bé, els avantatges van de la mà de perills. Moltes de les nanopartícules i els nanomaterials que s'estan desenvolupant no existeixen a la natura i les seves propietats característiques podrien suposar greus riscos per a la salut i el medi ambient.<sup>19</sup> Existeix la preocupació que, si les nanoindústries no es regulen degudament, es podria estendre entre l'opinió pública una desconfiança envers la tecnologia que desembocaria en una contrareacció similar a la que es va passar amb les tecnologies de l'enginyeria genètica. La CE ha identificat aquesta problemàtica i ha adoptat mesures per incrementar la recerca i millorar la legislació en les àrees escaients.

Els polítics també afronten el tema de com avaluar a quines indústries domèstiques la nanotecnologia té més probabilitats d'esdevenir important per mantenir l'avantatge competitiu i garantir que els recursos destinats a R+D i la transferència de tecnologies es despleguen de la manera adequada perquè les indústries locals no quedin obsoletes.<sup>20</sup> Aquest tema preocupa especialment a Europa, que sembla anar endarrerida en relació amb altres regions en la comercialització dels resultats de les seves recerques.

L'objectiu d'aquest informe és oferir una perspectiva general dels principals avenços més recents en matèria de nanotecnologia, tant a nivell de recerca com de comercialització, destacar aquells temes que s'han identificat com a preocupants per al públic i plantejar recomanacions en relació amb quines polítiques públiques s'haurien de revisar per tal d'abordar les necessitats de la població, la indústria i l'àmbit acadèmic.

## TEMA PRINCIPAL

### QUÈ ÉS LA NANOTECNOLOGIA?

Existeixen diverses definicions de la nanotecnologia, però totes elles coincideixen en el fet que abraça qualsevol tècnica que o bé manipuli la matèria a escala nanomètrica o bé faci ús de les propietats particulars de la matèria que es presenten a aquesta escala.<sup>21</sup>

El terme «nano» procedeix del terme grec per a «nan»<sup>2</sup> i en mesurament científic equival a «una mil milionèsima part». És a dir, que un «nanòmetre» equival a una milmilionèsima part d'un metre. Per donar una mica de perspectiva, un cabell humà mesura al voltant de 80.000 nanòmetres i una molècula d'ADN té una grandària d'uns 2 nm. Al punt d'una «i», hi cabrien un milió de nanopartícules.

El contrast fonamental<sup>22</sup> entre la nanotecnologia i les microtecnologies més antigues emprades en xips informàtics és que el procés de reducció de grandària ha superat una barrera crítica: més enllà d'aquest, les lleis de la física newtoniana clàssica no s'hi apliquen i entren en joc lleis diferents descrites per la física. Qualsevol material reduït a la nanoescala es pot, així doncs, comportar d'una manera molt diferent de com ho fa en la seva forma voluminosa. Per exemple, els materials elèctricament aïllants poden esdevenir conductors; les substàncies indissolubles, solubles, i els colors poden canviar o tornar-se transparents.

Superada la nanoescala és fins i tot possible (si més no als laboratoris més avançats) controlar àtoms individuals i produir característiques superficials àtom a àtom, cosa que obre la possibilitat de construir aparells i estructures complexes a escala molecular.

Les nanotecnologies es presenten en múltiples formes:<sup>23</sup>

- ▲ Les **nanopartícules** són partícules de qualsevol material d'una grandària inferior a 100 nm. Acostumen a ocórrer **de manera natural**, per exemple, al fum dels focs i a les cendres dels volcans. També es produeixen **de manera accidental** com a resultat d'activitats humanes, per exemple, als gasos d'escapament dels motors dels cotxes, i actualment es fabriquen cada cop més **de manera intencionada** (per exemple, nanopartícules de diòxid de titani per a cremes solars, les quals protegeixen la pell de la radiació UV).
- ▲ Els **nanotubs** són estructures tubulars, normalment integrades per àtoms de carboni, amb un diàmetre propi de la nanoescala, de pocs nanòmetres. Poden exhibir una resistència extraordinària i propietats tèrmiques i elèctriques úniques, la qual cosa els fa potencialment útils en moltes aplicacions als àmbits de l'electrònica, l'òptica i la ciència dels materials, a més d'oferir usos potencials al camp de l'arquitectura.

- ▲ La **nanoelectrònica**,<sup>24</sup> d'acord amb la seva definició científica, es refereix a circuits i dispositius electrònics que fan ús de les propietats especials de la matèria a l'escala nanomètrica (per exemple, transistors de la mida d'un àtom que es poden activar amb un sol electró). Si bé la majoria dels xips informàtics produïts els darrers anys incorporen milions de transistors amb una grandària inferior a 100 nm (i per tant es poden anomenar estrictament nanotecnologia), a causa del fet que aquests funcionen d'una manera molt semblant a la dels seus predecessors més voluminosos, no acostumen a considerar-se pròpiament nanotecnologia, sinó versions de mida nanomètrica de dispositius microelectrònics tradicionals.

Cal destacar, però, que, atès que les mides dels transistors s'aproximen actualment a l'escala a la qual entren en acció els nanoeffectes, estan assolint el límit físic de la miniaturització. L'extraordinària inversió que actualment es destina a la nanoelectrònica té per finalitat, així doncs, desenvolupar la tecnologia de següent generació (els principals aspirants són l'electrònica molecular i els interruptors òptics), la qual permetrà que la potència i la miniaturització informàtica continuïn progressant més enllà del límit físic de les tecnologies microelectròniques actuals.

- ▲ Els **nanomaterials** són materials estàndards com ara metalls, plàstics i compostos que incorporen nanopartícules o nanosuperfícies. Inserir petites quantitats de nanopartícules a una substància pot alterar espectacularment les seves propietats i, per exemple, permetre de crear materials de construcció més lleugers i resistents. De la mateixa manera, l'aplicació de fines capes superficials de materials nanoestructurats pot modificar enormement les propietats de les superfícies i transformar els materials en resistents a les ratlladures, facilitar la seva neteja o fins i tot fer-los capaços de convertir l'energia solar en electricitat (materials fotovoltaics).
  - ▲ La **nanomedicina** és l'aplicació de la nanotecnologia amb finalitats mèdiques. Pot incloure des de l'ús d'aparells de mida nanomètrica, com per exemple sensors i implants, fins a revestiments nanoestructurats de superfícies, emprats per exemple per evitar que el cos rebutgi implants mecànics, o partícules de mida nanomètrica per millorar el subministrament de fàrmacs.
- Les nanotecnologies ofereixen a més eines potencials per al desenvolupament de teranòstics, combinació de diagnòstic i teràpia. Per exemple, diverses empreses treballen en aparells a nanoescala que, implantats a l'organisme, identificarien els càncers i actuarien de manera immediata alliberant el fàrmac directament al punt on es troben les cèl·lules cancerígenes.
- ▲ La **nanorobòtica**<sup>25</sup> és la creació de màquines diminutes que es podrien fer servir amb aplicacions mèdiques (per exemple, robots diminuts per netejar les artèries de residus de colesterol), si bé també es podrien usar per a moltes altres finalitats, per exemple: com a sensors ambientals, per reparar i netejar màquines i llars, i fins i tot per construir altres màquines.



*Tot i que encara estem molt lluny de comptar amb nanorobots operatius, és un concepte que inquieta molta gent, perquè aquestes màquines podrien provocar un mal considerable si es dissenyen de manera malintencionada i se les capacita per funcionar sense control.*

#### EXEMPLE D'INSTRUMENT: El microscopi electrònic i el microscopi de forces atòmiques

Els microscopis òptics s'han utilitzat des de fa centenars d'anys i han permès als científics estudiar estructures microscòpiques. Però els microscopis òptics tenen un límit fonamental d'uns 1.000 augments.

A la dècada dels 20 es va descobrir que els electrons que es desplacen a gran velocitat es comporten com la llum i que, a més, es poden utilitzar camps elèctrics i magnètics a mode de lents per a enfocar-los i desviar-los. Ernst Ruska, a la Universitat de Berlín, va combinar aquestes característiques i va construir el primer microscopi electrònic de transmissió (TEM, transmission electron microscope) el 1931. Per a aquest treball, i altres de posteriors, se li va atorgar el Premi Nobel de Física l'any 1986.

Darrerament els microscopis electrònics han aconseguit millores impressionants. Els actuals poden assolir fins a 1 milió d'augments amb una resolució de 0,1 nm, una potència suficient per a veure els àtoms individuals.

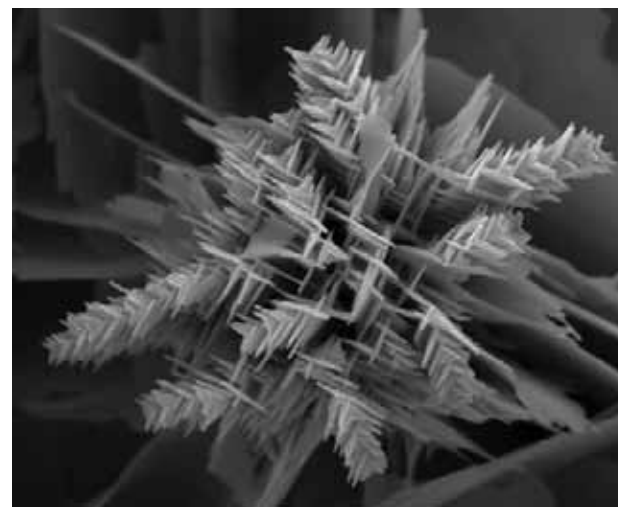
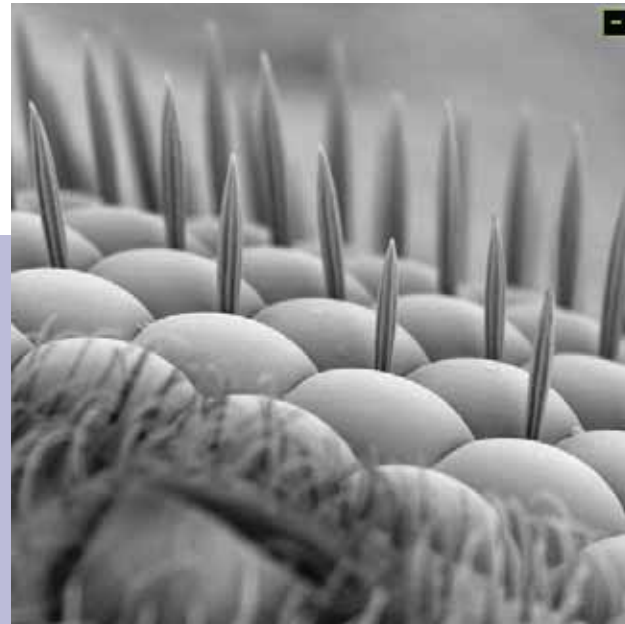
Una altra forma de microscopi, el microscopi de sonda de rastreig, va ser desenvolupat el 1981 per Gerd Binnig i Heinrich Rohrer (treball pel qual també compartiren el Premi Nobel de Física de 1986). El microscopi de sonda de rastreig utilitza una punta sensible que interacciona directament amb la superfície de la mostra per a obtenir-ne una imatge tridimensional.

Des de llavors s'han desenvolupat diversos sistemes basats en el microscopi de sonda de rastreig, com ara el microscopi de forces atòmiques (AFM, atomic force microscope), especialment útil en el desenvolupament de la nanotecnologia, gràcies a la seva capacitat no només de mesurar superfícies, sinó també de manipular àtoms i molècules sobre la superfície de les mostres.

L'AFM és força més barat i pot operar en condicions molt menys restrictives que els microscopis electrònics, i permet obtenir imatges de gairebé qualsevol tipus de superfície, inclosos polímers, ceràmiques, compòsits, vidres i mostres biològiques.

Aquestes eines permeten als científics ampliar les fronteres dels descobriments i de l'exploració i faciliten els avenços en farmacologia, biotecnologia, policia científica, patologia, ciència de materials, fabricació de semiconductors i emmagatzematge de dades.

[Fotografies disponibles a [http://www.fei.com/Resources/image\\_gallery.aspx](http://www.fei.com/Resources/image_gallery.aspx); [http://www.fei.com/uploadedImages/Resources/image\\_gallery/images/others/fly\\_eye.jpg](http://www.fei.com/uploadedImages/Resources/image_gallery/images/others/fly_eye.jpg) i <http://www.fei.com/resources/nanoscale-bug.aspx>. ©FEI Company.]



▲ Els **nanosensors** són dispositius de mida nano que mesuren les propietats físiques, químiques o biològiques, i transmeten la informació d'una manera útil per als éssers humans. Per exemple, es podrien dispersar per una fàbrica i informar sobre possibles fugues de substàncies químiques perilloses, o es podrien usar a llocs públics per detectar malalties perilloses, explosius o verins. Els nanosensors comercials es troben a les beceroles del seu desenvolupament, si bé es preveu que es comercialitzin molt més aviat que els nanorobots.

▲ La **nanotoxicologia** és l'estudi de la toxicitat dels nanomaterials. La majoria de les preocupacions relatives a la toxicitat tenen relació amb les nanopartícules, tot i que les superfícies nanoestructurades i els dispositius nanomèdics també tenen el potencial de provocar danys. Algunes nanopartícules són potencialment perilloses per les propietats específiques com ara la seva reduïda mida, la seva gran superfície reactiva o les dificultats per evitar que es difonguin al medi ambient.

#### PER QUÈ ÉS IMPORTANT LA NANOTECNOLOGIA?

Hi ha qui considera la nanotecnologia summament important perquè mostra tots els indicis de convertir-se en una **tecnologia amb aplicacions generals (TAG)**.

«**Tecnologia amb aplicacions generals**» és un terme<sup>3</sup> que els economistes utilitzen per descriure els grans salts d'innovació que poden afectar economies senceres, normalment a escala nacional i, a posteriori, mundial. Alguns exemples del passat són l'aparició de l'escriptura, l'acer, la màquina de vapor, el ferrocarril, l'electricitat, les telecomunicacions i els ordinadors.

Les característiques de les TAG són:

- ▲ **versatilitat:** s'utilitzen a sectors múltiples i heterogenis;
- ▲ **dinamisme tecnològic:** augmenten el potencial d'una economia per fomentar la innovació contínua en la indústria i la ciència, i
- ▲ **innovació complementària:** proporcionen capacitats millorades en moltes altres àrees tècniques i, en conseqüència, augmenten la productivitat de la recerca i el desenvolupament a molts sectors.

Com a resultat d'aquests impactes, les TAG tenen profundes repercussions en l'economia, i no totes elles són positives. Tot i que a llarg termini les TAG poden propiciar un augment de la productivitat i un creixement econòmic importantíssims, a curt termini poden generar un trasbals considerable. Les infraestructures, l'equipament i les habilitats laborals existents poden quedar desfasades, la qual cosa implica el tancament de les empreses,

la reeducació dels treballadors i l'obligació dels governs de destinar importants inversions a actualitzacions. (Un exemple clàssic és la introducció de la màquina de vapor i els ferrocarrils).

Quan nano no significa nano

Cada cop més els productes de consum s'etiqueten amb la paraula “nano” que transmet al consumidor mitjà la imatge de quelcom nou i/o petit i/o d'alta tecnologia. Un exemple clàssic és l'iPod Nano d'Apple, un reproductor de música, de gran èxit a tot el món.

Fins i tot en molts exemples com l'anterior, el producte realment no conté nanotecnologia. Com a mínim en el cas de l'iPod és cert, ja que els components informàtics interns presenten trets a escala nano, encara que no es diferencien gaire dels que es troben al nostre ordinador personal, i que no qualificaríem com a nanotecnologia d'acord amb les definicions d'aquest informe.

Aquesta forma de “falsa” publicitat preocupa a molts. Els defensors de la nanotecnologia temen que si els productes comercialitzats com a nanotecnologia funcionen pobrement o es detecta que afecten la salut o el medi ambient, aleshores la nanotecnologia patirà injustament.

Els grups de consumidors també estan preocupats; temen que les empreses s'aprofitin de la complexitat de la nanotecnologia i confonguin els consumidors perquè pensin que un producte té trets associats amb la nanotecnologia quan de fet no és veritat.

Tot seguit, es fa referència a dos exemples reals on aquestes situacions ja han passat:

**CAS 1:** A Alemanya, el març de 2006, l'ús d'esprai aerosol segellant conegut com a “Magic-Nano” va fer que unes 100 persones fossin hospitalitzades amb condicions respiratòries severes. Tanmateix, l'Institut Federal Alemany per a la Gestió de Riscos (BfR) mitjançant una investigació rigorosa va detectar que, malgrat el nom del producte, aquest no contenia en realitat nanopartícules, tal com van confirmar les anàlisis químiques fetes a dos laboratoris químics diferents. El BfR va descobrir que els problemes de salut van ser provocats per la inhalació de l'espari aerosol.

**CAS 2:** la rentadora Samsung Silver Nano va ser anunciada com una màquina que utilitzava nanopartícules d'argent que actuaven com a agents antibacterians. Aquesta màquina produeix ions d'argent –denominats nanopartícules– mitjançant electròlisi i que s'alliberen dins de la rentadora durant el cicle de rentatge. Per tal com les partícules s'alliberen dins del sistema de l'aigua, es planteja la preocupació de si els ions d'argent podrien perjudicar el medi ambient i la depuració d'aigües.

No obstant això, el Health and Safety Executive (HSE) al Regne Unit i l'Environmental Protection Agency (EPA) als Estats Units van investigar i van descobrir que les partícules d'argent són ions normals, que es troben a totes les sals d'argent naturals i artificials. Per tant, en realitat, doncs, la nanotecnologia no hi és, i no existeixen nous riscos més enllà dels que es presenten normalment als ions d'argent.

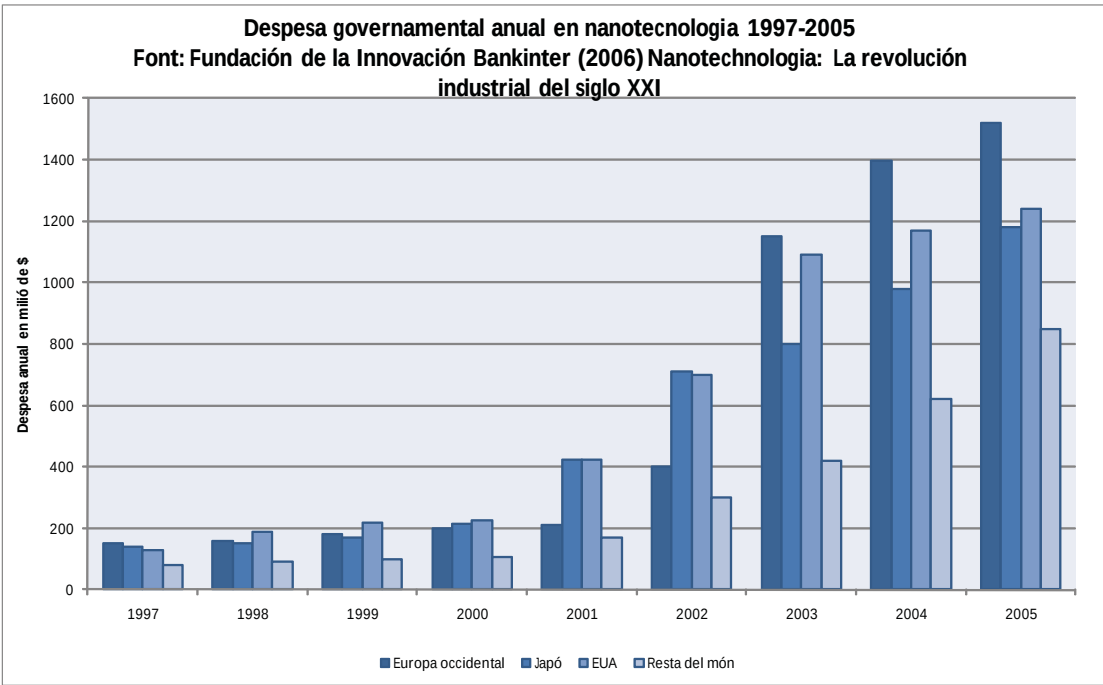
[Font: Nanotechnology in Consumer Products, Nanoforum Report, European Commission, 2006; i Nanosciences and Nanotechnologies: A Review of Government's Progress on its Policy Commitments, UK Council for Science & Technology, March 2007]

De vegades la introducció d'una TAG pot generar inquietud social fins i tot abans de l'aflorament de problemes reals. Quan la tecnologia informàtica va començar a difondre's existia la temença

que els ordinadors acabessin per reemplaçar les persones i aquestes perdessin els seus llocs de treball. Aquesta creença contenia una part de veritat, com demostra el fet que moltes feines manuals quedessin obsoletes i els treballadors es veiessin forçats a formar-se de nou i convertir-se en programadors i operadors informàtics, però els temuts impactes negatius no es van materialitzar a gran escala.

És massa aviat per afirmar de manera rotunda si la nanotecnologia esdevindrà una TAG important, però ja en mostra els primers símptomes; en teoria, possibilita una producció i una comunicació més eficients; té repercussions en pràcticament tots els sectors industrials importants, des de la informàtica a la medicina, i proporciona als científics la possibilitat d'indagar en molts altres camps del coneixement tot dotant-los d'eines experimentals més potents.<sup>26,27</sup>

Davant aquesta expectació, els governs i la indústria privada d'arreu del món inverteixen milions en R+D en un intent per garantir el seu posicionament al capdavant del desenvolupament i la seva capacitat de participar dels beneficis econòmics i socials augurats.





## PER QUÈ S'ESTÀ DESENVOLUPANT LA NANOTECNOLOGIA TAN RÀPIDAMENT?

La nanotecnologia existeix des de fa temps, tot i que no es coneixia amb aquest nom. Les nanopartícules, les superfícies nanoestructurades i els nanomaterials són presents a la natura, i la humanitat sempre ha fet ús de les seves propietats especials, sovint de manera inconscient. Un dels primers usos coneguts de nanomaterials es remunta al segle IV: la copa de Licurg de Roma està fabricada amb un vidre especial que canvia de color quan se sosté a contrallum. Estudis duts a terme recentment han demostrat que aquesta propietat especial és deguda al fet que el vidre conté nanopartícules d'or i argent.

### NANOTECNOLOGIA ANTIGA: La copa de Licurg

La copa de Licurg es va fer probablement a Roma, al segle IV aC.

Aquesta copa extraordinària és l'únic exemple complet d'un tipus de vidre molt especial, anomenat dicroic, que canvia de color quan la llum hi incideix. La copa, verda i opaca, es torna de color vermell translúcid i brillant quan la llum la travessa. La copa conté traces col·loïdals d'or i de plata, partícules de mida nanomètrica que li confereixen aquestes propietats òptiques insòlites.

La copa de Licurg (a l'esquerra, vista normal; a la dreta, vista quan la llum hi incideix)

Fotografies reproduïdes amb l'autorització del British Museum.

[http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/pe\\_mla/t/the\\_lycurgus\\_cup.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/pe_mla/t/the_lycurgus_cup.aspx)



També se sap que el procés ideat per B.F Goodrich el 1885 d'afegir negre de carbó als pneumàtics per tornar-los d'aquest color, el qual a més els feia molt més resistents a l'abració, en realitat va consistir a afegir nanopartícules de carboni a la matriu de cautxú, que va esdevenir un dels primers nanomaterials compostos produïts en sèrie per la humanitat.

Tot i així, l'espectacular augment de l'interès per la ciència i l'enginyeria a nanoescala durant la dècada passada respon a la combinació de diversos factors:<sup>4</sup>

- ▲ **avenços tècnics** com ara la microscòpia de la força atòmica i dels electrons, que ha permès als científics veure i manipular la matèria a la nanoescala;
- ▲ **avenços en fabricació**, en gran mesura propiciats per la indústria de la microelectrònica, i **avenços de síntesi**, tant en la indústria orgànica com inorgànica, que han permès la producció comercial de dispositius d'escala nanomètrica;
- ▲ **avenços científics** en física i química que han propiciat la comprensió de com i per què les propietats de la matèria canvien de manera tan dràstica a la nanoescala;
- ▲ **avenços biològics**, encapçalats per les indústries farmacèutica i bioquímica, que han permès d'acoblar molècules biològiques de nanoescala a superfícies inorgàniques com ara vidre, metall i plàstic i, com a resultat, han possibilitat la unió de components biològics, mecànics i electrònics;
- ▲ **cooperació global en R+D** a molts sectors, fet que ha donat lloc a la profusió d'instal·lacions i científics involucrats en el desenvolupament de les nanotecnologies, cosa que alhora ha propiciat una evolució a un ritme accelerat, i
- ▲ **augment del finançament governamental** destinat a nanotecnologia, en especial en els darrers cinc anys, el qual ha estat acompanyat per una creença general per part de la indústria i la ciència segons la qual la nanotecnologia originarà una revolució similar a la de la tecnologia dels semiconductors en el passat.

L'actual boom de la nanotecnologia és, per tant, resultat d'una **convergència** d'avenços tecnològics que han confluït durant la dècada passada.

A mesura que s'enregistren nous avenços, per exemple en equipament per visualitzar i manipular la matèria a la nanoescala, aquests en propicien d'altres, i així s'alimenta l'efecte bola de neu d'avenços tecnològics i científics i aplicacions comercials que sembla estar succeint.

### Una breu història de la nanotecnologia

[Font: NANOTECNOLOGÍA, La revolución industrial del siglo XXI, , Fundación de la Innovación Bankinter 2006; www.fundacioWikipedia: «Nanotechnology»]

El naixement de la nanotecnologia s'atribueix al físic Richard Feynman, guanyador del Premi Nobel de Física, quan el 1959 va pronunciar el discurs d'obertura de la reunió de l'American Physical Society, titulat «There's Plenty of Room at the Bottom» («Hi ha molt de lloc allà baix»).

En aquest discurs, Feynman va examinar els possibles beneficis per a la societat si s'arribava a poder agafar àtoms i molècules i col·locar-los a llocs preestablerts i a fabricar objectes amb una precisió d'uns pocs àtoms.

Feynman va oferir dos premis de 1.000 dòlars cada un: un per a la primera persona capaç de crear un motor elèctric en un cub de 0,4 mm; l'altre per a qualsevol que pogués reduir 25.000 vegades la informació continguda a la pàgina d'un llibre. El primer repte es va aconseguir l'any següent, però el segon no es va assolir fins al 1985.

Des de l'any 1993 el Foresight Nanotech Institute, en honor de Feynman, atorga el Premi Feynman de Nanotecnologia, que reconeix assoliments significatius que contribueixen al desenvolupament de la nanotecnologia.

El terme nanotecnologia va ser creat per Norio Taniguchi, de la Universitat de Tòquio, el 1974, per distingir entre l'enginyeria a escala micromètrica i l'enginyeria a escala nanomètrica. El terme després es va fer famós gràcies a Eric Drexler, que al seu llibre *Engines of Creation*, publicat el 1986, va establir els fonaments teòrics de bona part de la nanotecnologia actual i va articular les possibilitats fascinants i els perills associats a l'enginyeria a escala molecular.

La nanotecnologia experimental va començar a la dècada dels 80 amb el desenvolupament de nous tipus de microscopis, com ara el microscopi electrònic d'efecte túnel i el microscopi de forces atòmiques, que poden visualitzar i manipular la matèria a escala atòmica.

A la dècada dels 90 es van descobrir les propietats sorprenents dels nanotubs de carboni i d'altres nanopartícules, que van permetre obrir les portes a un camp molt més ampli d'aplicacions nanotecnològiques de les que s'havien previst inicialment.

La tendència actual d'inversions i l'acceleració de la nanotecnologia es va iniciar de cop el 1999 quan el president dels Estats Units, Bill Clinton, va anunciar el programa National Nanotechnology Initiative («Iniciativa Nacional en Nanotecnologia»). Poc després es van posar en marxa programes similars a Europa i al Japó. De llavors ençà, el creixement de la nanotecnologia no ha deixat d'accelerar-se.

## QUIN SERÀ L'IMPACTE DE LA NANOTECNOLOGIA?

Existeixen opinions enfrontades sobre amb quina celeritat es pot produir la revolució de la nanotecnologia i quin serà l'abast del seu impacte tant a les economies locals com mundials.

### Cronologia

En general, la majoria dels analistes auguren tres grans fases de desenvolupament:<sup>6</sup>

- ▲ **fase inicial (propers 5 anys):** la nanotecnologia es troba en fase de recerca i el coneixement científic es comença a traduir en aplicacions sòlides;
- ▲ **desenvolupament comercial (5-10 anys):** durant aquest període es preveu que es desenvolupin i es comencin a produir a escala industrial moltes aplicacions diferents, i
- ▲ **ús generalitzat (10-15 anys):** la nanotecnologia s'haurà consolidat com a indústria i els consumidors gaudiran d'un ampli espectre de productes amb base nanotecnològica.

Aquests càlculs temporals varien de manera significativa segons el sector industrial.

Les **aplicacions mèdiques** trigaran molt més a implantar-se. Per tal com les noves aplicacions mèdiques imposen requeriments molt estrictes amb llargs assaigs clínics, es preveu que les nanotecnologies mèdiques triguin diverses dècades a esdevenir d'ús comú.

Ja hi ha **aplicacions industrials** disponibles al mercat; l'ús de nanomaterials en aplicacions comercials generalitzades com ara pintures, adhesius i materials de construcció és una realitat.

**EXEMPLE D'APLICACIÓ: La nanotecnologia permet fer teixits per repel·lir la brutícia**

Les nanopartícules proporcionen a aquestes fibres tèxtils una estructura amb un efecte semblant al de les fulles de la planta de lotus, sobre les quals l'aigua i la brutícia rellisquen; aquest efecte fa que les fibres repel·leixin l'aigua i la brutícia. Les petites partícules, de menys de 100 nanòmetres, fan que a les fibres tèxtils es produeixi un efecte semblant d'autoneteja. Aquestes superfícies estan recobertes amb milers de milions d'aquestes nanopartícules, tan compactades que entre elles no s'hi pot encabir cap bri de pols. Entre una partícula de pols i la superfície de les fibres tèxtils es forma una capa d'aire sobre la qual «suren» les impureses i, d'aquesta manera, n'hi ha prou amb esbandir-les amb aigua. Fins i tot la brutícia més resistent es pot eliminar amb facilitat.

Fins ara els nanorecobriments s'han utilitzat bàsicament en productes tèxtils d'enginyeria, com ara teixits per a tendes, tendals o para-sols. Però els materials utilitzats per a la confecció i la roba de la llar també es podran beneficiar d'aquesta nova tecnologia en el futur.

[© Imatge crèdit: Press Photo BASF]



**Factors que afecten el desenvolupament de la nanotecnologia**

A part dels factors específics per a aplicacions particulars, com ara l'aprovació de productes mèdics, hi ha diversos factors generals que afecten el desenvolupament i l'extensió de la nanotecnologia:

Factors de capacitat:

L'existència i disponibilitat de les eines adequades que permetin estudis a escala nanomètrica. Una infraestructura pública i privada adequada.

La coordinació entre centres de recerca i empreses en la transferència de tecnologia i la comercialització. Una mà d'obra interdisciplinària ben formada i amb els coneixements necessaris.

Factors econòmics:

Una bona identificació de les aplicacions pràctiques per a atreure inversions privades.  
Una reducció en els costos dels processos i dels equips.  
Una inversió centrada en projectes específics i no dispersada en indústries diferents.  
La possibilitat d'aliances d'empreses i altres formes de capital per a noves empreses.

Factors governamentals:

Polítiques governamentals que afavoreixin la innovació i el desenvolupament de la nanotecnologia. Regulacions específiques per a la nanotecnologia i les seves aplicacions. Coordinació entre estats i regions.

Factors socials:

Acceptació pública de la nanotecnologia, especialment pel que fa a aspectes de seguretat i privadesa.  
Confiança en els agents i processos reguladors.

Serendipitat:

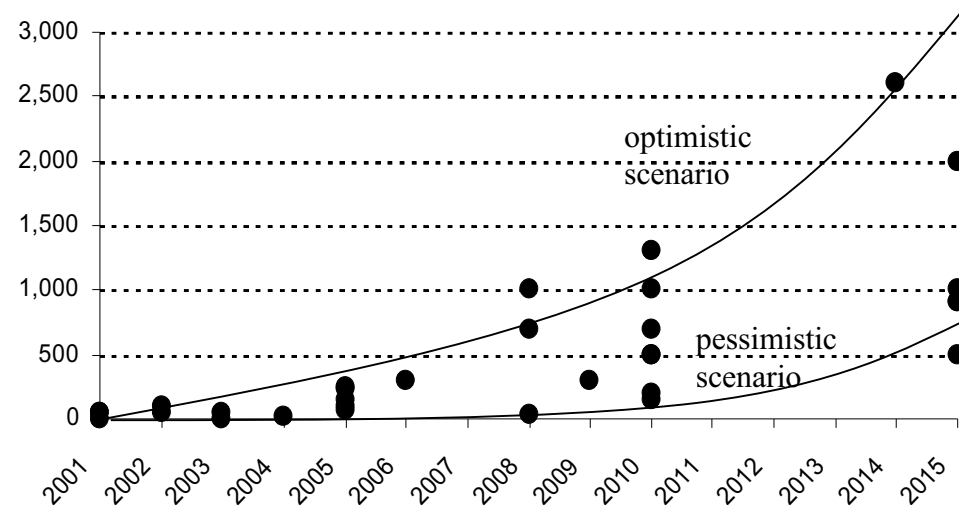
Es preveuen molts descobriments en un futur proper, però, tal com passa amb tota la recerca, és impossible saber per endavant què s'arribarà a descobrir.



## Les dimensions del mercat

D'uns anys ençà s'han realitzat múltiples estudis que calculen les dimensions futures de diferents segments dels mercats de nanotecnologia. Aquests preveuen un volum de negocis que va des dels<sup>8</sup> 150.000 milions de dòlars per al 2010 (Mitsubishi Institute) fins als 2,6 bilions per al 2014 (Lux Research). La Fundació Nacional per a la Ciència dels EUA (NSF, per les seves sigles en anglès) preveu que generin fins a un bilió de dòlars per al 2015.

[© Fundación de la Innovación Bankinter (2006). «Nanotecnología. La revolución industrial del siglo XXI»: <http://www.fundacionbankinter.org/3dissue/longes/nanotecnologia.pdf>]



## Impacte en el sector industrial

S'espera que les nanotecnologies:

- ▲ **millorin les tecnologies existents:** que les coles adhereixin millor, que els materials de construcció esdevinguin més resistents i lleugers, i que les superfícies siguin més fàcils de netejar i no es ratllin;
- ▲ **possibilitin la creació d'aplicacions radicalment noves:** confecció de roba amb materials bactericides, sensors que detectin contaminants i gèrmens, fàrmacs que actuïn únicament sobre els teixits malalts, pintures que funcionin com a cèl·lules solars, i
- ▲ **incrementin l'eficiència:** nous catalitzadors que redueixin els residus en els processos químics, millors emmagatzemament i eficiència de les cel·les de combustible, tecnologies de computació i comunicació més potents, i revestiments que durin més i requereixen menys neteja.

## EXEMPLE D'APLICACIÓ: Nanocubs com a medi d'emmagatzematge per a l'hidrogen

La voluntat de ser mòbil però sense deixar d'estar comunicat ni renunciar a les capacitats d'oci ha afavorit la creació de dispositius electrònics cada vegada més petits i lleugers. Ara bé, un problema clau, ja sigui per a ordinadors portàtils, per a telèfons mòbils o per a reproductors de CD, és com subministrar energia elèctrica a aquests dispositius portàtils. Tot allò que actualment poden fer les piles i les bateries, en el futur ho podran fer minicel·les de combustible. L'hidrogen pot actuar com a font d'energia sempre que se solucioni el problema d'emmagatzemar-lo per al seu ús en dispositius portàtils. Un possible medi d'emmagatzematge per a l'hidrogen són els nanocubs de compostos metal·loorgànics (MOF, metal-organic frameworks), les propietats dels quals s'estan investigant actualment per part d'equips de recerca de BASF. [© Imatge crèdit: Press Photo BASF]



## Impacte en el medi ambient

L'impacte ambiental de la nanotecnologia encara es desconeix en gran mesura. Es preveu que les nanotecnologies tinguin efectes positius i negatius.

Els efectes positius podrien derivar de la millora de l'eficiència dels processos industrials, la concepció de sistemes energètics més eficients, l'aparició de materials amb més qualitats i que requereixin menys reparacions i manteniment, i el foment de la protecció del medi ambient mitjançant millors sensors i filtres per fer un seguiment i controlar la contaminació i les malalties.

Els efectes negatius podrien derivar de la toxicitat potencial de les nanopartícules i els nanotubs, dels efectes col·laterals involuntaris dels processos de fabricació i els materials, d'un ús indegut de la nanotecnologia amb fins terroristes i d'un control erroni de les nanomàquines que comporti danys inesperats.

## Beneficis ambientals

[Fonts: Geo Year Book 2007; Nanocap - Applications of Nanotechnology: Environment, novembre de 2007]

És probable que les nanotecnologies comportin beneficis ambientals importants en diversos aspectes:

*Estalvi de matèries primeres:* el fet que els nanomaterials siguin més resistents, més duradors o, en general, més efectius, implica que caldran menys matèries primeres per a la fabricació de productes, des d'edificis fins a maquinària. Al seu torn, menys matèries primeres implica menys producció minera, menys processament i menys transport, amb la reducció consegüent de l'impacte ambiental en tota la cadena de producció.

*Processos més eficients:* actualment les nanotecnologies ja proporcionen millors catalitzadors per a reaccions químiques i transformacions energètiques. Una eficiència més elevada implica un menor consum d'energia i de matèries primeres.

*Millor seguiment ambiental:* els dispositius de detecció amb nanotecnologia poden ser considerablement més barats i més sensibles que els convencionals. Es poden utilitzar per fer seguiments ambientals de l'atmosfera, de l'aigua i del sòl, amb detecció de substàncies contaminants i de substàncies naturals. Un millor seguiment no només controla la contaminació, sinó que també permet que els agricultors gestionin millor els seus conreus i puguin fer un millor ús dels fertilitzants i els plaguicides.

*Superfícies funcionals:* les superfícies nanotecnològiques amb propietats funcionals ja estan disponibles comercialment. Es tracta de superfícies amb propietats d'autoneteja (l'aigua i els greixos no s'hi adhereixen) utilitzades a teulades, cotxes i parets, vidres i plàstics transparents que transmeten menys calor i, en conseqüència, redueixen les necessitats d'aire condicionat dels edificis, superfícies que no es ratllen, etc. La neteja, la restauració i la reparació de superfícies consumeixen grans quantitats de recursos, de manera que qualsevol tecnologia que impliqui estalvis considerables en aquest aspecte comportarà grans beneficis ambientals.

*Descontaminació:* algunes nanoestructures mostren un gran potencial per al seu ús en sistemes de filtratge i de catàlisi, per eliminar contaminants de l'atmosfera, de l'aigua i del sòl. Es poden utilitzar en origen, per exemple a desguassos de fàbriques, o per ajudar a netejar entorns contaminats, com és el cas de vessaments de petroli i sòls contaminats.

*Emmagatzematge i producció d'energia:* es preveu que les nanotecnologies millorin significativament les cèl·lules solars, les cel·les de combustible, les bateries i altres tecnologies energètiques. Tot plegat és probable que comporti millores importants en la producció, l'emmagatzematge i l'ús eficient de l'energia, fet que, al seu torn, pot fer reduir les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle i el dany ambiental.

La principal preocupació ambiental immediata se centra en el fet que les nanopartícules<sup>28</sup> no s'acoblen a una matriu fixa, atès que són una aplicació precoç que en molts casos ja està integrada al procés de producció en sèrie i tenen el potencial teòric de ser nocives tant per a la salut humana com per a la del medi ambient en termes generals.

## Impacte en la societat

Atesa l'esperança que les nanotecnologies es difonguin àmpliament i tinguin repercussions en molts sectors industrials i productes de consum, s'anticipa l'aparició d'importantes problemàtiques socials, econòmiques, laborals, educatives, ètiques i legals.<sup>29</sup>

Els estudis duts a terme han demostrat<sup>30</sup> que la principal preocupació de la societat envers la nanotecnologia en general és l'impacte en la salut humana i el medi ambient. Més enllà d'aquestes inquietuds generals, n'existeixen d'altres específiques d'aplicacions concretes. Sovint es tracta de recels ja existents i no exclusius de la nanotecnologia, si bé poden esdevenir més importants ja que la nanotecnologia comportarà una difusió més generalitzada de les aplicacions.

Per exemple, és previsible que les aplicacions mèdiques inicials de la nanotecnologia siguin molt cares, cosa que conduirà a una divisió de la salut en funció de la riquesa entre aquells qui poden permetre's una cura nanotecnològica per al càncer i aquells qui no. Si bé es tracta d'un problema social important, no és exclusiu de la nanotecnologia, sinó que es dona amb la major part dels nous tractaments mèdics. (Vegeu l'annex «Aspectes ètics, socials i legals»).

També existeix preocupació pels escenaris de futur, on una multitud de nanorobots fugitius devoren la Terra i ens aboquen a un «goo gris» o on s'empren nanomicrobis maliciosos per infectar els éssers humans i convertir-los en hostatges de la força que controla els microbis. Si bé aquests i d'altres escenaris violats són hipotèticament possibles, la tecnologia actual està molt lluny de presentar aquestes capacitats i la ciència general es concentra principalment en amenaces més immediates.

Tal com s'ha explicat abans, actualment l'amenaça clau percebuda és la toxicitat desconeguda (i per tant incalculable) de les nanopartícules i els nanotubs. Atès que les nanopartícules són relativament fàcils de produir (en comparació amb d'altres nanotecnologies més complexes) i tenen un ampli ventall de funcionalitats, ja s'estan fent servir en aplicacions comercials i es preveu que el seu ús es generalitzi encara més. Moltes d'aquestes aplicacions impliquen encastar nanopartícules i nanotubs a una matriu fixa (com ara vidre, plàstic o materials de construcció) i no provoquen inquietud, ja que el principal risc rau en les nanopartícules i els nanotubs lliures.

Alguns exemples d'ús actual són: les nanopartícules d'òxid de zinc o de diòxid de titani en cremes solars i cosmètics, que proporcionen protecció UV alhora que permeten d'aconseguir locions transparents; les partícules de negre de carbó dels neumàtics, que milloren la resistència a l'ús (emprades des de la dècada de 1920); les nanopartícules (de vidre) de diòxid de silici en superfícies resistents a ratlladures, que allarguen el seu cicle de vida, i les nanopartícules d'or que canvien de color, emprades a dispositius sensors com els tests d'embaràs de farmàcia.



**EXEMPLE D'APLICACIÓ: Nanopartícules d'òxid de zinc en cremes solars**

Z-COTE ® és un òxid de zinc especial que s'utilitza en cremes solars i ofereix protecció contra les cremades, atès que filtra la radiació nociva UVA i UVB.

Les petites partícules d'òxid de zinc actuen com a filtres físics de radiació UV: no només reflecteixen els raigs ultraviolats, sinó que també els difonen i els absorbeixen. Com que aquestes partícules són blanques poden provocar un emblanquiment de la pell no desitjat si s'apliquen en concentracions altes. Aquest efecte es pot evitar si es redueix la grandària de les partícules del pigment a uns 200 nanòmetres, fet que les fa efectivament transparents sobre la pell.

Els filtres físics de radiació UV s'utilitzen sobretot en cremes solars amb factors de protecció elevats, per sobre de 25. També són adequats per a la pell sensible dels nens i per a persones amb al·lèrgies.

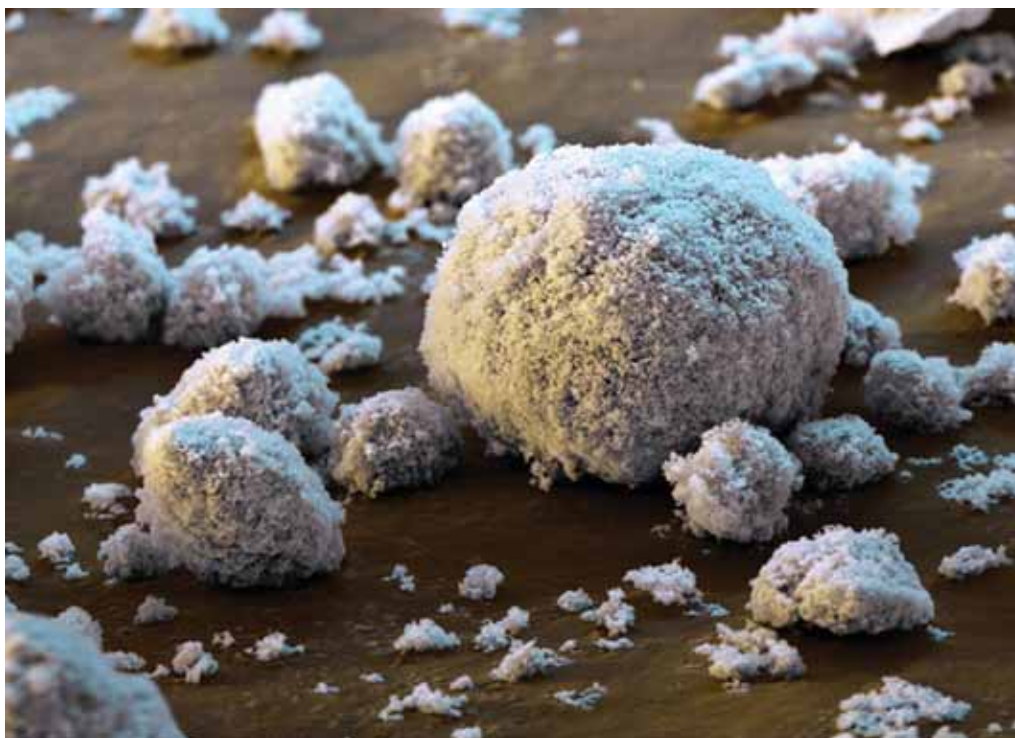
En alguns d'aquests casos, com el dels pneumàtics o els materials de construcció, on les nanopartícules estan contingudes dins d'un sòlid, existeix menys preocupació pel possible impacte directe en la salut humana i més per l'impacte ambiental a llarg termini, quan el sòlid es comenci a descompondre i les nanopartícules s'alliberin en el medi ambient.

En d'altres, com en el dels cosmètics, la inquietud rau en la ignorància de quin impacte directe tindran les nanopartícules en la salut, tant perquè penetren més en la pell que els ingredients més grans tradicionals com perquè les seves propietats químiques úniques poden reaccionar amb l'organisme de maneres imprevisibles. Especialment preocupants són aquelles nanopartícules que es poden transportar per l'aire i ser inhalades als pulmons. Algunes evidències preliminars<sup>31</sup> mostren que els nanotubs de carboni que superen una certa llargària poden esdevenir fibres irritants i tenen semblances amb l'amiant.

Ara bé, no tota la producció de nanopartícules és deliberada; els gasos d'escapament dels vehicles fa un segle que alliberen quantitats considerables de nanopartícules en l'ambient. Fins ara, però, a banda de l'efecte negatiu de la contaminació general, no s'han atribuït efectes nocius directament a l'atribut de la nanoescala d'aquestes partícules.

La nanotecnologia podria exercir un paper positiu en aquest sentit, atès que una millor comprensió de la natura de les nanopartícules i del desenvolupament d'altres nanomaterials previsiblement permetrà concebre noves tecnologies capaces de reduir de manera considerable la contaminació de l'aire.

En gran mesura, com en el cas de l'amiant, els aliments genèticament modificats i d'altres noves tecnologies o productes que de vegades s'han introduït a corre-cuita a la societat i han estat envoltats de conseqüències desastroses o de l'oposició i el rebuig social, es tem que introduir-hi les nanotecnologies sense la cura i la regulació adients podria generar una reacció similar.



[© Imatge crèdit: Press Photo BASF]

Una de les dificultats que afronten aquells qui desitgen implementar una regulació i verificació més estrictes és que les nanotecnologies són tan variades i presenten uns perfils de risc/benefici tan dispars que no és ni factible ni desitjable promulgar normatives generals. Per exemple, exigir que cap dispositiu alliberi nanopartícules artificials a l'atmosfera comportaria il·legalitzar tots els motors de combustió (com els dels cotxes i avions). D'altra banda, existeixen tantes aplicacions de la nanotecnologia tant al mercat com en desenvolupament que tampoc no és pas factible examinar-les cas per cas.

D'aquí que l'actual desafiament que afronten la societat, els governs i la indústria sigui intentar minimitzar els riscos potencials sense entorpir els avenços tecnològics. Un informe recent de la UE<sup>37</sup> destaca que «calen mecanismes que abordin aquestes preocupacions i separin la realitat de la ficció. Algunes estratègies prometedores que s'han implementat a la CE són els cafès científics i les conferències de consens. Els científics s'hi reuneixen amb grups de ciutadans i debaten les implicacions dels nous descobriments científics. Aquestes reunions tenen el potencial de bastir ponts de comunicació i confiança entre l'opinió pública, els polítics, els mitjans de comunicació i la comunitat tècnica».



## Creació de llocs de treball, educació i formació

En matèria d'ocupació, s'afirma<sup>32</sup> que el desenvolupament de la nanotecnologia probablement generarà entre dos i deu milions de llocs de treball a tot el món vers el 2014. Si Europa es manté al capdavant de la nanotecnologia, pot esperar que la majoria d'ells es consolidin al seu territori, sobretot a empreses de nova creació i PIME.

A banda de l'ocupació directa, la diversitat prevista de les aplicacions de nanotecnologia probablement conduirà a la seva penetració en molts aspectes de la vida i, com a resultat, a la millora i la capacitat de moltes altres indústries.

Es pot establir una analogia amb l'electricitat. Malgrat que només un nombre molt reduït de persones posseeixen feines directament relacionades amb la generació i distribució de l'electricitat, la importància d'aquesta per al mercat laboral general és immensa. Pràcticament ningú al món occidental no pot realitzar la seva feina sense usar en algun moment l'electricitat, encara que sigui només per encendre un llum.

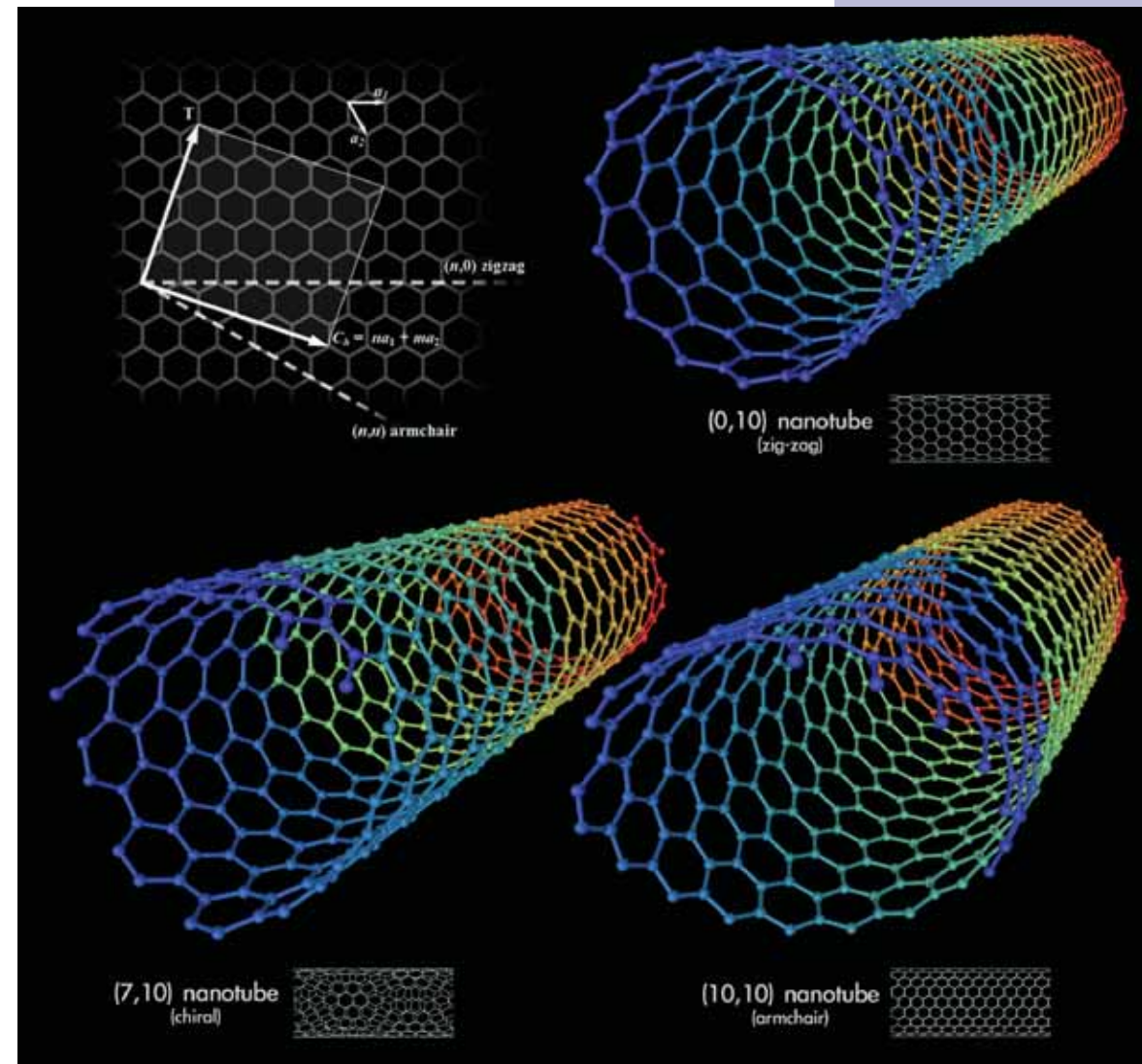
De la mateixa manera que l'electricitat alimenta altres processos, s'espera que les nanotecnologies també millorin els processos i les activitats existents, i en possibilitin la concepció de molts altres.

L'abast d'això dependrà en gran mesura de la velocitat a què les aplicacions de nanotecnologia es llancin al mercat i de fins a quin punt cada país disposi d'una mà d'obra degudament formada i educada, capaç d'adaptar-se i incorporar les noves tecnologies.<sup>33</sup>

Gairebé totes les iniciatives rellevants en matèria de nanotecnologia han identificat l'educació i la formació com a requisits clau.

El Pla estratègic nacional de nanotecnologia dels EUA<sup>16</sup> inclou com a tercer dels seus quatre objectius principals: «desenvolupar i mantenir recursos educatius, una mà d'obra formada, i les eines i la infraestructura de suport necessàries per avançar en nanotecnologia [...] calen recursos i programes educatius per produir la següent generació de nanotecnòlegs, és a dir: els investigadors, inventors, enginyers i tècnics que liderin el descobriment, la innovació, la indústria i la fabricació».

El Pla estratègic de nanotecnologia de la UE<sup>1</sup> inclou un apartat sobre recursos humans: «La



## Nanotubs de carboni

Els nanotubs de carboni són làmines d'àtoms de carboni enrotllades formant tubs. Els tubs poden ser de formes diverses, amb diferents longituds, amplàries i configuracions. Poden tenir els extrems tancats o oberts, poden ser corbats i, fins i tot, poden tenir diverses làmines disposades de forma concèntrica (tubs dins de tubs), estructures conegudes com a nanotubs multicapa.

[Imatge creada per Michael Ströck i disponible lliurement a [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types\\_of\\_Carbon\\_Nanotubes.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types_of_Carbon_Nanotubes.png), sota llicència GNU.]

Els nanotubs de carboni són d'especial interès per a la ciència i per a la indústria per diverses raons:

Els nanotubs de carboni són els materials més resistent i rígids que existeixen, i ja s'han utilitzat per fabricar compòsits més resistent i lleugers per a usos aeronaútics i en l'esport.

Els nanotubs multicapa mostren una propietat telescòpica sorprenent, per la qual un nanotub intern pot lliscar, gairebé sense fricció, dins del nanotub més extern. D'aquesta manera es crea un coixinet axial o de rodament atòmicament perfecte. Aquesta propietat ja s'ha utilitzat per crear el motor rotatiu més petit del món.

L'estructura d'un nanotub n'afecta considerablement les propietats elèctriques, que poden variar entre un comportament de semiconductor i un de metàl·lic. Teòricament, alguns nanotubs de carboni poden conduir corrents 1000 vegades més intenses que les que condueixen els cables tradicionals, com els de coure.

Són nocius els nanotubs de carboni?

La resposta a aquesta pregunta encara està per determinar. Els estudis són complexos, atès que cada tipus de nanotub de carboni és únic i es comporta de forma diferent. Paràmetres com ara l'estructura, la distribució de grandàries, l'àrea superficial, el comportament químic superficial, la càrrega superficial i l'estat d'agregació, així com la puresa de les mostres, tenen un impacte considerable en la reactivitat dels nanotubs de carboni.

Tot i així, les dades disponibles mostren que, en algunes condicions, els nanotubs poden penetrar a les cèl·lules i indiquen que, si les matèries primeres arriben als òrgans poden provocar-hi efectes nocius, com ara reaccions inflamàtores i fibròtiques. Es tem que alguns nanotubs de carboni es poden comportar com les fibres d'amiant.

Comissió insta els seus estats membres a col·laborar-hi amb:

(a) la identificació de les necessitats educatives de la nanotecnologia i l'aportació d'exemples de les millors pràctiques i/o dels resultats obtinguts a estudis pilot;

(b) el foment de la concepció i posada en marxa de nous cursos i programes, la formació de professors i l'elaboració de material educatiu per promocionar plantejaments interdisciplinaris de la nanotecnologia tant a nivell escolar com postuniversitari, i

(c) la integració d'habilitats complementàries en la formació de postgrau i contínua, com per exemple: el foment de l'emprenedoria, aspectes de salut i seguretat a la feina, patents, mecanismes derivats, comunicació, etc.»

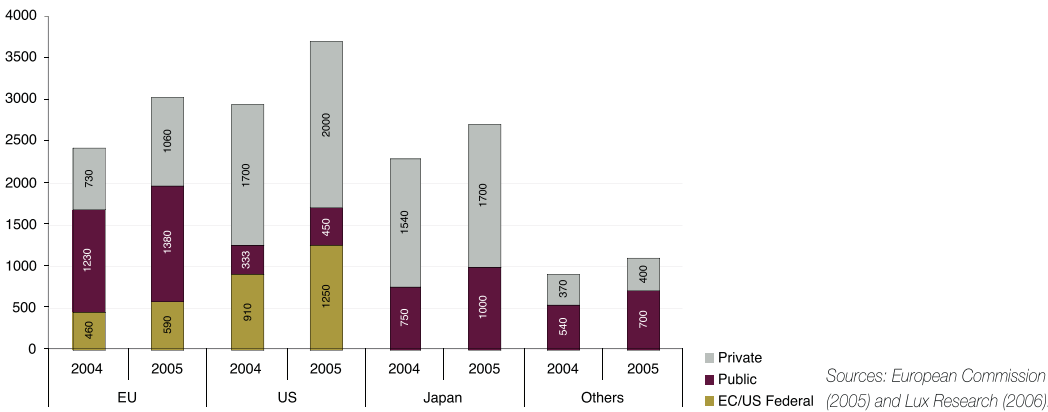
La Iniciativa per a la innovació en nanotecnologia alemanya<sup>34</sup> inclou com a un dels seus objectius primordials: «Promoure les qualificacions joves i en desenvolupament [...] Per al progrés econòmic d'una regió i, per tant, per a l'aparició d'una indústria basada en la nanotecnologia a Alemanya no cal només la presència d'una comunitat científica i econòmica capaç, sinó que és vital disposar de mà d'obra qualificada a tots els nivells. Per tal d'assolir la ràpida difusió de les tecnologies i l'increment en el nombre de treballadors autònoms pretesos cal una mà d'obra degudament qualificada. L'educació és, per tant, la clau del mercat laboral futur de la nanotecnologia».

INVERSIÓ ACTUAL EN NANOTECNOLOGIA

El desenvolupament tecnològic de les aplicacions descrites a aquest document i els canvis que cal incorporar a la infraestructura industrial existent per aconseguir l'ús generalitzat d'aquestes aplicacions requeriran inversions d'ampli abast. Aquells països que no facin les inversions pertinents s'arrisquen al fet que les seves capacitats industrials quedin obsoletes, cosa que abocaria a una pèrdua significativa de la productivitat econòmica.

Fins ara<sup>21</sup> ha estat el finançament públic el que ha permès l'enlairament de la nanotecnologia, però el sector privat també comença a invertir-hi amb força i exerceix un paper cada cop més destacat. La posició actual varia de regió a regió<sup>35</sup>, però als EUA i a Àsia, el sector empresarial ja hi aporta més que els governs, mentre que a Europa la inversió privada és molt inferior. A Europa, només el 33% del finançament total prové de fonts privades, mentre que als EUA les fonts privades representen el 54% i al Japó més del 60%. A d'altres països (sobretot als països asiàtics emergents), la xifra mitjana és del 36%.

Això revesteix especial importància per als legisladors europeus, atès que la transferència de tecnologia des del sector científic a l'industrial dependrà en gran mesura de la celeritat amb què les empreses existents, sobretot les PIME, inverteixin en equipament i formació per comercialitzar noves nanotecnologies. En aquest sentit, per bé que el sector científic europeu està actuant de manera òptima, és evident que la indústria privada no està responant tan ràpid com a d'altres parts del món.



[Font: Geo Yearbook 2007: «Emerging Challenges – Nanotechnology & the Environment»]

Al pressupost del seu 7è Programa Marc, la UE ha assignat 3.500 milions d'euros a la recerca en nanotecnologia per als anys 2007-2013 (és a dir, uns 500 milions d'euros l'any), als quals cal afegir la inversió privada i la dotació pressupostària per a recerca dels estats membres europeus. En comparació, el govern federal dels EUA acostuma a invertir-hi mil milions de dòlars (700 milions d'euros) l'any.

A Europa, la recerca en nanotecnologia es concentra principalment a Alemanya (seu de gairebé la meitat dels instituts de recerca de la UE dedicats a nanotecnologia), mentre que altres actors



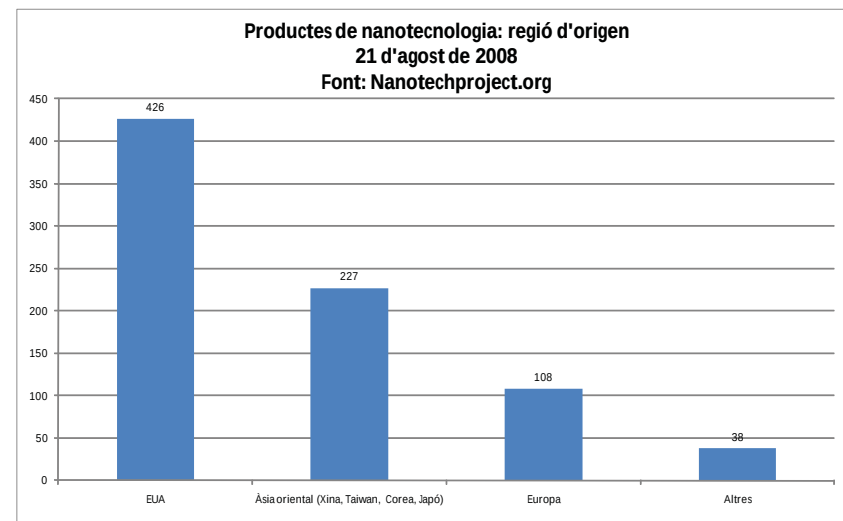
importants són França i el Regne Unit (cadascun dels quals representa un 8% d'instituts actius), seguits pels estats membres occidentals centrals i nòrdics.

Una dada que en ocasions resulta útil per mesurar la transferència de tecnologia és el nombre de patents. Les patents reflecteixen la voluntat dels científics de transferir els resultats científics a aplicacions comercials amb fonament tecnològic i, per tant, el nombre de patents enregistrades serveix com a indicador tant de l'èxit de la recerca com de fins a quin punt les innovacions s'estan traslladant al sector industrial. L'Oficina de Patents Europea (OPE) ha concebut una metodologia per tal d'identificar i classificar les patents en nanotecnologia, la qual cosa ha permès analitzar les tendències mundials i europees en activitat de patents.

L'índex més ampli de comercialització de nanotecnologia es registra en els sectors de la nanoelectrònica i els nanomaterials. Pels motius esmentats (vegeu l'apartat «Cronologia» a la pàg. 27 ) aquests sectors impulsen la primera onada d'aplicacions comercials.

Pel que fa a l'activitat de patents, se situa molt per darrera dels EUA i Àsia.

I sembla que un nivell més baix de patents està lligat amb un nivell inferior d'activitat comercial, atès l'escàs nombre de productes de nanotecnologia actualment disponibles fabricats a Europa.



Inventari de productes de consum amb base nanotecnològica per regió d'origen [Font: www.nanotechproject.org].

Ara bé, aquesta situació no respon a una manca de recerca de qualitat a Europa; de fet, Europa representa al voltant del 40% de tots els resultats científics publicats sobre nanotecnologia. La manca d'exploació comercial d'aquests resultats preocupa enormement i la CE destina cada cop més recursos a desenvolupar mecanismes per encoratjar la indústria privada, en particular les PIME, a col·laborar amb els instituts de recerca i invertir en R+D a nivell industrial.

## SEGURETAT I REGULACIÓ DE LA NANOTECNOLOGIA

La seguretat en matèria de nanotecnologia engloba molts aspectes: seguretat als laboratoris, seguretat a la feina, seguretat per als consumidors i seguretat per al medi ambient.

L'ampli espectre i la varietat de nanotecnologies, combinats amb el ràpid ritme de progrés i comercialització, estan generant molta preocupació entre una part sensible de la societat, que tem que els aspectes de la seguretat es passin per alt en pro dels guanys comercials.

### Legislació de la UE

La CE i altres organismes públics d'Europa, així com organismes equivalents als EUA i a d'altres països, han emès diverses declaracions de polítiques relatives al desenvolupament segur de les nanotecnologies.<sup>35</sup> La major part d'aquestes comparteixen un plantejament similar,<sup>37</sup> motiu pel qual el debat que segueix se centra en les polítiques que la UE hauria d'adoptar, per considerar-se representatives en termes generals.

La CE ha emès dos comunicacions clau en els darrers anys que defineixen la seva política en relació amb la salut i la seguretat: **Cap a una estratègia europea per a la nanotecnologia (maig de 2004) 2 i Aspectes regulatoris dels nanomaterials (juny de 2008).**<sup>38</sup>

La comunicació de 2004 perfilava els principis fonamentals que les comunitats comercial i científica de la UE havien d'adoptar en el desenvolupament de nanotecnologies:

*La nanotecnologia s'ha de desenvolupar d'una manera segura i responsable. S'han d'observar els principis ètics i s'han d'avaluar científicament els riscos potencials per a la salut, la seguretat i el medi ambient amb la finalitat addicional d'elaborar una possible regulació. Cal examinar i tenir en consideració les possibles repercussions en la societat. És essencial establir un diàleg amb l'opinió pública a fi de centrar l'atenció en temes de veritable preocupació en lloc d'escenaris de «ciència ficció».*

La mateixa comunicació aportava detalls (vegeu l'annex «Extractes sobre salut i seguretat de la comunicació de 2004 de la CE»), si bé no donava dades concretes sobre com assolir aquests objectius. Aquesta mancança es va identificar aviat, fet que va impulsar la Comissió a emprendre una revisió de la legislació, els resultats de la qual es van publicar tot just el juny del 2008.

Aquesta revisió conclouia que: *«la legislació actual cobreix en gran mesura els riscos relacionats amb els nanomaterials i permet d'abordar-los sota el marc legislatiu vigent. Això no obstant, és possible que calgui modificar la legislació actual a mesura que es recopilin noves dades, per exemple relatives als llindars establerts per algunes lleis».*



La necessitat d'una informació millorada se subratlla en diverses ocasions: «*cal aprofundir en el coneixement sobre qüestions fonamentals com ara la caracterització dels nanomaterials, els seus perills, exposició, avaluació i gestió de riscos [...] el coneixement esdevé el factor crític per a la implementació i posterior legislació*» i per tant «*les autoritats i organismes encarregats d'implementar la legislació haurien de continuar supervisant atentament el mercat i fer servir els mecanismes d'intervenció en el mercat de la Comunitat en cas de detectar riscos posats per productes ja comercialitzats*».

Per tal d'assistir en aquest procés de supervisió dels nous productes, l'informe assenyalava que la legislació rellevant es pot agrupar sota quatre categories: **substàncies químiques, protecció dels treballadors, productes i protecció del medi ambient**, i assegurava que, quan aquestes s'apliquen de manera simultània, s'obté un nivell de protecció de la salut i seguretat públiques acceptable. (Vegeu Annex «Aplicació de la legislació de seguretat de la UE a la nanotecnologia»).

### Preocupació pública

Malgrat l'opinió favorable vers la legislació existent expressada per la CE, els grups de treballadors i consumidors temen que aquesta i la manera com s'està implementant no proporcionin una regulació adequada de la seguretat.

NanoCap (Nanotechnology Capacity Building, una ONG) és un projecte europeu establert amb la finalitat d'aprofundir en l'enteniment dels riscos ambientals, ocupacionals, de salut i seguretat i en els aspectes ètics de la nanotecnologia. Agrupa un consorci de cinc ONG ambientals, cinc sindicats i cinc universitats que realitzen una sèrie de conferències de treball específiques destinades a preparar un programa sobre aspectes ètics i determinar una posició relativa a la «nanotecnologia responsable». El projecte està finançat per la Comissió Europea, com a part del Programa de ciència i societat FP6, i estarà actiu entre setembre de 2006 i setembre de 2009.

Com a resultat provisional d'aquest procés, la Confederació Europea de Sindicats (CES) va adoptar una **Resolució sobre nanotecnologies i nanomaterials**<sup>32</sup> el juny de 2008.

A aquesta resolució, la CES dóna el seu suport a la nanotecnologia: «*la CES té el convenciment que les nanotecnologies i els nanomaterials fabricats posseeixen un potencial de desenvolupament i aplicació considerable. Aquests avenços tecnològics i els nous llocs de treball que generaran poden satisfer les necessitats de les persones, reforçar la competitivitat de la indústria europea i contribuir a assolir els objectius de desenvolupament sostenible establerts per l'Estratègia de Lisboa*».

Tanmateix, la CES destaca l'existència d'incerteses notables i recomana «*adoptar accions preventives allà on preval el dubte. Això implica l'aplicació del principi preventiu. Aquest és un*

*requeriment previ indispensable per al desenvolupament responsable de nanotecnologies i per fomentar l'acceptació dels nanomaterials per part de la societat*».

#### Principi de precaució

El principi de precaució s'ha definit de diverses maneres. Dues definicions utilitzades habitualment són:

1. *Quan una activitat amenaça la salut humana o el medi ambient, s'hauran de prendre mesures de precaució, fins i tot si no s'han determinat totalment i de forma científica algunes relacions entre causa i efecte. En aquest context, és el proponent de l'activitat, i no el públic, qui s'ha d'encarregar d'aportar les proves.*

*El procés d'aplicació del principi de precaució ha de ser obert, informat i democràtic, i ha d'incloure les parts afectades potencials. També ha d'implicar una exploració de totes les alternatives possibles, incloent-hi la manca d'acció.*

Declaració consensuada de la conferència de Wingspread de negociadors de tractats, activistes, acadèmics i científics d'Estat Units, Canadà i Europa, gener de 1998.

2. *Quan, després d'una avaluació de la informació científica disponible, existeixen fonaments raonables per a la possibilitat d'efectes adversos, però persisteix la incertesa científica, es poden adoptar mesures provisionals de gestió de riscos, basades en una anàlisi global de costos i beneficis per la qual es dóna prioritat a la salut humana i al medi ambient, necessàries per a garantir el grau elevat de protecció escollit a la comunitat i en la proporció justa per a aquest grau de protecció, mentre es recull la informació científica suficient per a una avaluació de riscos més exhaustiva i sense haver d'esperar que la realitat i la gravetat d'aquests efectes adversos siguin plenament evidents.*

Fisher, Elizabeth, Judith Jones i Rene von Schomberg (ed.). *Implementing the Precautionary Principle: Perspectives and Prospects*, Cheltenham, Regne Unit, i Northampton, Estat Units: Edward Elgar (2006)

El 2 de febrer de 2000 la Comissió Europea va presentar una comunicació sobre el principi de precaució (COM(2000) 1) en què va adoptar un procediment per a la seva aplicació. Des d'aquell moment, el principi ha guiat bona part de la política de la UE, inclosa la política ambiental, la legislació alimentària, la protecció del consumidor, el comerç i la recerca i el desenvolupament tecnològic.

La resolució de la CES celebra l'acceptació per part de la CE del principi de precaució en la seva comunicació de 2004 i següents, si bé assenyalava algunes deficiències importants que requereixen una atenció immediata:

**Finançament per a R+D en seguretat:** *pel que fa a la inversió en R+D, percebem un important desequilibri entre els pressupostos destinats al desenvolupament d'aplicacions comercials de nanotecnologia i els destinats a la recerca del potencial impacte en la salut humana i el medi ambient. La CES exigeix que almenys un 15% del pressupost nacional i europeu assignat a recerca en nanotecnologia i nanociències es destini a aspectes de salut i ambientals i s'exigeixi a*

tots els projectes de recerca que incloguin aspectes de salut i seguretat com a apartat obligatori als seus informes.

**Estandardització de la terminologia:** és urgent establir una terminologia estandarditzada per als nanomaterials que permeti elaborar programes normatius significatius. En concret, la CES reclama a la Comissió que adopti una definició dels nanomaterials que no es limiti als objectes d'una grandària inferior a 100 nanòmetres en una o més dimensions. Això és important per evitar que molts dels nanomaterials que ja són al mercat quedin fora de l'espectre de futures legislacions.

**Sense proves no hi ha mercat:** la CES considera inacceptable que es fabriquin productes sense conèixer els seus efectes potencials en la salut humana i del medi ambient, llevat que s'apliqui un enfocament preventiu i aquest es comuniqui de manera transparent als treballadors. En concret, la CES considera que els fabricants de productes amb nanobase haurien d'estar obligats a determinar si poden alliberar nanomaterials insolubles o biopersistents en qualsevol fase del seu cicle vital. En absència de dades suficients per demostrar que els nanomaterials alliberats són inofensius per a la salut humana i el medi ambient, la comercialització dels productes no s'hauria d'autoritzar.

**Corregir les regulacions químiques del sistema REACH:** els nanomaterials poden eludir els requisits del sistema REACH de registre, avaluació, autorització i restricció de substàncies i preparats químics de la UE [...] La CES defensa que s'emprin diferents llindars i/o unitats (per exemple, superfície per volum) per al registre dels nanomaterials sota el sistema REACH.

**Millorar la formació i la seguretat a la feina:** cal molta formació, educació i recerca per aconseguir que els especialistes en salut i seguretat (per ex.emple, inspectors laborals, serveis preventius, higienistes ocupacionals, metges empresarials) evitin exposicions conegudes i potencials a nanomaterials [...] La CES exigeix a la Comissió que esmeni la Directriu sobre substàncies químiques 98/24/EC, davant la convicció que no ofereix la protecció escaient als treballadors [...] Cal exigir als empresaris que adoptin mesures adequades de reducció de riscos, no només quan la presència de substàncies perilloses conegudes al lloc de treball és un fet, sinó també quan els perills de les substàncies que es fan servir encara són desconeguts.

**Etiquetatge:** la CES considera que els consumidors tenen el dret de saber quin és el contingut d'un producte [...] La CES expressa la seva voluntat que tots els productes de consum que continguin nanopartícules fabricades que es puguin alliberar en condicions d'ús o eliminació raonables i previsibles siguin etiquetats convenientment. A més, com a part d'aquest plantejament preventiu, la CES sol·licita a les autoritats dels estats membres que estableixen un registre nacional de producció, importació i ús de nanomaterials i productes amb nanobase.

En resposta a aquestes i altres crides similars d'accions preventives, la UE ha posat en marxa una consulta pública<sup>39</sup> amb els estats membres i d'altres parts interessades amb la finalitat d'augmentar el coneixement i la consciència sobre el potencial de les nanotecnologies i continuar garantint una protecció adequada de la natura, el medi ambient i la salut.

## Seguretat laboral

El juny de 2008 el Congrés Europeu de Sindicats va publicar una **Resolució sobre nanomaterials i nanotecnologies** en la qual donava suport al desenvolupament de les nanotecnologies però reclamava endegar accions preventives en els casos en què predomini la incertesa pel que fa a aspectes de seguretat.

En la resolució es reclamava que s'apliqués el principi de precaució, de forma que als llocs de treball es tractessin les nanotecnologies com a perilloses fins que no es demostrassin innòcues, en lloc de suposar que són innòcues fins que es demostrés el contrari, tal com passa sovint amb les noves tecnologies.

La preocupació és que ni els treballadors ni els consumidors han d'estar exposats a riscos desconeguts, tal com passà amb l'amiant, que se seguí utilitzant durant dècades fins i tot després de disposar de proves contundents de la seva toxicitat.

Actualment no hi ha cap requeriment perquè s'apliquin aquests principis en els llocs de treball; tot i així, algunes empreses molt involucrades en la nanotecnologia han posat en marxa, de forma voluntària, una filosofia basada en el principi de precaució.

Per exemple, BASF, l'empresa química que té més de 95.000 treballadors arreu del món, ha posat en marxa un **Codi de conducta en nanotecnologia** i una **Guia de fabricació segura i d'activitats que impliquen l'ús de nanopartícules al lloc de treball**. En concret el codi de conducta de BASF afirma:

*La protecció de la vida humana i del medi ambient és un principi fonamental de la nostra empresa.*

*Identifiquem les fonts de risc per als nostres treballadors als laboratoris, plantes de producció, instal·lacions d'embalatge i instal·lacions d'emmagatzematge i les eliminem mitjançant les mesures adequades. Si sorgeixen perills sanitaris i ambientals a causa de les nostres activitats, prenem mesures immediatament.*

*Estem implicats activament en el desenvolupament continu d'una base de dades amb fonamentació científica per a l'avaluació dels riscos potencials, així com en la millora i el refinament de mètodes de prova i d'avaluació basats en productes. A més a més, participem activament en debats sobre els riscos i les oportunitats de la nanotecnologia amb col·laboradors de tots els àmbits de la societat.*

*En els casos en què la legislació i les directrius existents encara no han considerat els desenvolupaments en nanotecnologia, BASF contribueix de manera constructiva en l'elaboració de la legislació. El nostre objectiu és establir normes ben fonamentades i adequades als riscos i donar suport a la legislació rellevant.*

*BASF només comercialitza productes si pot garantir-ne la seguretat i l'impacte ambiental, a partir de tota la informació disponible científica i tecnològica. Proporcionem als nostres clients i socis logístics la informació necessària sobre la seguretat en el transport, l'emmagatzematge, l'ús, el processament i l'eliminació dels nostres productes. Les consideracions econòmiques no passen per sobre dels aspectes de seguretat i de salut ni sobre la protecció ambiental.*



## LA PRODUCCIÓ DE NANOTECNOLOGIA

Per aconseguir que l'immens ventall d'aplicacions potencials de la nanotecnologia estigui disponible de manera generalitzada, la indústria haurà de desenvolupar capacitats de nanoproducció considerables. Per a alguns sectors, això pot implicar actualitzacions senzilles i progressives dels seus sistemes existents, mentre que d'altres poden requerir la renovació integral de les infraestructures existents, amb un cost de centenars de milions d'euros.

### Light Up The World

Light Up The World (LUTW, [www.lutw.org](http://www.lutw.org)) és una organització humanitària internacional dedicada a il·luminar les vides de les poblacions pobres. És la primera organització que utilitza tecnologies d'il·luminació d'estat sòlid per a dur fonts de llum raonables, segures, saludables, eficients i ambientalment responsables a persones que actualment no tenen accés a una il·luminació adequada.

Els avenços en nanotecnologia estan millorant considerablement el rendiment i l'eficiència energètica dels díodes electroluminescents de llum blanca (WLED, white light-emitting diodes). Això permet la fabricació comercial de làmpades ultraeficients, duradores i gairebé permanents amb una eficiència molt superior a la de les làmpades d'incandescència normals i que poden funcionar amb tensions baixes que no són perilloses. Si això es combina amb fonts d'energia renovables, com les cèl·lules solars (que també milloren gràcies a la nanotecnologia), es poden satisfer les necessitats d'il·luminació de les poblacions més empobrides del planeta, especialment en zones rurals aïllades i ecològicament sensibles.

Com que bona part d'aquestes poblacions actualment utilitzen làmpades de querosè o d'altres combustibles fòssils, la nova tecnologia també proporciona beneficis ambientals considerables, ja que redueix la contaminació de fums a les llars i l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle.

[© 2007 Light Up The World.]

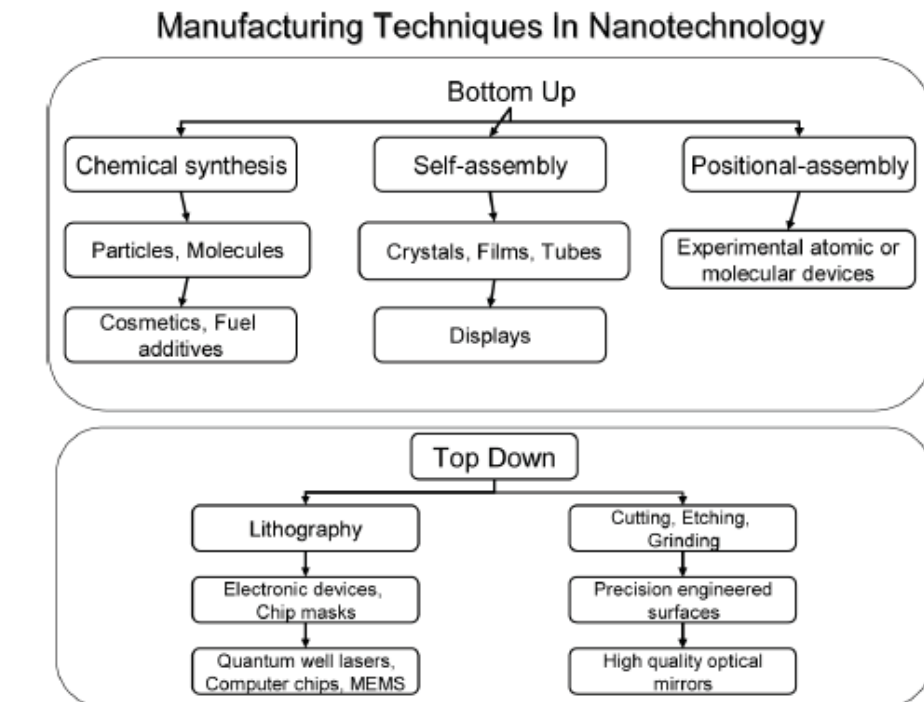


## Enfocament top-down (de dalt a baix) o enfocament bottom-up (de baix a dalt)

Gran part de la producció a nanoescala segueix una de les dues rutes principals:

L'«enfocament **top-down**» parteix de materials i estructures de dimensions grans i fa servir tècniques de tall o litografia per miniaturitzar els trets fins a obtenir les nanoestructures desitjades. Aquesta tècnica es pot comparar a esculpir pedra, on es va esmicolant un bloc gran fins a donar-li la forma i el detalls requerits.

L'«enfocament **bottom-up**» parteix de blocs de construcció bàsics a la manera de petites molècules o fins i tot àtoms i els assembla tot donant-los l'estructura requerida. Aquesta tècnica es pot comparar amb un joc de LEGO, on es munten múltiples peces per generar estructures de la mida i la complexitat requerides.



[Font: Tolfree, David. Commercialising Nanotechnology concepts-products-markets, Int. J. Nanomanufacturing, vol. 1, n. 1, 2006. © Inderscience Enterprises Limited.]

Actualment predomina l'enfocament *top-down*, sobretot a causa de la immensa infraestructura existent en el sector de la microelectrònica, que fa servir processos de gravat descendents per crear els trets electrònics a la superfície d'oblies de silici. Malgrat tot, es preveu que en el futur els enfocaments *bottom-up* guanyin progressivament preponderància, atès que, almenys en la teoria, proporcionen més flexibilitat i puresa al producte.



## Instrumentació i control de qualitat

Un dels principals reptes que actualment obstaculitza el desenvolupament de tècniques de fabricació de nanotecnologia industrials és la necessitat de noves eines i instruments que proveeixen un processament i un control de la qualitat adequats.

Per exemple, és relativament fàcil produir nanopartícules començant per un bloc gran de matèria primera i anar triturant-lo en un pols cada cop més fi fins a obtenir partícules de mida nano. El problema d'aquesta tècnica és que no produeix una partícula d'una mida uniforme i la polvorització resultant pot contenir un ampli ventall de mides i formes. Calen tècniques de classificació simples i efectives per separar les partícules en grups de la mida i la forma requerides, si bé la tecnologia per dur a terme aquestes separacions es troba encara en la fase d'inici.

Si es pensa en estructures més complexes, com ara maquinària a nanoescala o nanosensors, el repte de la garantia de qualitat esdevé encara molt més difícil.

Les tecnologies d'imatgeria, com ara els microscopis electrònics de rastreig i de tunelització, han avançat de manera espectacular en les darreres dècades, fins al punt que les fotografies amb detall molecular i fins i tot atòmic són ara força habituals.<sup>40</sup> L'habilitat d'observar directament la matèria a aquesta escala és un des principals motius pels quals la nanotecnologia experimenta actualment avenços tan remarcables.

Malgrat tot, aquestes tecnologies d'imatgeria continuen sent molt cares i exigeixen un control curós de les condicions al laboratori per proporcionar bones imatges. Caldrien importants avenços abans que estiguin disponibles per a la seva incorporació a cadenes de fabricació industrial i proveeixin eines de control de la qualitat òptimes.

## QUIN PAPER HI JUGUEN ELS GOVERNS?

Atès que la nanotecnologia és una realitat i que el seu impacte en la indústria i la societat serà significatiu, es planteja l'interrogant de fins a quin punt els governs s'haurien d'implicar a l'hora de guiar, estimular i regular el seu desenvolupament.

Aquest interrogant es complica encara més per la variada natura de les nanotecnologies, cadascuna de les quals pot requerir un enfocament singular. Malgrat tot, la literatura més recent sembla reflectir l'existència d'un ampli consens pel que fa a les tres àrees fonamentals que requereixen intervenció pública:

1. finançament governamental de l'R+D per estimular el desenvolupament i la comercialització,
2. regulació governamental en matèria de l'impacte per a la salut i el medi ambient destinada a fomentar el principi preventiu, i
3. suport governamental a l'educació i el diàleg social, tant pel que fa a la formació de la mà d'obra com a l'educació general i el diàleg social al voltant dels efectes de la nanotecnologia, amb un èmfasi especial en les preocupacions sobre salut i seguretat.

## Nivell de la UE

La UE ha expressat formalment la seva pretesa política pública en matèria de nanotecnologia: «La nanotecnologia posseeix un important potencial per impulsar la qualitat de vida i la competitivitat industrial a Europa. No convé endarrerir el seu desenvolupament i ús, ni permetre que sigui desequilibrat o deixar-se a l'atzar. La Comissió Europea (CE) desenvolupa dos papers fonamentals en el desenvolupament de les nanociències i les nanotecnologies (N&N), com a legisladora i organisme finançador de la recerca i la innovació<sup>17</sup>».

En relació amb les polítiques, la seva acció principal fins ara ha estat la publicació de comunicacions, en concret:

- ▲ Cap a una estratègia europea per a la nanotecnologia (maig de 2004)<sup>1</sup>
- ▲ Pla d'acció europeu per a la nanotecnologia 2005-2009 (juny de 2005)<sup>41</sup>
- ▲ Informe d'implementació del pla d'acció 2005-2007 (setembre de 2007)<sup>17</sup>
- ▲ Aspectes regulatoris dels nanomaterials (juny de 2008)<sup>38</sup>

Aquests documents exposen l'opinió de la CE quant a la importància relativa de les diferents aplicacions i capacitats de la nanotecnologia i, per tant, serveixen de guia per a l'assignació relativa de finançament per a R+D en els diferents sectors. Malgrat que la major part del finançament va destinat a projectes tècnics, s'han reservat fons per invertir en diàleg social i projectes d'impacte social.

El finançament de la nanotecnologia s'ha incrementat de manera espectacular sota el FP7 (vigent entre 2007 i 2013) a 3.500 milions d'euros, xifra que representa el 6,5% del pressupost total de 53.200 milions d'euros. La UE també insta els estats membres, sobretot el sector industrial, a augmentar la inversió en nanotecnologia en R+D.

L'altra preocupació política important expressada en les seves comunicacions guarda relació amb la salut i el medi ambient. La CE és de l'opinió que els marcs legislatius actuals cobreixen suficientment els perills potencials de les nanotecnologies, si bé els estats membres i els organismes hauran de ser proactius a l'hora d'actualitzar la terminologia, les definicions, els requeriments mínims i el codis d'etiquetatge a fi de garantir que els nanomaterials es classifiquin degudament i se sotmetin a l'escrutini pertinent.

Cal destacar que alguns grups, com ara la Confederació Europea de Sindicats, creuen que la CE hauria d'emprendre mesures addicionals per resoldre les incerteses en matèria de seguretat.

D'altres aspectes identificats per la CE com a importants però que encara no han estat objecte d'accions de rellevància són:

- ▲ *El foment de la coordinació dels programes de recerca nacional i les inversions a fi de garantir que Europa compta amb equips i infraestructures capaces de competir a nivell internacional.*
- ▲ *Tampoc no convé passar per alt d'altres factors relatius a la competitivitat, com ara una metrologia, una normativa i drets de la propietat intel·lectual adequats que obrin camí a la innovació industrial i condueixin a avantatges competitius, tant per a les grans empreses, com per a les petites i mitjanes.*
- ▲ *Les activitats relacionades amb l'educació i la formació són de vital importància; en concret, a Europa cal fomentar el caràcter emprenedor dels investigadors, així com l'actitud positiva dels enginyers de producció vers el canvi.*
- ▲ *Aspectes socials (com ara la informació i la comunicació públiques, temes de salut i medi ambient, i avaluació de riscos) són d'altres factors claus per garantir el desenvolupament responsable de la nanotecnologia i la satisfacció de les expectatives de la població. La confiança de l'opinió pública i els inversors en la nanotecnologia serà crucial per al seu desenvolupament a llarg termini i la seva aplicació fructífera.*

## Nivell regional

La Comissió Europea ha proposat un seguit d'accions mitjançant les quals les institucions regionals poden contribuir a donar suport al desenvolupament de la nanotecnologia d'acord amb les polítiques de la Unió Europea:<sup>2,24</sup>

1. augmentar la inversió i la coordinació de l'R+D per reforçar l'explotació industrial de les nanotecnologies tot mantenint la competitivitat i l'excel·lència científica;
2. desenvolupar una infraestructura d'R+D competitiva a nivell mundial («pols d'excel·lència») que tingui en consideració les necessitats tant de la indústria com de les organitzacions de recerca;
3. promoure l'educació interdisciplinària i la formació de personal de recerca, així com una actitud emprenedora amb més empena;
4. garantir condicions favorables per a la transferència de tecnologia i innovació per tal d'assegurar que l'excel·lència en R+D d'Europa es tradueix en productes i processos generadors de riquesa;
5. integrar consideracions socials al procés d'R+D des dels primers estadis;
6. abordar qualsevol risc de salut pública i seguretat tant per al consumidor com per al medi ambient percebut tot generant les dades necessàries per avaluar els riscos, integrant l'avaluació de riscos a totes les fases del cicle de vida dels productes amb base nanotecnològica, adaptant les metodologies existents i, si s'escau, desenvolupant-ne de noves, i
7. complementar les accions esmentades amb la col·laboració pertinent i iniciatives a nivell internacional.

A més de les accions suggerides per la CE, és útil remetre a informes de política regional d'altres països, com ara el publicat el març del 2007 pel Consell de Ciència i Tecnologia del Regne Unit, **Nanotechnologies: A Review of Government's Progress on its Policy Commitments** en què s'identifiquen un seguit de funcions per al govern:

**Coordinació i revisió:** coordinació transgovernamental estratègica de diferents departaments i organismes, en particular en l'àmbit de la recerca, amb un departament, organisme o agència governamental encarregat de liderar la política.

**Finançament de la recerca:** en comptes de confiar en la CE i la comunitat de recerca local per dirigir les activitats de recerca, el govern hauria de concebre un programa estratègic de recerca amb la finalitat d'assolir els seus objectius locals específics.

**Col·laboració internacional:** amb d'altres països i organitzacions internacionals en la concepció d'estàndards i normatives i en una recerca integrada.

**Interacció amb la indústria:** interacció eficaç entre el govern, la indústria, les organitzacions no governamentals (ONG) i els mitjans de comunicació per potenciar la comunicació.

**Regulació:** per permetre l'aplicació efectiva a les nanotecnologies de les normatives existents en matèria de salut, seguretat i medi ambient.

**Programa d'informes voluntaris:** per encoratjar la indústria a actuar de manera responsable en relació amb les noves aplicacions de la nanotecnologia en el període provisional durant el qual s'actualitza la normativa.

**Compromís públic:** mantenir un programa continu de compromís públic i liderar processos de diàleg deliberatiu de profunditat creixent amb la finalitat de proporcionar dades més valuoses als legisladors.

### Estimulació de la transferència de tecnologia de la nanociència al sector empresarial

Les recomanacions següents estan extretes d'un taller de dos dies de duració titulat «Nano2Business» i celebrat a la Universitat de Tecnologia de Varsòvia els dies 7 i 8 de febrer de 2007.<sup>42</sup> Els principals temes de debat van ser establir quina és la millor organització per als viviers i les xarxes de transferència de tecnologia i identificar els principals obstacles a aquesta transferència, amb un èmfasi especial en les nanotecnologies.

Es va determinar que les principals barreres a la transferència de nanotecnologia cap a la indústria tenen relació amb el caràcter específic de la nanotecnologia com a camp de recerca:

- ▲ Les dificultats de construir un equip de transferència de nanotecnologia ideal amb una combinació de coneixements en física, química, biologia, ciència dels materials, modelació, negocis i gestió.
- ▲ Les barreres a la comunicació, resultat de l'ampli espectre de camps coberts per la nanotecnologia. Això redunda en un enteniment pobre de què és la nanotecnologia. La producció de metalls nanoestructurats, de xips electrònics de 40 nm o de nanopartícules per al subministrament de medicaments implica unes tecnologies radicalment diferents, per bé que totes elles s'etiqueten com a «nanotecnologia». Una avaluació negativa d'un camp de la nanotecnologia podria conduir a una avaluació negativa d'altres camps.
- ▲ L'ús desmesurat del terme «nano» podria esdevenir una futura barrera per a la transferència de nanotecnologia, atès que diverses institucions i viviers a un nivell mitjà podrien disposar d'una etiqueta «nano» similar, que en el passat recent s'ha aplicat exclusivament a les organitzacions d'elit.

- ▲ Els sistemes de finançament de la recerca i l'avaluació dels investigadors o els instituts de recerca no sempre avalen les propostes dels investigadors de desenvolupar aplicacions pràctiques.
- ▲ La transferència de tecnologia suposa la comercialització d'actius intangibles. Això implica que l'inventor sovint ha de proposar un projecte el valor del qual no sempre resulta fàcilment calculable i no existeixen actius tangibles que garanteixin que la inversió serà rendible.
- ▲ Cal una estratègia a llarg termini basada en l'excel·lència per desenvolupar xarxes i viviers de transferència de tecnologia eficaços. L'èxit en aquest objectiu pot trigar més de deu anys a arribar. Pot resultar difícil realitzar una avaluació de les fases intermèdies dels viviers o les xarxes.
- ▲ El coneixement avançat necessari per establir una xarxa o un viver d'èxit. Els millors viviers i xarxes presentats a l'informe són resultat de més de deu anys de feina per part d'una comunitat de científics, administradors, autoritats locals i empreses amb un lideratge potent. Gran part del saber fer que possibilita el funcionament òptim d'aquests centres de transferència de tecnologia rau en els detalls i no es pot transferir fàcilment sense transferir també el personal.

Atesos aquests obstacles, les principals recomanacions per a una transferència de tecnologia eficaç són:

- ▲ Aprendre dels millors. En aquest sentit Europa té una oportunitat única, ja que ho pot aconseguir establint una col·laboració amb els principals viviers i xarxes de transferència de tecnologia. Els nous estats membres, en especial, es poden beneficiar dels millors exemples i evitar molts dels errors comesos amb anterioritat.
- ▲ Fomentar l'educació: impartir aptituds empresarials a les universitats i educar els traductors de tecnologia, gestors de xarxes i gestors de viviers. Aquests coneixements contribuirien enormement a impulsar la nanotecnologia en el difícil àmbit de la transferència al món industrial.
- ▲ Millorar l'organització de la ciència.
- ▲ Millorar l'avaluació dels investigadors i instituts o instal·lacions a fi de fomentar la motivació dels investigadors i recolzar les noves formes derivades de transferència de tecnologia.
- ▲ Millorar la manera en què es generen i avaluen els projectes de recerca per tal que grans grups de recerca duguin a terme una investigació suficient i exhaustiva.



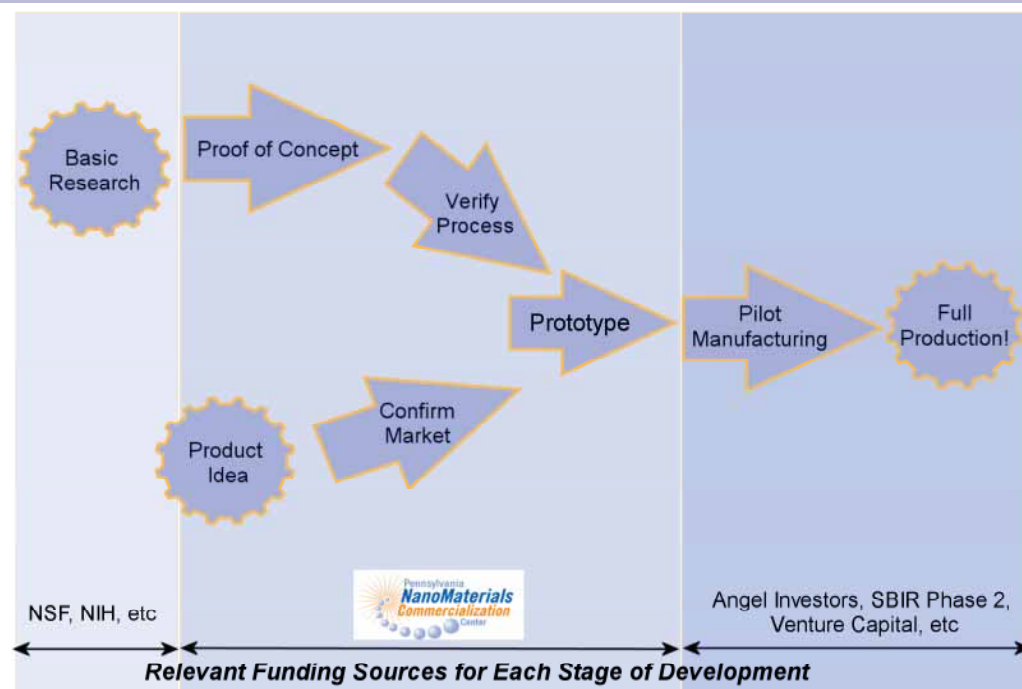
### Un viver de nanotecnologia

El Pennsylvania NanoMaterials Commercialization Center ([www.pananocenter.org](http://www.pananocenter.org)) facilita la comercialització de tecnologies de nanomaterials i la creació de l'excel·lència de Pennyslvania en la recerca de materials avançats. El centre utilitza un únic model per a crear de manera proactiva partenariats entre organismes governamentals, universitats, emprenedors, grans i petites empreses per tal d'encaixar la recerca en nanotecnologia amb les noves idees innovadores, i tot seguit accelerar el desenvolupament d'aquelles idees en nous productes, noves empreses i el creixement de la regió i del país.

El Centre es va crear el 2006, sota els auspicis del Pittsburgh Technology Council, mitjançant un consorci integrat per Alcoa Technology, Bayer MaterialScience, PPG Industries i US Steel. Actualment, el Centre també ha establert partenariats amb la Carnegie Mellon University, University of Pittsburgh, Penn State University, el Department of Community and Economic Development for the Commonwealth of Pennsylvania, Air Force Research Labs i amb gairebé 300 empreses, organismes i persones implicades en l'àmbit de la nanotecnologia.

El Centre exerceix un paper fonamental a l'hora d'accelerar a la comercialització de la recerca de nanomaterials per a productes nous i millorats, que són essencials per les necessitats comercials i de defensa dels Estats Units.

Normalment, el finançament del Pennsylvania NanoMaterials Commercialization Center s'usa per a crear un pont sobre la fase de desenvolupament "vall de la mort", entre l'etapa de la prova del concepte i la producció d'un producte prototip aplicable per al client.



[Gràfic reproduït amb l'autorització del Pennsylvania Nanomaterials Commercialisation Center, Pittsburgh, PA, USA, all rights reserved.]

### LA NANOTECNOLOGIA A ESPANYA I CATALUNYA

L'R+D en nanotecnologia ha enregistrat un creixement espectacular a Espanya en els darrers anys, tal com ha succeït a la major part dels països més desenvolupats. La xarxa Nanospain ([www.nanospain.org](http://www.nanospain.org)) és una agrupació voluntària de representants del govern, el món de la recerca i el món comercial que el setembre de 2008) aglutinava a 248 grups de recerca amb més de 1.200 investigadors, xifra que suposa un marcat augment en comparació als 110 investigadors de 2003.

Aquesta ràpida evolució també s'ha reflectit en un augment de l'interès per part del govern espanyol vers la nanotecnologia en els seus plans de recerca nacionals.<sup>43</sup> El Pla nacional d'R+D+I (2001-2003) gairebé no mencionava la nanotecnologia; en canvi, el Pla nacional d'R+D+I (2004-2007) incloïa la nanociència i la nanotecnologia com a accions estratègiques<sup>44</sup> i durant els quatre anys de vigència del pla es van aprovar 250 accions amb un finançament global de més de 17,5 milions d'euros. El Pla nacional d'R+D+I (2008-2011) dóna continuïtat i amplia aquesta acció estratègica, tot definint set línies generals de recerca científica.

A més dels plans nacionals, el pla Ingenio 2010 dóna suport a un seguit d'iniciatives en nanotecnologia d'ampli espectre, com també fan les diverses comunitats autònomes, al capdavant de les quals se situen Catalunya i el País Basc, per bé que la Comunitat Valenciana i Andalusia també hi destinen una inversió important.

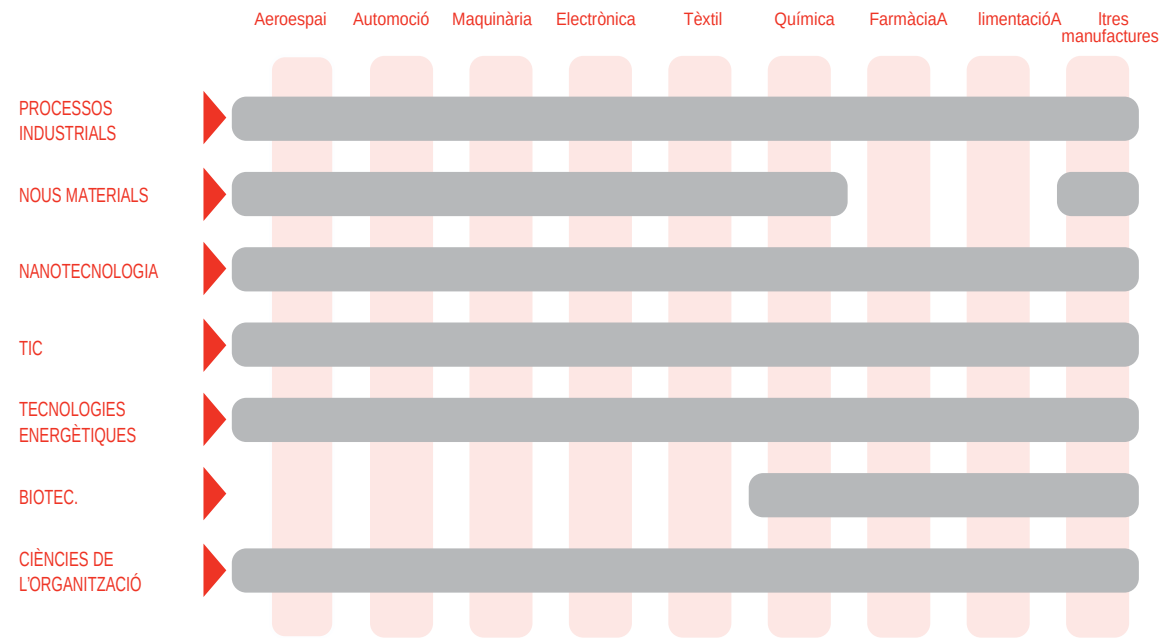
Si bé això suposa un increment substancial en inversió en R+D en nanotecnologia, cal posar-ho en perspectiva en contrast amb d'altres regions.<sup>45</sup> En percentatge per càpita, Espanya inverteix molt poc en nanotecnologia, no només en comparació amb els pesos pesants tradicionals, com els EUA, Japó o Alemanya, sinó també en comparació amb molts altres països amb menys població, com són Irlanda, Israel i Austràlia. Espanya se situa fins i tot per darrera d'alguns països de l'Europa de l'Est.

És més, la inversió a Espanya està fragmentada en moltes iniciatives petites i descoordinades tant a nivell nacional com regional. Fins ara, la participació del sector industrial també ha estat escassa,<sup>46</sup> tant via implicació indirecta mitjançant el finançament de parcs científics i viviers tecnològics com via participació directa en projectes de recerca específics. D'aquí que l'esforç espanyol no optimitzi el seu impacte potencial.

França, per exemple, a banda d'implementar un programa nacional de nanotecnologia a les seves universitats i centres de recerca, també ha establert cinc grans grups de nanotecnologia<sup>46</sup> (associacions dins d'una àrea geogràfica concreta d'empreses, centres de recerca i acadèmics que col·laboren en projectes d'innovació) amb la finalitat de centrar-se en aspectes concrets de la nanotecnologia. Un dels principals grups, Minattec ([www.minattec.com](http://www.minattec.com)), centrat en la combinació de les micro i les nanotecnologies amb programari implementat, dóna feina per si sol a 4.000 persones, la qual cosa equival a dir que aquest únic emplaçament és més gran que tota la xarxa de nanotecnologia espanyola.

Catalunya va ser un dels primers líders en inversió en nanotecnologia a Espanya, amb l'establiment d'un institut de recerca específic,<sup>48</sup> l'Institut Català de Nanotecnologia (ICN), i de diversos laboratoris de nanotecnologia incorporats a d'altres instituts catalans, com ara l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC - [www.ibecbarcelona.eu](http://www.ibecbarcelona.eu)) i l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO - [www.icfo.es](http://www.icfo.es)). L'ICN ha col·laborat recentment amb el CSIC en l'establiment d'un institut nacional, el Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2). En total hi ha més de 37 grups<sup>43</sup> registrats i repartits a diversos instituts, centres de tecnologia i universitats de Catalunya on es duen a terme projectes de recerca vinculats amb la nanotecnologia. El finançament català destinat a la recerca i transferència de tecnologia es regeix pel Pla de recerca i Innovació de Catalunya 2005-2008,<sup>49</sup> el qual identifica la nanotecnologia com un dels seus set sectors estratègics.

MATRIU D'ESTRATÈGIA TECNOLÒGICA



[Font: <http://www10.gencat/pricatalunya/recursos/PRI-llarg-CAT-2005-06-06.pdf>. © Generalitat de Catalunya.]

Xifres recents<sup>43</sup> mostren que, malgrat les diferències existents entre les diverses comunitats autònomes d'Espanya, en general el finançament de l'R+D en nanotecnologia procedeix de:

| Font                 | % de finançament |
|----------------------|------------------|
| Govern central       | 53%              |
| Comunitats autònomes | 22%              |
| UE                   | 13%              |
| Sector industrial    | 12%              |

Un nombre important d'empreses catalanes de sectors rellevants ja empren nanotecnologies tant als processos de producció com als productes finals. Un informe recent<sup>50</sup> publicat pel CIDEM (Centre d'Innovació i Desenvolupament Empresarial) en destaca algunes, entre les quals figuren:

**Activery Biotech SL (medicina/biologia)**, empresa fundada el 2003 que fa servir un mètode de propietat per produir nanopartícules per a aplicacions en farmacèutica, pigments i cosmètica.

**Rovalma SA (automoció)**, empresa fundada el 1977 que ha invertit fortament en R+D en nanotecnologia per desenvolupar acers millorats i aliatges especials per a eines i d'altres aplicacions industrials que ara exporta a la UE, als EUA i a Àsia.

**Matgas 2000 AIE (energia)**, entitat sense ànim de lucre dedicada a satisfer la demanda d'R+D aplicada a materials, gasos i energia. Entre les diverses línies de recerca basada en nanotecnologia, una de les de més èxit és la relacionada amb l'ús de fotovoltàics per produir energia solar.

**Aromics SL (alimentació)**, empresa fundada el 2005 que fa servir nanopartícules activades magnèticament per desenvolupar plataformes detectores de patògens a mostres d'aliments, ambientals i clíniques.

**Color Center (tèxtil)**, empresa fundada el 1978 que desenvolupa tècniques de nanoencapsulació per permetre la incorporació als teixits de substàncies beneficioses, les quals, lentament dosificades, tindrien beneficis a llarg termini.

Deixant de banda aquests comptats exemples d'èxit, els obstacles generals a l'establiment d'empreses noves d'alta tecnologia sembla tenir repercussions en l'aparició de negocis locals basats en la nanotecnologia:

- ▲ alt cost d'arrencar una empresa,
- ▲ llargs terminis d'espera per obtenir l'aprovació i les llicències oficials,
- ▲ dificultats per obtenir finançament per a prototips i proves de concepte,
- ▲ impediments culturals com ara la visió negativa del fracàs empresarial, i
- ▲ manca d'una capacitat tècnica i d'R+D sòlida en el si de les empreses locals (en particular, de les PIME) per facilitar la transferència de tecnologia.

## CONCLUSIONS

La nanotecnologia no és només una fita aïllada amb unes quantes aplicacions potencialment importants; la nanotecnologia és un avenç teòric i tècnic crucial que tindrà repercussions en totes les branques de la ciència i tots els sectors industrials.

L'origen d'aquesta revolució ha estat llarg en la seva gestació. Durant el temps transcorregut d'ençà, molts àmbits de la ciència van anar progressant fins convergir a la fi de la dècada dels 90. Arribats a aquest punt, les noves eines disponibles i els nous coneixements científics van permetre nous descobriments i la concepció de noves aplicacions pràctiques a un ritme accelerat. L'impacte social i econòmic potencial es fan fer evidents molt aviat i els governs de tot el món van començar a invertir-hi; la despesa pública mundial va augmentar de només 400 milions de dòlars el 1997 als més dels 4.000 actuals.<sup>16</sup>

Aquest nivell d'inversió transmet un clar senyal tant a la indústria privada com a la societat en general i la creença en el potencial de la nanotecnologia per part dels científics i les autoritats públiques.

Cal destacar que existeixen diferències rellevants entre la revolució de la nanotecnologia actual i la revolució de la genètica de la dècada dels 90, que també va suposar un important avenç tècnic i científic i va atraure quantitats semblants d'inversió pública i privada, a més d'atenció per part dels mitjans de comunicació.

La immensa majoria d'aplicacions genètiques a curt termini es concentren primordialment en dos grans sectors: la medicina i l'agricultura. La medicina és un àmbit on les noves aplicacions es desenvolupen a poc a poc, a causa dels rigorosos i dilatats requeriments dels assaigs clínics. L'agricultura, amb els seus aspectes ambientals i en matèria de seguretat dels aliments, va generar tot el debat al voltant de la modificació genètica i la consegüent restricció de l'aplicació comercial de les tecnologies genètiques. Així doncs, tot i que la revolució de la genètica generava grans expectatives, fins ara ha tingut escassa repercussió en la vida quotidiana de la població en general.

En contrast, la nanotecnologia no es limita només a uns quants sectors, sinó que tindrà un impacte significatiu sobre tots els sectors de la indústria i l'activitat humana, i ja es troba a productes de consum quotidians com ara roba, cosmètics i articles esportius.

Potser l'analogia més adient consistiria a comparar l'aurora de la nanotecnologia amb la introducció de l'electricitat. De la mateixa manera que avui dia resulta impossible imaginar la vida sense electricitat, és probable que les generacions futures depenguin completament de les nanotecnologies. Fins i tot si, tal com va succeir amb la modificació genètica, l'avenç en alguns aspectes de la nanotecnologia es veu alentit per les preocupacions socials (per exemple en relació amb les nanopartícules), això no obstaculitzarà l'evolució ràpida i continuada d'altres nanotecnologies.

El repte que afronten els governs regionals davant aquest fenomen tecnològic mundial és garantir que la indústria local estigui preparada per assimilar aquestes noves tecnologies i romangui competitiva a escala internacional.

D'altres reptes inclouen la necessitat de construir una mà d'obra àmplia i amb formació multidisciplinària, abordar les preocupacions públiques relatives a temes de salut i aspectes ambientals, i aprofitar els recursos locals limitats per garantir-se un nínxol de mercat que pugui proveir una nova font de creixement econòmic per a la regió.

Esperem que, dins l'abast d'aquest breu document, el lector s'hagi format una idea general de la nanotecnologia, de les seves implicacions econòmiques, industrials i socials, i del seu potencial per millorar la qualitat de vida a escala mundial. Per a informació més detallada, es recomana accedir als molts informes excel·lents i detallats publicats sobre aspectes concrets, una selecció dels quals s'enumera a l'annex sota l'epígraf de «Bibliografia recomanada».



## RECOMANACIONS

### **RECOMANACIÓ 1: DESENVOLUPAMENT DE NANOTECNOLOGIES CLAU PER RECOLZAR LA INDÚSTRIA CATALANA**

A Catalunya existeix una sòlida comunitat de recerca en nanotecnologia, amb l'Institut Català de Nanotecnologia (ICN), el Centre d'Investigació en Nanociència i Nanotecnologia (CIN2), l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC), el Centre de Recerca i NanoEnginyeria (CRNE), el Centre de Recerca en Bioelectrònica i Nanobiociència (CBEN), el Centre Nacional de Microelectrònica (CNM), l'Institut Català d'Investigació Química (ICIQ), l'Institut d'Investigacions Químiques i Ambientals de Barcelona (IIQAB), el MATGAS 2000 AIE, el Parc Científic de Barcelona (PCB) i l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB), entre d'altres, els quals configuren una base robusta amb diversos centenars d'investigadors que treballen al capdavant dels seus camps de recerca.

No obstant això, malgrat que cadascun d'aquests centres participa en certa mesura de la transferència de tecnologia i tot i que existeixen organismes que s'hi dediquen exclusivament a nivell nacional i català, el ritme i l'èxit de la transferència de tecnologia sembla ser molt lent.<sup>14</sup> Tal com s'ha esmentat abans, aquest és un problema general a tot Europa, en comparació amb els EUA i Àsia, si bé al si de la Unió Europea, Espanya ocupa un dels pitjors llocs.

Una de les raons és que el volum d'inversió privada en R+D+I per part de les empreses espanyoles és molt reduït, cosa que influeix en la seva capacitat per assimilar noves tecnologies. Per tal que es produeixi una transferència de tecnologia de la recerca al sector industrial cal que existeixin empreses locals amb les instal·lacions tècniques i productives necessàries per implementar aquesta tecnologia.

Si la indústria catalana vol romandre competitiva en un futur amb equipament nanotecnològic és vital que s'hi estableixin mecanismes de transferència de tecnologia òptims, els quals garanteixin la ràpida assimilació i adopció per part de les indústries locals de les tecnologies que es desenvolupen tant a nivell local com internacional. Cal encoratjar les indústries locals a desenvolupar capacitats d'alta tecnologia, com ara tècnics formats i pràctiques de producció innovadores, per garantir que són capaces d'assimilar les noves tecnologies.

Les indústries principals que precisaran de la nanotecnologia per romandre competitives són la microelectrònica, la fabricació automobilística, la indústria d'instrumental mèdic i fàrmacs, la indústria tèxtil, la indústria de materials de construcció i la indústria de productes de consum que facin servir química fina com ara els cosmètics i els detergents. Alguns d'aquests sectors són bastant rellevants per a l'economia catalana.

Entre les accions que el Parlament de Catalunya hauria de sospesar figuren:

- ▲ *establir recursos informatius per permetre a les empreses locals, sobretot a les PIME, que sovint manquen d'un accés òptim a la informació internacional, mantenir-se actualitzades amb els últims avenços en tecnologies rellevants per al seu sector; idealment, alguns d'aquests recursos informatius podrien ser proactius, com ara experts que viatgin d'empresa en empresa presentant la informació i les oportunitats;*
- ▲ *promoure la transferència de tecnologia a la indústria mitjançant la col·laboració de centres tecnològics i acadèmics, i concedint ajuts econòmics o fiscals per recolzar l'R+D+I, els projectes pilot, les proves de concepte i l'escalabilitat dels processos;*
- ▲ *promoure l'establiment de capital de risc<sup>51</sup> i d'altres fons inicials per ajudar les noves empreses en les difícils fases inicials de comercialització;*
- ▲ *simplificar els processos burocràtics implicats en l'establiment d'una empresa de nova creació a fi de reduir el temps i els costos necessaris per llançar nous negocis d'alta tecnologia, i*
- ▲ *promoure el desenvolupament d'una mà d'obra formada i multidisciplinària, cosa que implicaria no només revisar els cursos oferts per les universitats i els col·legis tècnics, sinó també estimular la nova formació o la formació complementària dels treballadors que ja estan immersos al mercat laboral.*

## **RECOMANACIÓ 2: SELECCIÓ I CONCENTRACIÓ DELS ESFORÇOS A DETERMINADES ÀREES CLAU AMB LA FINALITAT D'ERIGIR-SE EN LÍDER D'UN NÍNIXOL CONCRET DEL MERCAT**

Tot i la importància que la ciència i la indústria catalanes conservin un nivell mínim d'inversió en la major part dels camps clau de la nanotecnologia, és poc realista esperar aconseguir l'excel·lència, per no parlar del lideratge, a tots ells. Els recursos disponibles localment per a aquestes activitats d'R+D empal·lideixen en comparació amb els desplegats per altres regions dels EUA, el Japó i fins i tot països de la UE com ara Alemanya, França i el Regne Unit.

D'això, però, no se'n deriva necessàriament que la ciència i la indústria catalanes no puguin assolir el lideratge en alguns nínxols del mercat, per exemple adoptant un model de clúster per reunir empreses i grups de recerca. El procés de seleccionar les àrees apropiades d'enfocament implica una avaluació meticulosa de les diferents opcions, si bé existeixen diversos escenaris identificables.

Catalunya compta amb una potent base en biomedicina, salut animal, alimentació, energies renovables i construcció, entre d'altres. L'encavalcament entre aquestes capacitats i les noves nanotecnologies probablement proveiria un fonament sòlid sobre el qual construir l'experiència en un sector.

Per exemple, un seguit d'informes recents han destacat que, malgrat els programes massius en R+D dels EUA, el Japó i la UE, s'ha deixat de banda, en gran mesura, la inversió en recerca i desenvolupament de nanometrologia (mesurament de la seguretat física, química, tòxica i ambiental dels nanomaterials).

Atesos els punts forts de Catalunya en camps biològics com ara la biomedicina, la salut animal i la manipulació d'aliments, això podria ser una oportunitat per a la creació de centres d'avaluació i serveis comercials en mesurament i comprovació de la nanotecnologia a Catalunya, sobretot en matèria de salut humana i toxicitat ambiental general de les nanopartícules.

Ningú no dubta que controlar les nanopartícules i d'altres nanomaterials potencialment perillosos esdevindrà una exigència obligatòria en el futur. Atès el gran nombre de productes que es preveu incorporin nanopartícules, el mercat de la verificació estandarditzada i l'avaluació de la toxicitat serà molt extens.

Si Catalunya triés aquest nínxol com a àrea de desenvolupament, entre les accions potencials que hauria d'emprendre s'inclourien:

- ▲ *centrar els esforços de recerca local en projectes associats,*
- ▲ *promoure el pla a la indústria nova i local i oferir incentius per activar la comercialització de les tecnologies,*

- ▲ *identificar empreses i/o centres d'R+D rellevants a d'altres territoris, i incentivar-los a formar una joint venture o col·laborar d'alguna altra manera en les activitats a Catalunya,*
- ▲ *establir i equipar un laboratori comercial o de recerca combinat i específic a fi de desenvolupar proves estàndard i oferir-les comercialment a empreses amb productes nanotecnològics, i*
- ▲ *promoure iniciatives perquè les indústries locals apliquin nanotecnologies que afegixin valor a les operacions existents i puguin millorar la seva competitivitat al mercat internacional.*

Es podrien concebre plans similars per d'altres nínxols detectats relacionats amb sectors forts a Catalunya, com ara els nanomaterials i les nanotecnologies per a ús en la construcció d'habitatges residencials, la nanotecnologia aplicada a la manipulació d'aliments, etc.

### Metrologia

La paraula metrologia prové del grec antic “metron” que significa mesurar, i “logos” que significa ciència i és la ciència dels mesuraments.

La metrologia és un subcamp de la nanotecnologia. Les nanoestructures i les nanopartícules plantegen uns reptes especials en el mesurament perquè hi ha molts aspectes que cal mesurar –mida, forma, longitud, força, fragilitat, elasticitat, conductivitat, color, solubilitat, densitat– així com les característiques individuals de diferents tipus d'estructures, com ara les disposicions de diferents parts respecte a les altres o la manera com les estructures s'uneixen o es pleguen.

Tant la ciència com la indústria necessiten una bona metrologia, estàndards i calibratges per tal de poder comparar resultats, garantir el control de qualitat, i mesurar la producció. La metrologia també és fonamental per possibilitar el seguiment dels efectes de salut i mediambientals.

Actualment, hi ha disponibles alguns instruments (com ara el microscopi d'electrons) per mesurar alguns trets de les nanoestructures, però normalment són molt cars i necessiten uns entorns de laboratori molt estrictes. Els científics i la indústria necessiten de manera urgent uns serveis de metrologia i un equip fiables per tal d'avançar en els esforços.

[Fotografia: microscopi d'electrons FEI® Magellan™ 400L.]



### RECOMANACIÓ 3: ADOPCIÓ DE POLÍTIQUES PROACTIVES EN MATÈRIA DE SALUT I SEGURETAT

La principal preocupació de la població és la seguretat, tant en termes de salut humana com del medi ambient. El públic confia poc en la capacitat d'autoregulació de la indústria privada i no confia gaire més en els organismes públics per aplicar les lleis existents per regular les noves tecnologies.

Malgrat que amb el temps entrarà en vigor una regulació d'aquestes característiques harmonitzada a nivell nacional i de la UE, les polítiques en aquest estadi evolucionen lentament i seria convenient que el Parlament de Catalunya estudiés mesures provisionals com ara actualitzar la normativa de salut i seguretat catalana, introduint-hi models voluntaris o obligatoris per a l'etiquetatge de productes, etc.

Entre els temes fonamentals que cal analitzar figuren:

#### Regulació

- ▲ *Lleis d'etiquetatge que cobreixin tots els productes que fan servir nanotecnologies per anunciar el tipus de tecnologia i el seu perfil de seguretat.*
- ▲ *Lleis que regulin l'ús del terme «nano» per evitar una comercialització equívoca i enganyosa.*
- ▲ *Normatives de seguretat ambiental relatives a l'eliminació i els abocaments en aigües i el medi ambient d'aquelles tecnologies que suposen un risc més elevat, com ara es nanopartícules i els nanotubs.*

#### Proves de seguretat

- ▲ *Proves de seguretat obligatòries per a aquelles tecnologies que suposen un risc més gran tant per a la salut com per al medi, com ara les nanopartícules o els nanotubs emprats en aplicacions potencialment perilloses.*
- ▲ *Advertències de salut i seguretat obligatòries als productes amb riscos potencials.*

D'altra banda, cal difondre també el potencial positiu de la nanotecnologia per al medi ambient, mitjançant el suport a la concepció i adopció de nous mètodes per supervisar, controlar i posar remei a la contaminació.



## ANNEX 1: Bibliografia recomanada

A continuació es presenta una selecció d'informes disponibles públicament i enllaços web que l'autor recomana per obtenir informació més detallada sobre temes concrets.

### *Informació general sobre nanotecnologia*

Comissió Europea (2004): «Nanotechnology - innovation for tomorrow's world», una explicació clara i no científica de la nanotecnologia i els seus riscos, aplicacions i beneficis principals.

CIDEM (abril de 2008): «Introducció a les nanotecnologies i les nanociències», una introducció recent i ben redactada a la nanotecnologia, amb exemples de les activitats relacionades a Catalunya.

Fundación de la Innovación Bankinter (2006): «Nanotecnología. la revolución industrial del siglo XXI», un informe excel·lentment redactat, informatiu i de caràcter divulgatiu sobre la nanotecnologia i les seves implicacions, especialment centrat al cas d'Espanya.

La Wikipedia ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)) incorpora moltes entrades (en anglès i castellà) sobre aspectes diversos de la nanotecnologia, incloent-hi nanorobòtica, nanoelectrònica, nanomaterials i nanopartícules.

### *Aplicacions i mercats de la nanotecnologia*

Lux Research (2008): «The Nanotech Report 5th Edition», un informe en profunditat sobre la indústria de la nanotecnologia i les tendències del mercat realitzat de manera privada i considerat de referència.

Ministeri d'Economia, Transport i Desenvolupament Urbà i Regional d'Hessen (agost de 2008): «Application of Nanotechnologies in the Energy Sector», un informe detallat i ben il·lustrat de com poden afectar les diferents nanotecnologies la producció i el subministrament d'energia.

National Cancer Institute (gener de 2004): «Cancer Nanotechnology - Going Small for Big Advances; Using Nanotechnology to Advance Cancer Diagnosis, Prevention and Treatment», un fullet informatiu i ben il·lustrat de les múltiples maneres com es preveu que la nanotecnologia millori els tractaments mèdics i, en concret, els oncològics.

NANOCAP Project (novembre de 2007): «Applications of Nanotechnology: Environment», un document clar i ben il·lustrat que descriu les nanotecnologies en fase de desenvolupament per solucionar temes ambientals de rellevància.

Salut i seguretat

Lloc web del Nanoscale Science & Engineering Center de la University of Wisconsin-Madison ([www.nsec.wisc.edu/NanoRisks/NS--NanoRisks.php](http://www.nsec.wisc.edu/NanoRisks/NS--NanoRisks.php)), un excel·lent llistat de recursos de documents públics i privats relacionats amb tots els aspectes de la tecnologia i els seus efectes en la salut i la seguretat.

SwissRe (2004): «Nanotechnology, Small Matter, Many Unknowns», un informe ben escrit i de caràcter divulgatiu sobre els riscos i els aspectes desconeguts de la nanotecnologia, des de la perspectiva d'una companyia d'assegurances.

Productes de consum que incorporen nanotecnologia

Lloc web de Nanotech Project ([www.nanotechproject.org](http://www.nanotechproject.org)) on es pot trobar un inventari de productes de consum amb nanotecnologia ([www.nanotechproject.org/inventories/consumer/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/)), una llista concisa i actualitzada amb regularitat dels productes de consum que incorporen nanotecnologia presents a tot el món.

Activitats de recerca en nanotecnologia

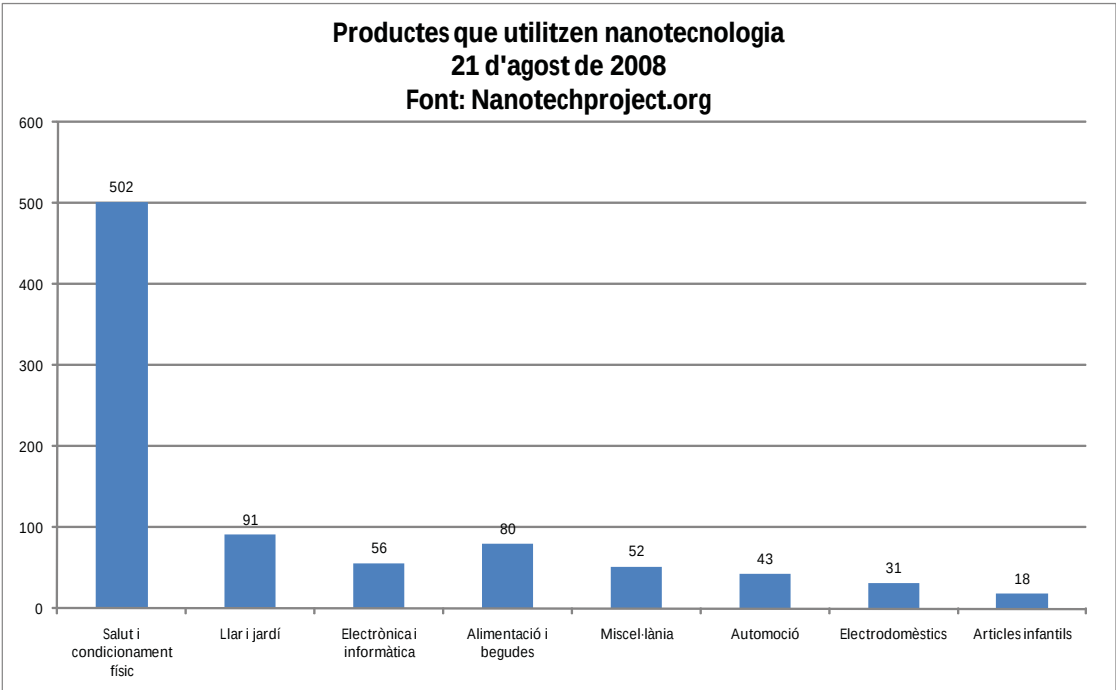
Pàgina d'inici del lloc web sobre nanotecnologia de CORDIS, Comissió Europea ([cordis.europa.eu/nanotechnology/](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/)), punt neuràlgic de tota la recerca en nanotecnologia patrocinada per la CE.

Nanotecnologia a Espanya

Fundación Phantoms: «Nanociencia y Nanotecnología en España, 2008», un informe general de la situació actual de l'activitat i el finançament de la recerca en nanotecnologia a Espanya.

ANNEX 2: Aplicacions de la nanotecnologia

Les aplicacions quotidianes de les nanotecnologies no són només una predicció del futur, sinó que ja estan disponibles arreu del món en un ampli ventall de productes de consum.<sup>4,6</sup> Entre les aplicacions que ja es troben al mercat figuren les cremes solars i els cosmètics, raquetes de tennis més flexibles i resistent, i vidres antirratlladures.<sup>52,53</sup>



Desglossament per categories comercials de l'inventari de productes de consum amb base nanotecnològica<sup>54</sup>

La majoria dels informes sobre nanotecnologia prediuen que la nanotecnologia anirà emergent progressivament a termini mitjà,<sup>1</sup> s'espera que alguns dels canvis més revolucionaris a la vida quotidiana es donin en els àmbits de la higiene i les comunicacions, a més dels grans canvis en alimentació i transport.

Els apartats següents ofereixen una breu exposició general d'algunes de les aplicacions clau que es preveu sorgeixen en diversos sectors.

Aplicacions mèdiques

El potencial de realitzar avenços significatius en tecnologies mèdiques és una de les grans promeses de la nanotecnologia.<sup>7</sup> Diagnòstics millorats per detectar malalties, millors tractaments oncològics,<sup>55</sup> implants millorats per reconstruir ossos, articulacions i teixits danyats, mecanismes millorats de subministrament de medicaments per aplicar millors tractaments amb menys efectes secundaris i fins i tot un futur amb nanorobots implantant que podrien netejar les artèries obstruïdes i eradicar malalties són alguns dels horitzons que semblen a l'abast dels

éssers humans en l'actualitat.

No obstant això, cal entendre que qualsevol tractament que impliqui la introducció o el contacte de nanomaterials amb l'organisme s'ha de sotmetre a proves clíniques estrictes i demostrar la seva seguretat i eficàcia. La típica escala cronològica per a un nou medicament, des de la identificació de la molècula candidata fins a l'aprovació per a la seva comercialització general se situa al voltant dels dotze anys, o més.<sup>56</sup> Atès que la major part de les nanotecnologies impliquen processos i/o materials enterament nous, el temps necessari per demostrar la seva seguretat i no toxicitat podria ser encara més llarg.

Així doncs, malgrat que l'impacte a llarg termini de la nanotecnologia en medicina és alt i que una part important de les inversions en R+D actuals es destinen a aquest sector, es preveu que aplicacions importants com les esmentades a continuació no siguin disponibles a nivell general en la propera dècada.

Algunes de les aplicacions potencials més estimulants són:

**Superfícies estructurades o revestiments amb base nanotecnològica** capaços de millorar material quirúrgic com ara bisturís i agulles, així com la bioactivitat i biocompatibilitat dels implants.

Ja és possible fabricar bisturins d'una precisió extrema i baixa fricció especialment indicats per a cirurgia òptica i neurocirurgia utilitzant nanocapes de diamant polit i plasma acoblades als talls de les fulles metàl·liques.<sup>57</sup>

Actualment molts implants es fabriquen amb components d'acer i plàstic, com titani, que presenten superfícies llises. Tot i que aquests materials no són tòxics, perquè no es degraden i alliberen verins al cos, no sempre són altament biocompatibles. Això implica que els teixits de l'organisme sovint no s'integren del tot bé amb la superfície llisa i es formen una mena de cicatrius al voltant de l'implant, les quals poden afectar negativament la irrigació sanguínia i d'altres processos corporals al voltant del punt de l'implant.

Modificant directament la superfície o aplicant fines capes de materials nanoestructurats per crear superfícies amb porcs i altres trets superficials similars als teixits naturals s'ha demostrat que els teixits del cos s'acaben adherint i cobrint aquestes superfícies, amb la qual cosa fixen l'implant al seu lloc i eviten la formació de teixits cicatritzants.

**Bastides per a la reconstrucció d'ossos i d'altres teixits danyats.** Una aplicació més avançada del fenomen esmentat consisteix a, en lloc de simplement nanoestructurar una superfície, nanoestructurar tot un implant de tal manera que s'encoratgi el teixit a créixer al seu interior, tot proveint una bastida tridimensional per a la regeneració de teixits. Aquest procés ha estat contrastat en l'estimulació de la regeneració d'ossos i en el futur es podria utilitzar per configurar bastides per reparar òrgans, músculs i d'altres teixits danyats.

**Subministrament de fàrmacs.** Els medicaments són un mètode summament potent de tractar malalties, si bé sovint posseeixen greus efectes secundaris no desitjats quan es dispersen per l'organisme. Els metges cerquen actualment maneres d'aplicar els fàrmacs només als òrgans o els punts físics específics on es requereix tractament. D'aquesta manera es podrien reduir significativament les dosis i, per tant, estalviar diners i evitar o reduir els efectes secundaris no desitjats.

Atès que les nanopartícules presenten una grandària semblant a la de les molècules dels fàrmacs i poden viatjar fàcilment per les artèries del cos en el torrent sanguini, els científics exploren nous mètodes de combinar nanopartícules i fàrmacs per assolir un alliberament controlat dels fàrmacs (**targeted delivery**) a la zona que requereix tractament.

Entre aquests mètodes destaquen: adherir molècules de fàrmacs a la superfície de nanopartícules, les quals es guien fins a la ubicació exacta mitjançant forces externes com ara imans; envoltar molècules de fàrmacs en nanocàpsules que s'obrin únicament en arribar al punt exacte d'actuació; tancar molècules de fàrmacs en una nanopartícula que vagi descomponent-se lentament i alliberi el fàrmac de manera continua al llarg d'un temps, o acoblar les molècules de fàrmacs a nanopartícules fixes, de tal manera que es puguin injectar en un lloc concret (com un tumor) i romandre-hi.

**Aparells en miniatura.** Potencialment, la nanotecnologia permetrà també reduir els aparells tant com per implantar-los a l'organisme. Aquests aparells podrien ser des de dispositius diagnòstics per mesurar els indicadors de referència de la salut d'una persona (per exemple, els nivells d'insulina dels diabètics) fins a dispositius de subministrament que alliberin petites quantitats de fàrmac directament al torrent sanguini o un teixit específic quan calgui, aparells bionics per substituir els teixits deteriorats (per exemple, retines per a alguns tipus de cegueres) o fins i tot òrgans artificials com ara cors, ronyons, etc.



## Aplicacions en tecnologia de la informació i la comunicació (TIC)

L'avantatge que presenten els aparells de comunicació i computació més potents i de dimensions més reduïdes és evident. La societat moderna s'ha acostumat a un ritme constant de millores en aquest tipus d'aparells, si bé s'està assolint un límit teòric, que arribarà quan la grandària dels dispositius instal·lats als xips arribi als 4 nm, punt en el qual es comencen a enregistrar nanoeffectes i canvia el comportament dels materials.

Això implica que el límit de les tecnologies actuals s'assolirà d'aquí a una o dues dècades i que només serà possible enregistrar noves millores si els científics aconseguixen dominar les propietats peculiars a la nanoescala i concebre noves tecnologies comercialment viables per substituir la microelectrònica en ús actualment.

A banda de proveir un mecanisme per a la millora continuada de les aplicacions existents en computació, emmagatzemament de dades i comunicacions, la nanotecnologia presenta a més el potencial de crear diversos tipus de productes completament nous.

**Pantalles visuals flexibles o pantalles-quadre** (paint-on). Una de les propietats que sovint canvia de manera dràstica a la nanoescala és la conductivitat. En concret, s'ha demostrat que diversos tipus de polímers (plàstics) esdevenen conductius a escala nanomètrica. Això planteja la possibilitat de produir aparells visuals (com ara pantalles de televisió) amb materials flexibles i fins i tot materials que es puguin pintar sobre una superfície.

**Teixits amb electrònica incorporada.** En la mateixa línia, seria possible entreteixir cables flexibles amb els fils d'un teixit, cosa que permetria connectar roba, benes, llençols i tapisseries amb sensors, fonts d'energia, equipament de comunicacions i ordinadors. Això planteja un vast potencial per a noves aplicacions, des d'embenats capaços de detectar el tipus d'infecció d'una ferida i alliberar el fàrmac indicat fins a roba capaç d'adaptar-se de manera automàtica i esdevenir més càlida o més freda en funció de la temperatura ambient i del nivell d'activitat de la persona, fins a accessoris que canviïn de color en funció de les robes amb què es duen o fins i tot robes amb telèfons mòbils i dispositius informàtics incorporats.

**Bioelectrònica.** La reducció de l'electrònica a l'escala molecular també ofereix possibilitats d'interacció directa entre l'electrònica i els processos biològics. Alguns exemples serien: incloure l'ús dels processos de fotosíntesi per alimentar circuits en miniatura, integrar sensors directament en plantes (com ara arbres fruiters o vinyes) per optimitzar l'aigua i els nutrients o, en una fase més avançada, interconnectar directament l'electrònica amb les neurones del cos a fi de controlar amb el cervell retines i òrgans trasplantats o extremitats artificials.

## LA NANOTECNOLOGIA A LA NATURA: ulls de cristall

Els científics han descobert estrelles de mar de l'espècie *Ophiocoma wendtii*, l'esquelet extern de les quals està recobert de microlents cristallines nanoestructures, de tal manera que el cos sencer d'aquesta estrella es converteix en un ull complex.

És el primer sistema visual de lents d'aquest tipus observat a la natura i que és superior a qualsevol lent manufacturada. L'ull compost permet a l'organisme detectar els predadors i cercar llocs amagats.

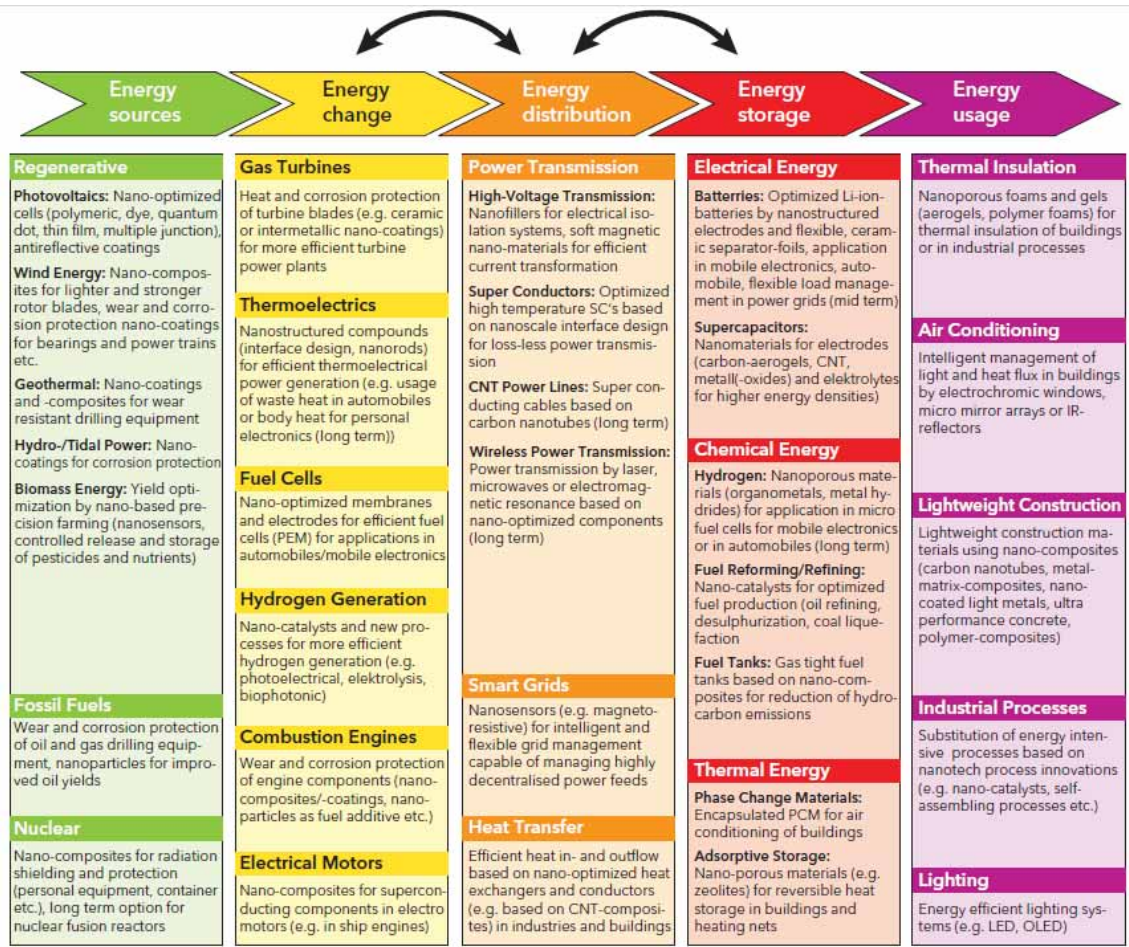
[Font: estrella serp coberta amb "ulls" òpticament avançats, National Geographic, 22 d'agost de 2001; Nanotechnology Innovation for tomorrow's world, European Commission, EUR 21151EN, 2004]

*Asteropora annulata*. [Fotografia reproduïda amb l'autorització del NOAA]



Aplicacions energètiques

Un àmbit transcendent que es preveu que es beneficiï enormement de la nanotecnologia és el de la producció, emmagatzemament i ús de l'energia.<sup>58</sup> L'efecte de la nanotecnologia pot ser doble: a mesura que els aparells es redueixen de mida i esdevenen més eficients energèticament requereixen menys energia i l'energia en si es produeix, emmagatzema i transmet de manera més eficient, la qual cosa resulta en un estalvi considerable tant en termes econòmics com ambientals.



Examples for potential applications of nanotechnology along the value-added chain in the energy sector (source: VDI TZ GmbH)

[Esquema d'aplicació de nanotecnologies al sector energètic, disponible a [http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoEnergy\\_web.pdf](http://www.hessen-nanotech.de/mm/NanoEnergy_web.pdf), i reproduït amb l'autorització de VDI Technologiezentrum GmbH Düsseldorf.]

S'auguren millores en la producció energètica en diferents àrees:

Les **cel·les de combustible** es poden definir com a piles compostes per unes substàncies químiques reactives que generen un intercanvi d'electrons, el qual al seu torn genera un corrent elèctric. L'eficiència de les cel·les de combustible depèn enormement de la superfície catalítica sobre la qual té lloc la reacció i la qual ha de recollir els electrons. La nanoestructuració d'aquestes superfícies amb l'objectiu de controlar millor la velocitat de reacció i capturar més

energia elèctrica presenta el potencial d'augmentar considerablement l'eficiència d'aquestes cel·les de combustible. De particular interès són les cel·les de combustible hidrògenes que s'alimenten d'hidrogen i oxigen per produir aigua i electricitat. Si s'aconsegueix que aquestes cel·les de combustible no contaminants siguin eficients podrien jugar un paper fonamental en la reducció de la dependència dels combustibles fòssils.

Les **piles solars o fotovoltaïques** són pel·lícules de semiconductors que converteixen la llum solar en electricitat. El problema que presenten els materials fotovoltaïcs actuals és que únicament poden convertir determinades longituds d'ona de llum en electricitat, mentre que la resta de la llum es perd en forma de calor o es reflecteix de nou en l'aire. Mitjançant la nanoestructuració de compostos de capes semitransparents ultraprimes de diferents materials, els científics esperen ser capaços de crear materials lleugers molt més eficients a l'hora de convertir llum en electricitat i, com a conseqüència, transformar l'energia solar en una substituta efectiva dels combustibles fòssils.

L'**emmagatzematge d'energia**, en concret de combustibles gasosos com l'hidrogen, és també un dels principals objectius de la recerca en nanotecnologia. El gas hidrogen és summament explosiu, de manera que emmagatzemar-lo als cilindres d'alta pressió tradicionals resultaria perillós si s'ha de difondre més àmpliament el seu ús com a combustible. S'estan desenvolupant tècniques per crear sòlids nanoporosos capaços d'absorbir grans quantitats d'hidrogen (de la mateixa manera que una esponja absorbeix l'aigua), els quals podrien ser emprats per emmagatzemar i transportar l'hidrogen de manera segura amb un mínim risc d'explosió.

S'estan investigant millores d'**eficiència energètica** en un ampli ventall d'àrees, com ara l'obtenció de materials aïllants millors per a edificis; equipament de refrigeració, llums i pantalles de vídeo més eficients, i sensors millorats per controlar els sistemes de calefacció i aire condicionat.



## Aplicacions materials

Els avenços en la ciència dels materials que fan servir nanotecnologia són d'un ampli espectre i es preveu que tinguin repercussions pràcticament a tots els sectors. És més, representen la primera onada d'aplicacions comercialitzades, moltes de les quals es troben ja al mercat.

Les **nanopartícules**, tal com s'ha esmentat prèviament, ja es fan servir a substàncies tan variades com els neumàtics i els cosmètics. La seva incorporació en materials pot modificar considerablement la funcionalitat d'aquests, tot fent-los més forts, més resistent al desgast, conductors d'electricitat, més absorbidors de raigs UV, resistent a la corrosió i fins i tot antimicrobians (com en el cas de les partícules d'argent incrustades a materials per a mitjons i roba interior).

Les **superfícies** es poden nanoestructurar per modificar les seves propietats de diferents maneres, per exemple: fent-les resistent a les ratlladures, més o menys permeables, autonetejants, fotovoltaïques (superfícies que converteixen la llum en electricitat), aïllants, abrasives, llises, durables o toves.

Els **compostos**, que són barreges de materials o diferents capes unides, també es preveu que enregistren millores considerables, sobretot els dissenyats per condicions extremes, com ara entorns aeronàutics, marins o espacials.

També s'albira l'aparició de **noves classes de materials**. D'especial interès són aquells on una capa orgànica de molècules biològicament actives s'adhereix a la superfície de materials inorgànics com vidre, plàstic o metall. Aquests materials es podrien fer servir com a sensors, catalitzadors o fins i tot per a aplicacions quotidianes com ara superfícies de banys antifloridura.

### LA NANOTECNOLOGIA A LA NATURA: Bell i resistent

El nacre és la capa iridescent que revesteix la superfície interna de les conques dels mol·luscs. A banda de ser bonic, aquest material és extremadament resistent i lleuger, i proporciona protecció als mol·luscs contra els seus depredadors.

El component principal del nacre és el mineral aragonita, que per si sol és molt fràgil. Al nacre, en canvi, proteïnes molt elàstiques uneixen milions de cristalls diminuts d'aragonita i formen nanoestructures; d'aquesta manera, el nacre resulta mil vegades més resistent que els cristalls d'aragonita normals.

[Fonts: Julian H. E. Cartwright i Antonio G. Checa, «The dynamics of nacre self-assembly», J R Soc Interface. 22 de juny de 2007; 4(14):491-504; Nanotechnology Innovation for tomorrow's world, Comissió Europea, EUR 21151EN, 2004]

Aquesta imatge de Wikimedia Commons és de l'usuari Chris 73 i està disponible lliurement a <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:NautilusCutawayLogarithmicSpiral.jpg>, i sota llicència Creative Commons cc-by-sa 2.5



comercialitzi material que permeti la producció en sèrie de nanocomponents especialitzats.

És possible que (en el futur llunyà) això desemboqui en la idea expressada en moltes històries de ciència ficció de màquines que poden agafar qualsevol material, com ara sòl o residus, reduir-lo als àtoms que el componen i reconstruir-lo en la forma requerida: aliments, maquinària, etc.

## Aplicacions industrials i de fabricació

La primera conseqüència de la nanotecnologia en les aplicacions industrials i de producció es preveu que sigui la millora en equipaments i processos existents.<sup>59</sup>

- la **miniaturització de sensors** permetrà millors monitorització i control dels processos de producció, a més de la supervisió contínua de la resistència i la corrosió de grans estructures com ponts, edificis i túnels;
- els **filtres, les membranes i els catalitzadors millorats** augmentaran l'eficiència de les reaccions i les separacions químiques;
- les **superfícies nanoestructurades** esdevindran més durables i permetran millors canalitzacions amb menys acumulació de dipòsits no desitjats;
- els **nanomaterials** seran més resistent, lleugers i més o menys abrasius segons calgui, i
- la **nanoprecisió** en maquinària i detecció permetrà crear màquines i processos més precisos.

La segona fase preveu la concepció de mètodes de fabricació radicalment nous. Per exemple, avui dia és possible manipular àtoms als laboratoris, cosa que permet als científics construir objectes a nanoescala al nivell atòmic. Aquest tipus de construcció *bottom-up* és avui summament laboriosa, però a mesura que evolucionin i s'automatitzin les tècniques es preveu que es



## Aplicacions en el camp de l'alimentació

L'alimentació és un altre sector on és probable que s'experimenti un ampli ús d'aplicacions de nanotecnologies. Entre els aspectes clau del subministrament d'aliments figuren la procedència (verificació del lloc d'on provenen els aliments), identificació (verificació que l'etiqueta es correspon amb el contingut del paquet), qualitat (comprovació que l'aliment no es faci malbé a causa de l'activitat microbiana) i seguretat (comprovació que l'aliment no ha estat manipulats).

Tots aquests aspectes es poden beneficiar teòricament de les nanotecnologies. Els nanobiosensors podrien detectar elements de rastreig als aliments i els resultats es podrien fer servir per confirmar-ne la procedència i la identitat. Els envasos amb nanopartícules sensibles podrien canviar de color quan l'aliment comença a malmetre's o si l'embalatge ha patit desperfectes, cosa que alertaria els consumidors d'una possible manipulació.

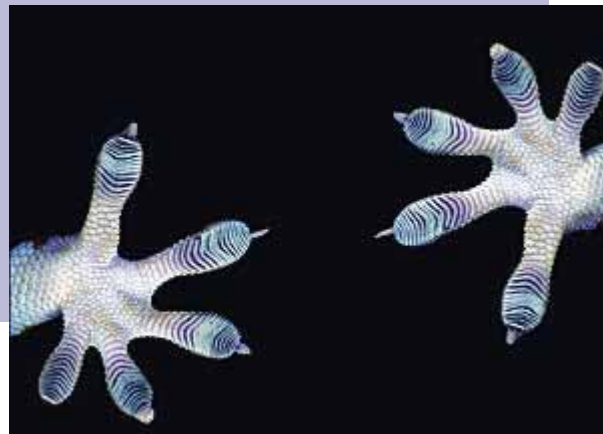
Els subministraments d'aigua es podrien protegir d'una manera similar; la inserció de nanosensors a les aixetes podria alertar de la presència de nivells perillosos de contaminants químics o microbis, i es podrien comercialitzar unitats de comprovació barates i portàtils per verificar l'estat de les aigües en situacions catastròfiques o durant els viatges.

Les nanopartícules també podrien exercir una funció important en els aliments funcionals. De la mateixa manera que es poden emprar per encapsular fàrmacs per al seu subministrament cronometrat o dirigit, també es poden usar per encapsular nutrients o microbis favorables i afegir-se als aliments. D'aquesta manera, els elements funcionals romandrien protegits al passar els àcids de l'estómac i s'alliberarien en arribar al tracte intestinal, on la seva acció és més útil.

### EXEMPLE D'APLICACIÓ: Adhesius basats en els peus dels dragons

Els peus d'un dragó es poden enganxar amb facilitat a gairebé qualsevol superfície. Estan recoberts amb milions de pèls molt fins, cadascun dels quals es ramifica al final en centenars d'estructures en forma d'espàtula. Aquests coixinets adhesius mesuren només uns pocs nanòmetres i es poden adaptar perfectament a qualsevol orifici nanomètric de la superfície de contacte. En aquesta situació actuen forces atòmiques atractives febles que, en multiplicar-se milions de vegades, proporcionen a aquests rèptils, que poden arribar a mesurar fins a 40 cm de longitud, un punt de suport segur. Els investigadors de BASF estan treballant en la simulació d'aquest efecte amb pel·lícules d'estructura nanomètrica per tal de produir cintes adhesives que s'enganxin sense necessitat d'adhesius.

[©Imatge crèdit: Press Photo BASF]



## Aplicacions ambientals

Moltes de les tecnologies descrites anteriorment per als aliments també són aplicables per tractar problemes ambientals.<sup>60</sup> Així doncs, malgrat que algunes nanotecnologies plantegin preocupacions en aquest sentit (com ara els efectes secundaris desconeguts de les nanopartícules, l'alliberament de metalls tòxics en el medi, etc.), d'altres poden resultar enormement beneficioses per a l'entorn.

Els **sensors en miniatura** contribuiran en gran mesura a controlar la contaminació i les condicions ambientals en general. Els avenços en les comunicacions sense fils, l'ús de fonts energètiques naturals i la miniaturització de les bateries permetran alliberar en el futur proper els sensors en l'atmosfera i les lleres, o bé adherir-los a animals migratoris i obtenir-ne dades contínues amb un nivell de detall i cobertura actualment impossible. També es podrien col·locar sensors al voltant d'instal·lacions industrials per supervisar tant els processos de producció, i per tant millorar l'eficiència, com les emissions, i per tant garantir el compliment de la legislació.

Els **filtres i catalitzadors nanoestructurats** proveiran nous mètodes d'eliminació de contaminants de l'aire i l'aigua, no només en entorns industrials, sinó també amb usos comunitaris o individuals. Això pot revestir una importància especial en els països del tercer món, on sovint és difícil subministrar aigua potable. A llarg termini, aquestes tecnologies fins i tot podrien aportar mètodes efectius de tractar els vessaments de petroli, la contaminació amb metalls pesants i el processament dels residus nuclears.

## Aplicacions de seguretat

Es preveu que es potenciïn molts aspectes de la seguretat en aplicacions que aniran des de les comunicacions al bioterrorisme.

S'estan desenvolupant **sistemes de detecció nous** amb una elevada especificitat per proporcionar advertències precoces enfront a substàncies químiques o biològiques, que a llarg termini podrien arribar fins i tot al nivell de simples molècules. Aquests sistemes es podrien utilitzar de manera no intrusiva per detectar drogues, explosius i substàncies químiques i microorganismes perillosos a aeroports, punts d'enllaç de viatges i altres espais públics d'alt risc.

Els **detectors de moviments i les càmeres en miniatura** alimentats amb energia solar o fonts energètiques miniaturitzades abaratiran els sistemes de seguretat públics i privats i en facilitaran la manipulació. Es preveu, però, que aquestes aplicacions plantegin nous interrogants en matèria de dret a la privacitat dels individus, alguns dels quals poden requerir la revisió de la legislació existent.

El **nanoetiquetatge** proveirà una millor protecció de la propietat, tant dels objectes privats de gran valor com dels actius públics com el paper moneda. Combinades amb tecnologies GPS i sense fils miniaturitzades, aquestes etiquetes podrien permetre els objectes emetre sol·licituds d'ajuda i identificar el seu emplaçament en cas de pèrdua o robatori.

S'estan desenvolupant **noves tècniques criptogràfiques** per a la comunicació de dades, inclosos mecanismes radicalment nous que utilitzen alguns dels efectes quàntics exclusius que existeixen a les nanoestructures. Aquestes contribuiran a generar sistemes més fiables i segurs per a les transaccions econòmiques i comunicacions privades.

## Aplicacions militars

Moltes de les aplicacions de la nanotecnologia analitzades sota altres títols es poden adaptar per a ús militar, com ara les fonts energètiques millorades, els materials més resistents, els filtres de toxines, el tractament mèdic de ferides, etc.

A més d'aquestes, però, el finançament de la recerca militar es destina principalment a solucions de nanotecnologia per a:

**armes intel·ligents:** armes robòtiques especialment miniaturitzades i munició intel·ligent d'objectiu predeterminat;

**nanosensors:** per a feines de vigilància i supervisió, i detecció d'explosius amagats i de substàncies químiques i biològiques nocives;

**nanomaterials:** en uniformes i equipament per fer-los més resistents i lleugers i reduir així les càrregues pesants que ara porten els soldats d'infanteria alhora que se'ls proveeix una millor protecció;

**potenciadors del rendiment:** com ara cèl·lules sanguínies artificials o potenciadors de receptors que millorin notablement l'actuació humana i la capacitat d'alerta i escurcin el temps de reacció, i

**interfícies:** entre éssers humans i equipament, com ara implants a l'ull i l'orella per permetre la comunicació visual i auditiva entre soldats i entre soldats i equipament.

### ANNEX 3: Aspectes ètics, legals i socials

Extractes de Nanologue - *Opinions on the Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnologies; Results from a Consultation with Representatives from Research, Business and Civil Society, May 2006* («Nanologue: Opinions sobre els aspectes ètics, socials i legals de les nanotecnologies; resultats d'entrevistes amb representants de la recerca, l'empresa i la societat civil, maig de 2006») un informe que resumeix els estudis anteriors i els resultats d'una sèrie d'entrevistes, individuals i en grup, amb diversos grups diana, amb l'objectiu de presentar una visió general de les preocupacions que la societat té respecte a la nanotecnologia.

Els autors classifiquen els problemes segons els tres possibles efectes:

**Efectes de primer ordre:** Impactes i oportunitats creats directament per les propietats físiques dels components nanotecnològics. Un exemple en seria la toxicitat (potencial) de les nanopartícules.

**Efectes de segon ordre:** Impactes i oportunitats que deriven d'aplicacions que utilitzen components nanotecnològics o solucions basades en nanotecnologia. En serien un exemple fonts d'alimentació més portàtils gràcies a una eficiència de conversió energètica o d'emmagatzematge més elevada per l'ús de nanomaterials.

**Efectes de tercer ordre:** Impactes i oportunitats creats per aplicacions que utilitzen components nanotecnològics o solucions basades en nanotecnologia que no estan associades genuïnament amb la nanotecnologia, sinó més aviat amb la introducció d'una nova aplicació tecnològica en general. Per exemple, la discussió sobre una possible divisió entre la població que té accés a la nanotecnologia i la que no en té no és única per a la nanotecnologia, però és simptomàtica, en general, de les noves tecnologies que fan un ús intensiu de recursos i de coneixements.

A partir de les entrevistes es va trobar que «la discussió dels aspectes ètics, legals i socials que sorgeixen de les aplicacions de la nanotecnologia mostra que només uns pocs problemes constitueixen una preocupació com a resultat immediat dels components nanotecnològics en què es basen. Més habitualment els aspectes ètics, socials i legals s'associen a aplicacions específiques. La recerca duta a terme també posa de manifest que un nombre significatiu de problemes no són nous ni exclusius de la nanotecnologia».

La taula següent proporciona una descripció general dels riscos i els beneficis dels aspectes ètics, socials i legals de la nanotecnologia, tal com els van identificar els participants en les entrevistes.



| <i>Rendiment ambiental</i>                                                                                                                                                                                                                                     | <i>Salut humana</i>                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Privadesa</i>                                                                                   | <i>Accés</i>                                                                                                                                   | <i>Acceptació</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <i>Responsabilitat</i>                                                                                                        | <i>Regulació i conanotechnologyrol</i>                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Efectes de 1r ordre:</b> impactes i oportunitats creats directament per les propietats físiques dels components nanotecnològics                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |
| Eficiència ecològica, energètica i de recursos més elevada,<br>p. ex. fabricació de materials «de baix a dalt» (B)<br>Ecotoxicitat de nanopartícules (R)<br>Tractament de les partícules al final de la vida útil no resolts (R)                               | Toxicitat de nanopartícules (R)<br>Aparició de noves resistències microbianes (R)                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |
| <b>Efectes de 2n ordre:</b> impactes i oportunitats que deriven d'aplicacions que utilitzen components nanotecnològics o solucions basades en nanotecnologia                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |
| Millor rendiment de tecnologies ambientals (B)<br>Solucions tecnològiques per a la protecció climàtica, com una millor conversió i generació d'energia (B)<br>Millors tecnologies de purificació de l'aigua (B)<br>Risc ambiental al final de la vida útil (R) | Millora en els diagnòstics (B)<br>Millor seguretat alimentària (B)<br>Riscs d'avaries o manipulació incorrecta d'aplicacions basades en nanotecnologia, p. ex. interpretació incorrecta dels resultats de proves durant un diagnòstic (R)<br>Riscos laborals en el treball amb nanotecnologia (R) | Disponibilitat de dades mèdiques personals més elevada, com ara resultats de proves genètiques (R) | Subministrament d'energia barat i descentralitzat (B)<br>Accés a millors diagnòstics mèdics (B/R)<br>Tecnologies massa cares per al 3r món (R) | El millor rendiment de tecnologies basades en nanotecnologia, com ara aplicacions mèdiques o energies netes, ajudaran a l'acceptació de la nanotecnologia (B)<br>L'estalvi en l'atenció sanitària gràcies a aplicacions diagnòstiques basades en nanotecnologia en millora l'acceptació (B)<br>Els riscos provocats per la nanotecnologia en aplicacions que no beneficien realment la societat són una amenaça per a la seva acceptació (R) | El règim de responsabilitat actual és suficient per a les aplicacions nanotecnològiques?<br>Les opinions són divergents (R/B) | El marc regulador actual es considera suficient per a un àmbit general (B)<br>Podria caldre l'adaptació regulatòria per a aspectes específics d'aplicacions (R) |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------|
| <b>Efectes de 3r ordre:</b> impactes i oportunitats creats per aplicacions que utilitzen components nanotecnològics o solucions basades en nanotecnologia que no estan associades genuïnament amb la nanotecnologia, sinó més aviat amb la introducció d'una nova aplicació tecnològica en general |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                     |
| Eficiència ecològica més elevada, p. ex. gràcies a estalvis energètics o en matèries primeres (B)<br>Efectes de rebot provoquen una demanda de recursos més elevada (R)                                                                                                                            | Pressió més elevada sobre l'atenció sanitària a causa de la toxicitat (R)<br>Aplicacions cares i amb ús intensiu de coneixements duen a una «fractura sanitària» (R)<br>Canvi en la percepció general del que es pot considerar «saludable» mitjançant millors capacitats de monitoratge (R) |  | Fractura tecnològica dins societats i països i entre ells (R)<br>Accés limitat a solucions basades en nanotecnologia per drets de propietat (R)<br>Transferència dels riscos a països del 3r món a causa de normes i regulacions dobles (R)<br>Concentració més elevada del poder econòmic i empresarial (R) | Percepció pública i acords sobre aplicacions basades en nanotecnologia, inclosos debats sobre aspectes ètics i socials (R/B)<br>Una publicitat excessiva de la nanotecnologia pot comportar una reacció contrària del públic (R) |  | Manca d'un marc legal suficient (R) |
| <b>(B) = Benefici; (R) = Risc</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                     |

## ANNEX 4 : Extractes sobre salut i seguretat de la Comunicació de 2004 de la CE Vers una estratègia europea per a les nanotecnologies

### Apartat 1.3 Com garantir un desenvolupament segur de la nanotecnologia?

D'acord amb el Tracta, les aplicacions de la nanotecnologia hauran de complir uns requisits per respectar un nivell elevat de protecció de la salut pública, la seguretat i la protecció dels consumidors [8]. A l'hora de donar suport aquesta tecnologia d'evolució tan ràpida, és important identificar i resoldre els problemes (reals o percebuts) en matèria de seguretat en una fase com més primerenca millor. Un aprofitament comercial adequat de les nanotecnologies exigeix una base científica sòlida que dissipar els dubtes dels consumidors i de la indústria. A més, caldrà prendre totes les mesures necessàries per a garantir la salut i la seguretat a la feina.

És fonamental enfrontar-se abans i de forma oberta als aspectes de risc com a part integral del desenvolupament d'aquestes tecnologies des de la concepció i l'R+D fins a l'explotació comercial, per tal de garantir un desenvolupament, producció, utilització i eliminació segurs dels productes derivats de les nanotecnologies. Les nanotecnologies també presenten nous reptes des del punt de vista de l'avaluació i gestió dels riscos. Per tant, és important que, en paral·lel amb el desenvolupament tecnològic, es facin les activitats d'R+D necessàries per a obtenir les dades quantitatives necessàries sobre toxicologia i ecotoxicologia (incloses les dades que fan referència tant a l'home com al medi ambient sobre la respostes a dosis i temps d'exposició) per tal de dur a terme l'avaluació del risc i, si calgués, permetre la modificació dels mètodes d'avaluació dels riscos.

[...]

### Apartat 4. Salut pública, seguretat, protecció mediambiental i dels consumidors

De forma més general, la salut pública, la protecció mediambiental i del consumidor exigeixen que qui participi en el desenvolupament de les nanotecnologies, inclosos els investigadors, promotors, productors i distribuïdors, s'enfrontin com més aviat millor als riscos potencials de forma directa i sobre la base de dades i anàlisis científiques fiables i tot recorrent a metodologies adequades. Es tracta d'un veritable repte atès que la predicció de les propietats dels productes basats en nanotecnologies exigeix considerar tant la física clàssica com els efectes de la mecànica quàntica. L'enginyeria de substàncies per mitjà de les nanotecnologies es poden comparar, en gran mesura, amb la creació d'una nova substància química. Per tant, el tractament dels riscos potencials de les nanotecnologies per a la salut pública, el medi ambient i els consumidors exigirà l'avaluació de la possible reutilització de les dades disponibles i la generació de noves dades en matèria de toxicologia i ecotoxicologia específics de la nanotecnologia (incloses les dades sobre respostes a dosis i sobre exposició). També cal examinar i, si fos necessari, modificar els mètodes d'avaluació del risc. En la pràctica, l'avaluació del risc s'integra en totes les fases del cicle de vida dels productes basats en la nanotecnologia.

Acció: protecció de la salut pública, de la seguretat, del medi ambient i dels consumidors

Amb la finalitat d'aconseguir un nivell elevat de protecció de la salut pública, seguretat, protecció mediambiental i dels consumidors, la Comissió destaca la necessitat de:

(a) identificar i abordar les preocupacions en matèria de seguretat (reals o percebudes) com és aviat millor;

(b) reforçar el suport a la integració de la salut pública, medi ambient, riscos i altres temes relacionats en les activitats d'R+D, al costat d'estudis específics;

(c) donar suport a la generació de dades sobre toxicologia i ecotoxicologia (incloses les dades sobre la relació entre dosi i resposta) i avaluar l'exposició potencial humana i mediambiental.

La Comissió convida els Estats membres a afavorir:

(d) l'ajustament, en cas necessari, dels procediments d'avaluació del risc amb l'objectiu de tenir en compte les especificitats associades a les aplicacions de la nanotecnologia;

(e) la integració de l'avaluació del risc per a la salut, el medi ambient, els consumidors i els treballadors en totes les fases del cicle de vida de la tecnologia (disseny, R+D, fabricació, distribució, utilització i eliminació).

## ANNEX 5: Legislació de seguretat de la UE aplicada a la nanotecnologia

La Comissió Europea, a la seva comunicació de juny de 2008 **ASPECTES REGULATORIS SOBRE NANOMATERIALS**, ha identificat que el marc legislatiu existent, agrupat en quatre categories (**substàncies químiques, protecció laboral, productes i protecció ambiental**) hauria de ser suficient per a regular la seguretat de nous nanomaterials si se'n modifiquen adequadament diversos aspectes, de manera que puguin ocupar-se de la nanotecnologia.

Això no obstant, la comunicació remarca que la nanotecnologia no està definida expressament en la majoria de la legislació identificada i que, per tant, és tasca de les autoritats rellevants prendre les accions necessàries per actualitzar els registres i exigir informació addicional dels fabricants que utilitzen nanotecnologies, de manera que puguin classificar adequadament els seus productes.

### Substàncies químiques

Les substàncies químiques estan regulades a la UE mitjançant el REACH, una nova regulació de la CE sobre substàncies químiques i el seu ús (CE 1907/2006), que entrà en vigor l'1 de juny de 2007.

REACH es basa en el principi que els fabricants, els importadors i els usuaris finals han de garantir que fabriquen, distribueixen o utilitzen substàncies que no afectin negativament la salut humana o el medi ambient. Les seves disposicions es basen en el principi de precaució.

Els fabricants i els importadors han de recollir informació sobre les propietats de les seves substàncies químiques i, d'aquesta manera, facilitar-ne una manipulació segura. També han de registrar la informació en una base de dades central gestionada per l'Agència Europea de Substàncies i Preparats Químics (ECHA, European Chemicals Agency) a Hèlsinki. La informació de la base de dades és de lliure accés per a consumidors i professionals.

D'acord amb el REACH, els fabricants i els importadors han de presentar un informe de registre de les substàncies que fabriquen o que importen quan la seva quantitat és igual o superior a 1 tona per any. Per sobre de 10 tones per any el registrador està obligat a elaborar un informe de seguretat química. A més, si es considera necessari per a l'avaluació de la substància, l'Agència Europea de Substàncies i Preparats Químics pot exigir tota mena d'informació sobre la substància, independentment dels requisits mínims d'informació establerts pel REACH.

Quan una substància química, ja comercialitzada a dojo, s'introdueix en el mercat en forma de nanomaterial (nanoforma), caldrà actualitzar l'informe de registre per a incloure-hi les propietats específiques de la nanoforma de la substància considerada. La informació addicional, incloent-hi la classificació i l'etiquetatge diferents de la nanoforma i les mesures addicionals de gestió de riscos, s'haurà d'incloure a l'informe de registre. Les mesures de gestió de riscos i les condicions operatives s'hauran de comunicar a la cadena de subministrament.

Per a tractar les propietats, els perills i els riscos específics associats als nanomaterials, es podrà

exigir informació o proves addicionals.

Per a substàncies especialment preocupants caldrà una autorització per al seu ús i comercialització.

### Protecció laboral

La Directiva marc 89/391/CEE estableix determinades obligacions que han de complir els empresaris pel que fa a les mesures necessàries per a garantir la salut i la seguretat dels treballadors. La directiva s'aplica a totes les substàncies i activitats laborals, incloent-hi la fabricació i l'ús de productes químics en tots els àmbits del procés de producció, independentment del nombre de treballadors implicats i de la quantitat de material fabricat o de les tecnologies utilitzades.

Aquesta directiva s'aplica plenament en el cas de nanomaterials. Així, els empresaris han de dur a terme una valoració de riscos i, quan se n'identifica un, prendre les mesures necessàries per a eliminar-lo.

La Directiva preveu la possibilitat d'adoptar directives individuals que estableixin disposicions més específiques pel que fa a aspectes particulars de seguretat i de salut. Atès que aquestes directives estableixen requeriments mínims, les autoritats estatals poden introduir normes més estrictes.

### Productes

La legislació sobre productes estableix requeriments sobre productes específics, com ara productes medicinals, productes fitosanitaris (PPP, plant protection product), cosmètics, additius alimentaris i per a pinsos, etc. Els productes de consum que no estan sotmesos a legislació específica han de complir els requeriments de la Directiva de seguretat general de productes.

Quan els productes estan sotmesos a un control o notificació previs a la comercialització, com ara productes medicinals, aliments nous o productes fitosanitaris, les autoritats poden verificar l'avaluació i la gestió de riscos pel que fa als nanomaterials abans que es comercialitzin.

Quan els productes es comercialitzen sense cap procediment previ específic (p. ex. cosmètics, productes de consum sotmesos a la Directiva de seguretat general o diversos productes regulats pel Nou Enfocament), el compliment dels requisits legals s'ha de verificar en l'àmbit de la vigilància del mercat.

Per a augmentar el grau de protecció, s'ha proposat un canvi regulador pel que fa als productes cosmètics comercialitzats sense control previ. S'aclariran els requeriments de l'avaluació de riscos; a més, els fabricants estaran obligats a indicar si els seus productes contenen nanomaterials quan en notifiquin la comercialització, així com a establir mecanismes per a seguir els efectes sobre la salut dels productes cosmètics comercialitzats.



**Protecció ambiental**

La regulació ambiental rellevant en aquest context es relaciona especialment amb la prevenció i control integrats de la contaminació (IPPC), amb el control de perills en accidents greus que impliquin substàncies perilloses (Directiva Seveso II), amb la directiva marc sobre l'aigua i amb diverses directives sobre residus.

La Directiva IPPC s'ocupa d'unes 52.000 instal·lacions industrials arreu de la UE i exigeix a les instal·lacions implicades que funcionin d'acord amb el sistema de permisos, incloent-hi els valors límits d'emissió i basant-se en l'aplicació de les millors tècniques disponibles (MTD). En principi, la Directiva IPPC es pot utilitzar per a controlar l'impacte ambiental dels nanomaterials i els problemes dels nanomaterials en instal·lacions IPPC, mitjançant la inclusió d'aquesta mena de consideracions en els documents de referència d'MTD (BREF) de la Comissió, si es considera necessari.

La Directiva Seveso II s'aplica a les instal·lacions en què són presents substàncies perilloses especificades en una quantitat superior a un cert llindar. Imposa als operadors l'obligació de prendre totes les mesures necessàries per a evitar accidents greus i a limitar-ne les conseqüències per als éssers humans i l'entorn. Si es troba que determinats nanomaterials representen un perill d'accident greu es poden categoritzar, juntament amb els llindars adequats, en el context de la Directiva.

La Directiva marc sobre l'aigua (2000/60/CE) estableix principis comuns i un marc global d'acció per a millorar l'entorn aquàtic, reduir-ne progressivament la contaminació de les substàncies prioritàries i eliminar progressivament les emissions, els vessaments i les pèrdues de substàncies perilloses prioritàries a l'aigua. El 2001 s'elaborà una llista de 33 substàncies prioritàries. Els nanomaterials es podrien incloure en les substàncies prioritàries en funció de la seva perillositat.

La Directiva 2006/12/CE sobre residus estableix el marc general i imposa als Estats membres l'obligació de garantir que el tractament de residus no afecta negativament la salut humana ni el medi ambient. Els residus que contenen nanomaterials es poden classificar com a perillosos si el nanomaterial presenta propietats rellevants que fan que el residu esdevingui perillós.

S'ha adoptat legislació específica per a tractar fluxos particulars de residus o processos específics de tractament de residus, com la incineració o els abocadors. La legislació actual de la UE estableix requeriments generals per a la protecció de la salut humana i del medi ambient durant la gestió de residus. També inclou requeriments per a la gestió de residus específics que poden contenir nanomaterials, tot i que no considera explícitament els riscos dels nanomaterials. Si es determina la necessitat de disposicions més específiques, es poden proposar o dur a terme les accions adequades dins del marc legislatiu actual. De forma semblant, els Estats membres poden emprendre accions per a implementar disposicions actuals dins del marc de les polítiques estatals.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

1 Comunicació de la Comissió de la UE (2004). «Hacia una estrategia europea de la nanotecnología», COM(2004)338

2 Projecte NANOCAp (novembre de 2007): «Nanotechnology: A Brief Introduction»

3 Wikipedia: «General Purpose Technology»

4 Inventari de productes de consum nanotecnològics: [www.nanotechproject.org/inventories/consumer/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/) (accés el 13 de setembre de 2008)

5 Consell de la Ciència i la Tecnologia del Regne Unit (març de 2007): «Nanosciences and Nanotechnologies: A Review of Government's Progress on its Policy Commitments»

6 Fundación de la Innovación Bankinter (2006): «Nanotecnología: la revolución industrial del siglo xxi».

7 Eucomed (octubre de 2006): «Booklet: Innovations in Medical Technology - Nanotechnology»

8 Hullmann, A. (novembre de 2006): «The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis» (informe de la Comissió Europea)

9 Agència de Protecció Ambiental dels EUA (febrer de 2007): «Nanotechnology White Paper»

10 Conferència Sindical Europea (juny de 2008): Resolució sobre nanotechnologies i nanomaterials

11 Fullet de la Comissió Europea: «EU nanotechnology research: Responding to societal needs»

12 Consell d'Assessors en Ciència i Tecnologia del president dels EUA (maig de 2005): «The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel»

13 NanoSpain, xarxa de nanotecnologia espanyola: [www.nanospain.org](http://www.nanospain.org)

14 [negocios.com](http://negocios.com) (11 de setembre de 2008): «Nanotecnología: España no sabe, no contesta»

15 Lux Research (2008): «The Nanotech Report 5th Edition»

16 Pla estratègic nacional de nanotecnologia dels EUA (2007)

17 Comunicació de la Comissió de la UE (2007): Nanociències i nanotechnologies: pla d'acció per a Europa 2005-2009. Primer informe d'implementació 2005-2007, COM(2007) 505

18 Tolfree, D (2006). Commercialising Nanotechnology concepts–products–markets, Int. J. Nanomanufacturing, vol. 1, n. 1, 2006

19 Comissió Europea (28 de gener de 2008): informe sobre R+D en nanotecnologia a la UE en matèria de l'impacte de les nanopartícules a la salut i el medi ambient («EU nanotechnology R&D in the field of health and environmental impact of nanoparticles»)

20 NanoForum: portal sobre nanotecnologia de la UE, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

21 Geo Yearbook (2007): «Emerging Challenges – Nanotechnology & the Environment»

22 SwissRe (2004): «Nanotechnology, Small Matter, Many Unknowns»

23 Comissió Europea (2004): Nanotecnologia: innovació per al món de demà («Nanotechnology - Innovation for tomorrow's world»)

24 Wikipedia: Nanoelectrónica

25 Wikipedia: Nanorobotics

26 Pàgina d'inici de la recerca en nanotecnologia de la Comissió Europea: [ec.europa.eu/research/leaflets/nanotechnology](http://ec.europa.eu/research/leaflets/nanotechnology)

27 Pàgina d'inici de nanotecnologia de CORDIS de la Comissió Europea: [cordis.europa.eu/nanotechnology/](http://cordis.europa.eu/nanotechnology/)

28 Institut Federal Alemany per a la Salut i la Seguretat a la Feina (BAuA) (agost de 2006): «Nanotecnologia: riesgos de les nanopartícules per a la salut i el medi ambient»

29 3r Taller Conjunt CE-NSF sobre nanotecnologia (febrer de 2002): «Oportunitats revolucionàries i implicacions socials de la nanotecnologia» («Nanotechnology Revolutionary Opportunities & Societal Implications»)

30 Projecte Nanologue (maig de 2006): «Opinions on the Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnologies - Results from a Consultation with Representatives from Research, Business and Civil Society»

31 Weiss, R. (2008). «Effects of Nanotubes May Lead to Cancer, Study Says». *Washington Post*

32 Conferència Sindical Europea (juny de 2008): Resolució sobre nanotechnologies i nanomaterials

33 Swarup, A (2007). «How Will Nanotech Fare in Europe?». *Science Careers*, 21 de setembre de 2007

34 Ministeri Federal d'Educació i Recerca alemany (BMBF) (2004): «La nanotecnologia conquereix els mercats. Iniciativa alemanya per a la innovació en nanotecnologia»

35 Kowalke, M (2007). «Nanotechnology Update: U.S., Europe, Japan Lead the Way; China Moving Up», *TMCnet*, 14 de març de 2007

36 Comissió Europea (març de 2008). «Tercer debat internacional sobre el desenvolupament sostenible de la nanotecnologia» («Third International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology»)

37 3r Taller Conjunt CE-NSF sobre nanotecnologia (febrer de 2002): «Oportunitats revolucionàries i implicacions socials de la nanotecnologia» («Nanotechnology Revolutionary Opportunities & Societal Implications»)

38 Comissió Europea (juny de 2008): «Regulatory Aspects of Nanomaterials COM[2008]», 366

39 NanoForum.org (2008): «Commission starts public dialogue on nanotechnologies – tapping economic and environmental potential through safe products», 18 de juny de 2008

40 FEI Company (2004). «All you wanted to know about Electron Microscopy»

41 Comissió Europea (juny de 2005): «Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009»

42 Informe de NanoForum (febrer de 2007): «Recommendations for Business Incubators, Networks and Technology Transfer from Nanoscience to Business Summary of Nano2Business Workshop Warsaw», 7-8 febrer de 2007

43 Fundación Phantoms: «Nanociencia y nanotecnología en España, 2008»

44 Red Española de Nanotecnología (2003): «Informe sobre la situación de la nanociencia y de la nanotecnología en España y propuesta de acción estratégica dentro del Plan Nacional de I+D+i (2004-2007)»

45 Fundación Phantoms y NanoSpain (desembre de 2004): «Estudios de las actividades y necesidades en el área de las nanociencias/nanotecnologías»

46 Pérez, M. (2006): «La nanotecnología en el mundo de la empresa», presentació de la Fundació Phantoms

47 Ministeri d'Educació Superior i Recerca francès, pàgina d'inici de Nanomicro ([www.nanomicro.recherche.gouv.fr](http://www.nanomicro.recherche.gouv.fr)): clústers competitiu

48 Presència (2006). «Nanotecnología – La Mida Importa», 28 de juliol - 3 d'agost de 2006

49 Generalitat de Catalunya (maig de 2005). «Pla de recerca i innovació de Catalunya (2005-2008)»

50 CIDEM (abril de 2008). «Introducció a les nanotechnologies i les nanociències»

51 Lux Research (maig de 2008). «Nanotech Venture Capital is Out of Sync with Returns»

52 NanoForum (octubre de 2006): «NanoForum Report: Nanotechnology in Consumer Products»

53 Associació Internacional de Nanotecnologia (2006). «Special Advertising Feature: The Nano Age»

54 Project on Emerging Nanotechnologies, [www.nanotechproject.org](http://www.nanotechproject.org)

55 National Cancer Institute (gener de 2004). «Cancer Nanotechnology - Going Small for Big Advances; Using Nanotechnology to Advance Cancer Diagnosis, Prevention and Treatment»

56 Kessel, M & Frank, F (agost de 2007). «A better prescription for drug-development financing». *Nature Biotechnology*, vol 25, n.8, agost de 2007

57 «Innovations in Medical Technology – Nanotechnology», Eucomed, octubre de 2006

58 Ministeri d'Economia, Transport i Desenvolupament Urbà i Regional d'Hessen (agost de 2008): «Application of Nanotechnologies in Energy Sector»

59 NanoForum (febrer de 2007): «9th NanoForum Report: Nanotechnology in Aerospace»

60 Projecte NANOCAp (novembre de 2007): «Applications of Nanotechnology: environment»