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

FUNDACIÓ CATALANA PER A LA RECERCA I LA INNOVACIÓ

Autor: *Fundació Catalana per a la Recerca i la Innovació (FCRI)*
Any: *2009*
Títol: *Nanotecnologia: què és i com ens afectarà? (Informe científic per a la presa de decisions, 2)*

PUBLICACIONS

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: Hija de J. Prats Bernadas
Dipòsit legal: B-32553-2009

© 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 Parlamentary 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 espaial.

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 dóna 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 meva 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 AlON 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

CONTINGUT

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.[1] Aquests canvis inclouen el color, la conductivitat, la reactivitat i la resistència,[2] 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.[3] 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.[4] 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.[5]

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;[6] 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[7] 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:[8]

- ***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[9]. 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[10] entre l'opinió pública.

Es preveu que l'impacte en la societat sigui profund[11] 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.[8] 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[12] 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.[13]

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.[14]

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.[15,16,17] 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 lliurament a 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,[18] 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,[4] incloent-hi articles quotidians com ara dentifricis, 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 proclamin públicament estar desenvolupant productes amb nanotecnologia convida a preveure que la quantitat i la complexitat de les nanotecnologies faci explosió aviat i s'anticipa[8,15] 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.[19] 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.[20] 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.[21]

El terme «nano» procedeix del terme grec per a «nan»[2] 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[22] 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:[23]

- *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**,[24] 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 (por 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 nanoefectes, 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**[25] 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.

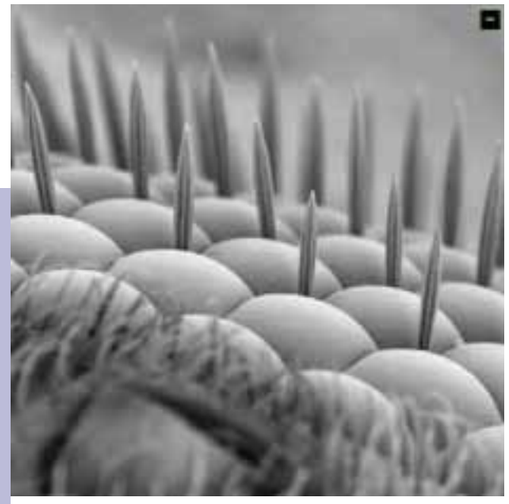
Una altra forma de microscopi, el microscopi de sonda de rastreig, va ser desenvolupat el 1981 per Gerd Binnig i Heinrich Rohrer (treball pel qual també compartiren el Premi Nobel de Física de 1986). El microscopi de sonda de rastreig utilitza una punta sensible que interacciona directament amb la superfície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

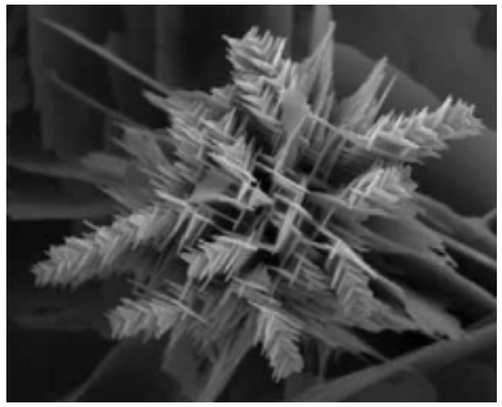
Aquestes eines permeten als científics ampliar les fronteres dels descobriments i de l'exploració i faciliten els avenços en farmacologia, biotecnologia, policia científica, patologia, ciència de materials, fabricació de semiconductors i emmagatzematge de dades.

[Fotografies disponibles a http://www.fei.com/Resources/image_gallery.aspx; http://www.fei.com/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[3] 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.

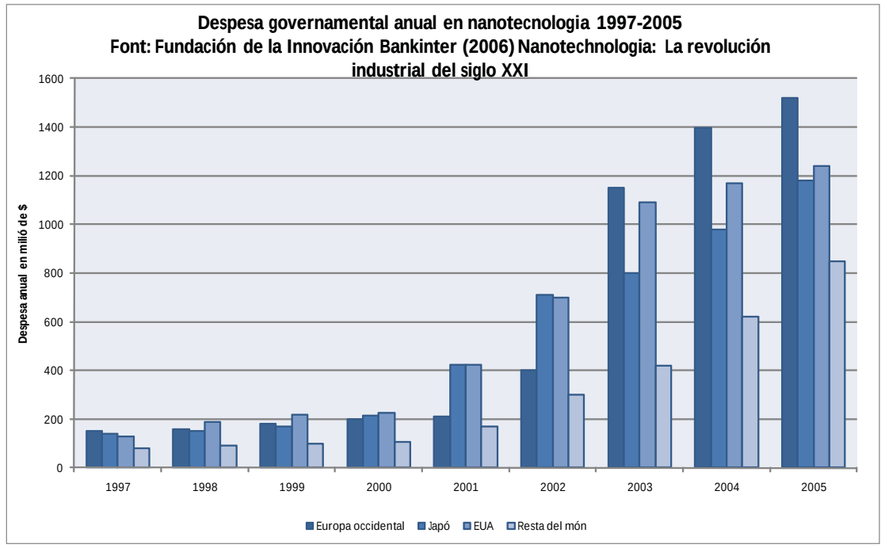
[Font: Nanotechnology in Consumer Products, Nanoforum Report, European Commission, 2006; i Nanosciences and Nanotechnologies: A Review of Government's Progress on its Policy Commitments, UK Council for Science & Technology, March 2007]

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.[26,27]

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

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'abrasió, 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:[4]

- ***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:[6]

- ***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.

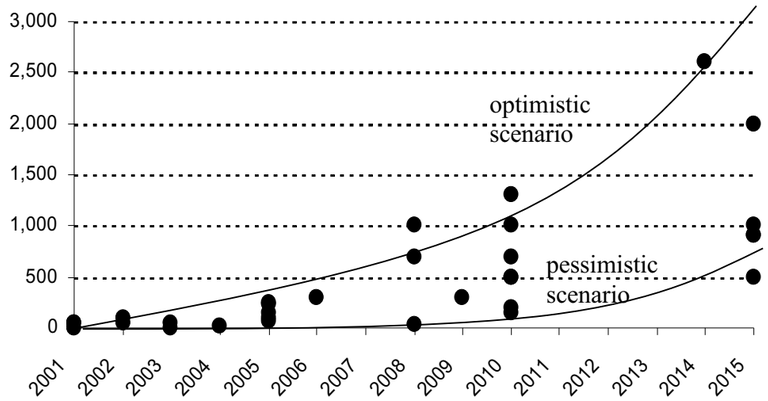
Serendipitat:

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[8] 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»a: 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[28] 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'importants problemàtiques socials, econòmiques, laborals, educatives, ètiques i legals.[29]

Els estudis duts a terme han demostrat[30] 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 dóna 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 virolats 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[31] demostren 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.

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[37] 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».*

[© Imatge crèdit: Press Photo BASF

Creació de llocs de treball, educació i formació

En matèria d'ocupació, s'afirma[32] 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 capacitació 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.

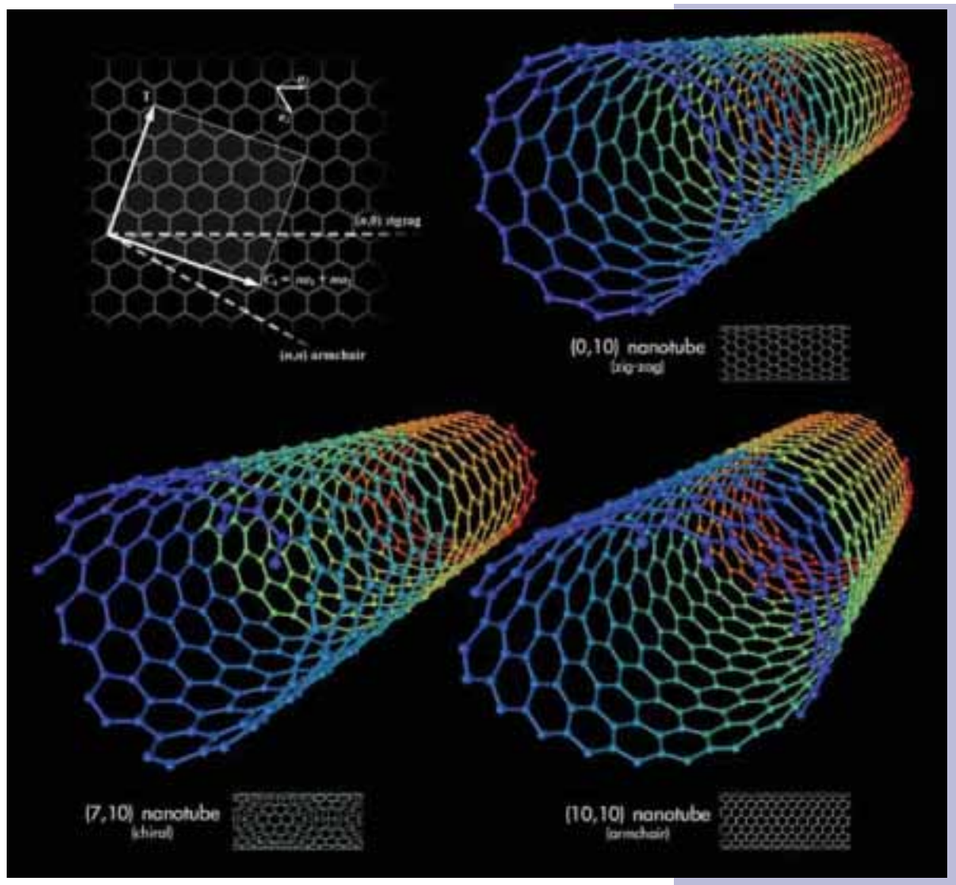
De la mateixa manera que l'electricitat alimenta altres processos, s'espera que les nanotecnologies també millorin els processos i les activitats existents, i en possibilitin la concepció de molts altres.

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.[33]

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[16] 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[1] 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://commonswikimedia.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 resistents i rígids que existeixen, i ja s'han utilitzat per fabricar compòsits més resistents i lleugers per a usos aeronàutics 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 rodolament 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 inflamatòries 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 postunivesitari, 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.»

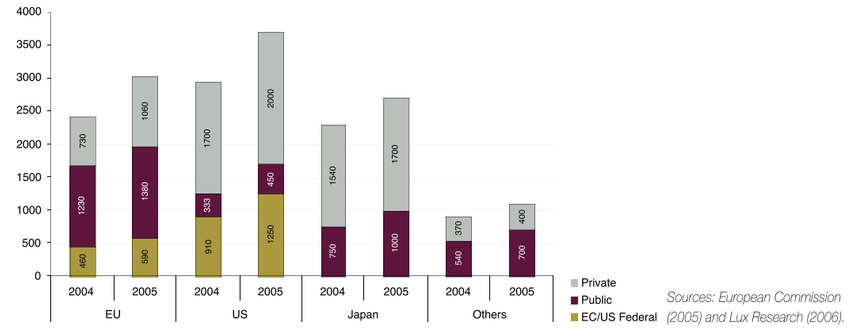
La Iniciativa per a la innovació en nanotecnologia alemanya[34] inclou com a un dels seus objectius primordials: *«Promoure les qualificacions joves i en desenvolupament […] Per al progrés econòmic d'una regió i, per tant, per a l'aparició d'una indústria basada en la nanotecnologia a Alemanya no cal 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[21] 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[35], 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 responent 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

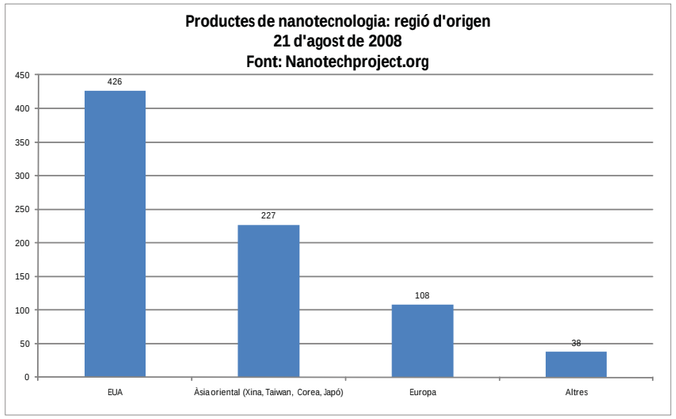
importants són França i el Regne Unit (cadascun dels quals representa un 8% d'instituts actius), seguits pels estats membres occidentals centrals i nòrdics.

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'explotació 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.[35] La major part d'aquestes comparteixen un plantejament similar,[37] 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).***[38]

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 concloïa 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***[32] 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'Estats 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, Estats 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 assenyala 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[39] 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 demostressin 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.