

6 Nanotecnologia

Els **materials nous** permeten fabricar d'una altra manera les coses que ja tenim, però van molt més enllà: estan obrint les portes d'objectes i de processos de producció innovadors, més especialitzats, relativament més respectuosos amb el medi ambient i, sobretot, molt més pràctics.

6.1. Nanociència

Lògicament, com passa a escala macroscòpica, la nanotecnologia està basada en el desenvolupament científic al voltant de materials. L'estudi de tots els aspectes científics a mida nanomètrica s'anomena **nanociència**.

En la mesura que s'ha anat ampliant la nostra capacitat de visió hem anat descobrint que el món en el qual ens desenvolupem és més ric i complex del que pensàvem. Sabiem que les reaccions químiques es produïen per les combinacions entre els àtoms, intuïem com es comportaven, però no érem capaços de veure-les. Ara, gràcies als nous microscopis d'efecte túnel, podem «veure» els àtoms i podem «agafar-los» per fabricar substàncies i peces de màquines d'escala atòmica, més petites que les mateixes cèl·lules. Quan parlem de fabricar màquines d'escala atòmica diem exactament això, màquines amb una mida que no supera la d'uns quants àtoms, que són invisibles per a l'ull humà.

“ Fa uns 10.000 anys, els humans van començar a domesticar plantes i animals.

Ha arribat l'hora de domesticar les molècules. ”

SUSAN LINDQUIST, MIT (EUA).

PER SABER-NE +

De quines mides estem parlant?

«Nano» és un prefix que prové del grec i significa 'nan'.

En el sistema mètric equival a una mil milionèsima part d'un metre (0,000 000 001 m). A aquesta escala, els àtoms són les «totxanes» de construcció i les màquines són més petites que un virus.

Un exemple: el gruix del full de paper en el qual llegeixes això és d'uns 100.000 nm.

TECNOLOGIA CLAU

Microscopi d'efecte túnel

Gerd Binnig (n. 1947) i **Heinrich Rohrer** (n. 1933) van dissenyar el primer **microscopi d'escombratge d'efecte túnel** als laboratoris d'IBM a Zuric (Suïssa). El 1986 van guanyar el premi Nobel de física per aquest invent.

Aquest instrument no ofereix una imatge directa de l'objecte, sinó que es basa en el fet que es pot estudiar l'estructura d'una superfície mitjançant una agulla que la recorre a una distància fixa. L'ajust vertical respecte de la superfície per escanejar es controla amb el que s'anomena **efecte túnel**.

Una diferència de potencial elèctric entre la punta de l'agulla i la superfície provoca una transmissió de corrent, tot i que les superfícies no estiguin en contacte. La potència del corrent està directament relacionada amb la distància, i això fa possible mantenir una distància constant d'uns 10^{-9} cm, aproximadament la mida de dos àtoms.

L'extrem de l'agulla està format per un únic àtom. Això permet que es detectin fins i tot els detalls més petits de la superfície escanejada. Es pot dir que el microscopi fa un escombratge de la superfície àtom a àtom.

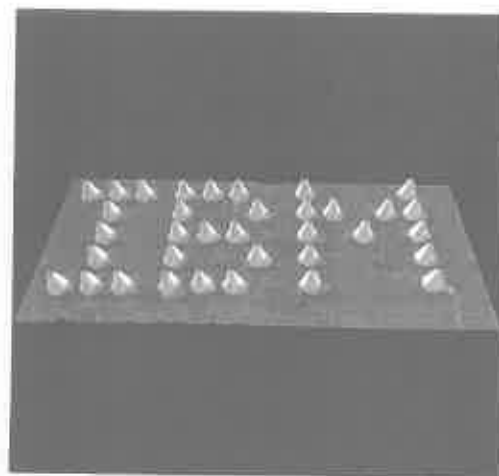


Figura 7.23. Imatge en què es poden veure els àtoms manipulats un a un amb un microscopi d'efecte túnel.

1980



S'utilitzen materials basats en les terres rares de la taula periòdica. Permetran la construcció de **superimants** de bor-neodimi, tubs fluorescents o làsers.

1980



Desenvolupament dels **superconductors**, basat en la fabricació de materials ceràmics nous.

1982



Primer implant d'un **cor artificial** en un ésser humà, fabricat de silicó i làtex.



Figura 7.24. Catalunya ha participat en el desenvolupament tecnològic i informàtic de l'Airbus A380.

6.2. Nanocompostos de carboni

Amb una estructura atòmica petita (sis protons, sis neutrons), el carboni és l'element més important de la nostra existència, ja que està present en la majoria dels compostos que formen els éssers vius. És un element molt abundant en la natura i hem après a elaborar-ne un bon nombre d'objectes d'ús quotidià. Alguns d'enormes, com els avions Airbus, i altres increïblement petits, com els nanotubs.

Quan diversos àtoms de carboni s'uneixen, es formen xarxes cristal·lines, amb unes propietats que varien segons la forma cristal·lina en què es trobin, és a dir, segons com estiguin enllaçats els àtoms. Per exemple, el tipus d'enllaç en el grafit és diferent del del diamant, prou tou per fer-lo servir en la mina dels llapis o com a lubricant, mentre que el diamant és la substància natural més dura que es coneix.

La indústria dels compostos de carboni abasta des de l'esport fins a la medicina, passant per la construcció de ponts i avions; per exemple, l'Airbus A380, que és l'avió de passatgers més gran [Figura 7.24]. Una part important de l'èxit tecnològic d'aquest avió és gràcies a l'ús de materials compostos de fibra de carboni, que són força més lleugers que l'alumini i, a l'hora, més resistents que el titani, per la qual cosa resulten més adequats per als enormes esforços que han de suportar les ales d'aquests avions gegants.

DESCOBRIMENT CLAU



Com es fabrica la fibra de carboni?

La fibra de carboni és un fil llarg i molt prim (uns 0,005 mm de diàmetre) compost fonamentalment d'àtoms de carboni. Els àtoms s'enganxen entre si quan es formen cristalls microscòpics que se situen els uns sobre els altres paral·lels a l'eix de la fibra. Aquesta alineació de cristalls fa que la fibra tingui una resistència inversemblant per la mida que té. Diverses fibres de carboni enrotllades s'entrellacen per formar un teixit, com es fa amb les teles. Després aquesta tela es combina amb resines que fan de goma i es modela per aconseguir la forma que es vol. Els materials de carboni reforçats amb altres materials, com ara metalls o altres compostos, es fan servir ja habitualment com a parts d'avions, bicicletes, canyes de pescar, pals de vaixells [Figura 7.25], els habitacles dels cotxes de carreres, etc.

El procediment es va desenvolupar en la dècada dels anys cinquanta del segle XX a partir de tires de raïó que s'escalfaven fins que es carbonitzaven. El resultat era una substància amb el 20% amb prou feines de carboni i molt trencadissa. En l'actualitat es fabrica a partir de quitrans derivats del petroli.



Figura 7.25. La fibra de carboni arriba a ser cinc vegades més resistent que l'acer.

1982

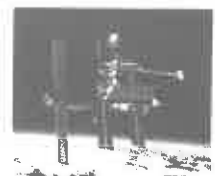


Sony CDP-10, el primer **reproductor de disc compacte** (*compact disc player*) comercial, surt al carrer. Representa el principi de la desaparició dels discos de vinil i de les cintes de casset.

1983

El primer telèfon mòbil, autènticament mòbil, de la història, el Motorola Dyna TAC 8000X.

1986



S'inicia la construcció de l'estació espacial **MIR**, que durant deu anys mantindrà permanentment astronautes a l'espai.

6.3. Aplicacions nanoscòpiques, el futur immediat: ful·lerens

El **ful·lerè** (en anglès, *fullerene*) [Figura 7.26] és una molècula formada per seixanta àtoms de carboni, C_{60} . Té una estructura molt particular, ja que pot adoptar una forma esfèrica, una estructura força similar a la d'una pilota de futbol. Això pot semblar només una curiositat, però obre moltes possibilitats en camps com la biologia i la medicina. Una *buckyball*, com també s'anomena, pot contenir la dosi d'un medicament concret, i l'estructura permet que la bola es trenqui si entra en contacte amb determinades substàncies presents al voltant de cèl·lules infectades i alliberar el medicament que hi ha a l'interior.

Però hi ha molt més: la forma de pilota és tan sols una de les possibilitats. Es pot fer que agafi la forma d'un tub, un **nanotub**, cosa que té moltíssimes aplicacions [Figura 7.27]. Els nanotubs poden tenir un diàmetre de ben pocs nanòmetres i una longitud de centenars de milers de nanòmetres, fet que permet fabricar tubs petits amb una longitud de fins a 18 mil·límetres (de moment). Això els converteix en unes estructures espectacularment llargues (amb relació al diàmetre) i poderoses, sense precedents en la història de la tecnologia.

Si el nanotub té, a més del carboni, altres elements com ara el bor, es pot aconseguir que es converteixi en un conductor. En aquest cas, parlariem de **nanocables** o, en un semiconductor, parlariem de **nanointerruptors**.

Això obre unes possibilitats per a l'electrònica que ara mateix ja estan revolucionant la nostra vida quotidiana. A més, els nanotubs de carboni tenen l'enorme avantatge de conduir electrons de manera gairebé instantània d'un extrem a un altre sense que hi hagi pèrdues d'energia, com passa en els cables de coure convencionals. Aquesta tecnologia ja es fa servir, per exemple, en les pantalles dels telèfons mòbils.

PER SABER-NE +

L'estructura d'una *buckyball* (C_{60})

1 nanòmetro

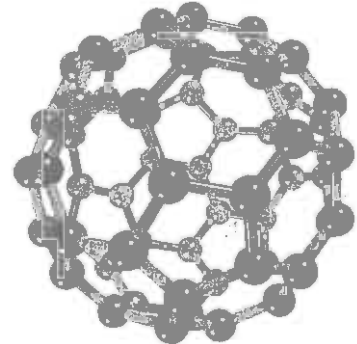


Figura 7.26. Ful·lerè.

L'any 1996, **Robert F. Curl** (n. 1933), **Harold W. Kroto** (n. 1939) i **Richard E. Smalley** (n. 1943) van obtenir el premi Nobel de química per la invenció de la molècula C_{60} . El ful·lerè és un autèntic nanobaló.

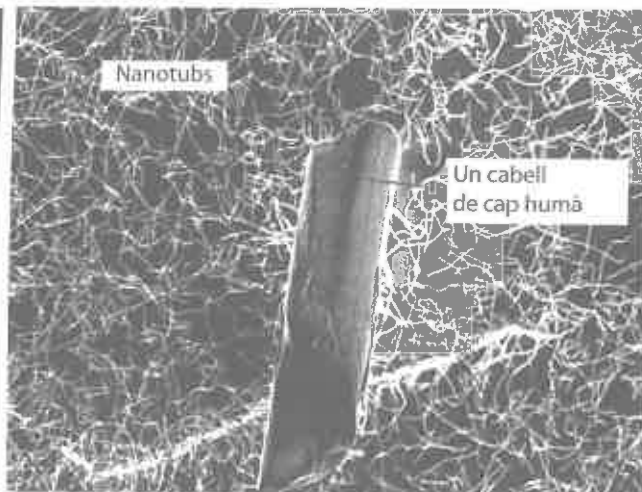
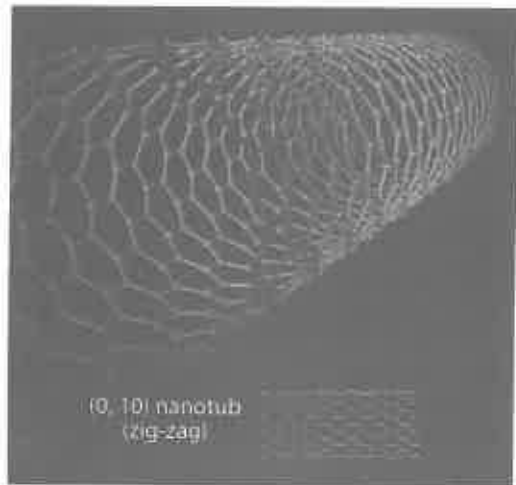


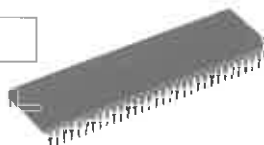
Figura 7.27. Els nanotubs de carboni són les fibres més resistents que es coneixen. Un únic nanotub és de deu a cent vegades més resistent que un d'equivalent en acer, i és moltíssim més lleuger i barat.

1986



Es desenvolupa la **pell artificial**, un material fabricat a partir de cèl·lules de pell humana intercalades en estructures de polímers.

1989



IBM crea microprocessadors més ràpids per mitjà de materials com el SiGe (silici i germani).

1989



Nintendo Game Boy, la primera consola de jocs portàtil de la història.

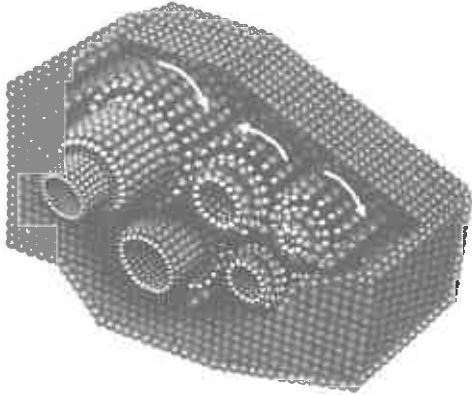


Figura 7.28. Aquesta caixa de canvis és un aparell nanomecànic molt gran. Està format per 15.465 àtoms col·locats per aconseguir que facin el mateix que la caixa de canvis d'un cotxe. Tot i això, no fa, ni de lluny, ni un mil·límetre.

WWW

<http://nanoengineer-1.com>
(Busca a gallery)

Visita la pàgina de Nanorex, una empresa especialitzada en nanomàquines, per veure'n les possibilitats.

6.4. El futur. La nanotecnologia

Es tracta d'una història recent. Va començar cap a l'any 1959, quan el premi Nobel de física **Richard Feynman** (1918-1988) va afirmar:

Els principis de la física, fins allà on aconseguim entendre-ho, no neguen la possibilitat de manipular les coses àtom a àtom. No és un intent de violar cap de les lleis [de la física]; és un fet que, en principi, es pot dur a terme; però a la pràctica no s'ha fet perquè [les persones] som massa grans.

La **nanotecnologia** és una ciència aplicada que es dirigeix al disseny, la fabricació i l'aplicació de materials i aparells a escala nanomètrica. (Recorda: un nanòmetre equival a 10^{-9} m.)

La nanotecnologia obre les possibilitats de les màquines a un món que pensàvem que no era possible. Ara som a punt de poder fabricar màquines capaces de dipositar àtoms d'un element particular just en el lloc adequat perquè, juntament amb altres àtoms, acabin formant una màquina de mida microscòpica [Figura 7.28].

Podem dissenyar materials nous amb unes condicions excepcionals des de la primera molècula, amb la seguretat que el comportament global de l'objecte serà el que volíem. Podem dissenyar un material adequat per a una funció específica, i només per a aquesta funció, que es comportarà d'una manera determinada tan sols en una situació determinada.

DESCOBRIMENT CLAU

Com es fabriquen nanomàquines?

Suposem que volem dipositar un àtom en una superfície. Com que no tenim pinces prou petites, fem servir una eina. L'àtom que volem situar s'enganxa a aquesta eina: les càrregues elèctriques de l'àtom faran que es quedi a l'eina. Mitjançant un programa d'ordinador, es controla la posició de l'eina amb la qual volem dipositar l'àtom. Si la superfície on el volem col·locar té característiques electròniques diferents de les de l'eina, l'àtom quedarà atret per les càrregues elèctriques, es desenganxarà de l'eina i quedarà adherit a la superfície on el volíem dipositar. Tot això es fa al buit per evitar que altres molècu-



Figura 7.29. Manipulació d'àtoms.

les, com per exemple les de vapor d'aigua o les de l'aire, malaguanyin el procés [Figura 7.29]

Es tracta de química pura i física pura. Un àtom es desplaça d'una molècula a una altra per causa de les càrregues elèctriques, i les càrregues elèctriques tenen a veure amb la quantitat i la posició dels electrons de l'àtom.

1990



El telescopi espacial *Hubble* comença a funcionar.

1990



Comença la revolució de la nanotecnologia: la manipulació de la matèria a escala atòmica i molecular.

1991

La primera pàgina web de la història, atribuïda a Timothy Berners-Lee.



6.5. La nanotecnologia: una ciència multidisciplinària

La nanotecnologia és una ciència multidisciplinària perquè abasta totes les disciplines científiques imaginables i les que encara s'han de crear. Això significa que tota mena d'enginyeries concorren en la manipulació dels àtoms tal com hem estudiat.

La situació actual de la nanotecnologia és molt complicada. D'una banda, algunes aplicacions ja han trobat un desenvolupament industrial i es poden trobar en botigues.

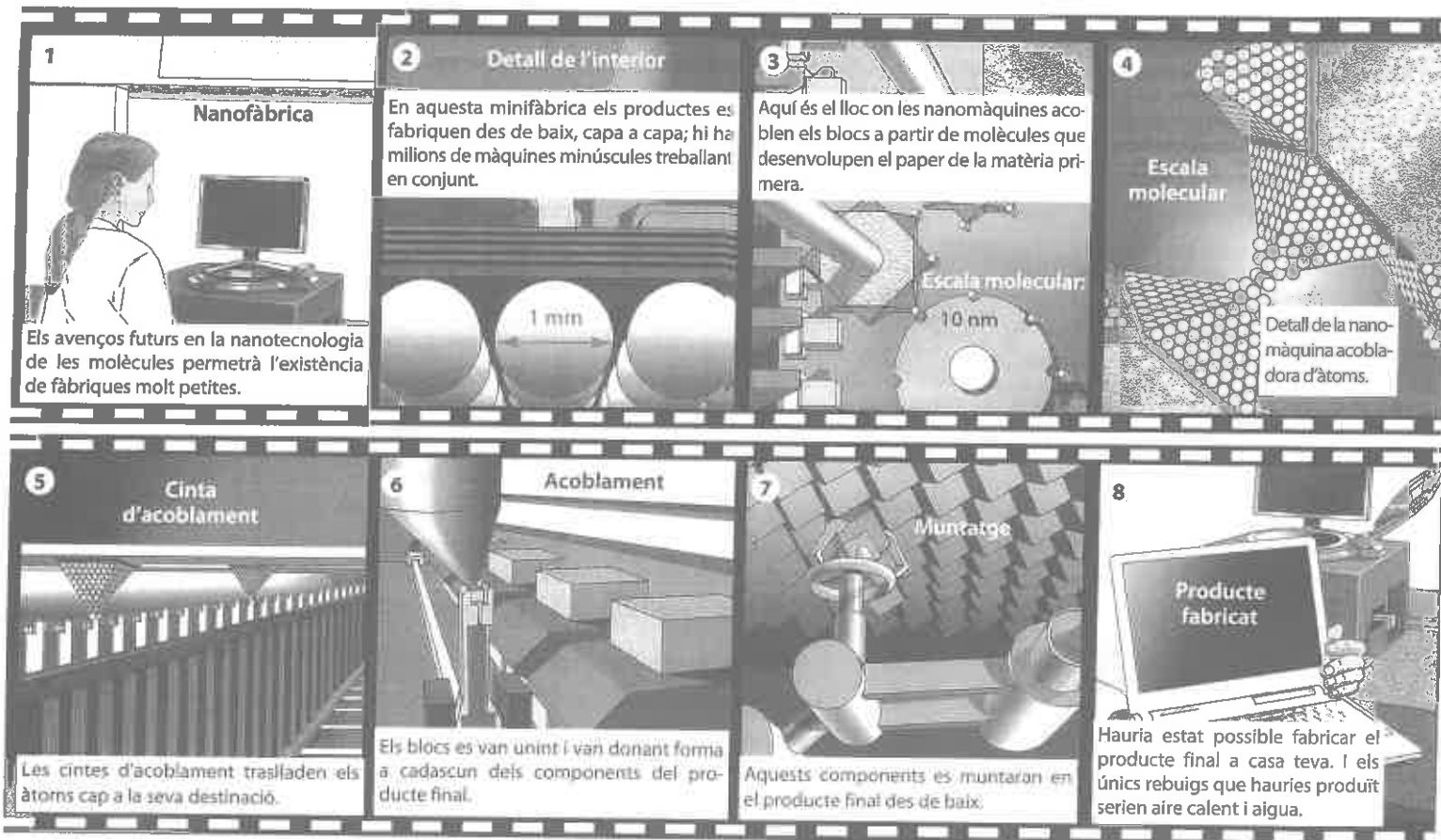
D'altra banda, el desenvolupament d'aquesta nova tecnologia encara fa els primers passos; en un termini entre cinc i quinze anys es produirà una explosió de desenvolupament tecnològic difícil de preveure en l'actualitat.

Si comparem la situació actual amb els principis de l'era del silici (els anys setanta del segle XX) ens trobaríem davant d'un ventall de possibilitats fascinant. Es va necessitar el desenvolupament durant uns quants anys i la feina de molts laboratoris i empreses per arribar a la tecnologia electrònica de què disposes en aquest moment. Una cosa així passarà en el futur immediat amb les idees que t'expliquem [Figura 7.30].

Figura 7.30. Les fàbriques del futur. Pots veure'n el vídeo a la pàgina web següent:

WWW

<http://video.google.com/videoplay?docid=-2022170440316254003>



1997 L'ordinador **Deep Blue** derrota el campió mundial d'escacs Garry Kasparov.



1997

IBM anuncia el desenvolupament d'un xip basat en connexions de coure entre els **transistors**, en lloc de les d'alumini que s'utilitzaven.



1997

Un cable de fibra òptica de 28.000 km de longitud recorre el món.



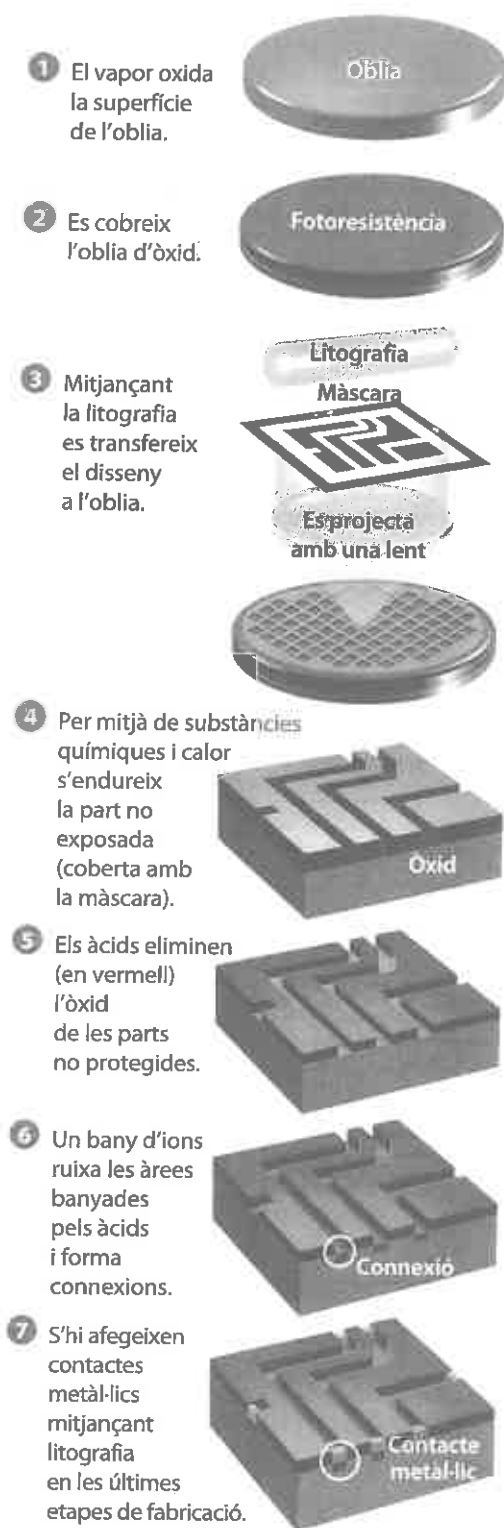


Figura 7.31. Fabricació de microxips. Font: *Scientific American*.

Aquesta segona revolució, com va passar en la primera revolució industrial, tindrà detractors i defensors, tindrà coses positives i negatives, però, igual que aleshores, és inevitable.

Les transformacions de què parlem són:

- No tan sols productes nous, sinó sistemes de producció nous.
- Millora accelerada de la producció gràcies a l'abaratiment i la rapidesa de la producció de prototips.
- Afecta totes les indústries; es tracta d'una tecnologia que modifica la manera de produir en tots els àmbits.
- Matèries primeres molt barates, cosa que representa una minimització dels costos de producció.
- L'impacte no reconeix fronteres; es tracta d'una transformació global.

6.6. La nanotecnologia al nostre voltant

Els exemples que et presentem tot seguit no són ciència-ficció; són purament i simplement els primers passos d'alguna cosa que canviarà la nostra manera de concebre la tecnologia en tots els àmbits.

Aplicacions elèctriques

- **Bateria flexible de nanotubs de carboni.** Què s'aconsegueix quan s'afegeixen al paper nanotubs de carboni? No tan sols un paper més resistent, sinó un material completament flexible que es pot conformar en piles i condensadors ultrafins.

Aquestes «bateries de paper» tindran usos molt destacats, perquè es poden enrotllar i enganxar sense que perdin propietats ni eficiència.

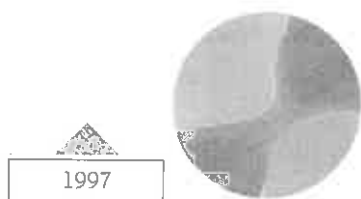
- **LED.** Per substituir les bombetes tradicionals, no tan sols perquè duren més, sinó perquè tenen una eficiència energètica més alta, ja que necessiten molta menys energia elèctrica per obtenir llum. I per la rapidesa amb què s'encenen: deu vegades més ràpid com a mínim.

Aplicacions de l'electrònica

Nanoxips. La voluntat de multiplicar el nombre de transistors que s'utilitzen en els processadors ha portat a miniaturar el procés fins a nivells d'uns 500 nm (0,0005 mm). Ja des de l'any 2000 es fabriquen xips de microprocessadors de mida nanomètrica [Figura 7.31]. En l'actualitat s'investiga i es prova amb èxit la fabricació de nanoxips autoacoblatos.

Aplicacions en medicina i farmàcia

S'investiga tant en terrenys com ara les *buckyballs* amb medicaments a l'interior que veïem abans, com en terrenys en els quals els àtoms actuen directament sobre els virus. Això podria implicar una revolució en els tractaments mèdics i en la manera mateix de gestionar les malalties.



1997

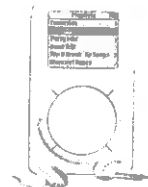
Es patentava la manera d'utilitzar un microscopi d'efecte túnel com un microbraç capaç de detectar o provocar moviments micromecànics.

1997



Primer llapis de memòria USB de la història. Basat en un sistema de memòria RAM portàtil.

1997



Surt al mercat l'iPod d'Apple.

Una revolució en el concepte de distribució musical, possible gràcies a la combinació de microxips i discos durs.

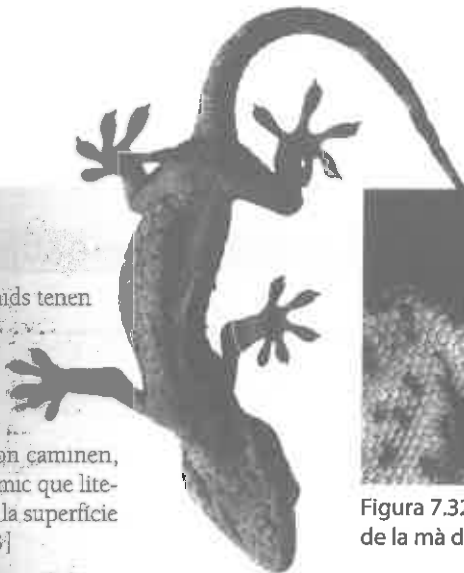


Copiar la natura

Les mans dels llangardaixos geconids tenen milions de petits pèls (un cop amb els quals es poden agafar a qualsevol mena de superfície).

El que fa, els pèls és reorganitzar els electrons de la superfície per on caminen, i produeixen un efecte electrodinàmic que literalment fa que quedin enganxats a la superfície de manera temporal. [Figura 7.33]

Ara la nanotecnologia estudia les possibilitats d'aquest principi per fabricar materials nous amb aplicacions molt variades, com ara les cintes adhesives.



Llangardaix geconid



Figura 7.32. Ampliació de la mà del llangardaix.



Figura 7.33. Vista ampliada en la qual observem els milions de pèls de les mans dels llangardaixos geconids.

Aplicacions en la indústria tèxtil

La fabricació de teixits que repel·leixen els líquids ja és possible per mitjà de les tecnologies de la filada de teixits amb fibres, com ara nanotubs i altres materials nanomètrics, que impedeixen que les gotes de líquid arribin a mullar el teixit i eviten d'aquesta manera les taques.

Aquests sistemes de fabricació de teixits estaran presents en molts aspectes quotidians, com ara en les tapisseries dels cotxes, que, amb aquesta tecnologia, suportaran millor l'acció del sol i la calor, com també el desgast, i incorporaran materials retardants del foc. Tot això a partir de materials completament vegetals que no provenen de derivats del petroli.

Aplicacions en arquitectura i urbanisme

Recobriments que protegeixen les parets o els cristalls de la pintura dels grafitis; d'aquesta manera, repel·liran la pintura i faran literalment que llisqui perquè no podrà penetrar en el material de la paret.

Un altre tipus de recobriments a escala nanomètrica evitaran la corrosió d'elements metàl·lics en exteriors.

Vidres fotocromics. Canvien de color segons la llum que hi incideix, i no tan sols disminueixen així la temperatura a l'interior de les habitacions, sinó que, com que reflecteixen la llum incident de manera intel·ligent, eviten que penetrin els raigs ultraviolats i els infrarojos, amb la qual cosa protegeixen la pell humana i el color dels objectes.

Ceràmica. Per fabricar sanitaris (lavabos, banyeres, etc.) que repel·leixin els líquids, així no s'embrutaran ni s'hi dipositaran bacteris.

PER SABER-NE +

Podria passar?

- Que es fabriquin robots mèdics capaços d'atacar les cèl·lules específiques infectades d'un tumor, però també es podrien fabricar armes amb capacitat de destrucció que no es poguessin detectar.
- Ordinadors tan barats de fabricar que tothom en podria tenir un, però també es podrien fabricar càmeres tan petites que els governs ens podrien controlar sense que ens n'adonéssim.

2002



Entra en funcionament el primer tren magnetolevitant (*MagLev Transrapid*) a Xangai (Xina). Assoleix velocitats de 450 km/h.

2004



Es desenvolupa un xip electroòptic. Transforma els impulsos elèctrics en llum, amb la qual cosa s'aconsegueix augmentar la velocitat de transmissió de dades.

2007



Apareix el primer paper electrònic en color (*e-paper*).