

# Atomoz atomo

---

## SARRERA

Ukaezina da “nano” hitza modan dagoela. Garai batean paradigma “micro” baldin bazen, gaur egun nano aurrizkiak produktu edo teknologiaen arrakasta lortzeko balio duela ematen du. “nano” hitzak produktuei balio erantsia ematen die, adibideak nonahi: MP3 entzungailurik ezagunetako bat “IPOD nano” dugu; eta krema kosmetiko ona erosi nahi izanez gero, nanoesferak dituen aukeratu behar omen dugu.

Gaur egun nonnahi ikusten ditugu nanozientzia, nanoteknologia, nanoelektronika, nanomaterialak, nanosoldatuak, nanofisika, nanoegiturak, nanokimika, nanoimprimaketa, nanorobotak, nanoetika, nanobioteknologia, nanomedikuntza, nanolegeak, nanoekonomia, nanooptika, nanonegozioak eta abar luze bat; zalantza izpirik gabe, nanoaren leherketa baten aurrean gaude. Hona hemen, adibidez, google bilatzaileaz baliaturik eginiko bi nanobilaketa ezberdinen emaitzak, bi eguneko tartea bien artean:

(2009/10/23) nano=58.200.000, nanoscience = 1.110.000, nanotechnology = 7.540.000

(2009/10/25) nano=59.000.000, nanoscience = 1.280.000, nanotechnology = 7.620.000

Lux Research aholkularitza-konpainiak igorritako txostenen arabera ([www.luxresearchinc.com](http://www.luxresearchinc.com)), 2004. urtean nanoteknologia barnehartzen duten produktuen salmenta manufaktura-sektorearen fakturazioaren % 0,1 besterik ez bazen ere, 2015. urterako % 15 izatera helduko omen da. Izan ere, 2015. urtean nanoteknologiak ahalbideturiko produktuen balioa 1,5 trilioi (estatubatuar) dolarrekoa izango omen da, erdieroaleak kontuan hartu gabe, eta 2,95 trilioi dolarrekoa erdieroaleak kontuan hartuta. Nanoteknologiaren merkatua datozen urteetan % 10-15 haziko omen da urtero.

## 1. ZER DA NANO?

Nanos hitzak, greziaz, ipotxa esan nahi du. Eta *nano* aurrizkia mila milioirena adierazteko erabiltzen dugu. Horren arabera, nanometroa metroaren mila milioirena da, hau da, milimetra baino milioi aldiz txikiagoa:

$$1 \text{ nm} = 0,000.000.001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ m} = 1,000.000.000 \text{ nm} = 10^9 \text{ nm}$$

Nanometroa sei karbono-atomo edo hamar hidrogeno-atomo lerrokaturen tamaina da, gutxi gorabehera. Eskala horretan, atomoak eta molekulak ditugu, bai eta sistema biologiko oinarritzen ere. DNA molekularen helize bikoitzaren diametroa, adibidez, 2 nm da, eta birus ohikoenen diametroa 100 nm-tik beherakoa izan ohi da.

Orain dela 50 urte, 1959. urteko abenduan, Richard Feynman fisikari ospetsuak nanoteknologiaren aroaren ateak irekiko zituen oso hitzaldi garrantzitsua eman zuen Kaliforniako Teknologia Institutuan, izenburu honekin: "Hondoa leku asko dago; fisikaren arlo berri bati hasiera emateko gonbidapena" (hitzaldi osoa <http://www.zyvx.com/nanotech/feynman.html> web orrian aurki daiteke). Hauxe esan zuen:

There's plenty of room at the bottom, says noted scientist as he reveals—

## How to Build an Automobile

Exploring the fantastic possibilities of the very small should pay off handsomely—and provide a lot of fun, too

By Richard P. Feynman  
Professor of Theoretical Physics,  
California Institute of Technology

PEOPLE tell me about miniaturization, about electric motors the size of the nail on your small finger. There is a device on the market by which you can write the Lord's Prayer on the head of a pin. But that's nothing. That's the most primitive, halting step. Why not write the entire 24 volumes of the "Encyclopaedia Britannica" on the head of a pin?

Let's see what would be involved. The head of a pin is a sixteenth of an inch across. If you magnify it 25,000 diameters, the area of the head of the pin is equal to the area of all pages of the encyclopedia. All it is necessary to do is to reduce the writing in the encyclopedia 25,000 times. Is that possible? One of the little dots on the fine halftone reproductions in the encyclopedia, when you demagnify it by 25,000 times, still would contain in its area 1,000 atoms. So, each dot can easily be adjusted in size as required, and there is no question that there is enough room on the head of a pin to put all of the "Encyclopaedia Britannica."

IMAGINE that it is written in raised letters of metal that are 1/25,000 ordinary size. How would we read it? We would press the metal into plastic and make a mold; peel the plastic off very carefully; evaporate silica into the plastic to get a very thin film; then shadow it by evaporating gold at an angle against the silica so that all the little letters appear clearly; dissolve the plastic away from the silica film; and then look through it with an electron microscope.

III POPULAR SCIENCE NOVEMBER 1960

Feynmann-en "There is plenty of room at the bottom" hitzaldiaren berria "Popular Science" aldizkarian.

[...] hondora joateko eta materia atomoz atomo maneiatzeko gauza izango bagina, aukera kontaezinak izango genituzke, materialak gure aginduetara diseinatu ahal izango genituzke eta aplikazio teknologiko irudikaezinak izango genituzke.

Feynman-ek Fisikaren oinarriek gauzak atomoz atomo manipulatzen aukera ukatzen ez dutela gaineratu zuen, baina garai hartan atomoak ikusterik eta manipulatzerik ez zegoen, atomoak gure begiekin ikusteko eta gure eskuekin ukitzeko handiegiaik baikara. Gaur egun, aldiz, berrogeita hamar urte geroago, gizakiaren historian lehen aldiz, atomoak ikusten, ukitzen eta antolatzen ikasi dugu. Konturatzen ari gara, gainera, atomo eta molekulen eskalako unibertso hori aukera berriez beterik dagoela

eta hondoan benetan leku asko dagoela, agian Feynman-ek berak aurreratu zue-  
na baino gehiago.

Nanoteknologia hitza Tokioko Zientzia Unibertsitateko Norio Taniguchi irakas-  
leak sortu zuen 1974. urteko artikulu batean; nanoteknologiari esker ohiko sili-  
zizko dispositiboak mikroi batetik beherako neurriekin ekoiztu ahal izango zirela  
aurreratzen zuen bertan. Gaur egungo definizioaren arabera, 100 nanometro,  
hots, mikroi hamarrena baino ezaugarri txikiagoak dituzten objektuen ingeniari-  
za eta ekoizpena dugu nanoteknologia.

## 2. NANO-A EZBERDINA DA

Objektuak nano-tzat hartu ohi dira, beraien dimentsioetako bat gutxienez  
atomo bat (0,1 nm inguru) baino handiagoa denean eta, aldi berean, mikroeska-  
lan eta makroeskalari (100 nm ingurutik gora) agertzen direnen aldean ezaugarri  
nabarmenki ezberdinak erakusteko adinako txikiak direnean.

XX. mendean, materia atomoz osatua dagoela eta atomo horiek izaera erre-  
ala dutela ikasi genuen. Izan ere, 1920ko hamarkadan Mekanika Kuantikoa  
garatu zen, XX. mendeko iraultza zientifiko nagusia izango zena, eta hari esker  
materiaren egitura atomiko eta molekularra ulertzen ditugu, 1953. urtean  
Watson-ek eta Crick-ek DNA molekularren egitura aurkitu zuten, transistorea lor-  
tu zen eta iraultza teknologikoa gauzatu zen.

Atomoak ongi ulertuta eta ikuspegi erredukzionista batetik, XX. mendean  
dena eginda zegoela pentsa liteke. Baina gaur egun badakigu atomoen pro-  
prietateak nanoaren eskalara, zenbait atomo eta molekula izan ditzakegun  
eskalara, ezin estrapola daitezkeela. Eta, era berean, ez da aski sistema fisi-  
koek eskala handietan duten jokamoldeari begiratzea atomo gutxi batzuetako  
mailetan gertatzen dena iragartzeko. Horrexegatik esan ohi dugu nano-a  
ezberdina dela.

Nanoaren eskalan (nanoeskalari), esparru kontzeptuala Mekanika Kuan-  
tikoa da, hots, fisika klasikoaren aplikazio-eremutik at gaude. Alegia, Meka-  
nika Kuantikoaren legeak nagusitzen dira, eta haien berezitasunak agerian jar-  
tzen dira nano objektuen ezaugarriak aztertzeko orduan. Unibertso kuantikoan  
partikulen eta partikula-sistemen jokabidea arautzen duena probabilitate-  
anplitudea da, energia kuantizaturik dago, partikulen posizioa eta momentua  
aldi berean zehaztasun osoz neurtzerik ez dago, eta batzuetan partikula bezala  
azaltzen direnak (elektroiak, adibidez) beste batzuetan uhin bezala azaltzen  
dira.

Nanoeskalari gainazalak nagusitzen dira, objektuak txikitzean azalaren eta  
bolumenaren arteko erlazioa handiagotu egiten baita, kubo bat zati berdinetan  
banatuz gero berehala kontura gaitzkeen bezala. XX. mendeko Pauli fisikari  
ospetsuak haxe esan zuen gainazalei buruz: "God made the bulk, surfaces were  
invented by the devil" (Jainkoak bolumena egin zuen, gainazalak deabruak egin

zituena), gainazalek dakarten zailtasuna azpimarratu nahian. Alabaina, zailtasun hori aberastasun iturria ere bada.

Nanoeskalan, mikroeskalan eta makroeskalan ez bezala, propietate fisikoek eta kimikoek tamainaren menpekotasuna dute. Urrea, esate baterako, makroeskalan noblea dena (kimikoki aktiboa ez dena), nanoeskalan noblea izateari uzten dio eta jarduera katalitiko izugarria izan dezake. Urrezko txanpona behin eta berriro zatitzen badugu, hasieran ez da ezer aldatzen; baina nanoeskalara jaistean propietateak beste batzuk izango dira eta, gainera, tamainaren arabera. Neurria konposaketa kimikoa bezain garrantzitsua den parametro bilakatzen da nanoeskalan. Nanoeskalan kolorea ere aldatzen da. Mikroeskalan eta makroeskalan beti horia azaltzen dena nanoeskalan gorria edo urdina azal daiteke.



Urrezko nanopartikulen dispersioen kolorea haien neurriaren arabera dugu. Partikula txikienek kolore urdina xurgatzen dute batik bat eta, horregatik, transmititutako argia gorria da. Partikula handien kasuan, aldiz, transmitituriko argia urdina dugu (Iturria: [www.webexhibits.org](http://www.webexhibits.org)).

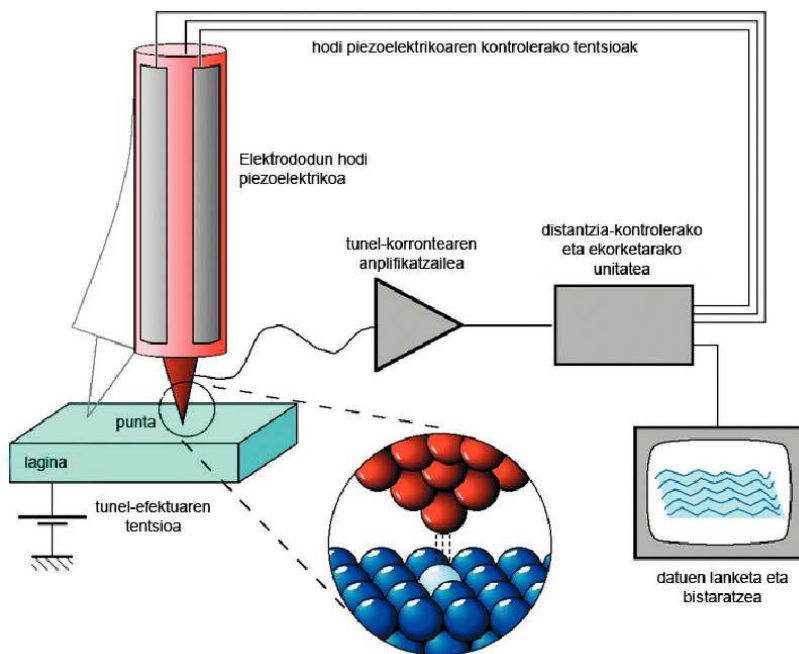
Nanoeskalan, bada, fenomeno berriak sortzen dira, banako atomoen ezau-garrietatik ezin ondoriozta daitezkeenak eta makroeskalako materiaren jokabide-arekin zerikusirik ez dutenak. Nanoeskalan, gainera, fisika eta kimika ezin dira sarritan mikroeskalan eta makroeskalan bezala bereiztu, eta sistema biologiko oinarrikoenen eskalan gaude. Beraz, nanoeskalan aritzeak jakintza-adar klasiko- en konbergentzia dakar. Eskala honetan fisika, biologia, materialen ingeniaria eta kimika bat datoz, jakintza-esparru berria sortuz: nanozientzia. Erresuma Batuko Ingeniaritzako Erret Akademiak argitaraturiko “Nanozientzia eta Nanoteknologia: Aukerak eta Ziurgabetasunak” izenburuko dokumentuan ematen duen definizioaren arabera, nanozientzia hau da: Atomoen, molekulen eta makromolekulen eskalako materiaren azterketa eta manipulazioa helburutzat duen jakintza-esparrua, non materiaren propietateak eskala handiagoetako propietateetatik aldatzen diren.

### 3. NANOZIENTZIA ETA NANOTEKNOLOGIAREN ERRONKAK

Nanozientzia jakintza-esparru berriaren oinarriak hauexek dira: (i) atomoen behaketa eta manipulazioa, (ii) miniaturizazioa eta (iii) autoantolaketa. Aurrerapen garrantzitsuenak hiruen konbinaziotik etorriko dira. Feynman-ek bere hitzaldi aitzindaria eman zuenean materia atomoz atomo behatzerik eta manipulatzetik ez bazegoen ere, 1980ko hamarkadatik hona lortu dugu (miniaturizazioari esker, neurri handi batean) atomoak banan bana ikustea eta ukitzea ahalbidetzen duten tresnak eraikitzea (tunel-mikroskopia, adibidez). Bestalde, nanozientzia eta nanoteknologiaren garapenean Naturarengandik asko ikas dezakegu, izaki bizidunen oinarriko adreiluak (proteinak), adibidez, erribosomak ahalbideturiko autoantolaketa prozesu baten bidez sortzen baitira; eta erribosoma horiek, nanoeskalako objektuak direnak, benetako nanomakina molekularrak ditugu.

#### 3.1. Atomoz-atomoko behaketa eta manipulazioa

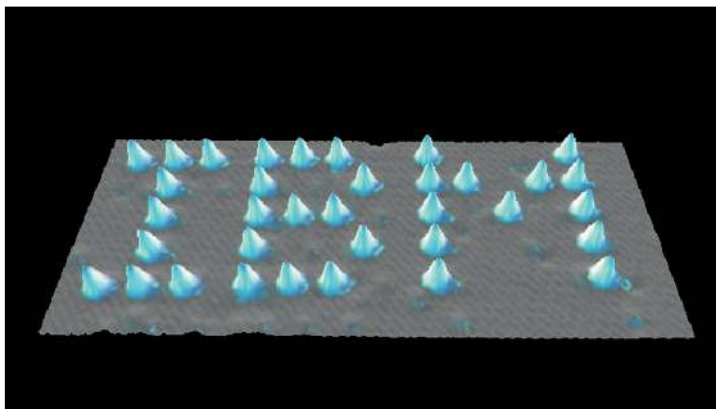
Nanoteknologiaren historiaren gertaerarik garrantzitsuena, agian, ekorketazko tunel-mikroskopia asmatzea izan zen. Mikroskopia hori Gerd Binnig-ek eta Heinrich Rohrer-ek asmatu zuten 1981 urtean, Zurich-eko IBM-ko ikerketa-laborategian. Beraiek eraikitako tunel-mikroskopioren baliaturik bereizmen atomikoko hiru dimentsioko lehen irudiak lortu zituzten, eta 1986. urtean Fisikako Nobel saria lortu zuten Ernst Ruska-rekin (mikroskopia elektronikoaren asmatzailea) batera.



Ekorketazko tunel-mikroskopiaren eskema orokorra (Iturria: wikipedia).

Tunel-mikroskopia Mekanika Kuantikoak (fisika klasikoak agindutakoaren aurka) aurreatzen duen tunel-efektuan oinarritua dago, elektroiek (uhinak direlako) potentzial-langak zeharkatzeko duten ahalmenean. Tresna horren osagai nagusia metalezko punta zorrotza da (punta honek mikroskopiaoren begien eta eskuen zeregina betetzen du), atomo bakar batean buka daitekeena, eta behatu (edo eta manipulatu) nahi dugun lagin baten gainean higi arazten da zehaztasun handiz. Puntaren eta laginaren artean potentzial-diferentzia bat ezarri gero, tunel-efektuari esker elektroiak batzuek (oso gutxi) jauzi egingo dute puntatik laginera, korrante elektrikoa (tunel-korrantea) sortuz. Distantzia oso gutxi aldatuta, tunel-korrantea asko aldatzen da; beraz, punta hori laginean zehar higi arazten badugu tunel-korrantea konstante izateko baldintzarekin, puntak azala irudikatuko du, atomoz atomo, beheko irudian ikusten den bezala.

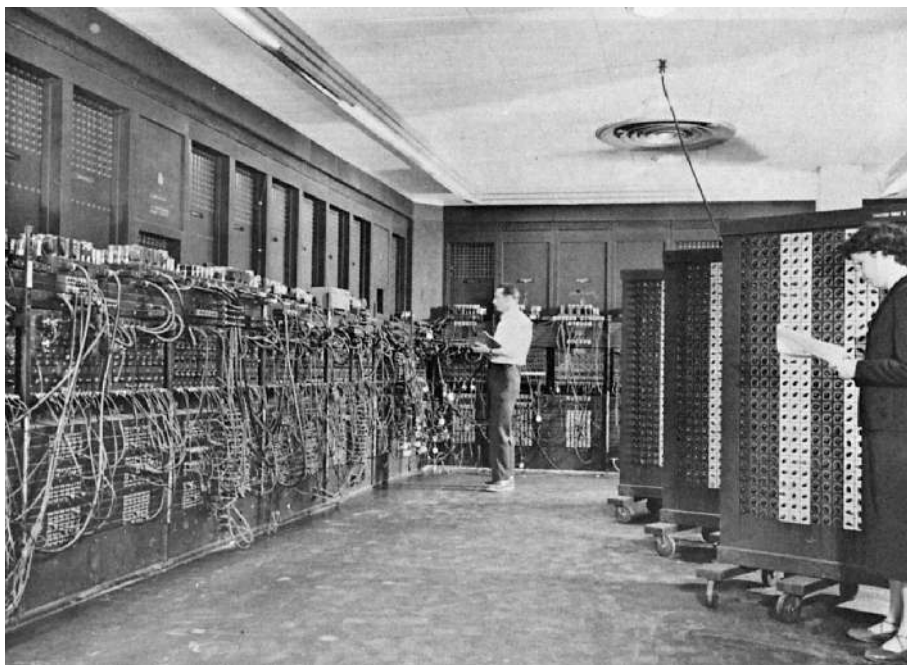
Binnig-ek eta Rohrer-ek Nobel saria jaso zuten urte berean, 1986. urtean, AT&Bell laborategietako Russel Becker-ek eta haren kolaboratzaileek tunel-mikroskopiaz baliaturik germanio-kristal baten gainean materia ezarri ahal izan zuten, eta 1989. urtean Donald Eigler-ek eta Erhard Schweizer-ek Kaliforniako IBM-ko laborategian 35 xenon atomo erabili zituzten nikel gainazal baten gainean IBM hizkien irudia (mundu osoan famatua bilakatu zena) irudikatuz. Lan hori Nature aldizkarian argitaratu zen [D. M. Eigler and E. K. Schweizer, "Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope"; Nature 344, 524-526 (1990)]. Materia atomoz atomo manipulatzeko atea irekita zuden.



M. Eigler-ek eta E. K. Schweizer-ek tunel-mikroskopia batez baliaturik 1989. urtean egindako irudia (Iturria: jatorriz IBM Corporation-ek sortutako irudia).

### 3.2. Miniaturizazioa

Miniaturizazioaren lasterketaren adierazlerik handiena mikroelektronikan aurkitzen dugu. Lehen konputagailuak (ENIAC –Electronic Numerical Integrator And Computer–), Estatu Batuetako armadak Pensilvania-ko Unibertsitatean 1946. urtean martxan jarri zuenak, 37 tona pisatzen zuen eta 60 m<sup>2</sup>-tik gorako gela oso bat betetzen zuen. Eta 60 urte geroago, zirkuitu integratua eta mikroprozesadorea



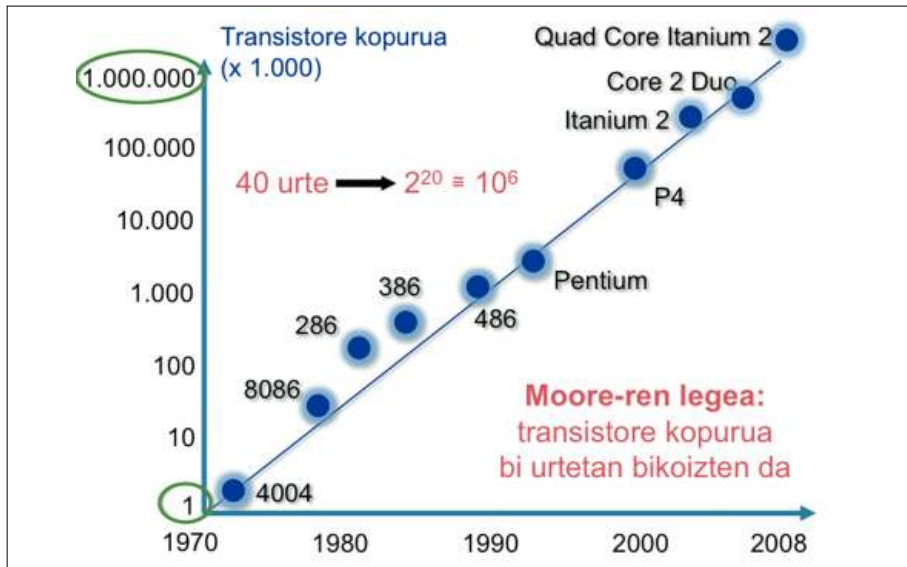
Pensilvania-ko Unibertsitateko ENIAC konputagailua (1946) (Iturria: EEBBetako armadoren irudia).

ahalbidetuko zituen transistoreari eta miniaturizazioari esker, esku bakar batean sartzen diren benetako konputagailuak erabiltzen ditugu.

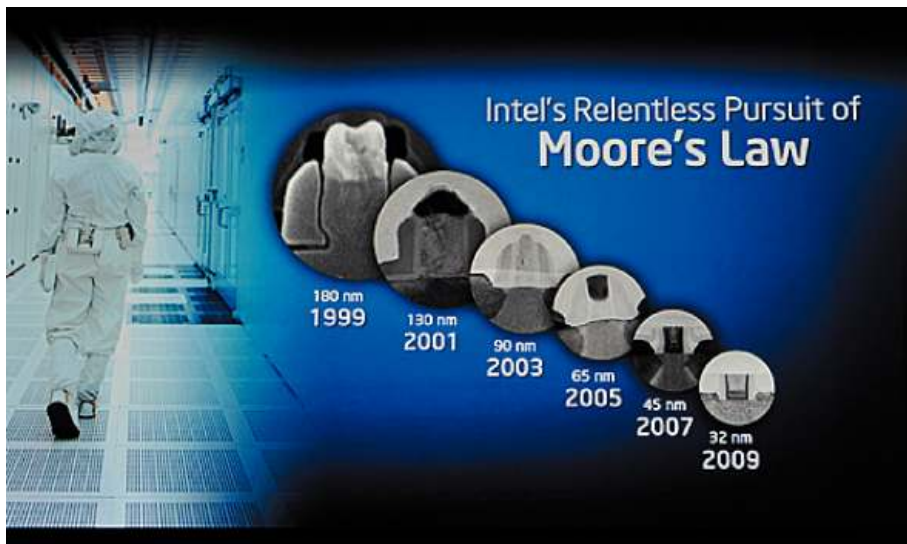
Gordon Moore-ek, 1968. urtean Intel sortu zuenak, aurrean zuen bi urtetik behin zirkuitu integratu (txip) batean sartuko zen transistore-kopurua bikoiztu egingo zela. Izan ere, orain arte hala gertatu da: 40 urtetan 20 aldiz bikoiztu da transistore-kopurua; orain dela 40 urte chip batean 2.000 transistore inguru genituen bitartean, gaur egun 1.000 milioi transistore baino gehiago ditugu. Transistore horiek 45 nm-ko teknologiaz egindakoak dira. Laster 32 nm-ko teknologijako Intel prozesadoreak izango omen ditugu, eta AMD (Intel-en lehiakidea dena) bere ahalginak 22 nm-ko teknologian jartzen ari da, IBM-ren laguntzarekin.

Baina miniaturizazioak ezin du iraun etengabe, materia eta, bereziki, transistoreetako erdieroaleak (silizioa) atomoz eginak baitaude. Hemetik urte batzuetara Moore-ren legea balio gabe geldituko omen da, ordurako nanometro bakar batzuetako transistoreak izango baititugu.

Etorkizunean zirkuitu integratuen gaurko teknologiak aurrera egiterik ez du izango. Izan ere, elektronikaren garapenak aurrera egingo badu, konputazio kuantikoaren eta elektronika molekularren eskutik etorriko da ziur aski. Miniaturizazioa ez da nahikoa izango eta molekula bakarreko dispositiboak eta kontaktuak egiten ikasi beharko dugu. Ideia berriak eta garapen berriak beharko dira, eta horixe da, izan ere, gaurko nanoteknologiaren erronketako bat.



Azken 40 urteetan zehar Intel mikroprozesagailuen eboluzioa Moore-ren legearen arabera izan da. Lege honen arabera bi urtetan behin transistore kopurua bikoiztu egiten da (Iturria: nanoGUNE).

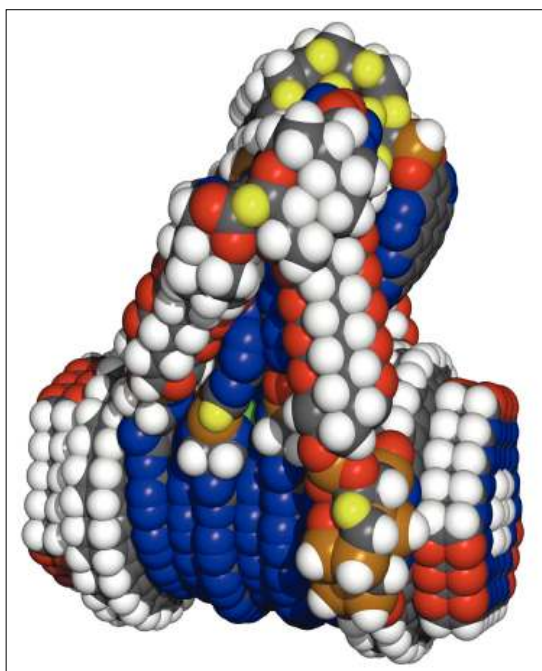


Intel mikroprozesagailuen eboluzioa (Iturria Intel, Intel Developer Forum 2009).



### 3.3. Autoantolaketa

Nanozientziaren eta Nanoteknologiaren beste oinarrietako bat, oso garrantzitsua dena, autoantolaketa dugu. Autoantolaketa Naturaren oinarritzko propietatea da, izaki bizidunetan berez egiten dena. Erribosoma zelularrek, adibidez, zenbait aminoazido mihizatzen dituzte proteinak berez osa daitezen, eta proteina horiek gure gorputza osatuko duten oinarritzko adreiluak ditugu. Erribosomak, 20 nm-koak direnak, benetako lantegi molekularrak ditugu eta Drexler-ek 1977. urtean (eta, ondoren, "Engines of creation" izenburupean plazaratu zuen liburuan) aurreikusi zituen mihiztatzaile molekularren adibideak dira. Mihiztatzaile molekular horiek konputagailuak eta makina astunak eraikiko lituzkete atomoz atomo. Zientzia fikzioa ala etorkizuna?



Makina molekularra: molekula mihiztatzeko higidura-kontrolagailu zehatza (Iturria: IMM Institute for Molecular Manufacturing; [www.imm.org](http://www.imm.org)).

Autoantolaketarako osagai guztiak ditugu: atomoak, molekulak eta haien arteko elkarrekintzak. Naturak autoantolaketa nola egiten duen ikas behar dugu, Naturan berez sortzen ez dena sortu ahal izan dezagun. Dauden aukerak kontaezinak dira.

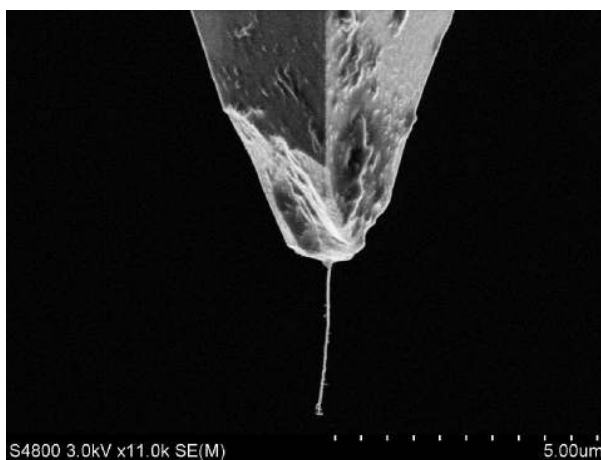
1987. urtean, adibidez, Jean Marie Lehn-ek, Donald Cram-ek eta Charles Pedersen-ek kimikako nobel saria lortu zuten kimika supramolekularrean egindako lanarengatik. Haien laborategietan ohiko egitura molekularraz haratago doazen egitura berriak sortu zituzten: egitura supramolekularrak, izaki bizidunetako molekulen funtzioak betetzen dituztenak. Hauek automihiztaduraren (autoantolaketa) adibideak dira. Eta autoantolaketa hori molekulen arteko elkarrekintza ahulen bidez eta

antzemate molekularren bidez gauzatzen da. DNA molekula bera antzemate molekularren bidezko autoantolaketa adibidea dugu, eta antzemate molekularren bitartez egitura konplexuagoak sortzeko erabil daiteke, elektronikaren erabilak izan daitezkeenak.

#### 4. NANOPRODUKTUAK: ORAINA ETA ETORKIZUNA

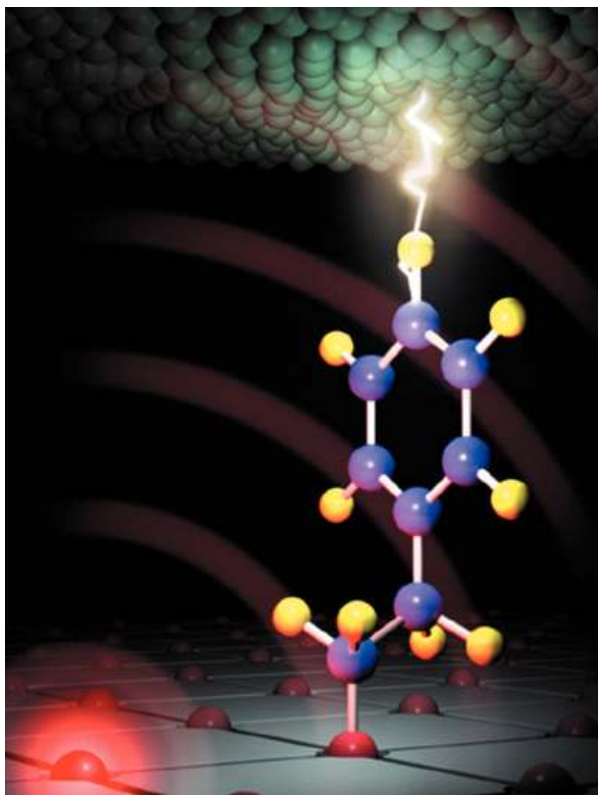
Nanoteknologia ez da oraindik bete bete berratu ekoizpen industrialeko kateetan, baina badaude egun merkatuan nanoteknologian nolabait oinarriturik dauden produktuak, batez ere osasun eta norbere-zaintzan (eguzki-kremak, zuntz hidrofoboak eta abar), elektronikan, elikaduran eta automobilgintzan. Nanoteknologiaren ezaugarri nagusietako bat horizontaltasuna dugu: ez dago nanoteknologiari etekina aterako ez dion sektorerik. Bereziki, honako hauek aipa ditzakegu:

- Nanomaterialak: Hauxe da, zalantzarik gabe, industriaren munduan nanoteknologiak bere eragina erakutsi duen lehen arloa. Nanoeskalako osagaien tamaina kontrolatuz, materialak propietate berriez horniturik azaltzen zaizkigu.
  - Gainazalen nagusitasunak nanoegituraturiko materialetako erreaktibitate kimikoa handitzen du, katalizatzaile eraginkorragoak ahalbidetuz.
  - Nanoeskalako materialek interes teknologikoa dituzten propietate berriak erakuts ditzakete, material makroskopikoetan agertzen ez direnak.
  - Nanopartikulak ohiko materialen propietateak hobetzeko erabil daitezke. Ildo horretan, adibidez, karbonozko nanohodiak plastikoei eta hormigoari gehitu dakizkieke, haien ezaugarri mekanikoak hobetu ahal izan daitezten. Eta zenbait propietate ezberdin sintonizatzeko aukera izan dezakegu: gehitutako nanopartikulek argia zurgatzen badute, materialaren ezaugarri optikoak aldatuko ditugu; nanopartikulak hidrofoboak badira, materiala ez da erraz bustiko; nanopartikulak bakterizidak badira, medikuntza-aplikazioetan erabiltzeko interesgarriak izango dira, eta abar. Zerrenda hau irudimena bezain luzea izan daiteke.
  - Eta azken adibide bat aipatzeagatik, hutsune nanoskopikoak dituen materiala sustantzia toxikoak gordetzeko edo molekula kutsatzaileak garbitzeko erabil daiteke.



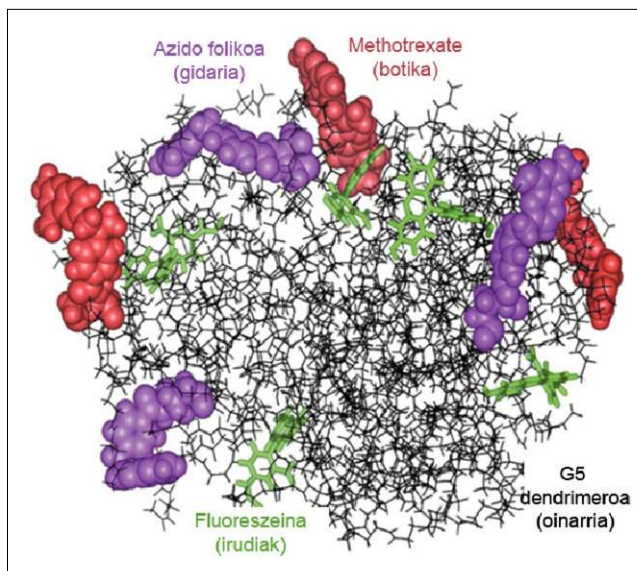
Karbonozko nanohodia ekortetzko mikroskopio baten puntan itsatsita (Iturria: <http://news.uns.purdue.edu/UNS/images/+2005/raman-nanotubes.jpg> )

- Nanoelektronika: Elektronika izan da miniaturizazioaren lasterketan irabazle, eta lasterketa horretan garatu dira gaur egun nanoteknologian erabiltzen diren teknika eta prozesu asko. Nanoelektronika lasterketa horren hurrengo helmuga da. Nanoelektronikaz baliaturik, ahalmen handiagoko dispositibo berriak gauzatuko dira.
  - Karbonoan oinarritutako elektronikak silizioarena gaindituko du agian. Grafenoak (karbono atomoz eraturiko geruza monoatomikoa), adibidez, silizioaren eroankortasuna hobetzen du eta aukera berriak eskaintzen ditu.
  - Karbonozko nanohodien ezaugarri elektronikoak kontrolatuz, eroaleak, erdieroaleak edo isolatzaileak bilaka daitezke; beraz, nanoeskalako lotura elektrikoetan nahiz nanogailuetan erabiltzeko aukerak biderkatu egiten dira.
  - Espintronika egungo disko zurrun erraldoien atzean dago, eta korrante polarizatuen kontrolak garapen teknologiko berriak ekar ditzake.
  - Noraino irits gaitzke miniaturizazioarekin? Agian molekula bakar batek transistore baten eginkizuna beteko du etorkizunean. Elektronika molekularren garaiaren atarian egon gintezke.



Transistore molekularra  
(Iturria: NRC-CNRC).

- Nanobioteknologia eta nanomedikuntza: Nanopartikulek gure gorputzaren barruan bidaiatzeko eskala egokia dute; nanopartikulek nanomedikuntzan izan dezaketen eragina, bada, handia izan liteke:
  - Nanopartikula markatzaileak izan ditzakegu, propietate magnetiko edo optiko bereziekin, proteina edo zelula bereziak bilatzeko gaitasuna dutenak.
  - Gorputzaren barrutik eta denbora errealean sustantzia ezberdinen kontzentrazioak neurtzen dituzten nanosentsoreak eraiki daitezke, analisi azkarra goak ahalbidetuz.
  - Nanopartikulek sendagaien banaketa selektiboagoa izaten lagunduko digute. Gaur egun sendagaia odol jarioran askatzen da eta gorputz osoan zehar hedatzen da, behar den tokiaraino iritsiko dela ziurtatzeko (uholdeko ureztapenaren estrategia dugu hau). Nanopartikula batek sendagaia eta gidatzeko sistema konbinatuko balitu, sendagaia behar den tokiraino iritsiko litzateke, eragin kaltegarriak gutxituz (tantazko ureztapenaren estrategia da hau).



Troya zaldi molekularra. Molekula honek lotuta daramatza molekula gidari bat, zelula gaixoezikiko afinitatea duena, botika, eta fluoreszentea den sustantzia bat, haren higadura gorputzaren barruan jarraitua izan dadin (Iturria: Jolanta Kukowska-Latello, Michigan Nanotechnology Institute of or Medicine and the Biological Sciences).

- Nanopartikulak material biobateragarriak lortzeko ere erabil daitezke, protesietan erabiltzen diren materialen propietateak hobetuz.

- Tresnak: Aipatutako aplikazio asko ezinezkoak izango lirатеke, nanoeskala ikusteko, manipulatzeko eta kontrolatzeko beharrezkoak diren tresnak izango ez bagenitu. Gaur egun zundazko mikroskopioak (tunel mikroskopioa, adibidez) eta bereizmen handiko mikroskopio elektronikoak ditugu, baina etorkizunean tresna ahaltuagoak izango ditugu. Nanotermometroak, nanomotorrak eta nanosentsoreak beharko ditugu. Agian mihiztatzailerak unibertsa- la izango dugu, agindu batzuei jarraituz nanoegiturak sortzen dituen nanomakina, hain zuzen ere. Eredua badugu, zeluletako erribosomek proteina funtzionalak sortzen baitituzte, DNA-ren aginduei jarraituz.

Nanoteknologia XXI. mendeko hazkunde ekonomikoaren eragileetako bat izango da, zalantza-izpirik gabe, bai eta gizateriaren etorkizuna baldintzatuko duen jasagarritasunaren oinarrietako bat ere. Horrela bada, Eusko Jaurlaritzako Industria, Merkataritza eta Turismo Sailak martxan jarri berri ditu nanoBasque egitasmoa, 2010eko Zientzia, Teknologia eta Berrikuntza planaren baitan, bai eta nanozientzien ikerketa kooperatiboko nanoGUNE zentroa ere, 2009. urteko urtarrilaren 30ean inauguratu zena. NanoGUNE ikerketa-zentroak mundu mailako ikerketa bikaina egitea eta ikerkuntzaren emaitzak euskal industria-sareari transferitzea ditu helburu, bai eta zientzia gizarteratzea ere. Ildo horretan, nanozientzia eta nanoteknologia gizarteratzeko ahaleginetan ATOMBYATOM biltzarra ospatu zuen 2009. urteko irailaren 28tik 30era bitartean Donostia International Physics Center-arekin batera.

## 5. ATOMBYATOM BILTZARRA

### 5.1. Sarrera

2009. urteko irailaren 28tik 30era bitartean ospatu zen biltzar honetan be-deratzi zientzialari bikainek parte hartu zuten. Haietako hiru Nanozientzia eta Nanoteknologiaren jaiotza eta garapenean aitzindariak ditugu:

- Heinrich Rohrer, ekorketazko tunel-mikroskopioa diseinatzeagatik 1986. urtean Fisikako Nobel Saria lortu zuena.
- Sir Harold Kroto, karbonoaren forma alotropiko berria (fullerenoa) aurkitze- agatik 1996. urtean Kimikako Nobel Saria lortu zuena.
- Albert Fert, magnetoerresistentzia erraldoiaren aurkikuntzagatik 2007. urtean Fisikako Nobel Saria lortu zuena.

Gainerako hizlariak hauexek izan ziren: Carlos Bustamante (EEBBetako Lawrence Berkeley Laborategiko Mikroskopia Aurreratuen saileko zuzendaria), Juan Colmenero (CSIC-EHU Materialen Fisikako zentro mistoko zuzendaria), Félix Goñi (CSIC-EHU Biofisikako zentro mistoko zuzendaria), José Antonio Maiz (Intel-eko Teknologia, Kalitate eta Fidagarritasunaren zuzendaria), Emilio Méndez (EEBBetako Brookhaven Laborategiko nanomaterial funtzionalen zentroko zuzendaria) eta Sir John Pendry (Erresuma Batuko London-eko Imperial College-eko irakasle katedra- duna). Hizlari horiek nanozientzia eta nanoteknologiaren errealitatea, erronkak eta

ondorioak zertan dautzan ulertzen lagundu ziguten, haien ikuspuntua azaldu zuten, eta Feynman-ek orain dela 50 urte aipatu zuen hondoa argitzen saiatu ziren, Kursaal-eko ganbara aretoa bete zuen audientzia anitzaren aurrean. Programa boro-biltzeko, Donostiako Kutxagunean Heinrich Rohrer eta Harold Kroto Nobel Saridunak DBH-ko 4. mailako eta Batxilergoko ikasleekin elkartu ziren, haien bizitzaz, esperientziaz eta etorkizunerako ikuspuntuaz hitz egiteko. Hurrengo lerroetan topagune horretan nahiz osoko saioetan plazaraturiko ideiarik garrantzitsuenak biltzen dira, ahalik eta aldaketa gutxienekin, hizlarien bizitasuna eta maisutasuna mantendu nahian. Hitzaldi guztiak DIPC-ko web telebistan (<http://dipc.tv>) ikus daitezke.



Pedro Miguel Etxenike, Patxi Lopez Lehendakaria eta Jose Maria Pitarke hasiera ekitaldian (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

## 5.2. Zientzia, gizartea eta iraunkortasuna. Heziketaren itxaropena

Harol Kroto-k emandako irekiera hitzaldian egungo gizarteak zientzia, ingeniariaritzaren eta teknologiarekiko duen menpekotasuna azpimarratu zuen. Horiexek dira gure bizi kalitatearen eta hobekuntzen jatorria. Baina teknologia horiek, ondoegi dakigun legez, onerako eta txarrerako erabil daitezke eta, zoritxarrez, gure gainean ezartzen diren arrisku handienak, arma nuklearrak edo lurraren baliabideen gaineko hondamendi basatia besteak beste, teknologiaren aurrerapenarekin zuzenki erlazionatzen dira. Haren ustez zientzia eta teknologiaren garrantziak ardurazko postuetan oinarritzko ezagutza batzuk izatea eskatzen du nahitaez. Haren hitzetan, “ezagutzak erabaki jakintsuak hartzea bermatzen ez badu ere, argi dago ezjakintasunaren bidetik ez garela jakinduriara helduko”.

Etorkizunari begira ezkorra zen. Ezinbestekoa ikusten zuen gizartearen segmentu guztiek zientzia, gizartea eta iraunkortasuna gizadiak inoiz izan dituen erronka arrikutsuenak direla onartzea, eta horren arabera jokatzea. Horrela eginez gero, hurrengo mendera bizi irauteko aukeren erdia izango genuke. Biziraupenaren lehia horretan, nanozientziak eta nanoteknologiak funtsezko rola jokatuko dute, beste arloekin uztartuz eta aurrerapausoak ematen jarraituz.

Orain arteko porrota begien bistakoa bada ere, agian azken itxaropen hau geratzen zaigu: Internetek komunikatzeko eskaintzen dizkigun aukera berriak aurrerantzean gizadia globalki hezteko erabiltzea, gure biziraupenerako jada hil ala bizikoak diren erabakiak hartzerakoan jarrera arrazionalak izateko.

Heziketarekin erlazionatutako ekimen berezi bat antolatu zen atomyatom biltzarraren baitan. Irailaren 29an, Zientziaren Kutxagunean Harold Kroto eta Heinrich Rohrer Nobel Saridunek elkarriketa informala izan zuten DBH-ko 4. mailako eta batxilergoko 130 ikasle eta 43 irakaslerekin. Pedro Miguel Etxenike izan zen elkarriketaren moderatzailea eta bertako ikasleek beren galderak egiteko aukera izan zuten. Galderak hiru multzotan sailkatu ziren: (i) biografikoak, haien bizitza eta heziketa zientifikoari buruzkoak, (ii) nanozientzia eta nanoteknologiari buruzkoak eta, bukatzeko, (iii) etorkizunari buruzko haien hausnarketei zegozkienak. Eztabaida oso aberatsa izan zen eta amaieran partaide guztiek azpimarratu zituzten bi Nobel saridunen gertutasuna eta jatortasuna. Luzea izango litzateke egindako galderen eta maisuek emandako erantzunen berri hemen ematea. DIPC-ko web telebistan (<http://dipc.tv>) zuzenean ikusteko eta gozatzeko gonbidapena luzatzen dugu, ordea.



Heinrich Rohrer, Harold Kroto eta Pedro Miguel Etxenike Kutxagunera joan ziren ikasleekin (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

### 5.3. Naturaren ereduari jarraituz

Nanozientzia eta nanoteknologiaren zutabeetako bat autoantolaketaren ideia dugu eta, horretarako, Naturaren eredua dugu, Naturan bertan dugu non ikasi. Atombyatom biltzarreko hiru hitzalditan autoantolaketa zertan datzan ikas- teko aukera izan genuen. Hizlariak Carlo Bustamante, Félix Goñi eta Juan Colmenero izan ziren.

Carlos Bustamantek birusek DNA molekula kapsularen barruan paketatze- ko erabiltzen duten motor molekularra deskribatu zuen. Infekzioaren zikloan, birus askok proteina-kapside batean paketatuta behar izaten dute erreplikatu berri duten genoma. Hartara, edukia beste zelula ostalari batzuei behar bezala igorriko eta emango zaiela bermatzen dute.  $\phi 29$  bakteriofagoak, beraz, 6,6 nm-ko luzera duen bi kateko bere DNA molekula paketatuta, eta 42 nm-ko diametroa eta 54 nm-ko altuera duen kapside batean sartzen du. Horretarako eboluzioak motor molekularra eraiki du birusaren kapsulan, energia kimikoa DNA molekula paketatze- ko behar den lan mekaniko bihurtzen duena. Bustamente irakasleak aurkeztu zituen motor horren inguruan egindako ikerketaren emaitzak eta era ulergarrian erakutsi zuen Eric Drexler-ek proposaturiko nanomakinak dagoeneko Naturan existitzen direla. Aparteko makina da, hainbat energia (entropikoa, elektrostatikoa eta toles- te energia) gainditzeko eta DNA molekula kapsidean ia dentsitate kristalinoaz paketatze- ko gauza baita. Pintza optikoen laguntzaz, motor horrek batez beste 57 piconewton-eko indarrari erantzun diezaiokeela ikasi genuen. Motor hori ezagu- tzen ditugun motor molekularren artean indartsuenetakoa dugu.



Carlos Bustamante bere hitzaldian (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).



Felix Goñi irakasleak nanopartikula lipidikoen ezaugarriak aztertu zituen. Irudi txarra izan arren, bere hitzaldian gantzen (lipidoen) garrantzia erakutsi zuen. Alde batetik mintzetan aurkitzen diren lipidoen kasua aipatu zuen, fosfolipidoak eta kolesterola hain zuzen ere. Fosfolipidoek, uretan sakabanatzen direnean, nanopartikulak osatzeko ahalmen berezia dute. Nanopartikula lipidiko horiek (NPL) besikula itxiak (liposomak), nanotutuak edo esferulak (mizelak) izan daitezke. NPL-ak botikak garraiatzeko erabil daitezke; hain zuzen ere, gaixorik dauden zeluletara botikak zuzenean bideratzeko. Kolesterola bizitarako ezinbesteko molekula da, kolesterolek eratorritako zenbait gantz bereziki; behazun gatzek dietako gantzak mizela nanoesferiko bihurtzen dituzte, digeritu ahal izateko.

Mintzetako zenbait lipido oso kopuru txikietan agertzen dira, baina aldi berean oso garrantzitsuak dira, era katalitikoan lan egiten dutelako eta mintzaren ezaugarriak aldatzea lortzen dutelako. Kopuru txikian dauden gantz horien artean, zeramidak eta diglizeridoak ditugu. Lehenak alborantz sakabanatzen dira eta, hortik, mintzetan nanoeskualde bereziak sortzen dira. Diglizeridoek, berriz, mintzen egitura laua hiru dimentsioko nanoegitura (fase kubikoa) bilakatzen dute.



Félix Goñi bere hitzaldian (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

Soilik gantzez eta urez osatutako NPL motak zenbait teknikaren bidez ikus daitezke: fluoreszenzia bidezko mikroskopia konfokala, transmisiozko kriomikroskopia elektronikoa eta X izpien sakabanaketa. Batzuetan, gainera, teknika horien bidez, informazio ugari ematen duten eta edertasun estetiko berezia duten irudiak lortzen dira.

Juan Colmenero-k automihiztadura molekularren eta nanoteknologiaren arteko harremana aztertu zuen bere hitzaldian. Tradizionalki automihiztadura terminoa (self-assembly ingelesez) molekula jakin batzuek, baldintza jakin batzuetan, berez elkartu eta termodinamikoki egonkorak diren egitura geometrikoak (agregatuak) sortzeko egiten duten prozesua definitzeko erabiltzen da. Automihiztaduraren fenomenoak oso ohikoak dira Naturan eta elkartzen diren unitateak, molekulez gain, atomoak, partikula koloidalak, makromolekulak (polimeroak), lipidoak eta peptidoak bezalako molekula biologikoak izan daitezke.

Automihiztaduraren bidez sortutako objektuen tamaina hamarka edo ehunka nanometrokoa izan ohi da kasurik gehienetan. Hori dela eta, automihiztaduraren prozesuak oso interesgarriak dira egun garatzen ari diren nanozientzia eta nanoteknologiarako. Jakina, manipulazio atomiko eta molekularren bidez egitura nanometrikoak lortzeko abian jartzen ditugun prozesuek eta Naturan gauzatzen den berezko automihiztadurak antza handia dute. Alabaina, manipulazio atomikoak eta molekularrak teknologikoki oso sofistikatuak diren bitartekoak eskatzen dituzte eta prozesu neketsuak izan ohi dira. Automihiztaduraren kasuan, berriz, hauxe dugu: baldintza egokiak egonez gero, antolaketa berez gauzatzen da. Horrenbestez, imajina daitekeen bezala, automihiztaduraren prozesuen ezagutza sakonak eta kontrolak tamaina eta propietate doigarrietako nanoegiturak lortzeko metodo samurrak definitzea ahalbidetuko luke. Hori dela eta, automihiztadura (autoantolaketa) nanoteknologiaren garapenaren funtsezko prozesua dugu.



Juan Colmenero bere hitzaldian (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

#### 5.4. Nanoteknologiaren etorkizuna: aplikazioen bila

Nanoteknologiaren etorkizuneko aplikazioen inguruan aritu ziren gainerako lau hizlariak. Sir John Pendry-k argia material nanoegituratuen bidez kontrolatzeko dauden aukerak aztertu zituen. José A. Maiz-ek hausnarketa egin zuen, ikuspuntu orokor batetik, nanozientzia eta nanoteknologiaren etorkizunari buruz. Emilio Mendez-ek, berriz, nanoteknologiak erronka energetikoari erantzuna emateko dituen aukerak aztertu zituen. Eta, bukatzeko, Albert Fert-ek etorkizuneko elektronika berriaren ateak ireki zizkigun, espintronika zertan datzan azalduz.

Sir John Pendry-k azaldu zuen legez, argia kontrolatzeko dugun ahalmena uhin luzeraren tamainara mugatu ohi da: gutxi gorabehera 0,5 mikra argi ikusgarirako. Gaur egun ikertzaileek duten helburua optika eta nanoteknologia uztartzea da, horretarako egun dauden bitarteko teoriko berriak erabilia. Transformazio-optika optikaren barneko teknika berria da, hasiera batean argia zehaztasun mugagabearekin kontrolatzea ahalbidetzen duena. Material berriak erabiliz, transformazio-optika argia edozein luzera eskalatan kontrolatzeko bitarteko oso indartsu bilakatzen ari da.

Egunero erabiltzen ditugun materialek beren osagaiei (atomoak eta molekulak) zor dizkiete propietateak. Ereku elektromagnetiko makroskopikoak tokian-tokiko eremu fluktuatzaileen batezbesteko matematikotik eratortzen dira; horretarako, oso ongi definitutako kalkuluak eta batezbestekoak egiten dira, ohiko material baten uhin luzerako neurri kubikoak milaka milioi molekula baititu. Metamaterialek, artifizialki nanoegituratutako materialek, kontzeptu hau are eta gehiago zabaltzen dute, argiaren uhin luzerarekin konparatuz tamaina txikiak dituzten egitura artifizialak ipiniz. Argi ikusgaiaren kasuan egitura horiek nanometroaren ordenakoak izango dira; GHz erradiazioaren kasuan, berriz, hainbat milimetrotakoak izan daitezke. Horrela, propietate teknikoak egituraren bertan sar daitezke, konposaketa kimikoarekin gaineratu beharrean.

Aplikazio elektromagnetikoetan, metamaterialek parametro aldaera izugarria eskaintzen dute materialentzat. Hori dela eta, malgutasun berri hori ustiatuz sistema elektromagnetikoak diseinatzeko modu berri baten aurrean gaude. Ametsezko mundu batean eremu elektrikoak eta magnetikoak fisikaren legeek ezarritako mugekin bakarrik eraikitzeko aukera egongo litzateke, eremu horiek eskatutako konfiguraziora egokituko litzatekeen metamaterial aproposa erabilia.



Sir John Pendry (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

José A. Maiz-en iritziz, ez dago inolako zalantzarik iraultza teknologiko baten atarian gaudela eta bertatik materialetan, elektronikan, medikuntzan eta kontsumitzaileei eskainiko zaizkien produktuetan eragin izugarria izango duten emaitza berdingabeak sortuko direla. Iraultza horren azken eragina zein izango den oraindik ez dakigun arren, erraza litzateke elektronikak, antibiotikoak, barne-errekuntzako motorrak edo genomaren dekodifikazioak bere garaian izandako eraginaren parekoa izatea. Kasu horietan guztietan, garapena mailakatua izan zen eta hasierako aurrerapena lehen proiektioek aurreikusitakoa baino geldoagoa iruditu arren, azkenean eragina orokorra izan da, hasierako edozein aurreikuspen txiki utzi duena eta hasiera batean irudikaezinak ziren erak hartu dituen. Inork irudikatzen al zituen orain dela 25 urte gaurkoak bezalako konputagailu pertsonalak, haririk gabeko komunikazioak eta internetek gizartean, ekonomian, lan munduan eta globalizazioan izandako eragina? Erabat irudikaezina zen eragin hori, transistorea sortu zenetik jada ia 40 urte igarota baziren ere.

Aurreko kasuetan bezala, iraultza nanoteknologikoaren onurak ateratzeko funtsezkoa izango da inbertsio bikoitza egitea; alde batetik, kualifikazio altuko adituak sortzen eta, bestetik, aurkikuntzak berehala eragin teknologikoko produktu bihurtzea ahalbidetuko duen ekosistema bat garatzen. Hori egiteko gai diren gizarteek sortutako produktuetatik zein berrikuntzan oinarritutako ekonomiatik onura ikaragarriak jasotzeko aukera izango dute.

Emilio Méndez energiaren erronkaz aritu zen. Energiaren krisia orain dela urtebete bezain benetakoa eta sakona da, orduetik petrolioaren prezioa erdira baino gutxiagora murriztu bada ere. Arrazoi oso garbi dago: munduan kontsumitzen den energiaren % 80 iturburu fosiletatik sortua da (petrolio, ikatza eta gas naturala). Iturburu horiek oso azkar ari dira agortzen, munduan oso modu ezberdinean banatuta daude, eta ingurumenean ondorio negatiboak dituzte. Hori dela eta, derrigorrezkoa da energia kontsumoa murriztea (adibidez, energiaren igorpen, biltegitate eta erabilpen eraginkortasunak igoz), eta energia berriztagarri eta ez kutsatzaileak garatzea. Premiazko erronka hori aurrera eramatea, gainera, bereziki zaila suertatzen da gizarte modernoak eskatzen duen hazkunde ekonomiko etengabearekin uztartu nahi bada.



Emilio Méndez bere hitzaldian (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

Emilio Méndez-ek azpimarratu zuen bezala, nanoteknologia ahalmen izugarriko iraultza da, eta erronka energetiko horri aurre egiteko laguntza erabakigarria eman dezake. Eskala horretan, elektrizitatea kobreak eta aluminioak baino hobeto eroaten duten materialak ditugu, erreakzio kimikoak azeleratzeko gai diren materialak (ohiko katalizatzaileak baino merkeagoak direnak), eta eguzki-energia elektrizitate egungo eguzki-panelek baino modu eraginkorragoan bihur dezaketen gailuak. Aldiz, material horiek modu praktikoan eta ekonomikoan erabili ahal izateko, alde aurretik galdera zientifiko garrantzitsuei erantzun eta arazo tekniko handiak konpondu behar dira. Erantzunak eta irtenbideak bilatzea zientzialarien eta ingeniarien ahalegin kolektibo eta koordinatuaren bidez bakarrik izango da posible eta, horretarako, ezinbestekoa da gizarteak nanozientziako ikerketei kemenez eta era jarraituan babesa ematea.

Aipatutako aukera guzti horien artean, Albert Fert-ek (2007. urteko Fisikako Nobel Sariduna) espintronikaren erronkak aztertu zituen bere hitzaldian. Espintronika spin-polarizatutako korronteen manipulazioan oinarritzen da; hain zuzen ere, horretan ezberdintzen da elektroien spin-a kontuan hartzen ez duen elektronika klasikotik. Espintronikaren jatorria eroale ferromagnetikoen eroapen elektrikoari buruz egindako oinarritzko ikerketan dago; 1988. urtean multigeruza magnetikoetan magnetoerresistentzia erraldoia (GMR) aurkitu eta gero espintronikak garapen handia izan du.



José A. Maiz eta Albert Fert (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE).

Egun espintronika zabaltzen ari den ikerketa arloa da, eta ildo berritzaile ugari ditu. Spin-ak ahalbideturiko eroapenarekin, magnetorresistentzia erraldoiarekin eta magnetoerresistentzia erraldoiaren aplikazioekin lotutako oinarritzko konzeptuak azaldu eta gero, espintronikaren arloan emandako azken aurrerapenez aritu zen Fert irakaslea; bereziki, spin transferentzia (korronte elektriko baten spin-eko abiadura angeluarra injektatzerakoan sortzen diren aldaketa magnetikoak edo mikrouhinen oszilazioak), erdieroaleen espintronika, eta karbonozko materialen espintronika aipatu zituen.

Spin transferentzietan sorturiko mikrouhinen oszilazioekin lorturiko emaitzek garrantzi handiko erronka berriak jarri dituzte mahai gainean; adibidez, sinkronizazioa eta faseko kontrola spin transferentziaren bidezko osziladoreen sistematan. Ikerlari entzatzugarri interesgarriak diren beste arlo batzuk espintronika molekularra eta elektro bakarreko espintronika direla azalduz bukatu zuen Fert irakasleak bere hitzaldia.

**ATOMBYATOM ZENBAKITAN**

<p style="text-align: center;"><b>nano2009</b></p> <p>“Nano2009: Perspectives in Nanoscience and Nanotechnology” ekitaldia nazioarteko ohiko kongresu bezala antolatu zen atomyatom biltzarraren barruan. 2006. urtean antolatutako “nano2006: Perspectives in Nanoscience and Nanotechnology” kongresuaren jarraipena izan zen. Sei saio zientifikoren inguruan gauzatu zen: teoria eta simulazioa, nanomagnetismoa, nanooptika eta nanofotonika, automihiztadura, nanobioteknologia, eta nanogailuak. Horiexek dira, izan ere, nanoGUNEren eta DIPCREn ikerketa lerro garrantzitsuenak. Saio guztiak Kursaal-eko bilera areto batean egin ziren.</p>	<p style="text-align: center;">119 parte-hartzaile 15 hitzaldi gonbidatu 15 ahozko-ekarpen 48 poster-ekarpen</p>
<p style="text-align: center;"><b>Atomobyatom osoko saioak</b></p> <p>Atomyatom biltzarraren osoko saioak gjarzte osoari bideratutakoak izan ziren. Gizartearentzako interes handikoak izan litezkeen gaiak joratu ziren, hainbat arlotan (elektronika, osasuna eta material berriak, besteak beste) eragin sakona izan dezaketena. Osoko saio hauek arratsaldean antolatu ziren Kursaal-eko Ganbara Aretoan. Biltzarraren web orrialdean izena emandako guztiek doan parte hartu ahal izan zuten.</p>	<p style="text-align: center;">8 hizlari gonbidatu 2 Nobel saridun irailaren 28an, 812 entzule irailaren 29an, 708 entzule irailaren 30ean, 615 entzule</p>
<p style="text-align: center;"><b>Kutxaespazio Topaketa</b></p> <p>Irailaren 29ko goizean Donostiako Kutxaespazioko Newton Aretoan DBH-ko 4. mailako eta Batxilergoko ikasle eta irakasleek Heinrich Rohrer eta Harold Kroto Nobel Saridunak ezagutu ahal izan zituzten, Pedro Miguel Etxenike-k moderaturiko topaketa batean. Topaketa horretan elkarrizketa informala, eta aldi berean sakona, gauzatu zen. Gai nagusiak hauexek izan ziren: zientzialarien bizi-esperientziak, nanozientzia eta nanoteknologiaren oinarriko erronkak eta etorkizunari buruzko haien iritziak eta hausnarketak.</p>	<p style="text-align: center;">43 ikastetxe 130 ikasle 43 irakasle 240 partaide</p>
<p style="text-align: center;"><b>Atomyatom Interneten bidez</b></p> <p>Atomyatom biltzarraren osoko saioak eta Kutxaespazioko topaketa interneten bidez jarraitzeko aukera egon zen, biltzarraren, DIPC-ko eta Nanobasque-ko web orrialdeetan.</p> <p>Hitzaldi guztiak eta Kutxaespazioko topaketa DIPC-ko web telebistan (dipc.tv) daude eskuragarri.</p>	<p style="text-align: center;">1.119 bisita 60 Gb-eko trafikoa 475 ordu 25 min/bisita</p>

## 5.5. Ondorioak

Atombyatom biltzarraren antolaketa erronka garrantzitsua izan zen nanoGUNE-arentzat nahiz DIPC-arentzat. Nazioarteko biltzar zientifikoa eta gizarte osoari zuzendutako dibulgazio ekitaldiak programa bakar batean biltzea arrisku handiko apustua izan zen. DIPC eta nanoGUNE ezagutza zientifikoaren mugetan ari diren ikerketa zentroak direlarik, gure ardura ezagutza hori nazioarteko komunitate zientifikoari eta hiritar guztiei helaraztea da, ezagutza horrek gizartearen garapena, kultura eta askatasuna sustatuko baititu. Gure eginkizunetako bat zintzialarien eta gizartearen arteko zubiak eraikitzea da. Atomobyatom biltzarrarekin arlo horretan urrats garrantzitsua ematea lortu dugu, eta arro sentitzen gara horregatik.

Atombyatom biltzarra arrakastatsua izan da, hizlarien mailarengatik eta haien hitzaldien kalitatearengatik, bai eta hizlariekin gure proiektuak partekatze-ko aukera izan dugulako. Baina are gehiago hiritarrengandik jaso dugun erantzunarengatik. Gure aurreikuspen guztiak txikiak geratu dira eta hitzaldi eta ekintza guztiak interes eta berotasun handiz jarraitu dira. Zientzia gizarteratzeko gure konpromezua baieztatu eta sendotu egin da.



Atombyatom biltzarraren parte-hartzaileak (Iturria: Adrian Collins, DIPC-nanoGUNE)

Atombyatom biltzarraren arrakasta ezinezkoa izango zatekeen zenbait erakunderengandik jasotako babesak izan ez bagenu. Bihoazkie gure eskerrik beroenak Eusko Jaurlaritzari, Gipuzkoako Foru Aldundiari, Euskal Herriko Unibertsitateari, Tecnalia Korporazio Teknologikoari eta Zentro Teknologikoen IK4 Aliantzari.

Atomo eta molekulen eskalako (nanoeskalako) unibertsoa aukera berriez beterik dago eta hondoan benetan leku asko dago, agian Feynman-ek berak pentsatu zuena baino gehiago.

*Enrique Zarate; José M<sup>a</sup> Pitarke*