



## PODEM VEURE ELS ÀTOMS?

**Claudi Mans i Teixidó**

Departament d'Enginyeria Química  
Facultat de Química · Universitat de Barcelona

—*Jo no. Començo a tenir pèrdua de visió.*

No diguis bajanades. La pregunta no te la feia a tu, sinó al gènere humà. Es poden veure els àtoms?

—*Que no sóc del gènere humà, jo?*

Evidentment. Però la pregunta, repeteixo, és genèrica. Els àtoms, són una realitat observable?

—*Home, si estan molt lluny no. Són petits, i si te'n separen, deixes de poder-los apreciar. En això passa com amb els vaixells: quan s'allunyen, entre que es fan petits i la curvatura de la Terra, se t'esfumen.*

Em sembla que no m'agafes seriosament la pregunta. El que vull dir, repeteixo, és si els àtoms són una realitat física observable. T'ho dic per segona vegada.

—*A veure, la pregunta, ¿és retòrica, és un examen o és que tu no ho saps? Fins que no sàpiga el caire de la pregunta no et respondré seriosament.*

És una pregunta retòrica, de professor, com feia Sòcrates. La faig a l'alumne per tal que reflexioni, vegi

la seva ignorància i aprengui alguna cosa.

—*Oh, tu, mestre, Sòcrates reviscolat, il·lustra'm amb la teva saviesa, si és que jo, més humil que el darrer dels cucs de terra, puc arribar a copsar ni que fos un dels teus pensaments. Però què t'has cregut?*

Perdona, tens raó. De vegades ens passem. Tornem al tema. Es poden veure els àtoms? Amb els nostres ulls, vull dir.

—*Sembla que no. Són molt petits.*

I amb un microscopi molt potent?

—*Si tan potent és, deu ser que sí. Tot es deu poder veure amb un microscopi prou potent... Però, si ho preguntes així, deu ser perquè després puguis dir: «Doncs no. Ni amb un microscopi potent». M'equivoco?*

Doncs no. No t'equivoques. La resposta és: «Doncs no. Ni amb un microscopi potent».

—*Ara es suposa que jo haig de preguntar, pretesament admirat: «Però, com és possible? Ni amb un microscopi molt potent?». I tu respondràs: «Doncs no. Per potent que sigui, no és possible». M'equivoco?*

Doncs no. No t'equivoques. La resposta és: «Doncs no. Per potent que sigui, no és possible». I prou ja d'aquest joc. T'ho explico primer, i després preguntes. D'acord?

### QUÈ VOL DIR VEURE?

—*Tots sabem què vol dir veure.*

Científicament, veure vol dir: «percebre la imatge d'un objecte que els rajos lluminosos que provenen d'aquest formen al fons de l'ull sobre la retina». Si tu ara estàs llegint aquest article a la revista, alguna font de llum il·lumina la pàgina, i els fotons de la llum —aquestes petitíssimes partícules generades pel Sol, per una bombeta o per un llumí, que viatgen a la velocitat de la llum, perquè són llum— reboten a la pàgina blanca. A les lletres negres no hi reboten, sinó que hi són absorbits, i les escalfen una miqueta.

—*Les lletres negres són més calentes que les parts blanques de la pàgina?*

Sí. No ho he mesurat, ni sé que s'hagi fet, però una mica més calentes deuen estar, segons la teoria. Els passa el mateix que les robes fosques, que són més calentes



Figura 1. Imatge d'una puça feta amb el microscopi òptic de John Cuff de 1780.

que les clares perquè absorbeixen més llum.

—Deien que els taxis de Barcelona s'escalfaven més pel fet de ser de color negre en molts trossos.

Això deien, i així és, però crec que van mesurar les temperatures interiors de dos taxis, un de normal i l'altre pintat de blanc, i van trobar-hi molt poca diferència. Actualment, amb els aires condicionats dels vehicles, la diferència seria irrellevant. Però tornem als fotons. A la retina t'arriben els fotons rebotats de les parts blanques de la pàgina. Incideixen sobre les cèl·lules de la retina, que generen un senyal elèctric, arriba al cervell i permet que interpreteu el que he escrit.

—I si porto ulleres?

És igual. Els fotons que surten de la pàgina es refracten a les ulleres, però són els mateixos fotons els que t'arriben a la retina. Els vidres no els absorbeixen. Si ara utilitzem un microscopi per veure una cosa molt petita, des del punt de vista físic, res no ha canviat. Els fotons que surten del Sol o de la bombeta reboten contra la pàgina, i van cap a l'instrument òptic, s'hi refracten i surten cap a la teva retina. Els mateixos fotons. D'acord amb la definició, estem veient els objectes. Els microscopis de John Cuff, del segle

XVIII, permetien veure les puces com a la figura 1. Però hi ha altres situacions diferents.

## RAIGS X I MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA

Si volem veure objectes o estructures molt petites, no serveix de res anar augmentant la mida i el nombre de les lents del microscopi. Simplement veuríem borrós i aparentment mal enfocat el tros d'objecte que estem intentant veure, però no hi ha manera d'enfocar-ho millor. Perquè no és l'instrument òptic el que ens està fallant, sinó la llum que usem, que ja no dona més de si. Com saps, la llum, i qualsevol altra radiació electromagnètica, és una realitat física que es pot descriure en termes de partícules—els fotons—o en termes de l'ona que porten associada. Per explicar això del microscopi i dels àtoms, aquí ens va millor pensar en termes d'ones.

—Tot això de la dualitat ona-partícula no ho he entès mai.

Ni ho entendre. Jo crec que no cal entendre-ho, sinó acceptar-ho. Simplement és un fet, perquè els experiments són els que són i els fets són els fets. La llum es reflecteix, es refracta i es difracta, o sigui que es comporta com les ones que descriu la física. I, al mateix temps, la llum té propietats corpusculars, com es pot deduir de molts experiments que no venen al cas. És el cervell el que no és capaç d'imaginar un objecte amb propietats aparentment incompatibles.

—I tu sí que ho visualitzes?

No, en absolut. Però no em culpo a mi mateix pensant que sóc jo el que no hi arriba, sinó que penso que és la naturalesa que no permet que hi arribi. És com intentar entendre com és possible que aquell pare de família tan amant dels seus fills sigui alhora un pederasta o un as-

sassí en sèrie. Dues realitats diferents, que són del mateix individu, que jo penso que no cal intentar fer compatibles entre elles. Una esquizofrènia que es pot constatar però que no es pot comprendre, només descriure. Seguim.

—Seguim, però permet-me que et digui que aquesta filosofia té una certa component de penques. Dient que no es pot entendre, i que per tant no cal preocupar-se per entendre-ho, tan panxo.

Tan panxo no. Però el que no pot ser, no pot ser. Ara, si vols, pots seguir torturant-te provant de comprendre el que no es pot comprendre, com feia sant Agustí.

—Què feia sant Agustí?

Diuen que anava passejant per la platja intentant comprendre el misteri de la Santíssima Trinitat, i es va trobar amb un nen que anava posant aigua de mar a un sotet de sorra, i que li va dir que volia posar tot el mar allà dins del pou. I com que sant Agustí li va respondre que allò era impossible, el nen—que era un àngel, deia el llibre—li va dir que més impossible encara era voler comprendre el misteri que el preocupava. Jo, allò que no entenc, ho classifico com a misteri i no me'n preocupava. Ara, per ser honest només puc posar a aquesta categoria de fets allò que no és possible d'entendre, no allò que no entenc perquè no en sé jo prou. I a vegades la decisió no és clara.

Hi ha molts tipus d'ones-fotons, que es distingeixen per l'energia que porten, i—en la llum visible—pel color com les percebem. Hi ha objectes que generen llum visible: el Sol o qualsevol altra estrella, una bombeta, el foc, un punter de làser, un objecte molt calent al roig, una marededéu fosforescent, una cuca de llum... Qualsevol d'aquests objectes o organismes subministra

ones-fotons que fan tot allò que hem dit. En els colors de la llum visible, la llum vermella té una longitud d'ona més llarga que la llum violada –més distància entre una cresta d'ona i la següent–, i les ones que la transporten tenen una freqüència més baixa –passen menys ones per segon–. I la llum vermella transporta menys energia. És com si els fotons de la llum vermella tinguessin poca massa. En canvi la llum violeta té la longitud d'ona més curta i la freqüència més alta, i més energia: és com si els seus fotons tinguessin més massa. Tot això pel que fa a la llum visible als nostres ulls.

—*Quan parles dels fotons, per què recalques «com si tinguessin poca massa» i no dius que realment tenen poca massa? Massa massa no tenen, oi?*

Perquè la massa és una propietat que depèn de la velocitat amb que va l'objecte, i en sentit estricte un objecte que va a la velocitat de la llum no podem descriure'l amb propietats dels objectes habituals que van a baixa velocitat. No, no em demanis que t'ho expliqui, pregunta-li a l'Einstein. Aquest és un d'aquells misteris que dèiem abans. Són fets que amb el nostre sentit comú habitual no podem explicar. Hi ha una equació...

—*Ja hi som...*

Sí, no en poso gaires però alguna sí. És aquesta:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

que relaciona la massa en repòs –o massa invariant, o simplement massa– d'un cos  $m_0$  amb la massa  $m$  –o massa relativista– que hipotèticament té a la velocitat  $v$ .  $c$  és la velocitat de la llum. Si  $v$  s'acostés molt a  $c$ ,  $m$  creixeria cap a l'infinit. Els objectes que van a la velocitat

de la llum tindrien massa infinita. Per ser coherent tot plegat, es considera que els fotons tindrien una hipotètica massa –en repòs– nul·la.

Les radiacions de menys longitud d'ona que la violeta, de 400 nanometres –un nanometre o nm és una milionèsima de mil·límetre–, i les de més longitud que la vermella –700 nm– no les podem veure, però segueixen la mateixa pauta. Des de la llum vermella cap a longituds més altes hi trobem la radiació infraroja o IR, les microones, les ones dels mòbils, les ones de radar i les ones de ràdio UHF, VHF, etc., de poca energia. I, per l'altre costat de l'espectre, la radiació ultraviolada –els famosos raigs UVA, i també els UVB i UVC–, els raigs X, la radiació de sincrotró, la radiació gamma i la radiació còsmica.

—*Les ones sonores són les ones de ràdio que dius? Com que de la ràdio se sent el so...*

No tenen res a veure les unes i les altres. Les ones sonores no són radiacions electromagnètiques, sinó vibracions mecàniques, ones de pressió que es transmeten en un medi material que vibri elàsticament, com els metalls, o que es pugui comprimir i expandir com l'aire. Ni a través dels matalassos ni a través del buit no es transmet el so, perquè el material del matalàs no vibra, i en el buit no hi ha res per vibrar. Les emissores de ràdio emeten radiació electromagnètica per l'antena emissora, i aquesta radiació, captada adequadament per l'antena d'un receptor, pot generar moviments en un altaveu, moviments que mouen l'aire i aquesta vibració mecànica de l'aire –aquesta ona sonora– és la que ens arriba a les orelles.

Imagina't un esquidador que va baixant per un pendent fent un *slalom*, fent contínuament esses el més seguides que pugui. Si l'esquidador és molt pesat –de pes, no de con-

versa–, anirà fent esses força distanciadades entre elles, perquè la distància que recorrerà és llarga entre essa i essa per la inèrcia i la poca agilitat que té. Això vol dir que se saltarà moltes banderetes. En canvi, si fos més prim, amb menys inèrcia, podria fer giragonses de forma més àgil, i aniria *caçant* totes les banderetes. És a dir, que el gras podria *veure* les banderetes cada deu metres, i el prim veuria les banderetes de cada cinc metres, possem per cas. El prim farà un recorregut sinusoidal que serà de freqüència més alta que la del gras: hi haurà més esses en el mateix tram, i haurà pogut passar per més banderetes.

Això és una analogia –una mica primària, cal dir-ho– per fer-te veure que una llum de freqüència més alta –l'esquidador àgil– permet veure coses més petites, perquè té una longitud d'ona –la distància entre dues giragonses– més petita, i *passa* per la matèria de forma més íntima. Les longituds d'ona més grans, per dir-ho així, circumval·len la matèria sense penetrar-hi tant. Encara dit d'una altra manera, una llum de freqüència més alta és capaç de ficar-se per matèria més compacta, perquè és més penetrant.

Tota aquesta manera de parlar és molt inexacta, i faig servir analogies que no són prou precises. El que és un fet és que la llum visible és capaç de permetre'ns visualitzar objectes de fins a 0,1 mm a ull nu, que són 100000 nm, i fins a 200 nm amb un microscopi molt potent, és a dir, 500 vegades més. Però si els objectes són més petits, ja no els podem dilucidar amb la llum visible, perquè és com si la llum visible els rodegés. Només es veu una imatge borrosa: un microscopi amb lents més potents ens donaria imatges més grans però borroses i no ens permetria veure els detalls fins.

—*I què farem, doncs, per veure els objectes més petits?*

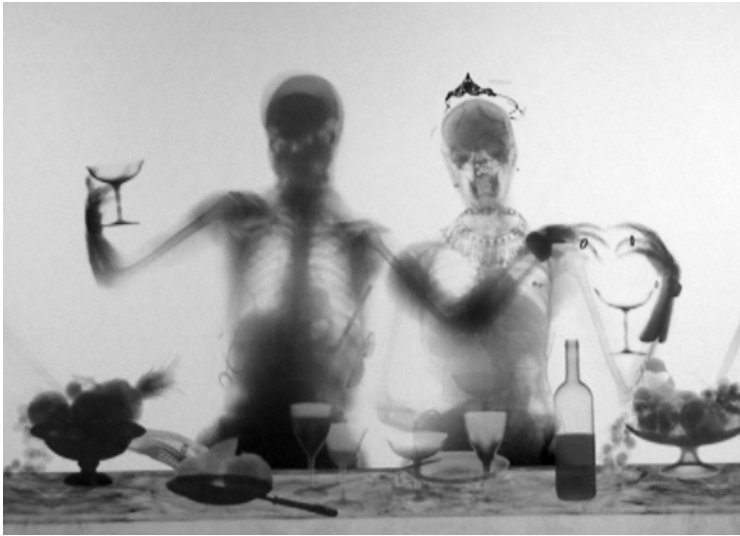


Figura 2. Fragment de l'obra *Banchetto di nozze* (2003) de Benedetta Bonichi. Raigs X i tècnica mixta en poliform i alumini. 170x610 cm. Col·lecció de l'artista.

Bona pregunta retòrica, de la que ja en saps la resposta: usar llum de freqüència més alta, i longitud d'ona més baixa, que pugui ser més *penetrant*. Problema: aquestes llums més penetrants no són visibles pels nostres ulls, i hem d'usar tècniques addicionals per veure-les. La llum ultraviolada, per exemple, no la podem veure amb la nostra retina, i hem d'usar captadors especials per detectar-la. Un d'aquests captadors de llum UV podria ser una camisa.

—Has escrit «camisa». Què és una camisa, en aquest context?

En aquest context, el terme *camisa* vol dir una camisa. Una camisa normal de roba, i millor que sigui blanca. Si hem rentat la camisa amb un d'aquests detergents que renten més blanc que el blanc veurem brillar la camisa quan la il·luminem amb llum ultraviolada. Aquests detergents contenen un compost químic —sol ser un derivat de l'estilbè— que es diposita a la superfície de les fibres, i s'activa quan és il·luminat amb llum ultraviolada, desprenent llum visible. O sigui que quan posem aquesta camisa al sol, veiem la llum que reflecteix del Sol —la llum blanca, si la camisa és blanca— i una llum addicional blavosa, procedent

de la radiació ultraviolada del Sol que arriba a la camisa i es transforma en llum visible. El resultat és més llum procedent de la camisa que la que reflectiria si no tingués el blanquejant òptic. Amb una camisa de colors el fenomen és el mateix, però és emmascarat pels altres colors, que en redueixen la vistositat. I no cal que sigui una camisa, pot ser qualsevol peça. I si ets a una discoteca amb llum *negra* —llum UVA— veus només la camisa que brilla de forma fantasmagòrica amb el color blavós. Aquest és un efecte visual que llueix molt als dimonis dels Pastorets, o a les *mademoiselles* del Crazy Horse de París.

—La camisa blanca, un instrument científic a casa. Qui m'ho havia de dir. I tot això que dius ho has vist?

Sí. Ho he vist. Els Pastorets sí que els he vist.

Els raigs X tenen una longitud d'ona molt més petita que la llum visible, i per això són més penetrants. Però per usar la llum ultraviolada com a font de llum d'un microscopi caldria fer-hi grans canvis. Les lents no podrien ser de vidre, perquè el vidre normal absorbeix la llum

ultraviolada. El problema dels raigs X és similar a la radiació UV: en bona part són absorbits pel vidre. A més hi ha el problema de les radiacions molt penetrants: si tan energètiques són, arriben a ser radiacions ionitzants, que modifiquen les cèl·lules i poden generar mutacions i càncers. Per això no s'usen microscopis de raigs X. El raigs X s'usen per veure estructures anatòmiques a mida natural, per exemple l'etmoides o el vòmer, però no per magnificar objectes petits. Però, com que no es poden observar directament els raigs X amb els nostres ulls...

—... Excepte en Ray Milland. El 1963 va fer una pel·lícula que es deia *L'home amb raigs X als ulls* (*The Man with X Ray Eyes*). Era de terror, de Roger Corman. Encara recordo l'escenografia que hi havia a l'entrada del cine Capitol de la Rambla de Barcelona, amb els llums del sostre que eren ulls sanguinolents, i una pantalla on es veia la silueta d'una senyora despullada que periòdicament canviava i se li veien els ossos.

Sí, però una cosa és tenir raigs X, és a dir, emetre raigs X, i l'altra tenir un captador de raigs X. Què tenia en Milland?

—A la pel·lícula hi veia a través d'objectes sòlids, no sé què tenia.

Si ell hi veia a través dels objectes, és que algun aparell misteriós posat darrere l'objecte emetia una radiació, de raigs X a jutjar pel títol, que travessa l'objecte pels llocs on no hi ha masses òssies, i les retines en serien el captador. Una altra hipòtesi seria que ell alhora emetés radiació i en captés la radiació rebotada. I encara una altra possibilitat seria que els seus ulls captessin una radiació desconeguda que els objectes emetessin. A la pel·lícula no quedava clar res. En les radiografies reals el que es fa és disposar una font de raigs X darrere el cos i fer que la radiació el travessi.



A continuació s'impressiona una placa fotogràfica on arriben els raigs X que aconseguen creuar l'objecte, modifiquen les sals de plata de l'emulsió fotogràfica, i quan es revela la placa es veuen —amb llum visible posada al darrera de la placa— els punts impressionats i els que no, que corresponen a les estructures biològiques. Abans els aparells de raigs X eren observats directament pel metge, i fins i tot per la família del pacient. Encara recordo haver vist *per dins* el meu germà Albert quan el van *passar per la pantalla*. Se li veien els moviments dels òrgans en directe. Ara això ja no es fa, perquè els observadors rebien massa radiació. Mira la figura 2 on es veu la radiografia d'un banquet nupcial. És art, perquè qui ho ha fet és una artista italiana actual.

—Tot el que fan els artistes és art?

Per definició. Però, en una radiografia, veiem realment les estructures biològiques?

—Deu ser que no, si ho preguntes amb aquest èmfasi.

Efectivament, no. Els que sí que veiem són els fotons de la llum que travessa la placa fotogràfica, però ja no els fotons de raigs X que travessen les estructures biològiques. I tornem a veure els fotons del llum fluorescent que es col·loca per poder observar la placa. Però veiem la placa fotogràfica, no els ossos reals sinó una imatge seva. I aquest fet fa que aquesta observació sigui diferent de les altres situacions anteriors.

L'any 1931 va sorgir una idea genial, derivada de la teoria onapartícula de de Broglie. Si cada partícula té associada una ona i viceversa, els electrons molt accelerats tindran una radiació associada, i com més ràpids viatgin, més penetrant serà la radiació, i permetrà veure objectes més petits que amb llum

visible. I així els alemanys Knoll i Ruska van dissenyar el microscopi electrònic. Per aquest invent li van donar a Ruska el premi Nobel de Física el 1986.

—I per què no a Knoll?

Un motiu important és que ja havia mort, i no es donen premis Nobel a savis difunts. En un microscopi electrònic un feix d'electrons s'accelera en un aparell similar al tub d'un televisor dels de pantalla no plana, un tub de raigs catòdics. I aquest feix d'electrons dirigit contra un objecte és capaç de dilucidar estructures molt fines, perquè els electrons accelerats tenen associada una ona amb un poder de resolució de 2 nm. Això és, més o menys 50000 vegades més resolució que la vista. Això sí, per veure objectes tan petits hem de reflectir i refractar la radiació com fem amb la llum visible en els microscopis ordinaris, és a dir, necessitem lents com en un microscopi normal.

—Les lents de vidre funcionen amb els electrons?

No, els electrons queden frenats pel vidre i per la matèria en general. Una lent normal no serviria. Es fan servir lents electromagnètiques, que són uns electroimants foradats per on passa el feix d'electrons, que s'estrangula o s'eixampla segons el valor del camp magnètic dels electroimants, exactament igual que la llum visible s'estrangula o s'expandeix depenent de la curvatura de la lent de vidre. I s'ha de treballar en condicions de buit molt intens, perquè si no, el gas frenaria els electrons. I així es poden fer uns microscopis similars als microscopis òptics, però amb molt més poder de resolució. Són els microscopis electrònics, que poden treballar de moltes maneres. Poden funcionar per transmissió, com molts microscopis òptics, i es diuen TEM (*Transmission Electronic Microscope*). També hi ha el SEM (*Scanning Electronic*

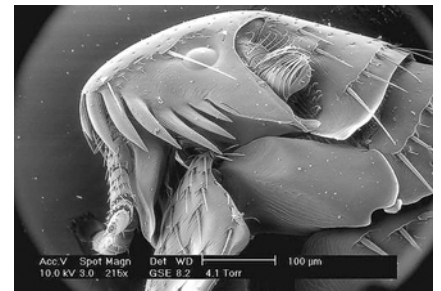


Figura 3. Cap d'una puça observada amb microscopi electrònic.

*Microscope*) que rastreja la superfície amb el feix d'electrons. L'aparell capta els electrons rebotats, altres electrons que es generen per la interacció del feix que entra i la matèria —els *electrons secundaris*—, i alguns raigs X i llum generada en el procés. Tot plegat permet arribar a resolucions de fins a 250000. Hi ha molts problemes experimentals, perquè com que es treballa en condicions de buit, els materials biològics han de ser completament secs, i això en limita l'aplicació a materials morts i dessecats, o a materials fixats amb diferents tècniques. A la figura 3 pots veure el cap d'una puça força clarament.

Inicialment només es podien veure les coses en blanc i negre.

—Per què? Com el cine, la foto o la televisió, que primer van ser en blanc i negre?

Els electrons no es veuen, com tampoc es veuen els raigs X, i la manera com es detectaven era fent que xoquessin contra una placa fotogràfica en blanc i negre, que quedava impressionada, i després es revelava. Actualment el feix d'electrons es capta amb sistemes electrònics que, amb un adequat tractament d'imatge, permet que veiem les imatges de colors. Però són colors falsos, perquè són generats pels programes d'ordinador, i no corresponen a colors reals de la matèria observada. La microscòpia electrònica és una tècnica ben consolidada que ha permès avenços enormes

en biologia i en ciència de materials, per exemple.

### RADIACIÓ DE SINCROTRÓ I AFM

Volem encara microscopis més potents.

—*Efectivament. Volem veure els àtoms, que són més petits que 2 nm. Usarem radiació més potent encara...*

Doncs sí. De fa uns anys que es coneix la *radiació de sincrotró*. Si es fan girar electrons, o altres partícules amb càrrega elèctrica, a gran velocitat en un camp magnètic tal com el d'un accelerador de partícules tipus sincrotró, es genera una radiació molt intensa, de longitud d'ona molt baixa, i, per tant, molt penetrant. Això es va descobrir el 1947. Aquesta radiació, que es perdria, es pot usar per veure objectes molt petits amb gran resolució. Ara s'està muntant un sincrotró a Cerdanyola, el sincrotró Alba, al servei de la recerca i la indústria, per caracteritzar estructures a escala molecular. N'hi diuen laboratori de llum de sincrotró. N'hi han dit de *llum* i no de *radiació* de sincrotró, perquè la paraula *radiació* és políticament incorrecta, i als ulls de la població sona a radioactivitat i a energia nuclear, que, com se sap, per a molta gent és lletja. No dient-ne radiació, problema ocultat.

—*I per què es diu Alba un sincrotró, i no Manel, o Obdúlia?*

No ho sé. Posats a imaginar, potser els promotors pensen que, dient-se com la protagonista del *Mecanoscrit del segon origen*, mítica novel·la del 1974 de Manuel de Pedrolo i llibre de capçalera de l'esquerra antifranquista, amb aquest nom reduiran el rebuig que a priori podria generar una instal·lació enorme, caríssima i paradigma de la *tecnociència* que determinats grups

d'esquerra rebutgen per sistema. No ho sé, potser sóc molt mal pensat.

Doncs aquesta radiació de sincrotró, més penetrant, pot arribar a visualitzar estructures moleculars i cel·lulars més petites encara. Però encara no podem veure els àtoms.

—*I què farem per veure'ls? Perquè jo ja en tinc ganes...*

Doncs canviarem l'estratègia. En lloc de seguir buscant radiacions cada cop més penetrants, que n'hi ha però que destruirien la matèria que volem observar, tancarem els ulls i els detectarem pel tacte.

—*Pel tacte?*

Pel tacte. Un tacte una mica especial, perquè no és el tacte de la nostra pell, sinó el tacte d'una agulla molt fina. Farem la mateixa tàctica —tàctica deu venir de tacte?— que els cecs que llegeixen els textos escrits en braille, amb aquelles protuberàncies sobre el paper que formen les lletres. Podem imaginar els àtoms com boletes, amb un nucli petit i molt dens, i un embolcall molt tou i molt poc dens, que és tot el conjunt d'electrons. Imagina't una fila d'àtoms un al costat de l'altre, per exemple els àtoms d'un metall<sup>1</sup>, que estan disposats regularment, a distàncies aproximadament constants. Els electrons exteriors d'aquests àtoms estan tots compartits per tots els àtoms, formant com un núvol electrònic que envolta la part central dels àtoms, amb els nuclis i els electrons més interns. Això de compartir uneix molt. El problema ve a l'hora del divorci, perquè no saps què és de cadascú. Per això costa tant trencar els metalls.

—*No antropomorfitzis la naturalesa inanimada. Parlant de núvols, cada vegada que vaig en avió em meravellen els núvols. El que més em crida l'atenció és la nitidesa de la separació: aquí hi ha núvol, aquí no. Un dia ho hauries d'explicar.*

La veritat és que per ara no t'ho podria explicar bé, perquè hi ha alguns aspectes del fenomen núvols que se m'escapen. Hauré d'estudiar-ho més. Pensa, però, que el núvol electrònic de que parlem no té una frontera tan nítida. En teoria, el núvol s'estén fins a l'infinit, cada vegada més tènue. És a dir, com més lluny, menys probabilitat de que l'electró passi per allà en alguna ocasió, però mai no s'anul·la. O sigui que ara, potser algun dels teus electrons m'està creuant la melsa. Ja saps que tot això és també una manera de parlar, perquè parlant així és com si els electrons fossin sempre aquelles boletes dures i petites que van orbitant, i no és això: la boleta dura és una modelització simple d'un fenomen també onapartícula. Però bé, imaginant que el núvol electrònic fos com un núvol d'aigua, amb una superfície més o menys delimitada, aquesta *superfície* electrònica mostraria bonys cap enfora, just allà on hi ha nuclis a sota, i mostraria sotets i depressions, just als punts corresponents a espais entre els dos àtoms. Talment com si amaguéssim pilotetes sota la catifa. Doncs si som capaços de passar per sobre de la superfície algun palpador que fos capaç de detectar aquestes pujades i baixades, estaríem detectant també els nuclis dels àtoms que hi ha a sota. I si fem un dibuix d'aquests bonys, estem fent un dibuix dels àtoms.

—*Sembla que m'estiguis explicant el conte de la princeseta del pèsol, aquella que no podia dormir perquè notava un pèsol a sota d'una pila de matalassos. Com és possible detectar un nucli si tan petit és, i situat tan lluny —relativament— d'aquesta superfície per on passem el detector?*

<sup>1</sup> En sentit estricte, a un metall no hi ha àtoms, sinó ions dels àtoms, units pel fet que comparteixen els electrons de tots entre tots.

Bé, el nucli és molt petit, però has de pensar que té la mateixa càrrega elèctrica que el conjunt d'electrons que l'envolten, i hi influeix de forma considerable. No és tema de volums sinó de càrregues elèctriques. Un pèsol sota el matalàs el deforma una miqueta gairebé imperceptible, però un nucli atòmic deforma el núvol d'una manera important.

Tot plegat et pot semblar molt esotèric, però aquests tipus d'aparells es venen a les botigues. El sistema te l'has d'imaginar com si fos una agulla de tocadiscos antiga, dels discos de vinil, que notava les irregularitats de les estries del disc.

—Per cert, ja que parles d'estries, tu saps quants solcs tenia i té una cara d'un disc de vinil dels grossos?

No ho sé, molts.

—Una estimació...

Doncs tenint en compte el temps que dura la música i la velocitat de gir de 33 revolucions per minut, em surten 890 solcs. He comptat que l'agulla es desplaça a una velocitat aproximada de entre 30 i 15 cm/s, segons que estigui al començament o al final del disc.

—Molts menys solcs.

Serà el teu disc.

—Un solc. Tots els discos tenen un solc a cada cara.

Un? Com que només un? Per què només un? Ah, sí, és clar, només un! Llarg, però només un. Tens raó. Estaria bé calcular com de llarg és.

—405 metres. Si va a una mitjana de 22,5 cm/s i una cara de disc dura 30 minuts, multiplica...

Geometria recreativa musical. Seguim amb el tacte dels àtoms.

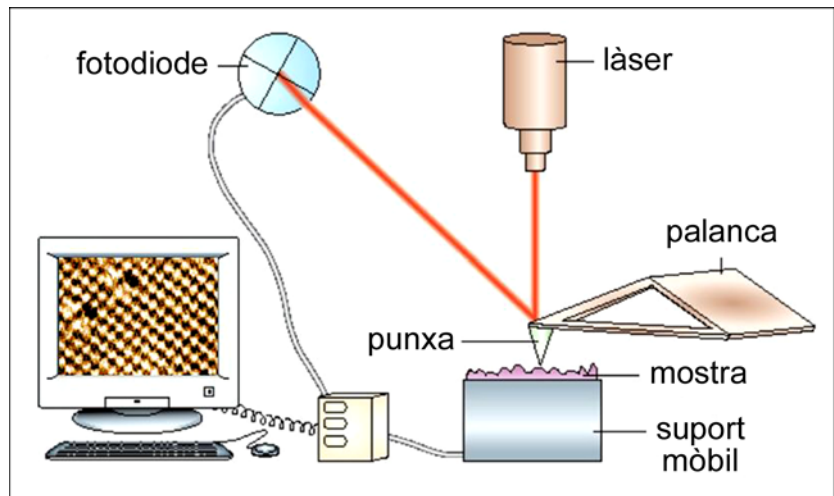


Figura 4. Esquema d'un microscopi de forces atòmiques. A la pantalla s'hi observa la representació de la superfície del clorur de sodi.

Has vist que es tracta, simplement, de tenir una punta fina que s'acosti a la superfície del material que volem observar i que la vagi resseguint. I després caldrà un sistema de captació del senyal, és a dir, un sistema que permeti captar aquestes pujades i baixades del captador i ho transformi en un senyal visible.

—Bé, sí, d'acord. Però hi ha moltes pegues en tot això que expliques.

Doncs, vinga!, endavant amb les pegues.

—La primera. El núvol electrònic dels àtoms no sembla que sigui una cosa dura, sinó una cosa tova, fàcil de deformat, i si la resseguim amb qualsevol cosa —la punxa fina que dius, un nanodit infinitesimal, per exemple— el dit s'enfonsaria fins arribar al nucli, no es quedaria a la superfície. Dic jo.

No. Penses així perquè fem servir la paraula *núvol* i sempre ens l'imaginem com una cosa flonja. Estàs barrejant dos nivells, l'atòmic i el macroscòpic. Quan tu ressegueixes la superfície d'un metall, per exemple, què està passant? El teu dit va pujant i baixant seguint les irregularitats. Però, a escala atòmica, podem dir que els núvols elec-

trònics dels àtoms més externs de les membranes de les cèl·lules externes de l'epidermis del teu dit, coma, intenten penetrar els núvols electrònics dels àtoms externs de la superfície del metall.

—Quina frase...

No té res de complicada, només és llarga. I quan dos núvols electrònics s'intenten interpenetrar, com que tot són electrons, es repel·leixen per forces electrostàtiques, i per això no podem penetrar en el metall. És com la repulsió entre dos pols iguals dels imants, però en electrostàtica i no en magnetisme.

—Però el tacte no és una repulsió electrostàtica, és una cosa mecànica. Vaja, almenys és l'experiència directa que jo tinc.

La sensació mecànica que tenim quan posem el dit a una superfície dura i ens ofereix resistència és mecànica al nivell macroscòpic habitual, però a nivell microscòpic són repulsions electrostàtiques, no ho dubtis. És la mateixa cosa vista més a fons. L'electrostàtica explica moltes de les propietats de la matèria: la duresa, la mal·leabilitat, la solubilitat, la flexibilitat, la viscositat dels líquids... Tot ho pots enfocar des de la perspectiva dels enllaços entre



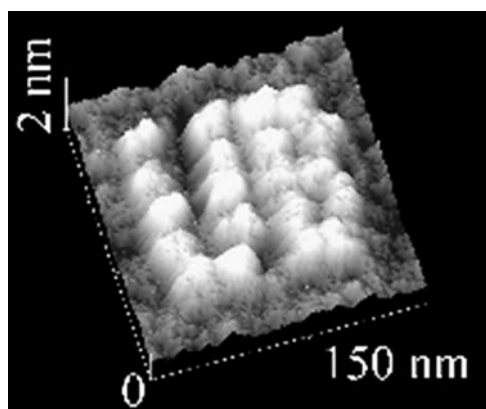


Figura 5. Superfície de silici, oxidada punt a punt fins a escriure «UB». Procés i imatge obtinguts per un microscopi AFM. Autor: Faust Sanz, Departament de Química Física, Universitat de Barcelona, i Institut de Bioenginyeria de Catalunya (IBEC). Amb autorització.

àtoms i dels enllaços entre molècules, i tots són interaccions electrostàtiques.

—*I per què podem sucuar el dit en l'aigua? Que no passa el mateix fenomen? L'aigua hauria de presentar una resistència similar al ferro, no?*

No. Les molècules d'aigua no estan unides entre elles de forma tan forta com els àtoms d'un metall entre ells: les molècules d'aigua només estan unides amb les veïnes per ponts d'hidrogen, que són petites forces electrostàtiques degudes a que la molècula d'aigua és polar, i en ficar-hi el dit podem separar unes molècules de les altres. Però no arribem a penetrar gens en els núvols electrònics de cadascuna de les molècules de l'aigua.

I la segona pega?

—*Si hem d'usar un instrument que vagi resseguint la superfície àtom a àtom, ha de ser una punxa finíssima d'un sol àtom de graix, perquè si no, no podrà notar les pujades i baixades.*

Molt bé. Observació molt pertinent. Doncs sí. És una punta que idealment té un sol àtom de graix. Es construeix amb una certa facilitat, encara que sembli una tasca

impossible. N'hi ha de metàl·liques, de diamant o d'altres materials. Ara ja es comercialitza des de fa uns anys. És el microscopi de forces atòmiques, l'AFM (*Atomic Force Microscope*), esquematitzat a la figura 4. S'ho van inventar cap a finals dels vuitanta científics també alemanys: Binnig, Quate i Gerber, a partir d'idees anteriors de Binnig i Rohrer que havien desenvolupat un aparell denominat microscopi d'efecte túnel, l'STM (*Scanning Tunneling Microscope*), que no t'explico perquè hi surt mecànica quàntica, que no toca a les lliçons d'estar per casa. A aquests darrers també els van donar el Nobel de Física de 1986.

Hi ha diverses formes de captar les pujades i baixades de la superfície del núvol electrònic. En la seva forma més simple, hi ha una palanqueta finíssima de 0,3 mm de llarg i 0,04 mm d'ample, de silici o d'altres materials, que té enganxada la punxa fina a l'extrem, i amb la punxa es va rastrejant la superfície, movent la mostra a dreta i esquerra, i endavant i endarrere. Es mesuren les oscil·lacions de la palanqueta mirant com es desvia un raig làser que s'envia cap a un micromirall que hi ha a la palanca. Així es pot fer un dibuix de la superfície mesurant quant s'ha desviat el làser a cada punt de la superfície, valor depe-

nent de l'alçada a que hagi arribat l'agulla. Es pot fer així un mapa topogràfic amb corbes de nivell que corresponen a alçades del núvol, que corresponen a punts on hi ha àtoms a sota. Aquesta informació, tractada per un ordinador, permet fer imatges on es veu una regularitat de bonys i espais entre bonys. I cada bony correspon a un àtom.

Aquesta tècnica, que ja té vint anys, s'ha sofisticat molt. Serveix no només per veure àtoms sinó que es poden visualitzar estructures de molècules, com proteïnes o fàrmacs, de membranes cel·lulars i de mil coses més. Fins i tot una derivació de la tècnica permet modificar les superfícies punt a punt, com es pot veure a la figura 5. Es pot, per exemple, agafar electrostàticament una molècula i dipositar-la a una altra superfície. Amb això es fan nanofils, que són fils d'un sol àtom de graix, i altres meravelles. D'aquesta tècnica en diuen nanolitografia, i hi ha empreses que viuen de fer això. La Nanoink, per exemple, es va fundar el 2002, i van fent invents i productes en aquest camp.

—*Aviat els nanos es faran nanotatuatges amb aquesta tècnica...*

No trivialitzis les meravelles científiques. Un dels microscopis més potents, el Titan 80-300 Cubed, al Canadà, ve a tenir una resolució de quinze milions, que permet veure objectes de menys de 0,1 nm. Estem «veient» els àtoms, perquè s'estima que un àtom d'or, per exemple, que és força gran, té un diàmetre de 0,242 nm.

—*Ja hi som amb les cometes...*

És que els àtoms no els veiem. El que veiem és una pantalla d'ordinador o un full de paper on s'hi representa una informació procedent d'un sistema electro-mecànic-òptic molt sofisticat. De la mateixa manera que en un mapa de corbes de nivell no veiem les muntanyes,



sinó la seva representació codificada, no veiem els àtoms sinó la seva representació: cap informació visual va directament des de l'àtom a la nostra retina.

—O sigui que veiem el que ens fan veure...

Això passa amb la major part d'informació que ens arriba. Molts mapes del temps on es veuen núvols a vista de satèl·lit no són imatges directes del que es veuria a ull nu, sinó de l'espectre infraroig, que permet visualitzar millor les masses de gotetes i de vapor d'aigua atmosfèric. Fixa't en la figura 6, que són tres imatges del mateix moment, on a cadascuna sembla que hi hagi masses de núvols diferents.

—En resum, que no podem veure els àtoms... Doncs jo, com sant Tomàs: si no ho veig no ho crec.

I si ho veus, t'ho creus? Quan veus que els mags i els il·lusionistes fan aparèixer una pantera on abans hi havia una senyora, et creus que l'ha transformat? O quan talla una corda en mil trossets i torna a sortir sencera, creus que l'ha enganxat?

—Jo sé que l'il·lusionista té trucs, i no em crec que faci allò que veig que passa.

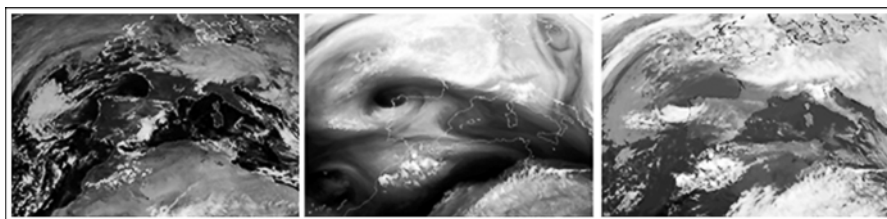


Figura 6. Tres fotos del Mediterrani occidental preses pel satèl·lit EUMETSAT el 20-2-2009, 18:00 GMT. A l'esquerra, foto presa a una longitud d'ona de 800 nm, corresponent al canal visible. Els núvols que hi apareixen són els que es veuen a ull nu. Al centre, foto presa a 6800 nm, que és el canal infraroig específic del vapor d'aigua. Les masses blanques corresponen a zones amb elevada concentració de molècules d'aigua. A la dreta, foto a 10800 nm, canal infraroig tèrmic, on les masses blanques corresponen a punts que emeten en l'infraroig, com molècules d'aigua i altres. Copyright any EUMETSAT.

Doncs aplica aquesta idea a tot: ni tot el que veus passa com et sembla que ho veus, ni allò que no veus no existeix perquè tu no ho vegis. Els nostres cinc sentits primers són massa limitats per veure-ho i captar-ho tot.

—Per què dius els cinc sentits primers?

Perquè a mesura que passa el temps es van afegint nous sentits als primitius, i es descobreixen nous tipus de sensors a la pell. Per exemple, el sentit cinestèsic, que és el que ens permet notar la sensació del moviment. O els nociceptors, que detecten el dolor. O els propioceptors, que ens permeten ubicar la posició dels membres del cos sense mirar-los.

—No oblidis el sisè sentit...

... Del que no hi ha cap evidència científica de que existeixi. O, posats a dir, el sentit comú, sentit vàlid per a la vida quotidiana però una rèmora limitadora quan intentem comprendre determinats conceptes, com la dualitat ona-partícula, o la relativitat, o la mecànica quàntica, o dimensions superiors a tres... Hi ha tantes coses que no captem, tantes coses que no sabem! Tornem a Sòcrates, ja citat en començar l'article. Com ell, jo també proclamo: «Només sé que no sé res».

—Doncs jo també ho afirmo. Com diuen que deia un amic de Sòcrates, també proclamo: «Jo també sé que no saps res». 🌐