

EL MÓN MICROSCÒPIC DE LA NANOTECNOLOGIA. UNA APROXIMACIÓ FILOSÒFICA A LA TECNOCIÈNCIA D'ESCALA NANOMÈTRICA.

— Ricard Casadesús*

Resum:

La nostra era és l'era de la tècnica i de la tecnologia. Això té implicacions científiques, epistemològiques, ètiques... Cal pensar, doncs, la tècnica com a sistema tecnocientífic. La tecnologia nanoescalar o nanotecnologia és un exemple de sistema tecnocientífic. La nanotecnologia té un paper fonamental en la miniaturització, ja que pretén tenir un control complet de l'estructura de la matèria, construint objectes complexos amb una precisió de nivell molecular. I per aconseguir-ho, la nanotecnologia esdevé, necessàriament, una ciència interdisciplinària. La nanotecnologia compleix, així, una doble funció: al mateix temps que descriu la naturalesa, la transforma. El model mecanicista de la nanotecnologia construeix un món imponent les seves pròpies lleis i racionalitat en la matèria, com un artista, similarment al demiürg platònic.

Paraules clau: nanotecnologia, nanociència, tecnocultura, megatècnica, tecnociència.

Abstract:

Our era is the era of technique and technology. This has scientific, epistemological, ethical... implications. We must consider, then, the technique as a techno-scientific system. Nanoscale technology or nanotechnology is an example of techno-scientific system. Nanotechnology plays a fundamental role in miniaturization, as it seeks to take complete control of the structure of matter, building complex objects with molecular precision. And to achieve this, nanotechnology becomes necessarily an interdisciplinary science. Nanotechnology meets, well, a double function: while it describes Nature, transforms it. The mechanistic model of nanotechnology constructs a world by imposing its own laws and rationality in the matter, as an artisan, similarly to the Platonic demiurge.

* RICARD CASADESÚS (La Garriga, 1977) es un sacerdote católico de la diócesis de Terrassa (Barcelona, España). Doctor en Química Teórica y Computacional (Universitat Autònoma de Barcelona), licenciado en Filosofía (Universidad Nacional de Educación a Distancia), en Estudios Eclesiásticos (Facultat de Teologia de Catalunya), en Teología Fundamental (Institut de Teologia Fonamental) y en Filosofía Eclesiástica (Universidad de Navarra). También tiene un Máster en Investigación Filosófica y Estudios Humanísticos (Universitat Ramon Llull). Fue investigador visitante en el Cherry L. Emerson Center for Scientific Computation en Emory University (Atlanta). Miembro de varias instituciones: Institut d'Estudis Catalans, Seminari de Teologia i Ciències de Barcelona, Sociedad Internacional Tomás de Aquino de España. Fue miembro de la New York Academy of Sciences. Ha participado en proyectos de investigación y congresos de Química Cuántica y sobre el diálogo teología-ciencias. Ha publicado varios artículos y libros; el último en 2012: "Creación y conservación en Santo Tomás de Aquino. Dos conceptos fundamentales para entender la creación continua".

Key words: nanotechnology, nanoscience, technoculture, megatechnique, technoscience.

INTRODUCCIÓ

En els nostres temps, la conservació de la Natura, la seva preservació frontals efectes del desenvolupament tècnic, requereix d'una planificació especialitzada i, amb freqüència, del concurs dels propis mitjans tècnics; per exemple, en sufocar un incendi. D'aquí la omnipresència de la tècnica en la realitat. Alguns afirmen, fins i tot, que la pròpia realitat és ja, d'alguna manera, una construcció tècnica. Tenir un cert nivell de comprensió sobre el fenomen tècnic sembla, doncs, haver-se convertit en un imperatiu de la vida moderna.

Certament, la tècnica ha permès la transformació del medi en què els humans han desenvolupat la seva vida, alhora que ha ocasionat la pròpia transformació de les formes de vida humana. Perquè la vida humana, a diferència de la vida dels altres animals, no està determinada i limitada pels condicionants ambientals als quals cada espècie es troba adaptada. El propi de l'espècie humana és la contínua readaptació a qualsevol condició ambiental mitjançant la construcció tècnica d'artefactes i productes que permeten que la seva vida sigui possible en tots els llocs del planeta, i fins i tot fora d'ell.

Per mitjà de la tècnica, es creen obres que tenen la pretensió de perdurar; fins i tot, la tècnica permet perllongar la vida humana més enllà dels designis de l'atzar

natural o de la providència divina. En efecte, la tècnica ha permès millorar la vida humana, encara que també hi ha tècniques capaces d'empitjorar-la, perquè, per bé o per mal, ha recreat les condicions d'aquesta existència. Però, el coneixement i la recerca no són possibles sense el domini previ de certes tècniques.

Un dels principals objectius de la ciència i la tècnica és reproduir els fenòmens macrosòpics a nivell microscòpic, i per a fer-ho és necessària la "miniaturització". És, doncs, en aquest sentit, que en els darrers anys ha sorgit una novella disciplina que aglutina els esforços de diversos camps de la ciència vers aquesta direcció: la Nanotecnologia.

La tecnologia, i més concretament, la nanotecnologia té un paper fonamental en la miniaturització. Aquesta és qualitativament diferent de la microtecnologia, car es basa en operacions moleculars en comptes de miniaturització de processos en sí.

1. LA NANOTECNOLOGIA

La Nanotecnologia és una tècnica capaç de treballar a una escala submicromètrica (per sota de 0.000001m). Per a la nanotecnologia, qualsevol estructura estable químicament i caracteritzada pot ser construïda. De fet, aquesta idea no és nova, Richard Feynmann (premi Nobel de Física del 1965) ja l'havia suggerit d'una altra forma: "Els principis de la Física, tant estrictament com es vulguin veure, no diuen res en contra de la possibilitat de construir coses àtom a àtom"¹.

La nanotecnologia pretén tenir un control complet de l'estructura de la matèria, construint objectes complexos amb una precisió de nivell molecular. I per aconseguir-ho, la nanotecnologia ha d'esdevenir, necessàriament, una ciència interdisciplinària.

Molts camins contribueixen a l'essència de la nanotecnologia i aquest esforç ha meregut diversos premis Nobel. Avui en dia, hi ha molts científics i investigadors d'arreu del món treballant en aquest camp.

El treball relacionat amb la nanotecnologia deriva en dues àmplies àrees: l'estudi teòric de la pròpia nanotecnologia; i la recerca -teòrica i experimental- en establir tecnologies que condueixin cap a acobladors.

L'estudi teòric de la nanotecnologia implica,

en qualsevol àrea, un treball d'exploració en enginyeria. Això inclou estudis bàsics en enginyeria nanomecànica (estudi de màquines moleculars) i enginyeria nanoelèctrica (estudi de sistemes electrònics atòmics i moleculars amb una precisió d'escala nanomètrica, això és de 0.000000001m). També inclou estudis de sistemes complexos com són acobladors, replicadors i nanocomputadores. Així, doncs, es pot dividir la recerca enginyeril en nanotecnologia en tres camps: enginyeria de proteïnes² on s'estudien dispositius moleculars fets de proteïnes; enginyeria de macromolècules en general, on es posa l'esforç en el disseny i la síntesi de dispositius moleculars fets de molts materials diferents; i tècniques de micromanipulació per estendre la tecnologia mitjançant els microscopis de força atòmica i túnel per a la síntesi química i la posterior construcció dels artefactes moleculars.

Avui en dia, hi ha molta gent treballant arreu del món en aquest camp. És destacable K. E. Drexler (*Stanford University* i *Foresight Institute*, Califòrnia) però hi ha molts científics, grups de recerca en universitats, centres privats i àdhuc indústria, al Japó, Estats Units, Europa i Rússia.

Com es pot veure, la nanotecnologia

1 R. Feynmann, *Miniaturization*, New York: Reinhold, 1961.

2 M. W. Pecuh, A. D. Hamilton, "Peptide and protein recognition by designed molecules". *Chemical Reviews*, [New York] vol. 100, 7, 2000, p.2479.

té uns camps afins (Física, Química, Bioquímica, Ciència i Enginyeria dels Materials, Enginyeria Mecànica...) del desenvolupament i la recerca en els quals se'n nodreix. Així doncs, la gran importància per aflorar en el coneixement d'aquesta novella disciplina científica ha donat lloc ja a diverses conferències internacionals³ i a la creació d'una revista publicada per l'ACS (*American Chemical Society*) titulada *Nano Letters*.

Un dels camps més estretament relacionats amb la nanotecnologia és la química; perquè no es pot perdre de vista que tots els artefactes i dispositius moleculars es basen en processos químic-físics. És a partir d'aquí, que pot entendre's l'objectiu principal de la Química: intentar reproduir la natura i millorar-la.

La química pretén aprofundir en el coneixement dels factors que governen la Natura per tal d'entendre les bases teòriques amb la finalitat de poder controlar els processos químic-biològics.

Els esforços tradicionals per la miniaturització basats en la tecnologia microelectrònica han arribat a l'escala submicro. Això ha portat la química a imitar la microelectrònica però profunditzant en un aspecte diferent. Tot aquest entramat que està de fervent actualitat és el que es denomina química de l'autoacoblament o

self-assembly, on hi tenen molt a dir un cúmul de disciplines científiques d'àmbits distints.

En la química, doncs, trobem també la nanoquímica. Aquesta disciplina es fonamenta en una estratègia anomenada "*bottom up*" que consisteix en treballar a nivell molecular per incrementar l'habilitat de control de la matèria. Intentar relacionar la nanoquímica i la nanotecnologia és el que suggereix l'aproximació "*bottom up*" mitjançant la introducció de propietats macroscòpiques en sistemes moleculars.

Així mateix, recentment, en el camp de la biologia ha sorgit una branca tecnològica: la biotecnologia, que també s'ha endinsat en la recerca en l'escala nano, donant lloc a la nanobiotecnologia.

La nanobiotecnologia s'està convertint en la interfície entre la biologia i la nanotecnologia. D'aquesta manera, fa de pont entre la natura inanimada i l'animada, i té com a objectiu combinar mòduls biològics a nivell molecular, així com la producció de blocs de construcció funcional en una escala nanomètrica amb la inclusió de materials tècnics i interfícies. El punt de partida és la creença fonamental dels processos vitals que tenen lloc en la nanoescala, ja que la creació de les "pedres" essencials de la vida tenen justament aquesta mida (com les proteïnes o l'ADN). Els processos en una cèl·lula es poden analitzar amb mètodes nanotecnològics i són tecnològicament utilitzables. En nanobiotecnologia, el llenguatge de l'enginyeria mecànica s'aplica per descriure

3 I. Amato, "Nonexistent technology gets a hearing". *Science News*, [Washington] vol. 136, 1989, p. 295; "The invisible factory". *The Economist*, [Washington] 9 de desembre de 1989, p. 91.

els mecanismes i les parts de les cèl·lules; les cèl·lules i els seus orgànuls s'interpreten com a micro- o nanomàquines. Literalment parlant, veiem doncs una infiltració de les nanotecnologies en la biologia molecular, la genètica i la neurofisiologia.

1.1 Efectes de les aplicacions nanotecnològiques

Com a conseqüència dels lligams entre la nanotecnologia en general, i la nanobiotecnologia i la nanoquímica sorgeixen aplicacions tant importants com les màquines i els interruptors moleculars.

Les màquines moleculars i supramoleculars són sistemes químics organitzats estructuralment i amb funcions integrades. Estan constituïdes per components actius que realitzen una operació determinada, estructurals que prenen part en la construcció de l'arquitectura, i auxiliars que modifiquen les propietats dels anteriors.

Així mateix, depenent del mecanisme d'acció, es poden distingir tres tipus de màquines supramoleculars: fotòniques mitjançant l'activació fotoquímica, electròniques que donen lloc a processos de transferència electrònica i actuen com a cables elèctrics moleculars transmetent els electrons a través de l'estructura molecular, i iòniques, on el processament d'informació i senyals es produeix a partir del transport d'ions (àtoms que tenen més o menys electrons dels que els hi serien propis).

Unes altres aplicacions són els interruptors

moleculars, les propietats dels quals poden permutar-se entre dos o més estats. Els interruptors moleculars estan constituïts per un "interruptor" que és l'espècie que provoca el canvi a través d'estímul externs (fotònics, electrònics, iònics, tèrmics o mecànics) i el substrat que és qui pateix el canvi. Aquesta interconversió reversible entre dos estats estables per acció d'un estímul extern és el que suscita la relació amb els ordinadors (nanocomputació) ja que, de fet, aquests són "ports lògics" semiconductors (interruptors els estats de sortida dels quals depenen de les condicions d'entrada). Així, com deia Lehn (premi Nobel de Química del 1987): "els canvis posicionals d'àtoms en una molècula o supermolècula corresponen, a escala molecular, a processos mecànics a nivell macroscòpic"⁴.

Els artefactes a escala molecular que l'evolució ens ha fet disponibles són molts i podrien agrupar-se en, bàsicament, tres blocs: convertidors d'energia, processadors d'informació i comprimadors. Vegem-los:

- a. *Convertidors d'energia:* antenes (converteixen l'energia electromagnètica en electroquímica), mecanotransductors que són cadenes de transferència pel fraccionament de paquets d'energia (transformen l'energia mecànica en electroquímica) i motors (converteixen l'energia electroquímica en mecànica). Molts tipus de motors han estat trobats en

⁴ J. M. Lehn, *Supramolecular Chemistry Concepts and Perspectives*, New York: VCH, 1995.

cèl·lules. Per exemple, la dineïna i la cinesina són motors moleculars que transporten molècules cap dins les cèl·lules estirant-les al llarg de guies fibroses anomenades microtúbuls, usant l'ATP (adenosinatrifosfat) com a font d'energia química. La miosina, responsable de la contracció dels músculs, també actua com a motor molecular estirant les fibres d'actina^{5,6}.

- b. *Processadors d'informació*. Són llocs de reconeixement de patrons formals i de càrregues; en definitiva, codis per a guardar i recuperar informació, traductors per convertir codis, promotors i inhibidors per iniciar i parar processos moleculars...
- c. *Comprimidors*. Són elements estructurals per mantenir les formes de les grans molècules i cèl·lules; membranes de prevenció de mescla...

Com a exemple concret d'aplicació nanotecnològica, Drexler proposà

l'ensamblador^{7,8,9,10} un artefacte que posseeix un braç mecànic submicroscòpic sota el control d'una computadora. És capaç de sostenir i posicionar compostos reactius per controlar de manera precisa el lloc on les reaccions químiques es realitzaran. Aquesta aproximació general permetrà la construcció de grans objectes, atòmicament precisos, per una seqüència de reaccions químiques controlades amb precisió. Un ensamblador construirà una estructura molecular arbitrària seguint una seqüència d'instruccions. L'ensamblador proporcionarà la posició tridimensional i un control complet de l'orientació del component molecular (anàlogament a un aminoàcid individual) essent addicionat a un complex molecular que engrandirà la mida de la seva estructura (anàlogament al creixement d'un polipèptid). A més, l'ensamblador esdevindrà capaç de formar qualsevol tipus d'enllaç químic.

5 S. M. Block, L. S. Goldstein, B. J. Schnapp, "Bead movement by single kinesin molecules studied with optical tweezers". [Quick Edit]Nature, [New York] vol. 348, 1990, pp. 348-352.

6 A. Ashkin, K. Schütze, J. M. Dziedzic, U. Euteneuer, M. Schliwa, "Force generation of organelle transport measured *in vivo* by an infrared laser trap". *Nature* [New York] vol. 348, 1990, pp. 346-348.

7 K. E. Drexler, *Engines of Creation*, New York: Anchor Press, 1986.

8 K. E. Drexler, "Molecular Engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation". *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Washington] vol. 78, 1981, pp. 5275-5278; "Rod Logic and thermal noise in the mechanical nanocomputer". *Proceedings of the third International Symposium on Molecular Electronic Devices*, Washington: Elsevier et al., 1988.

9 K. E. Drexler, *Machines of inner space*, Chicago: Encyclopedia Britannica, 1989.

10 K. E. Drexler, *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing and computation*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1992.

1.2. Els processos de transferència protònica: un model químic de mecanisme en nanotecnologia

La majoria dels dispositius moleculars es basen en els processos de transferència protònica, és a dir, el fet de transferir un àtom d'hidrogen d'una molècula a una altra o d'un lloc a un altre dins la mateixa molècula. Aquests processos químics són fonamentals per a la descripció dels fenòmens i per al disseny de processos microscòpics. Per això, l'estudi de les transferències protòniques és un dels camps de la química on més s'ha treballat.

Des de fa relativament poc, els compostos orgànics fotocromics (compostos sensibles a la llum) han atret un considerable interès a causa de llurs immenses aplicacions. Alguns d'ells impliquen reaccions de transferència protònica fotoinduïda (PIPT, *PhotoInduced Proton Transfer*). La PIPT és una conseqüència de la redistribució dels electrons associada a l'excitació d'una molècula mitjançant la radiació llumínica. Això produeix canvis d'acidesa en els estats excitats permetent "salts" del protó que potser són impossibles (o molt difícils) a l'estat fonamental. Les PIPT presenten propietats úniques: en la majoria de casos són reversibles, poden usar-se durant molts cicles i no requereixen grans canvis estructurals. Totes aquestes característiques les fan ideals per al disseny de dispositius moleculars.

Per això, en el Grup de Dinàmica de les Reaccions Químiques de la UAB hem portat a terme diversos estudis sobre un aspecte molt interessant –i alhora

importantíssim– de les transferències protòniques, com és el fet de situar un sistema molecular on ocorre una PIPT en un medi supramolecular^{11,12,15}. És en aquest sentit, que la química molecular, que s'interessa per descobrir les lleis que governen les estructures, propietats i transformacions de les espècies moleculars, no és útil per explicar aquest tipus de sistemes. Cal recórrer, doncs, a la Química Supramolecular, la química *més enllà de la molècula* –com deia Jean Marie Lehn.

La Química Supramolecular engloba, doncs, la resta d'interaccions que normalment no s'estableixen en la molecular (interaccions electrostàtiques, enllaços d'hidrogen, interaccions de van der Waals...) entre les espècies interaccionants (molècules, ions o radicals).

Lehn emfatitza en la importància de la informació en els sistemes supramoleculars, informació particularment immersa en les molècules constituïdes durant la síntesi. La selectivitat dels llocs de lligam en les molècules és font d'una gran part d'aquesta informació.

Els efectes supramoleculars en les PIPT

11 R. Casadesús, M. Moreno, J. M. Lluch, "A theoretical study of the ground and first excited state proton transfer reaction in isolated 7-azaindole-water complexes", *Chemical Physics* [Amsterdam] vol. 290, 2, 2003, pp. 319-336.

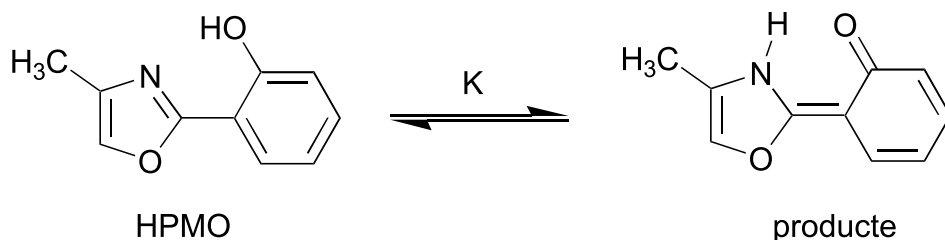
12 R. Casadesús, M. Moreno, J. M. Lluch, "Theoretical study of the photoinduced intramolecular proton transfer and rotational processes in 2-(2'-hydroxyphenyl)-4-methylxazole in gas phase and embedded in β -cyclodextrin", *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*, [Amsterdam] vol. 173, 3, 2005, pp. 365-374.

es subdivideixen en dues possibilitats estretament relacionades: efectes del medi on es produeix la reacció i efectes de l'entorn d'estructures cristal·lines o de grans estructures moleculars. Respecte a aquest últim efecte, un estudi interessant que hem dut a terme és el fruit de situar la molècula 2-(2'-hidroxifenil)-4-metiloxazole (HPMO)¹³ en una nanocavitat -com és una ciclodextrina.^{14,15}

disseny d'entorns supramoleculars que afavoreixin o dificultin la transferència protònica. Dites reaccions formen part de gairebé qualsevol procés químic complex incloent-hi quasi tots els cicles biològics. Això explica el gran interès que han despertat en els darrers anys.

Aquesta discriminació és particularment interessant en el compost que es forma

Fig.1- Reacció química de transferència protònica



La ciclodextrina és un receptor capaç de distingir i afavorir la inclusió d'algunes molècules o grups funcionals d'aquestes. Aquest fenomen de discriminació entre grups funcionals es coneix com a *bimodalitat* (dos grups diferents) o, en general, *multimodalitat*. L'estudi d'aquestes reaccions obre la porta al

entre la b-ciclodextrina, que actua de receptor, i l'HPMO que és el substrat (Fig.2). Així, l'HPMO pot inserir-se en la ciclodextrina de diferents maneres i, per tant, el fet d'incloure's d'una o altra forma es reflexa en la reactivitat del complex ja que si el centre actiu del substrat és el grup que està dins la cavitat, la molècula pot perdre la seva reactivitat. És a dir, la transferència protònica es produirà o no, o bé es donarà més ràpidament o s'alentirà depenent de l'efecte que el receptor tingui sobre el substrat segons el mode d'inclusió. Per tant, això és molt important en el camp de la nanotecnologia perquè demostra que mitjançant l'encapsulació molecular es poden modificar les substàncies complexades, i els complexos de ciclodextrines constitueixen, doncs,

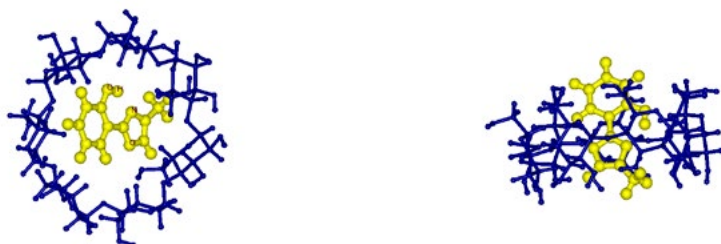
13 Veure Fig.1.

14 A. Douhal, T. Fiebig, M. Chachivillis, A. H. Zewail, "Femtochemistry in Nanocavities: Reactions in Cyclodextrins", *Journal of Physical Chemistry A* [New York] vol. 102, 1998, pp.1657-1660; A. H. Zewail, A. Douhal, D. Zhong, "Femtosecond Studies of Protein-Ligand Hydrophobic Binding and Dynamics: Human Serum Albumin". *Proceedings of National Academy of Science* [Washington] vol. 97, 26, 2000, pp.14052-14055.

15 R. Casadesús, M. Moreno, J. M. Lluch, "The photoinduced intramolecular proton transfer in 2-(2'-hydroxyphenyl)-4-methyl-1,2,4-oxazole embedded in b-cyclodextrin". *Chemical Physics Letters* [Amsterdam] vol. 356, 3, 2002, pp. 423-430.

sistemes interessants per a realitzar **nanotecnologia aplicada al temps**

Fig.2- Complex HPMO:b-ciclodextrina



experiments útils en nanotecnologia¹⁶.

Cal recordar, però, que la funció principal, però no la única, de les espècies supramoleculares és el *reconeixement molecular*, és a dir, les interaccions específiques entre les molècules (interacció receptor-substrat). Altres funcions també poden tenir lloc, com per exemple, la *transformació*.

Si el receptor té funcions reactives, això pot provocar una transformació química en el substrat, comportant-se el sistema com un reactiu o catalitzador d'un procés (enzims). Una altra funció és la de *transport* si el receptor actua de portador (*carrier*) efectuant el transport del substrat (transportadors de membranes). A més, una altra funció que es pot donar, és aconseguir que els entorns supramoleculares facin *funcions mecàniques* (màquines i interruptors moleculars).

1.3. La Femtoquímica com a auxiliar de la

Tots aquests dispositius moleculars que es basen en processos de transferència protònica ocorren molt ràpidament (de l'ordre de 0.000000000001–0.000000000000001s) tant que ha costat molt de temps i esforços poder caracteritzar-los en el temps. Això només ha estat possible en els darrers anys gràcies a una nova branca de la química: la Femtoquímica.

La Femtoquímica o dinàmica ultraràpida de l'enllaç químic és una tècnica experimental per a seguir a temps real el progrés d'una reacció química. La Cinètica Química, la branca de la química que dóna una descripció macroscòpica de l'evolució d'una reacció química al llarg del temps, no proporciona una detallada descripció molecular del curs d'una reacció.

Per tal d'entendre quins són els factors que determinen la velocitat d'una reacció química hom s'ha d'endinsar en el camp de la Dinàmica Molecular de les Reaccions Químiques, la qual aporta una descripció microscòpica (a nivell molecular) d'una reacció química. L'objectiu de la dinàmica

¹⁶ Cf. J. Szejtli, *Cyclodextrin Technology*, Dordrecht: Kluwer, 1998.

és descriure, en funció del temps, com les molècules de reactius s'apropen, col·lisionen, intercanvien energia, algunes vegades trencant-se enllaços i/o formant-se de nous, i, finalment, es separen donant lloc als productes si la col·lisió ha estat exitosa (reactiva) o bé regenerant els reactius si la col·lisió no en resulta (no reactiva).

Però com que les posicions dels nuclis s'han de caracteritzar amb resolució atòmica, les mesures s'han de fer dins l'escala de temps compresa entre 10 fs i 100 fs (10-14 s - 10-13 s), on fs és el símbol de la unitat de temps anomenada femtosegon

(10-15 s = 0.000000000000001s). Per tant, el seguiment de la dinàmica d'una reacció química requereix mesures dins l'escala de temps del femtosegon. Escalles de temps més grans no permeten "veure" ni "fotografiar" què és el que està passant durant una col·lisió molecular. Aquesta branca de la química, ha rebut un gran impuls en ser guardonat amb el premi Nobel de Química del 1999 el Prof. A. H. Zewail¹⁷.

17 J. M. Lluch, "En el límit de l'escala de temps de la química: femtoquímica, la dinàmica ultraràpida de l'enllaç químic". *Els premis Nobel de l'any 1999*, Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2000, pp. 41-63.

2. ELS EFECTES DE LA MEGATÈCNICA¹⁸ I ELS SEUS PERILLS

18 Terme emprat per Lewis Mumford (1895-1990), teòric de l'arquitectura, historiador de la tecnologia, filòsof, sociòleg i crític artístic americà. Mumford no volia un rebuig de la tecnologia, sinó la separació entre tecnologies "democràtiques", que són aquelles que estan d'acord amb la naturalesa humana, i tecnologies "autoritàries", que són tecnologies en pugna, a vegades violenta, contra els valors humans. Per la qual cosa, cercava una tecnologia elaborada sobre els patrons de la vida humana i una economia biotècnica.

La tecnologia és la disciplina que tracta de la producció i utilització d'instruments, de màquines. Segurament, res ha estat tan important per a canviar el món com la tecnologia, encara que la tecnologia no és independent de la ciència, una activitat en la que les idees tenen un paper central.

Tradicionalment, en l'àmbit acadèmic era habitual definir la tecnologia com a ciència aplicada. Des d'aquesta perspectiva, la tecnologia s'analitzava com a coneixement pràctic que es derivava directament de la ciència (coneixement teòric). Una important tradició acadèmica

donava suport a aquesta imatge de la tecnologia: el Positivisme Lògic.

Per als positivistes, les teories científiques eren fonamentalment conjunts d'enunciats que tractaven d'explicar el món natural d'una manera objectiva, racional i lliure de qualsevol valor extern a la pròpia ciència. El coneixement científic era vist com un procés progressiu i acumulatiu, articulat a través de teories cada vegada més àmplies i precises que anaven subsumint i substituint a la ciència del passat. En alguns casos, les teories científiques podien aplicar-se generant d'aquesta manera tecnologies.

No obstant això, la ciència pura no tenia, en principi, res a veure amb la tecnologia, ja que les teories científiques eren alguna cosa prèvia a qualsevol tecnologia. Per aquest motiu, no podria donar-se el cas que existís una determinada tecnologia sense una teoria científica que la recolzés, però sí que podien existir teories científiques sense comptar amb tecnologies.

La tecnologia contemporània manté una àmplia i diversa relació amb la ciència. Aquesta relació va més enllà de la generalment reconeguda en conceptualitzar la tecnologia com a ciència aplicada. No només el coneixement científic, sinó també el saber materialitzat en habilitats, tècniques teòriques, observacionals i experimentals, així com resultats científics objectivats en productes, materials i instruments, formen part del flux que va de la ciència a la tecnologia.

No obstant això, i en contra del que comunament s'ha suposat, no existeix una incorporació automàtica dels diversos productes científics a la tecnologia, sinó que és necessària la intervenció d'altres factors.

Sovint, s'ha fet un èmfasi excessiu en la ciència com a motor de la tecnologia, quan hi ha molts exemples que mostren que aquesta va precedir i va impulsar l'altra: la màquina de vapor, per exemple, fou anterior a la termodinàmica, la branca de la física i la química que tracta dels intercanvis energètics i calorífics. En molts casos, doncs, els avenços empírics

precediren a les explicacions científiques. Per això, cal dir que la tecnologia ha estat i és un element central en la història de la humanitat.

Nogensmenys, la ciència continua progressant, però la seva relació amb la tècnica s'ha intensificat necessàriament, fins al punt que neix la tecnociència¹⁹. Avui dia es parla de tecnociència o complex científico-tecnològic per a designar el que resulta molt difícil de distingir en les activitats reals de R + D (Recerca i Desenvolupament) tant en els seus procediments com en els seus resultats. Probablement, doncs, des d'aquesta perspectiva, potser l'antropologia hauria d'entendre l'home més com a *homo faber* que com a *homo sapiens*²⁰.

2.1. La tecnocultura

La relació entre tècnica i cultura (tecnocultura) necessària per a l'evolució de l'ésser humà, reclama més que mai un altre ordre social, més natural. Creiem, com deia Claude Lévi-Strauss, que tècnica i cultura són dues dimensions irreductibles de tota societat humana. Gràcies a la primera, centrada en la fabricació d'instruments, els homes guanyen terreny a la Natura, transformant un medi hostil en útil i

19 El concepte de tecnociència va ser proposat per primera vegada pel filòsof belga G. Hottois amb la intenció de mostrar de manera explícita que no hi ha dues coses: ciència i tecnologia, sinó que ambdues constitueixen una unitat.

20 Cf. J. L. Pardo, "La vida y la máquina". *El País Babelia*, [Madrid] 18 de juny de 2011, p. 4; Cf. J. M. Sánchez Ron, "Técnica y esencia de la humanidad". *El País Babelia*, [Madrid] 18 de juny de 2011, pp. 6-7.

adaptant-se a ell per a poder habitar-lo i sobreviure-hi. Gràcies a la segona, el nucli de la qual és el llenguatge, els homes erigeixen un món propi, un ordre simbòlic de significacions: la moral, l'art...

Certament, vivim en una civilització dominada per la tecnologia. En efecte, aquesta converteix tota una època històrica en el seu principi directiu, ja que es tracta d'una lògica que mira únicament a l'eficàcia dels resultats, que entén només de mitjans i és cega per als fins; i que en tornar-se hegemònica, s'independitza de l'esfera discursiva dels afers humans, posant en marxa un procés destructiu que esclavitza i mecanitza als homes.

En termes tradicionals, existien dos grans dominis del coneixement (en realitat tres): la ciència, la filosofia i la tecnologia. La filosofia consistia en la formulació de problemes i en el treball amb preguntes, la ciència, per la seva part, consistia en la forma de resolució de problemes i enigmes, i la tecnologia era la forma no discursiva i sí instrumental com la ciència actuava o operava en el món i en la Natura. Doncs bé, aquesta classificació ja no es pot sostenir avui dia. La ciència ha après a formular i identificar problemes, la filosofia ha après a cercar resposta als enigmes, i la tecnologia és la forma cada vegada més constant de com la investigació científica i la filosòfica es duen a terme actualment, de manera necessària. N'hi ha prou si no, pensar, senzillament, en la importància de l'ordinador.

En efecte, en l'actualitat, veiem el desplegament de la nanotecnologia en la proliferació de dispositius portàtils o manuals de comunicació, de microprocessadors implantats en els organismes vius que desafien els límits entre el nascut i el prefabricat (les micromàquines). Es dona, doncs, avui una circumstància perfectament nova.

2.2. Qüestions epistemològiques de la nanotècnica

Aristòtil definia la tècnica com una mímesi de la natura. No va dubtar en establir analogies de les arts per descriure la natura com un artista, que mostra el seu enginy amb la mecànica. Ja en l'antiguitat, hi havia dues diferents visions, alhora que ocasionalment conflictives, de la tecnologia. Per una banda, les arts o tecnaï eren considerades com oposades a la natura. Aquest significat del terme parajisin proporcionava el terreny per a les reiterades condemnes de la mecànica i l'alquímia. Per altra banda, les arts eren considerades com a auxiliars en la natura, tot emprant la dunameiV o poder de la natura.

En la primera perspectiva, l'artista, com el demiourgoV platònic, construeix un món imposant les seves pròpies lleis i racionalitat en una matèria positiva. Així, la tecnologia esdevé una matèria de control. En la segona perspectiva, l'artista s'assembla més al timoner d'un vaixell en el mar. Aquest condueix o guia forces i processos que la natura suplía, revelant així els poders inherents en la matèria.

Indubtablement, el model mecanicista de la nanotecnologia pertany a la tradició demiúrgica²¹. És una tecnologia fascinada pel control de la natura i obsessionada per avançar-la i millorar-la, talment com en una cursa.

La investigació nanoescalar compleix una doble funció: al mateix temps que descriu la naturalesa, la transforma. És a dir, en aquesta dimensió de la investigació, l'oposició subjecte-objecte de l'època clàssica, tant com la disjuntiva representació-intervenció deixa d'existir, ja que es produeix una mixtió, per dir-ho així, en què tots dos termes del problema s'impliquen recíprocament i es reforcen mútuament.

Els tres eixos de treball en nanotecnologia són, sense cap dubte, la manipulació, la construcció i el control de fenòmens nanoescalars. Els motius de reflexió filosòfica²² d'aquests tres eixos tenen a veure, immediatament, amb qüestions com les següents: El control, la construcció i la manipulació de molècules petites i grans implica, i de quina manera, majors graus de llibertat, en el sentit físic i matemàtic de la paraula? La dificultat d'experimentació, en el sentit natural de la

paraula, i de representació, en el sentit de la percepció natural, impliquen una obertura dels horitzons i de l'estructura mateixa de la realitat? I si és així, com?

Potser un dels debats més sensibles és el del compromís antropocèntric de la investigació nanoescalar, o també les limitacions al model antropocèntric del món i de la realitat que els fenòmens nanoescalars comporten.

Els fenòmens nanoescalars no són objecte de representació ni de percepció natural. Són fenòmens essencialment d'interpretació, conjuntament i gràcies a la seva construcció, manipulació i control. Per a l'univers dels físics clàssics, però també per a la gran majoria dels enginyers, això significa que els temes i problemes d'interpretació entren a la investigació, insospitadament, per la porta de la dimensió nanomètrica de l'univers, i amb això, els temes i problemes d'interpretació es fan ineludibles. Per la seva banda, els filòsofs entenen, de manera immediata, sense dificultat, que els problemes i temes d'interpretació són eminentment filosòfics.

La tecnologia representa per a la humanitat un procés causal iniciat. I moltes vegades a la intervenció tècnica l'acompanya un acte de la imaginació. No obstant això, pot passar que algun tipus de tecnologia eludeixi l'abast de la imaginació. D'aquí, que Alfred Nordmann es refereixi a aquest tipus de tecnologia com a *tecnologia noümmènica*. Nordmann apunta cap a les aplicacions nano- i biotecnològiques que escapen de la dominació, el control i la

21 B. Bensaude-Vincent, "Two cultures of nanotechnology?". *Nanotechnology challenges: implications for philosophy, ethics and society*. J. Schummer, D. Baird (eds.), Singapur: World Scientific Publishing, 2006, pp. 25-26.

22 Cf. C. E. Maldonado, "Filosofía de la ciencia y nanotecnología". *Nanotecnología. Nociones preliminares sobre el universo microscópico*, J. Giraldo, E. González, F. Gómez (eds.), Bogotá: Buinaima, 2007, pp. 69-80.

racionalització de la natura, i produeixen, en lloc d'aquesta, una forma de tecnologia que és tan misteriosa com la naturalesa "en brut", incomprendible en si mateixa.

La tecnologia és una creació humana, que implica coneixement humà i serveix a necessitats també humanes; això rau fermament en els fenòmens i no pas en els noïmens, i sembla absurd parlar de tecnologia que existeix més enllà de la percepció humana i de l'experiència entre les coses-en-si. El món noïmènic és natura incomprendible, no experienciada i incontrolada; és natura en el sentit d'alteritat misteriosa²³.

Certament, l'aparició de la nanotecnologia ha generat expectatives d'una nova unitat de la ciència. La Nanociència com la ciència de la "construcció de la humanitat àtom a àtom" que, arran d'aquestes expectatives, ha d'integrar les disciplines clàssiques de la física, la química, la biologia i les enginyeries en un nou tipus de ciència. Òbviament, aquestes projeccions impulsen la filosofia de la ciència i l'epistemologia a descobrir els supòsits subjacents d'aquestes expectatives i de qüestionar les condicions de la seva validesa.

Les hipòtesis podrien remuntar-se a una comprensió naturalista dels àtoms com una cosa similar als maons o pedres en el nostre món macroscòpic. Aleshores, "modelar la

humanitat àtom a àtom" comportaria la construcció de noves estructures dels àtoms en completa analogia amb els sistemes de construcció dels elements macroscòpics com els maons. El raonament epistemològic qüestiona la validesa d'aquesta simple analogia i el reduccionisme atòmic que hi ha darrere d'ella. Això es veu clarament en els processos biològics.

La -possiblement factible- duplicació nanotecnològica dels processos fonamentals de la vida és el requisit previ essencial per creuar la frontera entre els sistemes tècnics i els vitals. De seguida, però, es transfereix aquest procés a la relació entre els éssers humans i apareixen les especulacions sobre la convergència de la humanitat i la tecnologia. Aleshores, és quan sorgeix el concepte de "cyborgs", com a éssers humans tècnicament millorats o com a tecnologia millorada humanament.

Per això, un aspecte que apareix sovint en la nanotecnologia està relacionat amb les fronteres entre els éssers humans i la tecnologia, pel que fa a la seva transmissibilitat. Aquest aspecte, de fet, afecta profundament la nostra comprensió de si mateix i, en conseqüència, la nostra distinció entre el que l'ésser humà és i el que ell crea amb l'ajuda dels èxits tècnics i llurs aplicacions.

Aquests desenvolupaments tan sols són, per ara, un concepte, malgrat la seva àmplia

23 A. Nordmann, "Noumenal Technology". *Nanotechnology challenges: implications for philosophy, ethics and society*. J. Schummer, D. Baird (eds.), Singapur: World Scientific Publishing, 2006, pp. 49-50.

presència en el debat ètic²⁴. Però, l'existència de qüestions ètiques, relacionades amb aquests desenvolupaments, indiquen que cal fer una nova reflexió sobre el concepte de si mateix en els éssers humans, així com de les nostres relacions amb les necessitats tecnològiques.

Les noves oportunitats fascinants de manipular la matèria, que proporciona la nanotecnologia, provoquen pensar en canvis més profunds en els éssers humans, la cultura i les seves relacions amb la natura i la tecnologia. A grans trets, es poden presentar dues posicions diferents.

En primer lloc, sembla resorgir un nou "baconisme" (Francis Bacon). La nanotecnologia, amb l'actitud de modelar la humanitat àtom a àtom, s'interpreta com un nou optimisme en la fabricació de tot el que tècnicament és possible. Com dèiem abans, això es basa en la idea d'un "reduccionisme atòmic". Així, les restriccions a la intervenció humana són

paral·leles a la desaparició per complet de la disponibilitat de les noves nanotecnologies. Aquest seria l'últim triomf de *l'homo faber*, que després ha de ser capaç, d'acord amb aquestes idees, de controlar-ho tot, a nivell d'àtoms i molècules. Així, els éssers humans es convertirien en "enginyers" dels processos evolutius i veritables "cocreadors" del món.

En segon lloc, la nanotecnologia és vista sovint com a "tecnologia permissiva", tecnologia que permet la innovació. Això vol dir que la nanotecnologia, per si sola, no dóna lloc a nous productes i sistemes, però és crucial per a permetre el sorgiment de nous productes i sistemes en moltes àrees d'aplicació. L'obertura de la nanotecnologia en relació amb les aplicacions porta a una gran incertesa respecte a les conseqüències que l'impacte de la nanotecnologia té a la societat, així com els seus perills i riscos. Tot pot ser possible i, probablement, no podrà ser controlat²⁵.

24 A. Grunwald, Y. Julliard "Nanotechnology —steps towards understanding human beings as technology?". *NanoEthics* [Dordrecht] vol. 1(S), 2007, pp.77–87.

25 A. Grunwald, "From Speculative Nanoethics to Explorative Philosophy of Nanotechnology". *NanoEthics* [Dordrecht] vol. 4, 2010, pp. 91–101.

3. CONCLUSIONS

L'ésser humà és un ésser tècnic. L'home fa un món sobre el món; no s'adapta exclusivament a la situació —com deien simplement alguns filòsofs grecs— sinó que transforma el món. Aquesta és la dimensió tècnica de la condició humana.

Però, com apuntava Nordmann, l'acció tècnica està determinada per la intenció. Aristòtil ja va donar un indicatiu d'això en considerar la relació mitjans-fi; d'aquí que diferenciés entre *poiesi* (passat) i *praxi* (gerundi).

Certament, la nostra era és l'era de la tècnica i de la tecnologia. Això té implicacions científiques, epistemològiques, ètiques... Perquè no està pas clar que la tècnica sigui neutra. Segons Heidegger, l'essència de la tècnica no és tècnica. L'era de la tècnica implica veure el món com un conjunt de recursos disponibles. Per això, d'acord amb el filòsof de la tècnica Jacques Ellul, cal pensar la tècnica com a sistema tecnocientífic.

La tecnociència té una visió del món centrada en la disponibilitat, l'explicitació i la transparència. El sistema tecnocientífic actua, doncs, descobrint i desenvolupant noves possibilitats. La lògica d'aquest sistema es basa en executar totes les noves possibilitats.

Les tecnologies nanoescalars són un exemple d'aquesta lògica tecnocientífica. De fet, són concepcions inimaginables fetes realitat avui en dia, encara que per a la majoria de les persones encara passen desapercebudes. L'aparició de la tecnologia nanoescalar o nanotecnologia és un esdeveniment considerablement significatiu que ofereix un potencial sense precedents per a controlar, manipular i modelar tota la matèria viva i inerta de cara a obtenir un resultat desitjat. D'aquesta manera, la nanotecnologia s'estructura en el món actual com la clau que obre les portes a un nou univers on convergeixen elements vitals en tots els camps del saber, generant espais per aprofitar i interrelacionar tecnologies, buscant incidir i beneficiar els processos vitals humans,

entre ells, la salut, la vida, la mort i la malaltia.

Al llarg d'aquest article, hem insistit en el sorprenent i imminent impacte de la nanotecnologia en la medicina, la biologia, la química, la física i en les enginyeries, que a poc a poc, i d'acord amb la progressiva aplicació de la nanotecnologia han anat redefinint molts aspectes de les activitats humanes, entre ells el productiu, el sociocultural i els processos de vida des del punt de vista de la concepció de món (globalització), així com en les relacions interpersonals (mitjans de comunicació electrònics).

Per tant, l'anàlisi de l'estat actual i de les tendències mundials pel que fa als desenvolupaments tecnològics nanoescalars deixen entreveure que la indústria de la nanotecnologia planteja un potencial renaixement econòmic, cultural, social i mediambiental que s'estructura d'acord amb els avantatges que aquesta ofereix, pel que fa a la massificació i millora dels materials, el desenvolupament sostenible i el guany en els diferents àmbits.

Les expectatives que es generen al voltant de la nanotecnologia semblen realment prometedores i acullen beneficis incommensurables per al benestar i la vida de les persones. Però, paral·lelament, es troben els riscos i incerteses que es generen com a conseqüència de l'aplicació d'aquestes tecnologies. És evident, doncs, que farà falta més informació per a garantir un ús segur de la nanotecnologia, i això requereix que

es vinculi la nanotecnologia als processos de formació professional en totes les àrees com un component essencial.

A més, per a poder aprofitar els avantatges de la nanotecnologia, s'ha d'efectuar una adequada implementació que permeti a aquestes noves tecnologies acoblar-se a les necessitats reals dels models socials de desenvolupament. Aquesta implementació ha de comptar amb un component tecnocientífic que faciliti el disseny de models de desenvolupament i incorporació de les tecnologies nanoescalars segons les condicions, els riscos, els beneficis i les necessitats de cada persona o grup social.

Certament, però, hi ha encara moltes qüestions fonamentals sense resposta, en relació als impactes ambientals i de salut dels materials nanoescalars, alguns dels quals s'estan fent servir ja en el desenvolupament de medicaments d'innovació. Encara que moltes aplicacions nanotecnològiques millorin la nostra qualitat de vida i la nostra salut, és també possible que algunes de les seves aplicacions introdueixin, doncs, nous riscos i perills per a la salut humana.