

La nanotecnologia en el posthumanisme

Jordi Reverter i Cendrós

Introducció. Sobre les prediccions tecnològiques

Voldria començar aquest article fent una reflexió sobre les prediccions tecnològiques que sovint podem llegir o escoltar, amb la idea de despertar una mica l'interès del lector i mirar d'evitar els seus possibles prejudicis en relació a un text que hom podria esperar massa científic o tecnològic, potser carregós i dur de digerir. Espero i desitjo que no sigui el cas. Tal com diu una antiga cita anglosaxona: «Predir el futur és fàcil, el complicat és encertar».

No és l'objecte d'aquest escrit encetar un debat entre determinisme i lliure albir, d'altra banda força interessant, malgrat que les premonicions apocalíptiques dels nous *nostradamus*, generalment aparegudes a les darreries de cada any, ens estimulin en aquest sentit i haguem de reprimir els nostres impulsos naturals d'iniciar el debat. El sociòleg Max Dublin, en el seu llibre publicat el 1992 *Futurehype: The Tyranny of Prophecy*, que es pot traduir com *L'exageració del futur: la tirania de la profecia*, fa un recull de prediccions tecnològiques fallides i critica el cientisme i positivisme cada vegada més estès en la societat occidental moderna. En aquest sentit i amb el propòsit esmentat anteriorment, he decidit fer un petit recull de deu frases cèlebres de personatges molt



Jordi Reverter i Cendrós

coneguts per il·lustrar la meua opinió al respecte i centrar algunes idees que es desenvoluparan al llarg d'aquest escrit. Les sentències estan ordenades cronològicament, de més antigues a més modernes, i també ens les pot facilitar molt amablement i de forma gratuïta el Sr. Google, ell que ho sap tot. El recull, per tant, no té cap mèrit més que les hores dedicades i la paciència. La primera data del 1899 i és atribuïda a Charles Duell, comissionat de l'Oficina de Patents dels EUA. Diu: «Tot allò que es pot inventar ja ha estat inventat». Com a dada il·lustrativa, aquesta Oficina va registrar ni més ni menys que 381,792 sol·licituds de noves patents l'any passat. «No és possible construir màquines voladores més pesants que l'aire,

el simple sentit comú d'un nen comprèn que és impossible». Això ho va dir Simon Newcombe, un reconegut astrònom, físic i matemàtic, professor de l'Escola Naval dels EUA, l'octubre de 1903. El mariscal francès Ferdinand Foch, comandant en cap dels exèrcits aliats a la Primera Guerra Mundial va dir el 1905 que «Els avions són màquines interessants, però no tenen cap interès militar». Ernst Mach, el famós físic i filòsof d'origen australià, i un dels representants més destacats del Positivisme modern, al llindar de la seva mort el 1915 va comentar que «Puc acceptar tan poc la teoria de la Relativitat com l'existència dels àtoms i altres dogmes idiotes. Sóc un home de ciència i no un clergue». Ernst Rutherford, que va desenvolupar un dels primers models atòmics i és considerat el pare de la Física Nuclear i premi Nobel de Química el 1908, va dir el 1920 que «L'energia produïda per la ruptura de l'àtom és molt poca. Qui esperi una font d'energia de la transformació d'aquests àtoms pensa en bestieses». Val a dir que ell mateix va ser el primer científic en trencar un àtom el 1917. Aquest fenomen, contrari al de la fusió, que per exemple es produeix al Sol, és la base de les centrals nuclears i l'energia nuclear. A la fissió de l'urani-235 es produeixen uns 925 megawatts d'energia. El 1943 deia el president d'IBM Thomas Watson: «Hi haurà mercat per no més de cinc computadores al món». Una altra predicció d'un militar: el 1945 escrivia una carta a l'almirall William Leahy, cap de l'estat major dels EUA, al president Truman, on deia: «És la bestiesa més gran que s'ha dit mai. La bomba

atòmica no explotarà mai, ho dic jo com a expert que sóc en explosius». I les tres darreres més properes als nostres dies: «No hi ha cap raó perquè cada persona tingui un ordinador a casa», en paraules de Ken Olson, president i fundador de Digital Equipment Corp. el 1977, empresa pionera de la informàtica dels anys setanta i vuitanta. L'arxifamós Bill Gates també es va lluir com a futurista: el 1981 va dir que «640 kb han de ser suficients per a tothom». I per acabar el decàleg de *pi-fies*, Steve Balmer, CEO de Microsoft va dir el 2007 que «No hi ha possibilitat que l'iPhone arribi a assolir una quota de mercat significativa».



Paco Pomet: Strange Fruits

Després de riure una mica, em preguntareu què té a veure això amb la nanotecnologia i el posthumanisme. Doncs hi té molt a veure, perquè fins i tot els grans científics i pensadors que molt sovint són generadors d'opinió entre la gent profana que se'ls escolta embadalida, a l'hora de fer profecies solen ficar la pota, cons-

cientment o inconscientment. I tinguem present que les prediccions futuristes en ambdues matèries que intentarem relacionar més endavant, nanotecnologia i post-humanisme, estan a l'ordre del dia.

Què és la Nanociència i la Nanotecnologia (N&N)

El desembre de 1959, en el Caltech (*California Institute of Technology*), el físic i premi Nobel Richard P. Feynmann va fer una conferència en el si de la Societat Americana de Física que s'ha fet famosa, amb el títol de «*There's plenty of room at the bottom*», que es podria traduir més o menys com «Hi ha molt d'espai buit per allà baix». És a dir, en els diferents estats d'agregació de la matèria, principalment sòlids, líquids i gasos, els àtoms i molècules estan més o menys força separats entre ells, donant lloc a la possibilitat de «moure'ls» i «re-col·locar-los» de forma artificial i a voluntat si es disposa de les eines adients. Feynmann plantejava la possibilitat de manipular àtoms un per un i les seves conseqüències. Els àtoms, a efectes pràctics instructius, són la base fonamental de què està construïda la matèria, deixant de banda la seva estructura interna, quarks i d'altra fauna particular (particular de partícula, no com adjectiu sinònim d'específic o únic). Per entendre'ns: els àtoms són com els maons d'un edifici i les forces atòmiques són com el ciment que els manté units. El nombre d'àtoms (anomenat *nombre atòmic*) determina el tipus d'element químic de la taula periòdica, començant per

l'hidrogen, que té un sol àtom, l'heli que en té dos, el liti que en té tres, i així successivament. Les molècules són agrupacions de dos o més àtoms. La més simple és la molècula d'hidrogen, que té dos àtoms d'hidrogen, que en condicions normals de pressió i temperatura és el gas més lleuger que existeix a l'univers. Per exemple, l'element químic oxigen té 8 àtoms i l'oxigen molecular, el O₂ que respirem, en té 16. Doncs bé, el fet de la manipulació atòmica obria la possibilitat de la creació de nova matèria artificialment sota control i de fer realitat, per citar un exemple, l'antic somni dels alquimistes medievals de transformar qualsevol metall en or. De fet, això és tècnicament possible, però malauradament no és un procés eficient, ni energèticament ni econòmicament: simplement, si afegim un àtom a l'element de platí, que té 78 àtoms, el convertim en or, que en té 79. El següent element a la taula periòdica a l'or amb nombre atòmic 80 és el mercuri, antigament conegut com argent viu o *azogue* en castellà, l'únic metall que és líquid a temperatura ambient. Durant segles, els alquimistes pensaven que era un ingredient bàsic per aconseguir la pedra filosofal, la substància que era capaç de convertir en or qualsevol metall, curar malalties i fins i tot ajudar a assolir la immortalitat, l'antic somni de la humanitat molt relacionat amb el moviment transhumanista. Bé, doncs la manipulació atòmica individual de Feynmann és una de les premonicions que sí que es van complir uns anys més tard. A la dècada dels 80 del segle XX, vint

anys més tard, dos investigadors dels laboratoris d'IBM de Zürich, Gerd Binnig i Heinrich Rohrer van inventar el Microscopi d'Efecte Túnel, *Scanning Tunneling Microscopy* (STM) en anglès, que permet resseguir la topografia d'una superfície a escala atòmica i crear imatges de la superfície amb resolució atòmica, és a dir, permet diferenciar un àtom del següent en una cadena o en un cristall. El 1986 van obtenir el premi Nobel pel seu descobriment, considerat com el moment del naixement de la nanotecnologia.

Podríem dir que la nanociència és l'estudi de les propietats de la matèria a escala nanomètrica i les teories que les expliquen. Hi ha diverses definicions de nanotecnologia i, com sol passar amb molts termes innovadors, els autors no s'hi posen d'acord. El denominador comú es troba en el fet que en totes elles es contempla la manipulació de la matèria, o bé es fa ús de les propietats especials que trobem a escala nanomètrica.

El terme "nano" prové del grec i equival a "nan". Un nanòmetre és una unitat de longitud i equival a la mil·lionèsima part d'un metre, és a dir, un metre dividit mil milions de vegades. Si dividim un metre entre mil obtenim un mil·límetre. Si dividim aquest entre mil obtenim una micra o micròmetre. Fins aquí hi estem més o menys acostumats. Si tornem a dividir la micra entre mil, obtenim un nanòmetre. Ara en donarem uns exemples. El terme el va emprar per primer cop Norio Taniguchi de la *Tokyo Science University* de Japó

el 1974, per diferenciar entre la nanoescala i la microescala. Tot i la disparitat de criteris en la seva definició, es consideren estructures nanomètriques aquelles on almenys una de les seves tres dimensions a l'espai, l'alçada, la llargada i/o la fondària, es troba entre 1 i 100 nanòmetres (nm). Estem parlant doncs, d'una qüestió de mida. Per a fer-nos una idea, la proporció que hi ha entre un àtom (0,2 nm de diàmetre) i una poma (10 cm) és similar a la de la poma amb la Terra (13.000 km de diàmetre). Els 100 nm de grandària que hem comentat fan de frontera entre el que anomenem el *macro/micromon* i el *nanomon*. És un objecte del *macro/micromon*, per exemple, un cabell humà, que té un diàmetre d'unes 80 micres (80.000 nm). Una cèl·lula com la d'un glòbul vermell té un diàmetre de 5 micres (5.000 nm). Fins i tot una bactèria encara pertany al *micromon*, amb una mida al voltant d'una micra. Un virus que té 100 nm de mida es considera ja del *nanomon*, igual que una proteïna (10 nm), la cadena d'ADN (2 nm), una molècula de glucosa (1 nm) o un àtom de nitrogen (0,1 nm).

En resum, la nanotecnologia és la convergència de diverses disciplines com la ciència, l'enginyeria i la tecnologia, relacionada amb el coneixement i el control de la matèria a escala de 1 a 100 nm. Hi ha moltes estructures biològiques i processos que es realitzen a escala nanomètrica. Tanmateix, només es consideren com a nanotecnologia aquelles operacions que utilitzen eines i conceptes de nanotecnologia, l'enginyeria de molècu-

les biològiques que realitzen funcions diferents de les que es fan a la natura, o bé la manipulació de sistemes biològics per mètodes més precisos que els de la biologia molecular. Per exemple, la dissolució de sucre en una tassa de cafè, remenant amb una cullera, és un procés que es realitza a la nanoescala, dissolvent els cristalls de glucosa en el cafè, però és un procés natural, que es pot accelerar tot remenant, i que no utilitza les eines de la nanotecnologia i no es considera com una operació nanotecnològica. En canvi, l'alliberament controlat d'un fàrmac encapsulat en un liposoma, per exemple, sí que es considera una operació nanotecnològica. Hi ha bàsicament dues aproximacions a la nanotecnologia o dues maneres de fer nanotecnologia, que donen lloc a dues grans categories segons el tipus de producció que se'n derivi: la primera aproximació és la tradicional, la primera en aparèixer, que es coneix en anglès com a *top-down*, de dalt a baix: uns materials existents a escala macro o microscòpica es miniaturitzen fins a assolir l'escala nanomètrica. És l'aproximació més utilitzada i consolidada. Un clar exemple n'és la reducció dels transistors electrònics, base dels xips i processadors, o les memòries magnètiques, que cada cop són més petits i més potents, tot i que actualment ja hem arribat al moment en què no es poden reduir més. Per això la gran esperança està posada en la computació quàntica i el processament òptic de la informació, ambdós encara molt lluny de veure la llum.

La segona aproximació és la *bottom-up*, de baix a dalt, en la qual es parteix d'àtoms i/o molècules individuals per a manipular-les i combinar-les per crear estructures i materials nous no existents de forma natural utilitzant reaccions químiques noves, o els microscopis STM predits per Feynmann i els de Forces Atòmiques (AFM, *Atomic Force Microscope* de l'anglès) més moderns. Exemples d'això són l'autoensamblatge químic, la química supramolecular, que ha permès la creació de nous materials com els MOFs (*Metal-organic Frameworks*, estructures metal·lògiques), que són com esponges nanoscòpiques tipus zeolita amb propietats increïbles per emmagatzemar gasos, per exemple, o com a vehicle per transportar i alliberar un fàrmac.

Interès i importància de la nanotecnologia

Bàsicament, hi ha tres raons que desperten l'interès científic i tecnològic per la nanotecnologia. En primer lloc, una raó d'escala, de mida. Les lleis de la naturalesa que governen el *macro/micromon* són les lleis de la física clàssica, les famoses lleis que Isaac Newton va establir en els seus *Principia Mathematica* el 1687 i que han regit el món fins els anys 1905 i 1915, quan van aparèixer les teories especial i la general de la relativitat d'Einstein. Les de Newton són les lleis de la natura que es compleixen a la nostra escala i en condicions normals de moviment. Però aquestes lleis, a escala nanomètrica, deixen de funcionar, i aleshores hem

d'utilitzar les lleis de la mecànica quàntica, desenvolupades els anys vint principalment per Schrödinger i Heisenberg.

No pretenem ara ensenyar amb detall en què consisteixen aquestes lleis però sí que es mereixen una breu explicació. Anomenarem un parell de fenòmens curiosos que escapen al sentit comú quotidià. Un és la Dualitat Ona-Corpuscle (Hipòtesi de De Broglie), segons la qual qualsevol objecte de l'univers es pot comportar simultàniament com a partícula o corpuscle, amb massa, i com a ona, sense massa, essent només energia. I l'altre és el Principi d'Indeterminació de Heisenberg, que postula que no es pot saber amb precisió el valor de la velocitat i de la posició d'una partícula alhora. Aquest important principi és la base de les aproximacions probabilístiques de la mecànica quàntica, que tenen com a conseqüència paradoxes curioses com la del famós «gat d'Schrödinger», que pot estar viu i mort alhora. Einstein, amb les seves creences religioses deterministes, mai va acceptar la mecànica quàntica, tot i haver-hi fet aportacions fonamentals, com l'efecte fotoelèctric, i va resumir els seus pensaments en la famosa frase: «No crec que Déu decidís jugar als daus amb l'univers». És important remarcar que el *nanomón* no és un món de nous conceptes, de noves teories, sinó que és un món de nous fenòmens explicats per teories ja establertes i acceptades com la quàntica. Les propietats macroscòpiques dels materials canvien per la reducció de la mida, apareixent nous

fenòmens sorprenents. Propietats com el color, la densitat, la duresa, la conductivitat tèrmica i elèctrica, la flexibilitat, el magnetisme, l'elasticitat, etc. són diferents segons l'escala en què ens movem. Per citar un exemple conegut, l'or és de color daurat a la macroescala. Una dispersió de nanopartícules d'or de 5 nm de diàmetre és vermella. De 60 nm és verda i de 90 nm és blava. S'obre un univers il·limitat de possibilitats només considerant les combinacions possibles de cadascuna de les propietats d'un material en funció de la variació de la seva mida.

La segona raó de l'interès en la nanotecnologia és l'increment dels efectes de superfície en anar disminuint l'escala. En un material amb un cert volum i un nombre fix d'àtoms, si l'anem fraccionant i reduint cada vegada més, la relació superfície/volum augmenta, és a dir, hi ha més superfície per al mateix volum. Així, doncs, apareix tota una enginyeria de tractament o funcionalització de les superfícies que produeix noves propietats dels mateixos materials. Moltes d'aquestes propietats depenen de la seva superfície. Tota la catàlisi i la majoria de reaccions químiques són interaccions de superfície. La seva manipulació a voluntat ha obert per tant un món il·limitat de noves possibilitats i nous fenòmens.

La tercera raó és la interacció amb el món biològic. La nanotecnologia permet la interacció amb virus, anticossos, proteïnes, l'ADN, etc. Això ha destapat un món nou d'integració de la química inorgànica

ca, base de la matèria inerta, amb els éssers vius. Una nova disciplina anomenada nanomedicina, de la qual parlarem més endavant, ha aparegut amb força a l'escenari, amb expectatives presumptament il·limitades, i amb l'esperança de curar malalties i retardar l'envelliment.

A continuació donarem algunes xifres sobre el que s'està invertint en la investigació nanotecnològica. El principal motor de l'enorme progrés del desenvolupament de la nanotecnologia ha estat, i encara segueix sent, la inversió pública, liderada per Europa amb uns 2 bilions de dòlars anuals des de l'any 2005, seguida pels EUA amb 1,7 bilions, el Japó amb 1 bilió, Xina amb 500 milions, Corea del Sud amb 350 milions, Taiwan amb 115 milions, etc. L'any 1999, l'aleshores president dels EUA, Bill Clinton, va anunciar el programa *National Nanotechnology Initiative (NNI)* mitjançant la *National Science Foundation (NSF)*. Tot això s'ha vist reflectit en el nombre de publicacions científiques, liderades per Europa amb un 40%. Tanmateix, la inversió privada és a la inversa: els EUA i el Japó la lideren amb uns 2 i 1,7 bilions anuals respectivament, mentre que Europa només hi dedica 1 bilió de dòlars. Aquest darrer fet es veu reflectit en el nombre de patents i productes apareguts en el mercat, clarament liderats pels EUA i Japó, mentre que Europa està a la cua amb només un 12% del global. Es pot trobar un inventari de productes basats en nanotecnologia a www.nanotechproject.org.

Una altra de les raons per les quals es considera important la nanotecnologia és perquè mostra tots els signes d'esdevenir una *Tecnologia d'Abast General (TAG o GPT)* de les seves sigles en anglès, *General Purpose Technology*). Aquest és un terme que els economistes utilitzen per descriure salts d'innovació significatius en la història de l'home, que afecten l'economia a escala global. Exemples de TAGs són el desenvolupament de l'escriptura, la màquina de vapor, l'acer, el ferrocarril o l'electricitat. Exemples més recents podrien ser els ordinadors, internet o els *smartphones*. Les seves característiques principals és que són versàtils (utilitzats en sectors múltiples i heterogenis), tecnològicament dinàmics (augmenten el potencial d'una economia per fomentar la innovació continuada i la ciència) i aporten innovacions complementàries (capacitats millorades en múltiples sectors que incrementen significativament la productivitat). Com a conseqüència d'aquests impactes, les TAGs poden produir canvis essencials en l'economia a escala global que, tot i que a llarg termini poden ser bons amb un creixement econòmic i productiu important, a curt termini esdevenen massa disruptius i són origen d'inquietud social i incertesa laboral. Per exemple, les infraestructures, els equipaments i les habilitats laborals poden quedar desfasades, es poden produir tancaments d'empreses tradicionals i es crea la necessitat de reeducar els treballadors amb noves habilitats i aptituds. Un cas clar és el de l'aparició dels ordinadors o bé els robots de muntatge en les cadenes de fabricació. Abans, un

treballador ras havia de ser un mer mecànic o un simple operari; ara cal que sigui gairebé un programador. Potser és prematur catalogar la nanotecnologia com a TAG. Tanmateix, en mostra signes clars: teòricament fa més eficient la fabricació i les comunicacions, té un impacte transversal, pràcticament en qualsevol àmbit, i obre la porta dels científics a nous camps de coneixement amb l'aparició d'eines cada cop més potents.



Paco Pomet: Gangs

Ara fa uns deu anys es van realitzar uns estudis de mercat en els quals uns analistes tecnològics van diferenciar tres etapes en el desenvolupament de la nanotecnologia: una primera fase inicial (els 5 primers anys) de desenvolupament de la recerca i del coneixement científic. Alguns dels productes esperats a nivell de prototip serien nous nanocompostos amb una millora de la relació duresa/pes i flexibilitat, nanomembranes i filtres per purificar l'aigua i dessalinitzar-la, catalisi utilitzant materials sense terres rares com a matèria primera, tal i com s'ha fet fins ara, sensors químics i biològics més

sensibles i selectius i bateries recarregables de llarga durada. Una segona fase (de 5 a 10 anys) de desenvolupament comercial, desenvolupament de noves aplicacions i inici de la producció a escala industrial. Les aplicacions esperades serien noves teràpies amb una vectorització dels medicaments, la millora del contrast en imatges mèdiques, cèl·lules solars més eficients i de baix cost, piles de combustible més eficients i millor conversió aigua-hidrogen. I una tercera fase (de 10 a 20 anys o més), en què la nanotecnologia s'hauria consolidat i se'n faria un ús ampli en les indústries, amb múltiples productes i aplicacions en el mercat. Algunes aplicacions serien l'electrònica molecular, la vectorització de medicaments a través de les parets cel·lulars, el processat d'informació amb dispositius òptics i pròtesis neuronals pel tractament de la paràlisi, la sordesa, la ceguesa, el pàrkinson, l'epilèpsia, etc. Mentre que les aplicacions mèdiques de productes basats en nanotecnologia tenen unes fases de desenvolupament molt llargues, dècades fins i tot, al qual s'han afegit els elevadíssims costos dels assajos de les fases clíniques i l'estricta regulació que han de complir, en canvi les aplicacions industrials de la nanotecnologia, sobretot l'ús de nanomaterials com a matèria primera, ja estan disponibles comercialment en molts casos. Tanmateix, cal dir que, comptant amb l'experiència dels darrers deu anys, la gran majoria d'expectatives encara són a les beceroles i no s'han materialitzat ni de bon tros.

Un darrer aspecte que cal comentar, relacionat amb l'anterior i no menys important, és l'impacte de la nanotecnologia resumit en tres nivells: en la indústria, en el medi ambient i en la societat. A nivell industrial ja hem comentat les indubtables millores en productes i processos. En el medi ambient, encara es desconeix del cert quin impacte tindrà: hi poden haver tant efectes positius, com ho serien uns nous sistemes energètics més eficients, com negatius, com ara la toxicitat potencial de les nanopartícules, en especial les inhalades pels pulmons procedents de nous processos que en poden fer ús. Aquest és un tema delicat al qual cal dedicar molta atenció. A nivell de societat, l'impacte és sobretot en la salut humana, a més dels canvis laborals i organitzatius comentats anteriorment. Molts dels camps d'estudis actuals donaran lloc a professions que encara estan per inventar. L'impacte nociu degut a la toxicitat de les nanopartícules és un argument força estès entre els detractors de la nanotecnologia i és un tema de debat constant en què després de parlar-ne molts anys encara no s'ha arribat a un consens. En algunes indústries com la cosmètica, on ja fa anys que s'utilitzen, per exemple, nanopartícules d'òxid de titani de diàmetres d'entre 10 i 500 nm en cremes protectores de la radiació solar ultraviolada, es fa servir la descripció «partícules sub-micromètriques» per no dir «partícules nanomètriques» i evitar així el rebuig social, tot i que és el mateix concepte amb el mateix significat, només canvia la denominació. Cal una normalització i regulació específica en l'ús i aplicacions dels nanomaterials a

causa de les enormes diferències respecte dels productes químics similars de mides superiors. En aquest aspecte, la UE i els principals països productors, com els EUA i el Japó, estan invertint gran quantitat de recursos i pressupostos a aquests estudis de normalització i regulació, i han publicat algunes directrius preliminars, però no existeixen encara unes normatives i regulacions definitives.

Reptes actuals i nanotecnologia

Molts són els reptes científics i tecnològics actuals, la gran majoria relacionats amb problemes globals. A continuació en relacionarem alguns i mirarem d'establir connexions amb la nanotecnologia.

A partir dels anys setanta, l'enginyeria genètica va aparèixer amb força produint importants avanços en medicina com la producció d'insulina a partir del bacteri *Escherichia Coli* o l'ús de ratolins transgènics per a realitzar estudis clínics. En els darrers anys, s'ha aconseguit desenvolupar mecanismes d'edició genètica que permeten canvis en el genoma d'una cèl·lula de forma controlada i reproduïble. Una de les tècniques actuals amb major èxit gràcies a la nanotecnologia, anomenada CRIS-PR, actua com unes tisores moleculars que permeten tallar seqüències específiques de l'ADN del genoma de forma fàcil, ràpida i precisa, activant, desactivant i modificant gens. A més d'assajos amb animals i plantes, aquesta tècnica s'ha començat a aplicar en humans, sobretot en noves teràpies contra

el càncer. Un dels objectius tecnològics és crear un genoma artificial que sigui immune a bacteris i virus, és a dir, sense els defectes genètics que provoquen malalties. La polèmica ja està encetada, perquè molts científics alerten que l'edició del genoma, que permet canviar el propi ADN, pot tenir conseqüències crítiques en l'evolució de la humanitat tot i que, ara per ara, hi ha moltíssimes regions del genoma que encara s'ignoren. En una entrevista recent després de la publicació del seu llibre *La solución de los telómeros* (Ed. Aguilar, 2017), la Premi Nobel de Medicina el 2009 Elizabeth Blackburn parla dels telòmers, la base biològica que podria explicar la connexió entre la ment i el cos. Els telòmers són els extrems dels nostres cromosomes i la seva longitud és un indicador del nostre estat de salut actual i del seu futur deteriorament. La seva tesi és que els gens juguen un paper del 50% en el nostre esdevenir. L'altre 50% correspon als nostres hàbits quotidians, el nostre entorn i l'experiència vital. Portar una vida sana, fer esport amb moderació, una bona alimentació i no tenir estrès contribueix a l'augment de l'enzim de l'anti-envelliment, la telomerassa. Tanmateix, si els telòmers són massa llargs, que es podria interpretar com un "excés de salut" per entendre'ns, llavors augmenta la probabilitat de patir certs càncers. Hi ha per tant un límit natural d'equilibri. S'ha posat de moda fer un test de telòmers, però Blackburn el desaconsella completament, en primer lloc, perquè només funciona a nivell estadístic, és a dir, no és possible predir si un individu en concret

podrà contraure malalties o no. En segon lloc, el descobriment que els propis telòmers són massa curts produiria una situació d'estrès en l'individu que seria també causa d'escurçament.

El tema de la manipulació genètica em recorda aquella cèlebre conversa apòcrifa atribuïda a Einstein. S'explica que un dia cap a finals dels anys quaranta, Marilyn Monroe va coincidir amb Albert Einstein en una festa i va mostrar gran interès en conèixer al famós home de ciència. Ella se li va acostar tota sensual i li va dir: «Què en pensa, professor? Podríem casar-nos i tenir un fill conjuntament. S'imagina un nen amb la meua bellesa i la seva intel·ligència?». En veure-la i escoltar allò, Einstein va esbossar un petit somriure i posteriorment, amb un posat seriós, li va respondre: «Molt em temo, desafortunadament, que l'experiment sortiria a la inversa i acabaríem amb un nen amb la meua bellesa i la seva intel·ligència». Sembla ser que l'anècdota, anònima, en realitat, no els va tenir com a protagonistes, i que es relaciona més aviat amb l'escriptor Bernard Shaw, però en qualsevol cas, serveix com a acudit sobre l'eugenèsia per il·lustrar la meua opinió.

Un segon gran repte és el canvi climàtic que, a més de ser un problema en sí mateix, és la causa d'altres problemàtiques colaterals com la pèrdua de biodiversitat i l'escassetat d'aigua i d'aliments, entre d'altres. Un estudi recent demostra que el canvi climàtic pot afectar a 351 milions d'europaus des d'ara al 2100. L'escal-

fament global pot afectar dos terços de la població europea cada any, provocant 152.000 morts anuals. Aquestes dades provenen d'un model en el qual s'ha tingut en compte des de riscos de major impacte com onades de calor i de fred, incendis forestals i desertització, sequeres i inundacions, així com l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. A més, l'envelliment de la població podria agreujar l'impacte de les catàstrofes climàtiques. Una de cada sis espècies del planeta està amenaçada. La cimera del clima de París de 2015 fixava els límits d'emissió de gasos d'efecte hivernacle en dos graus d'augment de temperatura global, cosa que no s'està complint ni de lluny. Dels dos grans principals productors mundials de contaminació, el president Trump dels EUA simplement nega el canvi climàtic, i l'altre, la Xina, no pren cap mesura per aturar-lo. Un altre exemple d'un recurs natural considerat equivocadament il·limitat és la sorra, ingredient imprescindible en materials de construcció com el formigó, l'asfalt o els cristalls. Els efectes de la seva sobreexplotació són notables i la seva extracció augmenta la vulnerabilitat de platges i costes a l'erosió. Efectes del canvi climàtic, com per exemple la pujada del nivell del mar o la intensificació de les tempestes, fan augmentar la demanda de sorra. Un altre aspecte a considerar és que cal un canvi dràstic en el model energètic actual per substituir els combustibles fòssils per energies netes renovables, en paral·lel a la millora de la seva combustió. D'aquestes energies netes, l'eòlica i la solar fotovoltaica

són les més desenvolupades. Està apareixent, gràcies a la nanotecnologia, una nova generació de cel·les fotovoltaïques basades en materials orgànics, híbrids i nous òxids com les perovskites amb millors eficiències de conversió d'energia. L'alternativa de la fusió nuclear és també una solució a llarg termini, potser a partir del 2050. Una altra millora produïda per la nanotecnologia es troba en la purificació de les aigües residuals gràcies a noves membranes amb major eficiència i poder dessalinitzador. No tan sols en la generació de noves fonts d'energia està el futur; també en l'emmagatzematge i la conversió de l'energia hi ha importants avanços. Estan apareixent noves generacions de cel·les de combustible, supercondensadors i bateries amb major potència i major velocitat de càrrega-descàrrega, que són la base dels nous vehicles elèctrics. Estem a l'inici de nous sistemes de transport basats en energies renovables.

Un tercer repte, en part com a conseqüència de l'anterior, és la superpoblació que creix i la necessitat de millorar la nutrició. Noves tècniques genòmiques poden determinar l'ampli nombre de proteïnes que necessita la dieta humana. La producció a gran escala de proteïnes dietètiques, basades en l'aplicació de la biotecnologia a la nutrició molecular, pot aportar grans beneficis per a la salut humana com el desenvolupament muscular, el control de la diabetis o la reducció de l'obesitat. Per altra banda, necessitem sistemes de conreu més eficients, amb necessitat de menys terra i menys aigua, que es poden

aconseguir amb millores genètiques en plantes. En el control i monitorització dels camps de cultius, hi ha una aportació important de la nanotecnologia en el camp dels biosensors, que permeten el control de paràmetres com poden ser la humitat, la temperatura, la pressió, els graus de maduració, l'aparició de paràsits i patògens, etc. mitjançant sistemes intel·ligents controlats de forma remota. Les alarmes per la superpoblació ja fa temps que han saltat. El físic teòric Stephen Hawking ha predit l'extinció del planeta, si seguim en la situació actual, en uns 100 anys degut al canvi climàtic, la superpoblació, les epidèmies, el risc de col·lisió d'asteroides i d'una eventual guerra nuclear, i aposta per la colonització d'altres móns.

Un altre repte important és la Intel·ligència artificial. Fins ara, l'atenció de la informàtica (o de les TIC, per utilitzar la paraula de moda), s'ha centrat en la preocupació pel *big data*, la gestió, emmagatzematge i transferència de la gran quantitat d'informació generada. Ara el focus s'ha desplaçat cap al *machine learning*, que les màquines aprenguin, com a pas decisiu cap a la intel·ligència artificial. Per sort, això encara no ha arribat però si algun dia els ordinadors arriben a pensar o a reaccionar com ho fa un ésser humà, haurem assolit un nou paradigma i els éssers humans deixarem de ser els éssers més intel·ligents del nostre planeta. La computació quàntica és l'objectiu que es persegueix des de fa ja uns anys. Els ordinadors processen la informació amb bits, conjunts de zeros i uns que formen el sis-

tema binari. Hi ha dos estats: presència o absència de càrrega, voltatge o corrent (càrrega en moviment): On/Off. En un ordinador quàntic, els bits són reemplaçats per qubits, en els quals entre el zero i l'ú hi pot haver, teòricament, infinits estats. Això comportaria una capacitat i velocitat de processament immensament superior. Una branca de la física o de la nanotecnologia, l'espíntrònica, pretén establir les bases teòriques que fonamenten la computació quàntica. A nivell de recerca, els primers dispositius comencen a donar els seus fruits, però encara estem molt lluny d'aconseguir l'objectiu final.

El cinquè repte són les infeccions i la creixent resistència als antibiòtics. Quan es van descobrir els antibiòtics, es va pensar que els patògens s'haurien eradicat, però és ben sabut que no ha estat així. Segons l'OMS, les deu malalties infeccioses que causen més morts són les infeccions respiratòries (bronquitis, pneumònia), la sida, les malalties diarreiques (associades a la malnutrició, deshidratació i qualitat de l'aigua), la tuberculosi, la malària, la meningitis, l'hepatitis B, el xarampió, la sífilis i l'encefalitis. Curiosament, en aquesta llista no hi ha l'ebola. Tampoc s'han tingut present, encara, noves infeccions com el zika. El cert és que els bacteris cada cop són més resistents als antibiòtics. El gravíssim problema no és només aquest, sinó que no apareixen nous fàrmacs, la recerca és molt lenta i costosa. Les grans empreses farmacèutiques no volen invertir en nous medicaments sense garanties d'èxit i es dediquen a desenvolupar altres tipus de

medicaments. Hi ha un debat obert de si els governs haurien d'incentivar aquests assajos. En el desenvolupament de nous fàrmacs la nanotecnologia juga un paper fonamental i té un futur esperançador, tot i que a llarg termini.

Una de les branques on s'està invertint i investigant amb més dedicació i recursos és la nanomedicina. Els principals camps d'aplicació d'aquesta branca es poden resumir en tres: diagnòstic, medicina regenerativa i alliberament de fàrmacs. El camp del diagnòstic és potser el més avançat i desenvolupat. Com a exemples podem citar la millora en els agents de contrast d'imatge en tècniques com les tomografies, ressonàncies, ecografies, gammagrafies, etc. amb l'ús de nous traçadors radiactius i nanopartícules magnètiques. Un altre exemple està en els nanobiosensors. Un biosensor es basa en un receptor biològic que pot ser un enzim, una proteïna, un anticòs, un fragment d'ADN o fins i tot cèl·lules senceres, altament selectiu, que a través d'un transductor dóna un senyal, normalment elèctric, proporcional a la concentració de la substància a detectar. Exemples típics ja existents de nanobiosensors són els detectors de glucosa o els tests d'embaràs, basats en tecnologies de flux lateral en paper. En el camp de la medicina regenerativa s'han produït avanços importants també. Alguns exemples són la millora en implants i pròtesis òssies. Per citar-ne algun cas, l'empresa *Angstrom Medica Inc.* es va fundar al 2001 per desenvolupar nanoestructures sintètiques d'hidroxiapatita amb aplicacions mèdiques. Va ser la



Paco Pomet: Caress

primera empresa en obtenir el permís de la FDA (*Food and Drug Administration*, l'agència americana dels medicaments) per fabricar i vendre el primer biomaterial comercial anomenat *NanOss*. El camp de l'alliberament de fàrmacs és el més esperançador alhora que el menys desenvolupat per l'enorme dificultat tecnològica i les elevadíssimes inversions necessàries per passar totes les fases clíniques i obtenir un nou fàrmac, com ja hem comentat. En molts casos, els nous fàrmacs són reformulacions d'antics fàrmacs genèrics en els quals la nanotecnologia afegeix alguna millora. Una línia de recerca exitosa és la micro i la nanoencapsulació de fàrmacs i principis actius. Es tracta d'empaquetar una substància activa, que pot ser un sòlid, un líquid o un gas, amb un embolcall, anomenat matriu o càpsula, que la protegeix i que de forma controlada es pot fer dirigir a un òrgan o zona corporal concreta i alliberar-la a voluntat. Càpsules típiques són polímers naturals o sintètics, lípids, liposomes, dendrites o materials inorgànics com sílica. Un altre exemple d'alliberament de fàrmacs es fa amb l'ús de nanopartí-

cules inorgàniques, com per exemple d'or, funcionalitzant la seva superfície, és a dir, donant-li una funció a base d'incorporar-li anticossos, proteïnes i fàrmacs de forma que la nanopartícula s'utilitza com a vehicle selectiu per portar aquell fàrmac a l'òrgan o zona desitjada i alliberar-lo de forma controlada. La primera empresa *spin-off* creada a l'Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia el 2011 fou Nanotargeting, S.L. i el seu objectiu és desenvolupar les fases clíniques d'un nou fàrmac basat en nanopartícules d'or recobertes de Cis-Platí, que és el principal fàrmac per tractar tumors sòlids. Amb aquesta reformulació s'injecta el conjugat (nanopartícula més fàrmac) al torrent sanguini, s'acumula en el tumor i el fàrmac s'allibera només en penetrar les cèl·lules tumorals. D'aquesta forma, disminueixen substancialment els efectes secundaris nocius en cèl·lules sanes.

I el futur post-humà?

No pretenem finalment fer una dissertació sobre el transhumanisme i el post-humanisme. Segurament hi haurà altres articles en la revista que en parlaran extensament. Mirarem de fer una revisió ràpida dels conceptes de transhumanisme i post-humanisme per focalitzar el tema i intentar establir possibles connexions amb l'estat actual real de la nanotecnologia, especialitat que conec prou bé, deixant de banda les possibles connexions amb altres matèries del coneixement com la intel·ligència artificial, la genètica, etc. a d'altres experts.

El transhumanisme es pot definir com un moviment cultural, filosòfic, intel·lectual, científic i ideològic l'objectiu del qual és la millora de l'espècie humana a través de la transformació tecnològica del cos i la ment humans per tal d'augmentar les nostres capacitats físiques i intel·lectuals. Tot això a través de la incorporació al nostre cos i ment de tecnologies convergents com són la nanotecnologia, la intel·ligència artificial, la biotecnologia, la ciència cognitiva i la robòtica. El 2002 la NSF americana, a la qual ens hem referit anteriorment, publicava un informe signat per Mihail Roco, a qui vaig tenir l'oportunitat de conèixer en un congrés l'any 2010, titulat «La convergència de les tecnologies destinades a augmentar el rendiment humà: nanotecnologies, biotecnologies, tecnologies de la informació i ciències cognitives», on recomanava amb entusiasme la dedicació i inversió en aquestes àrees. L'any 2008 Google va crear la Universitat de la Singularitat (la *singularitat tecnològica* és el moment en el que els humans deixem de ser humans i esdevenim transhumans, el moment en què la intel·ligència artificial supera la humana) i pocs anys més tard, al 2013, una empresa filial anomenada *Calico* (*California Life Company*), l'objectiu de la qual és allargar la durada de la vida humana, lluitant contra la vellesa i la mort. El seu projecte té com a objectiu arribar als 200, 300 anys o més enllà. Els transhumanistes pensen que a través de les noves tecnologies, la clonació reproductiva, l'ús intensiu de cèl·lules mare, la hibridació home/màquina, l'enginyeria

genètica i les manipulacions germinals,... es podria modificar l'espècie humana de forma irreversible, amb la finalitat de crear una nova espècie superior post-humana. Alguns poden pensar que és ciència ficció. Molts opinen el contrari. Una branca aposta per l'ús d'aquestes tecnologies com a medicina reparativa o terapèutica. Una altra, en la seva aplicació per aconseguir l'augment de les capacitats físiques i mentals en l'home sa de forma individual.

Es pretén doncs que els trans-humans controlin el seu propi procés evolutiu, reemplaçant l'evolució natural per una evolució forçada i controlada, passant de l'atzar a l'elecció. Fins i tot els més agosarats pretenen que aquest nou ésser posthumà que s'esdevindrà pugui assolir la immortalitat. Tornem a trobar, doncs, reminiscències de la pedra filosofal dels antics alquimistes. Un dels principals defensors del moviment trans-humà és Ray Kurzweil, director d'enginyeria de Google. "Prediu" que cap a l'any 2030 els cervells humans es podran connectar al núvol gràcies a nanobots nedant pel nostre cervell, és a dir, l'extensió del nostre cervell serà un pas significatiu en l'evolució humana i la connexió del nostre cervell a Internet ens farà ser únics amb una intel·ligència i memòria il·limitada (Us imagineu tenir accés immediat i il·limitat al Sr. Google només pensant-hi?). El transhumanisme portat a l'extrem suposa arribar a tenir unes qualitats il·limitades, un acostament a Déu, un voler arribar a ser déus. Em fa pensar en un retorn a la temptació que va generar el

Pecat Original. Això dels nanobots nedant pel cervell és pura ciència ficció... Tecnològicament, fins ara tot el que s'ha intentat amb la nanomedicina és aconseguir la creació d'aparells a la nanoescala, alguns dissenyats com a implants a l'organisme per identificar certes malalties (típicament càncers) i actuar de forma immediata alliberant un cert fàrmac focalitzat en la zona infectada. O bé nanorobots que netegen les artèries de residus de colesterol, per exemple. Però tot són aplicacions relativament senzilles. En cap cas es planteja una generació de nanobots amb consciència pròpia. Això, com he dit, és ciència ficció.

Un altre «il·luminat» que ha entrat en escena és el Dr. Sergio Canavero de Turí, que pretén dur a terme a finals del 2017 la bestiesa de fer el primer transplantament de cap. Apart del problema de la irrigació de la sang a les cèl·lules del cervell, que no es pot aturar més de dos o tres minuts, hi ha el petit detall tècnic de la connexió de la medul·la espinal. Si això s'hagués resolt hauríem solucionat la vida als tetraplègics. Està clar que la tecnologia mèdica ha tingut un èxit espectacular els darrers cent anys pel que fa a la prolongació de l'esperança de vida, que s'ha doblat. Ara hi ha més gent que arriba a la vellesa amb qualitat de vida, patim menys malalties i infeccions, però en cap cas la vida humana s'ha allargat. No vivim més enllà dels noranta o cent anys i no hi ha indicis que això pugui canviar. Hi ha, per tant, un límit natural en el progrés.

La ment, la consciència de la espècie humana està concentrada en el cervell i és al seu voltant on gira qualsevol millora significativa que hom pugui esperar. I del cervell en continuem sabent encara molt poc. Fins ara, la majoria dels progressos que s'han obtingut en la connexió cervell-màquina han estat a través de la lectura dels senyals elèctrics cerebrals a través d'electro-encefalogrames (EEG) o d'implants cerebrals. Recentment el passat mes de setembre el grup del Dr. Adam Pantnowitz de la Universitat de Witwatersrand de Johannesburg a Sudàfrica publicava els resultats d'un projecte sobre el registre de l'activitat bioelèctrica cerebral en temps real (projecte Brainter-net). La seva conclusió segueix sent que del cervell en sabem ben poc. A més de poder "llegir" amb senyals elèctriques l'activitat del cervell, la següent fase, absolutament necessària per crear una interfície home-màquina real, seria el pas invers, és a dir, incorporar informació de l'exterior al cervell o «escriure-hi». Estimular externa i elèctricament parts del cervell que han quedat atrofiades o malmeses i que controlen certes parts del cos o certs processos. En aquest sentit, el grup del Prof. d'ICREA José Antonio Garrido de l'ICN2 és dels que ha obtingut uns progressos actualment més avançats i que sortosament i casualment conec de primera mà. El Prof. Garrido i els seus col·laboradors de la Universitat de Múnic i Manchester han desenvolupat uns implants cerebrals basats en grafè, un nou material de dues dimensions amb unes propietats espectaculars. El grafè és una

xarxa hexagonal d'àtoms de carboni en forma de panel d'abelles. Tot i haver teoritzat sobre la seva existència, no va ser fins l'any 2004 que dos investigadors de la Universitat de Manchester, André Geim i Konstantin Novoselov, el van descobrir exfoliant làmines de grafit, és a dir, eliminant grafit capa a capa (el material de la mina d'un llapis), fins a obtenir una única capa del gruix d'un àtom. El 2010 van rebre per això el premi Nobel. Entre d'altres propietats úniques, el grafè és 200 cops més dur que l'acer i alhora flexible, és conductor tèrmic i elèctric, i és transparent. El seu descobriment va suposar l'inici d'una cursa en la recerca de materials bidimensionals i per poder fabricar-los a escala industrial. La Comissió Europea va impulsar el 2013 dos projectes FET, *Future Emerging Technologies*, Tecnologies Emergents del Futur, per adreçar dos dels reptes científics i tecnològics més importants i situar Europa al capdavant de la tecnologia a nivell mundial, per davant dels EUA, el Japó i la Xina, amb un pressupost d'1 bilió d'euros durant 10 anys. Un és el projecte *Graphene Flagship* i l'altre el *Human Brain*, Cervell Humà. L'objectiu d'aquest segon és el d'accelerar la neuro-ciència, computació i medicina del cervell, sobretot a través de simulacions computacionals avançades. El projecte *Graphene Flagship* el forma un consorci de 150 centres acadèmics i empreses de 23 països, dividit en 20 paquets de treball. L'ICN2 co-lidera dos d'aquests paquets, un d'ells pel mateix Prof. Garrido. Un dels objectius de la seva recerca és el desenvolupament d'un biosensor im-

plantat basat en grafè que permet detectar i registrar l'activitat neuronal. Fins ara s'ha provat amb èxit a nivell experimental en ratolins per detectar de forma precoç atacs d'epilèpsia. El pas següent és fer un assaig clínic amb humans. Si té èxit, la fase següent és utilitzar-lo per dur a terme el que se'n diu *Deep Brain Stimulation* (DBS, Estimulació Profunda del Cervell), que seria la veritable llavor de la interfície home-màquina. Hi ha encara moltes barreres tècniques a superar, però en cas d'èxit, la tecnologia es podria utilitzar per al tractament de malalties neurodegeneratives com el Parkinson, l'alzheimer, l'epilèpsia, etc. i també d'incapacitats motrius com les tetraplegies. Val a dir que encara estem molt lluny d'aconseguir l'objectiu, però fins i tot tenint èxit en els propers, posem per cas, cinquanta o cent anys, de cap manera m'atreviria a afirmar que hem assolit una nova espècie humana ni que s'haurà allargat la vida significativament, ja que biològicament tenim un límit.

Podrem dir que haurem assolit un estadi acceptable d'evolució humana no pas quan esdevinguem posthumans, com pretenen alguns, sinó quan la humanitat hagi eliminat la desigualtat entre els homes, la fam, les guerres i la pobresa. Sense això darrer, l'anterior no té sentit.

Setembre 2017

Jordi Reverter i Cendrós

Director de Transferència de Coneixement i Tecnologia

Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2)

reverter.jordi@gmail.com / 622091083

<https://www.linkedin.com/in/jordireverter/>