

# MATERIALS

---

**A** PRIMERS DE SEGLE, EL NOBEL DE FÍSICA KAMMERLING-ONNES PROPOSAVA EL TERME “SUPERCONDUCTIVITAT” DESPRÉS DE COMPROVAR QUE LA DISMINUCIÓ SUFICIENT DE LA TEMPERATURA D’UN MATERIAL FEIA DESAPARÈIXER LA SEUA RESISTIVITAT ELÈCTRICA. D’ALESHORES ENÇÀ, L’AFERRISSAT ESFORÇ ENTORN DE L’ESTUDI I LA COMPRESIÓ DE LES PROPIETATS DE LA MATÈRIA HA DONAT FRUITS ESPECTACULARS, PERQUÈ AQUESTA ESTÀ RESULTANT TENIR PROPIETATS INIMAGINABLES FA POCOS ANYS. AIXÍ DONCS, LA CAPACITAT D’OBTENIR MATERIALS AD HOC PER A CADA NECESSITAT HA FET QUE ELS AVENÇOS EN CIÈNCIA I ENGINYERIA DELS MATERIALS ARRIBEN A CONSTITUIR ELS FONAMENTS DEL PROGRÉS I SIGUEN UN DELS MILLORS EXEMPLES D’INTERRELACIÓ ENTRE LA CIÈNCIA I LA VIDA DIÀRIA.

LA SELECCIÓ, MODIFICACIÓ I ELABORACIÓ DELS MATERIALS SÓN ELEMENTS FONAMENTALS DE LA CULTURA HUMANA. AL LLARG DE LA SEUA HISTÒRIA, L’HOME HA ACONSEGUIT TRANSFORMAR L’ENERGIA I L’HA ADAPTAT TOTA CLASSE DE MATERIALS: PEDRES, FUSTA, FANG, FIBRES VEGETALS, TEIXIT ANIMAL... PERÒ ELS PROBLEMES DERIVATS DE L’ÚS INADEQUAT DELS RECURSOS MATERIALS JA ES CONEIXIEN DES DE L’ANTIGUITAT I, COM ES DIU A LES PLANES SEGÜENTS, EL PLANETA ÉS LIMITAT I CAP MATERIAL NO POT ÉSSER RECICLAT INDEFINIDAMENT. SIGA COM SIGA, TOTA AQUESTA MATÈRIA EN “MOVIMENT” HAURIA FASCINAT, FINS I TOT, EL MATEIX DIDEROT.

## PER A UN MÓN CANVIANT



# ELS MATERIALS, COMPANYS DE VIATGE

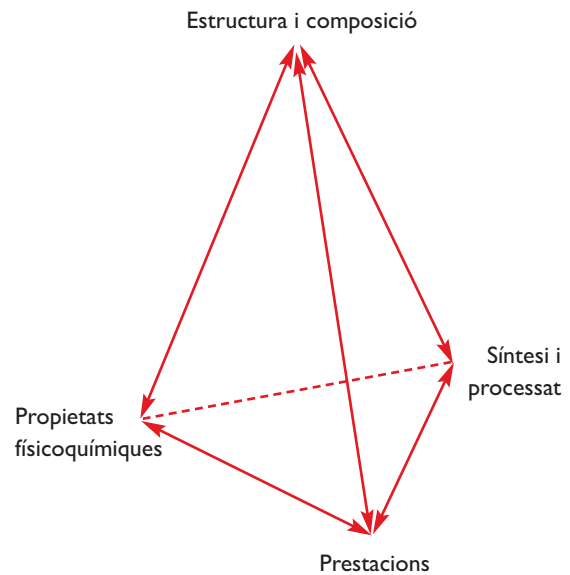
Miguel Ángel Alario y Franco\*

La Història de la humanitat es confon amb la recerca de materials que faciliten l'estada dels éssers humans a la Terra. Observar simplement la nostra reacció davant una tempesta a la muntanya o els problemes que afronta una ciutat com Nova York si li tallen el fluid elèctric per qualsevol problema inesperat, ens permet d'imaginar fàcilment com devia ser la vida dels nostres avantpassats llunyans, de l'*Homo sapiens* en avant, per combatre la inclemència del temps. I això no inclou sinó una part de les dificultats que els nostres avantpassats hagueren d'anar superant per arribar a l'època actual, que, sens dubte, és l'Època dels Materials, en afortunada frase del Nobel G. P. Thomson, descobridor de la difracció dels electrons pels cristalls, i que amb ella ampliava la tradicional divisió prehistòrica: Edat de Pedra, Edat de Bronze, Edat de Ferro, al món modern.

I és que en realitat, no existeix cap ni una activitat humana, amb l'òbvia excepció de les activitats fisiològiques: respirar, digerir, pensar (?)... —encara que en totes es fan servir *materials biològics*—, no existeix, deia, cap activitat de l'*homo faber* en què els materials no facen un paper predominant. I no cal sinó pensar en la successió d'accions que realitzem cada dia del matí al vespre, i encara després, fins que ens abraça la son, per a adonar-nos que del despertador —fet de materials metàl·lics, polimèrics i un poc de vidre—, a la cafetera —també metàl·lica o plàstica, o fins i tot metàl·lica i plàstica—, de la tovalla —feta de fibres cada vegada menys naturals i més sintètiques— al forrellat de la porta que cada dia acomiadem amb una volta de clau —també metàl·lics tots dos— o del catalitzador —una complexa combinació de tres o quatre materials diferents i costosos— del cotxe a l'ascensor de l'oficina, i així fins tornar a saludar el forrellat amb una altra volta de clau en sentit contrari, els materials han estat presents de manera permanent encara que discreta: en realitat no ens n'havíem adonat, com el ben conegut *burgès gentilhome*, que no sabia que parlava en prosa —cursi, però en prosa. I a més a més han estat aquí fins que els hem volgut canviar per altres de millors, o més adaptats a cada necessitat; ens cansem d'ells i els substituïm.

I què es, doncs, un material? Encara que potser cada tractadista en dóna una definició, com passa amb els termes d'ús comú que de colp i volta es reconei-

xen com una cosa específica, una possible definició seria la de “sòlid útil amb un alt valor afegit”, que recull simultàniament el caràcter eminentment pràctic i l'interès econòmic. Tocant a aquest últim, una estimació més aviat conservadora del departament de comerç d'EUA en l'any 1990 calculava el mercat potencial de materials en uns 600 milions de dòlars en l'any 2000. Això no obstant, en l'actualitat, aquesta xifra s'ha multiplicat almenys per deu, encara que, certament, la suma total depèn de quins materials s'inclouen en la llista, punt que tornarem a tractar més endavant.



Però per aprofundir una mica en això del “sòlid útil”, convé recordar que el concepte de material porta aparellades quatre idees mestres, que sovint, recollint el comú ordenancisme científic, s'associen als quatre vèrtexs d'un tetraedre, i que revelen les característiques que s'han de conèixer per a poder controlar i assolir l'objectiu principal de la Ciència de Materials: realitzar materials a mida, el que en la literatura científica en llengua anglesa es denomina *materials tailoring* o simplement *tayloring*. S'ha de recalcar que en aquest poliedre, com en tots els regulars, els quatre punts tenen la mateixa importància, encara que es

refereixen a aspectes diferents. Efectivament, per a aconseguir unes bones prestacions, per exemple un semiconductor de separació entre bandes de 2.0 eV, que a més resisteix sense deteriorar-se l'atac atmosfèric que habitualment sofreix una cèl·lula solar fotovoltaica, és necessari conèixer l'estructura cristal·lina, i les propietats fisicoquímiques que aquella i la composició li confereixen. Però també s'ha de saber fabricar el material: sintetitzar-lo i processar-lo; és a dir, donar-li la forma adequada per a la seua utilització concreta. Evidentment, no és el mateix utilitzar el diòxid de titani com a pigment blanc per a pintar el casc d'un iot que com fotocatalitzador per a l'electrolisi del aigua. Encara que en ambdós casos es tracta de  $\text{TiO}_2$ , fins i tot amb la mateixa estructura, la del mineral rutili, les condicions de puresa i dimensions de partícula, entre altres, serien molt diferents, com diferents serien els preus. I el mateix podem dir d'una zirconia estabilitzada per a rajoles de forn que d'una altra per a cèl·lules de combustible...

**«NO EXISTEIX  
CAP ACTIVITAT HUMANA EN QUÈ ELS  
MATERIALS NO FACEN  
UN PAPER PREDOMINANT»**

En el text precedent hem esmentat ja bastants materials, uns pel seu nom concret, per exemple *zirconia estabilitzada*, d'altres pel seu nom genèric, per exemple *metalls*. Convé, doncs, tractar de generalitzar un poc el nostre concepte de sòlid útil i precisar quins materials inclou. Però, precisament a causa de l'amplitud del terme, tampoc estan d'acord tots els experts en totes les espècies que el gènere Material ha d'incloure. Així, es coneixen classificacions dels materials basades en diversos criteris: per exemple —i aquesta és potser la més comuna i alhora la més senzilla— n'hi ha de basades en les característiques generals, cosa que indica que es tracta de classificar-los a partir d'alguna propietat fisicoquímica específica.


Així doncs, es parla de materials Estructurals, en què les propietats que els fan útils estan relacionades amb la seua estructura i que inclouen metalls, ceràmiques, polímers, materials compostos i vidres; de materials Conductors, l'avantatge dels quals consisteix en les propietats elèctriques i que inclouen, almenys, semi i superconductors, conductors iònics, materials magnètics i, per descomptat, els dielèctrics: ferro-, piezo-, antiferro-, praelèctrics...; de materials Fotònics, anomenats comu-

nament materials òptics i incloent-hi, naturalment els magnetoòptics, electroòptics,...; de Catalitzadors, Biomaterials...

És evident, tanmateix, que molts d'aquests materials encaixen perfectament en més d'un dels grups, i així s'aprecia en els exemples dels diòxids de zirconi i de titani esmentats adés. Però és que, a més a més, d'aquesta manera deixem fora ni més ni menys que els materials naturals... la fusta, les argiles —que donaren lloc a les ceràmiques decoratives i als objectes de culte primer, i als objectes funcionals després—, el carbó en les seues formes cristal·lines, i materials artificials però complexos com ara el ciment...

Adoptant el criteri de les dimensions, es parla ara cada vegada més freqüentment de nanomaterials i nanopartícules, per a referir-se als que tenen unes dimensions de  $10^{-9}$  m, i que estan compresos entre les dimensions de les molècules (~10 Å) i els de les partícules habituals (~300 Å) —encara que en aquests límits hi ha molt d'arbitrari. Però el fet és que en aquestes dimensions algunes propietats es fan una mica diferents a causa precisament de la seua petitesa, però també al seu grau d'interacció. Bé doncs, en aquests casos ja es recullen termes com els d'endo- i exosemiconductors i, per altra banda sorgeix la pregunta de veure a partir de quina grandària podem considerar un conjunt d'àtoms com a material o, fins i tot, com a sòlid, ordenat o no. Pregunta aquesta que té un caràcter bastant general i que a vegades es "resol" segons la informació que sobre les dites partícules poden donar les tècniques de difracció.

Altres vegades, en un anhel d'abraçar més camp en les classificacions, aquestes es basen en aspectes molt més generals. Així s'han fet populars classificacions que divideixen els sòlids útils en dos grans grups: *Moleculares* i *No-moleculares*, o, també, en *naturals* i *artificials* incloent, entre aquests, espècies com ara el ciment, els acers, o els materials compostos, i entre aquells matèries tan diverses com ara la fusta, l'or, el diamant o les punxes dels eriçons. Sembla clar, no obstant això, que aquestes classificacions no van molt enllà en termes d'utilitat de la classificació...

La Història, dèiem al principi, és plena d'exemples de materials que ens han fet la vida més agradable, però el més agradable és pensar que, tenint en compte la vitalitat actual de la Ciència de Materials, aquesta continuarà sorprenent-nos i, a través dels nous sòlids útils que continuaran descobrint-se, tindrem cada vegada més possibilitats de gaudir del nostre entorn natural. Podem estar segurs que els materials continuaran acompanyant la Humanitat en el seu viatge al llarg del temps. 

\*Real Academia de Ciencias de España.  
Universidad Complutense de Madrid

# MATERIALS IMPENSABLES: UN MÓN CANVIANT

Vicent Muñoz\*

Quan ens plantegem reflexionar al voltant d'algunes de les implicacions de la física dels materials en el món actual, cal reconèixer que no és gens fàcil definir-ne o delimitar-ne el domini d'actuació. De fet, l'aparició de límits compartits amb un conjunt d'àrees amplíssim és una de les característiques més rellevants i atractives de la física de materials. La vinculació entre diversos camps de la ciència i l'enginyeria, i la naturalesa inherentment interdisciplinària de la recerca en materials permeten construir un ampli panorama d'objectius fonamentat en la col·laboració i la complementarietat.

Fa aproximadament cinquanta anys, veia la llum el transistor, aqueix component electrònic que esdevingué bàsic per a l'inici d'una era de canvis científics i

cació dels quals només han començat a apuntar-se. Les conseqüències i la projecció en el futur són difícils d'imaginar.

El progrés de la investigació fonamental ha inspirat noves idees per a les aplicacions, que alhora han conduït a nous avenços i han proporcionat eines, com ara sincrotrons, fonts de neutrons, microscopia electrònica, camps magnètics elevats o grans supercomputadors, per a poder realitzar nova investigació fonamental, d'aquesta manera es genera un procés de realimentació que té una projecció i implicacions cada vegada majors.

Aquests avenços en la ciència no han estat producte de l'atzar o d'una genialitat aïllada; és evident que, per arribar a aquest punt, ha calgut un esforç intens de la comunitat científica pel que fa a la determinació, l'anàlisi i la comprensió de les propietats (mecàniques, elèctriques, magnètiques, òptiques...) de la matèria. De la matèria entesa en el sentit més ampli, en els seus diferents estats i estructures. Vidres, cristalls semiconductors, metalls, materials polimèrics o materials compostos, entre altres, formen part dels objectius d'estudi de la física de materials.

I, malgrat tot, potser no ens adonem de la influència que aquesta disciplina té en la nostra vida quotidiana perquè ens resulta del tot habitual. Molts dels elements estructurals dels cotxes o dels avions són el producte d'una intensa investigació en la síntesi de materials: els materials són cada vegada més resistents, més lleugers, amb major capacitat per a treballar en condicions extremes. El progrés en la síntesi de materials inclou la investigació i el descobriment de nous materials, i el desenvolupament de nous mètodes per a obtenir-los, a més de la millora i el processament dels materials ja coneguts. Des de la televisió fins al telèfon mòbil, passant pel reproductor de discos compactes, el desenvolupament de l'electrònica ha estat possible gràcies a l'elaboració de nous components semiconductors amb propietats inimaginables fa només uns anys. L'obtenció de materials multicomponent i de noves estructures ha estès de forma extraordinària les possibles aplicacions i els usos de l'electrònica que s'hi basen. L'increment de la velocitat de resposta dels components, la modulació

«PRÀCTICAMENT CAP  
DELS DESCOBRIMENTS CABDALS  
DELS DARRERS ANYS NO  
ESTAVA PREVIST»



tecnològics profunds. La vida quotidiana s'ha modificat i continua modificant-se a una velocitat vertiginosa com a conseqüència de l'allau de nous avenços tecnològics que es fonamenten en la física de materials. La superconductivitat a temperatures per damunt de la líquüefacció del nitrogen o els estats de l'heli superfluid són alguns dels descobriments de la física de materials més recents les possibilitats d'apli-

dels làsers basats en components semiconductors o la possibilitat de construir estructures controlades a escala atòmica són alguns dels camps en què el desenvolupament és més intens i que, sens dubte, continuaran incidint en els canvis que es produiran en un futur pròxim. Molts dels avenços en medicina no s'haurien produït sense la tecnologia que, aprofitant diferents propietats de la matèria, ha permès un diagnòstic més ràpid i precís. L'aparició de biomaterials per a la realització de trasplantacions ha obert noves perspectives. A partir de la ressonància magnètica nuclear i del desenvolupament d'ordinadors, i també del programari adequat, avui són una realitat les imatges d'alta resolució que utilitzen la ressonància magnètica i els camps magnètics intensos accessibles gràcies al desenvolupament dels materials superconductors. Les telecomunicacions han evolucionat des de les "rudimentàries" converses telefòniques a la situació actual en què és possible la transmissió simultània de veu, imatge, dades... Per a aquesta evolució ha estat determinant la capacitat de generar, controlar i detectar la llum, a més de la comprensió de com s'absorbeix i es dispersa en els materials vitris usats en les fibres òptiques. El desenvolupament ulterior en la producció d'aquests materials amb poques pèrdues i la instal·lació en aquestes "autopistes" al llarg de tot el món han permès arribar a la situació actual, en la qual disposem d'un món nou en la transmissió de la informació (Internet, correu electrònic, videocomunicacions, etc.).

Fa uns anys tot això era tan impensable per a nosaltres com poder anar de València a Nova York en unes quantes hores per als nostres avis (o molt més per al pobre Cristòfor Colom). Avui el repte continua en la línia d'estendre la comprensió a formes més complexes de la matèria i a nous fenòmens físics: superconductors d'alta temperatura, materials magnètics multicomponent, cristalls desordenats, polímers, vidres... i algunes sorpreses més que, ben segur, apareixeran pel camí. De fet, pràcticament cap dels descobriments cabdals dels darrers anys no estava previst. D'algun cas, com el de la superconductivitat a alta temperatura, fins i tot se n'havia afirmat la impossibilitat.

En els darrers temps, s'han obert noves línies, com ara els materials estructurats artificialment, amb propietats i comportaments tals que els podríem considerar com una nova generació d'àtoms, en aquest cas artificials. Aquests materials són candidats per a pròximes generacions d'ordinadors, però amb usos potencials en ciència i tecnologia més enllà de la computació. A mesura que aprendrem a unir blocs

més i més complexos, potser fins i tot de materials biològics, podem somiar amb un nou món de fenòmens i aplicacions pràctiques. D'altra banda, sembla entrellucar-se un acostament major cap a la biologia i la medicina, en paral·lel amb avenços en materials, comunicacions i tecnologies de la informació —l'altra gran revolució científica que ha modificat profundament la nostra realitat en els darrers anys. Les tècniques mèdiques modernes de què parlàvem abans o

**«EL DESENVOLUPAMENT EN  
ENGINYERIA QUÀNTICA,  
BIOMATERIALS, ETC., ENS PORTEN  
A SUPOSAR QUE HI HAURÀ  
CANVIS REVOLUCIONARIS  
EN EL PROPER SEGLE»**



les operacions amb làser, la física de macromolècules, etc. són punts d'intersecció entre la física, la química i la biologia que continuaran desenvolupant-se.

De la mateixa manera que el transistor, les fibres òptiques o el làser d'estat sòlid han incidit en les nostres vides, la perspectiva de desenvolupaments nous en enginyeria quàntica, fenòmens del no-equilibri, biomaterials, etc., per esmentar alguns exemples rellevants, ens porten a suposar que hi haurà canvis revolucionaris en el proper segle. A fi d'incidir sobre aquest desenvolupament, la comunitat científica, amb la col·laboració de les diferents forces socials, necessita trobar i construir nous camins per als reptes que es presenten de manera incessant en el nostre món canviant.



\*Departament de Física Aplicada.  
Universitat de València

# MATERIALS I MEDI AMBIENT: LA NECESSITAT DE TANCAR EL CICLE DELS MATERIALS

Fernando Sapiña Navarro\*

Tots estem familiaritzats amb els problemes ambientals associats a l'explotació i a l'ús dels combustibles fòssils, i comença a ser un lloc comú el paper que han de representar-hi les noves tecnologies, basades en els nous materials tant en la resolució de molts problemes ambientals com en la transició de l'ús de combustibles fòssils a l'aprofitament de fonts d'energia renovables. Aquestes noves tecnologies utilitzen, en general, petites quantitats de nous materials que se sotmeten a un processament complex, enfront de les grans quantitats de materials convencionals, amb un processat menys elaborat, que requereixen les tecnologies més antigues. El silici és, en aquest sentit, un exemple paradigmàtic. Vivim en l'era de la comunicació o, millor, de la tecnologia de la informació, basada en l'electrònica, desenvolupada fins fa pocs anys al voltant d'un únic material: el silici. Això no obstant, les quantitats d'aquest material que s'utilitzen en aquestes aplicacions, de tanta transcendència a hores d'ara, són molt petites comparades amb les utilitzades en aplicacions basades en tecnologies més

## «LES IMATGES DEL DESASTRE DE DOÑANA ENS ENFRONTEN ALS PROBLEMES AMBIENTALS ASSOCIATS A L'EXPLORACIÓ DELS RECURSOS MATERIALS»

antigues (aliatges ferro-silici). Extraïem de l'escorça terrestre quantitats enormes de materials convencionals, i les dramàtiques imatges del desastre ecològic de Doñana ens enfronten, precisament, als problemes ambientals associats a l'explotació i a l'ús dels recursos materials.

Problemes ambientals d'aquesta mena han existit pràcticament des de sempre. Recentment l'anàlisi de gels àrtics ha mostrat que uns centenars d'anys abans de la nostra era es va produir un augment de la concentració de plom en aquesta zona del planeta, que ha

estat relacionada causalment amb l'explotació intensiva de les mines de plom d'Ibèria, iniciada pels cartaginesos però desenvolupada després pels romans. Justament la riquesa en metalls va ser una de les causes de l'arribada de fenicis i grecs a les nostres costes, i de l'establiment dels primers assentaments colonials. Les explotacions mineres d'Ibèria es van convertir, de fet, en subministradores del món romà quasi des dels moments inicials de la conquesta, atesa la manca de jaciments en la península italiana.

També es coneixien en l'antiguitat alguns problemes associats a l'ús inadequat dels materials. Els grecs ja coneixien els efectes verinosos del plom ingerit en begudes àcides guardades en recipients recoberts amb substàncies d'aquest element. Però sembla que els romans no tingueren aquest coneixement, vist que utilitzaven most cuit en olles de plom per endolcir, i a més afegien al suc llimadures de plom per retardar la fermentació. Es formaven així grans quantitats de sals de plom, dolces, per acció dels àcids orgànics sobre el metall; de fet, l'acetat de plom es denominava antigament "dolç de plom". Així doncs, no és estrany que la concentració d'aquest metall trobada en els ossos d'alguns romans siga unes cent vegades superior a la concentració normal avui dia, i alguns historiadors han proposat com una de les causes que va contribuir a la caiguda de l'Imperi Romà el saturnisme (enverinament crònic per plom) que, previsiblement, afectava les classes dirigents.

Pel que fa a l'extracció dels recursos materials, i centrant-nos en el cas dels metalls, la metal·lúrgia dels metalls pesants mobilitza una quantitat molt gran d'elements que, en forma de distints compostos contaminants, són emmagatzemats normalment prop de la mina. Des d'aquestes zones d'emmagatzemament, aquests compostos es poden dispersar en els diferents compartiments ambientals. Les quantitats de mineral mobilitzades d'aquesta manera són enormes, i la veritadera magnitud del volum de residus acumulats prop de les mines sembla que solament queda de manifest quan hi ha accidents com el produït en les mines d'Aznalcóllar.

Els metalls pesants, tòxics, també poden passar des de l'antroposfera als diferents compartiments


ambientals a causa de la seua utilització en formes dissipatives, és a dir, en usos que impliquen necessàriament la seua dispersió en el medi ambient. El plom constitueix un exemple clàssic d'aquests usos dissipatius, tant pel que fa a la utilització del plom tetraetil com a additiu en les gasolines, com pel que fa a l'ús de compostos d'aquest metall com a pigments. Les quantitats de plom dispersades en el medi ambient a causa d'aquestes aplicacions han estat molt importants, però, en l'actualitat, tant els additius de les gasolines com els pigments basats en compostos de plom s'han substituït per altres compostos o per materials molt menys perillosos. En el cas de les gasolines, aquesta substitució ha permès l'ús en els cotxes de catalitzadors per al tractament dels gasos produïts en els motors.

La concentració en la biosfera de metalls tòxics com ara el plom i el cadmi, elements que s'acumulen en els organismes, va augmentant com a conseqüència de l'extracció i els usos dissipatius d'aquests metalls, i va arribant a nivells preocupants. Valga l'exemple del cadmi, un material que comença a ser molt usat (bateries de níquel-cadmi). La quantitat de cadmi ingerida per una persona que segueix una dieta normal és compresa entre 0,21 i 0,42 mg per setmana, i aquests valors es troben ja molt pròxims als valors màxims recomanats per l'Organització Mundial de la Salut (0,4-0,5 mg per setmana). Un augment de la concentració de cadmi en el sòl, en l'aigua i en el menjar podria elevar els nivells d'ingestió per damunt d'aquests valors màxims recomanats. Aquest fet indica que la sostenibilitat de la biosfera a llarg termini és incompatible amb l'augment de la concentració d'aquests metalls en la biosfera. No obstant això, la demanda de materials en els països menys desenvolupats va augmentant constantment, i és precisament en aquests països on es produirà en els anys vinents un major augment de la població. Les necessitats de materials convencionals en el món creixeran en el futur. Aquest augment de la demanda de materials provocarà l'explotació de mines cada vegada més pobres, atès que les més riques en metalls ja han estat explotades, i això multiplicarà les quantitats de mineral que ha de ser extret, processat i emmagatzemat prop de les mines. Enfront d'aquest exhauriment dels recursos materials, algunes vegades es planteja com a solució la substitució d'uns materials per d'altres, de manera paral·lela a la substitució que es produirà en un futur immediat dels combustibles fòssils per fonts d'energia renovables. Però aquesta solució oblidada que tots els recursos materials de la Terra són no renovables, en el sentit que són explotats per la humanitat a

velocitats molt grans comparades amb la velocitat a què es poden renovar com a conseqüència dels cicles geoquímics, que tenen temps característics de centenars de milions d'anys.

Des del començament de la revolució industrial, la població de la Terra ha anat creixent de manera exponencial, com si l'evolució cultural i tecnològica haguera proporcionat els mitjans per explotar el nostre planeta com una font il·limitada de recursos. Això no obstant, el nostre planeta és limitat, i en aquests moments existeixen nombroses evidències que indiquen que hem assolit la capacitat de càrrega del nos-

**«UN CREIXEMENT EXPONENCIAL  
DE LA POBLACIÓ I DE L'EXPLOTACIÓ  
DELS RECURSOS JA NO POT  
SER SOSTENIBLE PER MÉS TEMPS»**

tre planeta: un creixement exponencial de la població i de l'explotació dels recursos ja no pot ser sostenible per més temps. S'ha d'entendre la necessitat de tancar el cicle dels materials des d'aquest concepte de solidaritat intergeneracional, de societat sostenible: els materials han de quedar permanentment confinats en l'antroposfera i se n'ha d'evitar la dispersió en els diferents compartiments ambientals. Tancar el cicle dels materials implica no solament el seu reciclatge, a fi d'evitar els efectes multiplicadors abans esmentats, i l'eliminació dels usos dissipatius dels materials, sinó també un canvi en les tecnologies de producció: els objectes, una vegada han acabat la seua vida útil, han de ser reciclats i han de dissenyar-se justament amb aquest fi. I els especialistes en ciència i en enginyeria dels materials han de participar en aquest procés, han de desenvolupar aproximacions sistèmiques per entendre el metabolisme industrial dels diferents materials, dissenyar cicles tancats dels materials que substituesquen els cicles oberts que predominen en l'actualitat. El gran repte que la humanitat té plantejat per al segle XXI és fer possible un desenvolupament econòmic i social solidari amb la nostra generació i amb les generacions futures, i per aconseguir-ho és necessari tancar el cicle dels materials. 

\*Departament de Química Inorgànica i Institut de Ciència dels Materials.  
Universitat de València.



# ELS MATERIALS, L'ECONOMIA I LA CRISI ECOLÒGICA

Ernest Garcia\*

La idea que cal dedicar atenció als materials en l'anàlisi de processos socials ha estat força infreqüent. Nicholas Georgescu-Roegen (Constanza, Romania, 1906 - Nashville, EUA, 1994) hi és una de les escasses excepcions. En dos aspectes, si més no, la seua preocupació va conduir a resultats significatius.

L'assumpte apareix en el context de la seua revisió de la teoria de la producció (1971: 243 ss.). D'una banda, les qualitats particulars dels factors que hi intervenen, incloent-hi les diferents propietats de les primeres matèries, fan que cada procés de producció elemental siga, en cert sentit, únic. D'altra banda, la

podem escriure les equacions de qualsevol procés donat de producció o consum (si més no, d'una forma global, tot i que no amb tots els detalls tècnics). A continuació, podem ajuntar totes aqueixes equacions en un sistema gegantí o agregar-les de forma més manejadissa. Tanmateix, per a escriure un conjunt d'equacions inicials ens cal conèixer la naturalesa exacta del procés individual al qual es refereixen. I la dificultat és que, a llarg termini, o fins i tot no tan llarg, el procés econòmic (com el biològic) està inevitablement dominat per un canvi qualitatiu que no pot ésser conegut anticipadament" (1971: 17).

En la seua obra clàssica de 1971, Georgescu-Roegen dedicà més atenció als problemes derivats de l'evolució. Tanmateix, en nombrosos escrits posteriors, fou més explícita la seua preocupació pel paper de l'escassetat de materials en la crisi ecològica de la humanitat contemporània (l'espasme biològic, com ell mateix en deia). Aquesta preocupació es concretà en la formulació del que va anomenar "quarta llei de la termodinàmica", segons la qual "la matèria, com l'energia, es degrada contínuament i irrevocable des d'un estat accessible a un d'inaccessible" (1928a: 17). O, també, "el moviment perpetu del tercer tipus — definit com un sistema que pot intercanviar només energia amb l'exterior i realitzar treball indefinidament a una taxa constant— és una altra impossibilitat termodinàmica" (1982a: 17). Segons el seu punt de vista, no sembla possible una fórmula general per a l'entropia de la matèria, perquè aquesta és irreductiblement heterogènia, de forma tal que la fricció, l'elasticitat, la conductivitat, etc., difereixen d'una substància a una altra: "la dificultat és que el treball necessari per a separar una mescla d'or i argila no té relació amb el que cal per a separar una mescla equivalent de sofre i guix" (1928a: 18).

Georgescu-Roegen va invocar diverses vegades l'entropia dels materials en una polèmica amb el seu deixeble Herman Daly. A molt llarg termini —deia— la quarta llei parla contra la salvació ecològica mitjançant un estat estacionari, perquè, tard o d'hora, alguns elements minerals quedaran totalment dissipats (ja no es trobaran en formes accessibles i utilitza-


«CAL CONSIDERAR  
UNA BONA LLEI ECONÒMICA LA  
FORMULACIÓ QUE  
CAP MATERIAL NO POT ÉSSER  
RECICLAT INDEFINIDAMENT.»



producció és un procés en el qual hi ha canvi i temps, és a dir, un procés evolutiu. Una de les conseqüències d'aquesta revisió fou el qüestionament de l'optimisme relatiu a la substitució interfactores que és característic de les presentacions habituals de la funció de producció (un tema que ha esdevingut central en la moderna economia ecològica): "En principi és un fet que

bles). També es va llançar a un llarg i a voltes agre debat amb els partidaris del que anomenà “dogma energètic”, és a dir, la tesi que tot el que cal per tal d’obtenir qualsevol material que desitgem és afegir al sistema l’energia suficient. En aquest context, va formular la versió més obertament antropocèntrica i amb més directes implicacions econòmiques de la seua tesi, tot afirmant que la idea que el reciclatge pot ésser complet constitueix el corollari més característic del dogma energètic modern (1982b: 5).

L’estatus científic de la idea de l’entropia dels materials és encara confús. En general, allò que s’esdevé amb els materials que, en el món d’escala humana, contenen els processos de transformació d’energia és, teòricament, una terra de ningú. Potser no és casualitat que, entre els pocs científics naturals que han mostrat interès per la tesi de Georgescu-Roegen, els químics i geòlegs hagen estat més abundants que no pas els físics (Grinevald 1996: 38-39). Però, siga quin siga el balanç final de la “quarta llei”, en la for-

mulació que cap material no pot ésser reciclat indefinidament és assenyat considerar-la com una bona llei econòmica (com sap qualsevol que conega els processos de reciclatge que ja existeixen). 

\*Departament de Sociologia i Antropologia Social.  
Universitat de València

REFERÈNCIES:

Georgescu-Roegen, N. (1971): *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press

Georgescu-Roegen, N. (1982a): “The Crisis of Resources: Its Nature and Its Unfolding”. Dins Daneke, G.A. (ed): *Energy, Economics, and the Environment: Toward a Comprehensive Perspective*. Lexington (Mass.), Lexington Books, pp. 9-24.

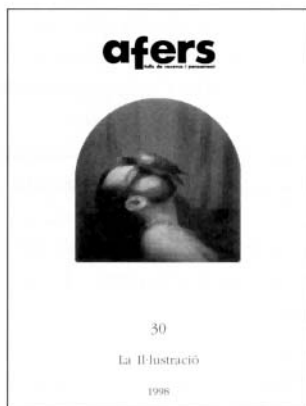
Georgescu-Roegen, N. (1982b): “La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine” *Economie Appliquée*, vol XXXV, n° 1-2, pp. 1-26.

Grinevald, J. (1996): “Prólogo”. Dins Georgescu-Roegen, N.: *La Ley de la Entropía y el proceso económico*. Madrid, Fundación Argentaria-Visor, pp. 15-41.

# afers. fulls de recerca i pensament

Revista fundada per: Sebastià Garcia Martínez

XIII:30 (1998) La Il·lustració / Miscel·lània

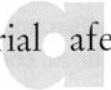


*Dossier:* Joan BADA I ELIAS: La Il·lustració als Països Catalans / Francesc TORRALBA ROSELLÓ: La Il·lustració a Catalunya / Sebastià TRIAS MERCANT: Les claus de la Il·lustració mallorquina / Víctor NAVARRO: Descartes i la introducció a Espanya de la ciència moderna / Santiago RIERA I TUEBOLS: Experimentalisme i Il·lustració / Ernest LLUCH: El pensament econòmic asturcastellà. Uns contrapunts / Pablo CERVERA FERRI: José Antonio de Valcárcel, un agrònom il·lustrat en terres valencianes / Joan Ramon TRIADÓ: Art, artista i societat a la Catalunya del segle XVIII / Antoni MESTRE: Els programes de reforma de l'Església en els il·lustrats valencians / Sergio SEVILLA: Raó i Il·lustració: els tòpics d'una crisi • *Miscel·lània:* Fermí RUBIRALTA CASAS: El nou nacionalisme radical (1959-1973). Un estudi comparatiu dels casos gallec, català i basc / Montserrat BORDES SOLANAS: Les raons del cor. Les emocions i el seu ascendent en l'acció humana • *Postscriptum:* Nicolau BAS MARTIN: Les publicacions de l'Ajuntament d'Oliva sobre la vida i l'obra de Gregori Maians i Ciscar (1699-1781) / Flocel SABATÉ: Els bàndols com a solidaritat en la societat urbana baixmedieval / Tina HERREROS: La ciutat de València a la llum dels últims estudis arqueològics • *Recensions / Notes / Publicacions rebudes*

—Subscripció anual (tres números): 6.240 Pta. (IVA inclòs)

—Exemplar solt: 3.120 Pta. (IVA inclòs)

—Pagament bancari: demaneu butlleta de subscripció

editorial  afers

*Informació i subscripcions:* Editorial Afers, S. L. / Apartat de Correus 267 / tel. i fax: 961 26 86 54 / E-mail: [afers@xpress.es](mailto:afers@xpress.es) / 46470 Catarroja (País Valencià)

# LA CIÈNCIA DELS BIOMATERIAIS

Agustí Pascual Moscardó\*

L'ús de materials de tota mena com a part integrant de la terapèutica mèdica i quirúrgica no és una novetat actual; ja fa molt de temps que l'home se serveix d'elements aliens al seu organisme per cobrir-ne algunes deficiències físicofuncionals, o per facilitar-ne el guariment.

Un dels terrenys en què la utilització d'aquests materials es va dur a terme més prompte és el camp de l'odontologia. Podem trobar mostres de pròtesis dentals utilitzades en vida que daten de l'era etrusca, quan es feia servir una lligadura d'or per retenir una rudimentària pròtesi en la boca dels pacients de l'època. Aquesta era una aplicació lògica i senzilla d'un material disponible fàcilment perquè quedara en contacte amb l'organisme i exercira una funció de manera continuada.

L'elecció de l'or, per evitar els fenòmens de corrosió propis del medi bucal, com a material de lligadura mostra que, d'una manera totalment empírica, ja s'havia plantejat el problema de l'evolució dels materials com a part de la teràpia; al començament, de manera empírica pel mètode d'assaig-error, i en l'actualitat mitjançant una anàlisi científica de la seua natura i propietats, de manera que el pacient deixa de ser l'animal de laboratori i millora la seguretat d'aplicació dels materials.

Tot i la seua tradició històrica, la ciència dels biomaterials és nova per a moltes persones, que de vegades no s'han adonat que ja han estat tractades mitjançant l'aplicació d'un biomaterial, i desperta un gran interès. Per aquest motiu val la pena d'intentar prendre contacte amb aquest món apassionant.

Si acudim a la definició encunyada per Vega del Barrio, "Biomaterial és aquell element, mescla o combinació d'elements, cossos, substàncies i productes específicament concebuts per a entrar en contacte amb els òrgans, els teixits i els fluids del cos humà, i que necessiten diferents transformacions i adaptacions". Com es pot deduir amb facilitat, la llista d'elements que poden quedar inclosos en aquesta definició és amplíssima, ja que podríem mencionar infinitat de productes que compleixen aquesta definició. Tan important com la llista de possibles biomaterials és l'exclusió d'alguns que es podrien incloure per error en la nòmina, així han de quedar-ne exclosos els teixits per a empelt de qualsevol tipus, incloent-hi per descomptat els transgènics.

A fi de situar-nos i d'apreciar la gran varietat d'aquests materials, es pot esmentar de manera succinta una classificació segons la seua naturalesa i origen:

## 1) No biològics:

- Polímers: Fonamentalment de caràcter plàstic, destaca en aquest terreny el gran desenvolupament dels materials compostos, que cada dia s'apliquen en més camps de la medicina.
- Ceràmics: D'origen mineral, inerts, molt biocompatibles, crida l'atenció el seu gran desenvolupament en l'odontologia actual.
- Metalls: Utilitzats des de molt antic per a la confecció de pròtesis de tota mena, en l'actualitat s'ha aconseguit la integració total d'alguns en l'organisme, com ara el titani, que s'aplica en implantologia i que aconsegueix que l'os receptor cresca en contacte amb aquest material, sense cap fenomen de rebuig; és l'anomenada osteointegració.

## 2) Biològics:

- Vegetals: Fonamentalment ceres i vernissos, i també alguns derivats de les algues, com ara l'agar.
- Animals: Des de molt antic s'han utilitzat les ceres i altres productes d'origen animal, com ara la seda, àmpliament usada en sutures.






És de gran importància, quan es parla de biomaterials, intentar condensar en una breu llista aquelles propietats que hauria de reunir un biomaterial per ser aplicat en clínica:

1. Biocompatibilitat: un biomaterial no ha de ser irriquant, tòxic ni produir mutacions canceroses en les cèl·lules, i les possibilitats de reaccions al·lèrgiques han de ser nul·les si és possible.
2. Ha de ser compatible amb altres biomaterials amb els quals haja de ser combinat en una situació donada.
3. L'elaboració ha de ser tan simple i fàcil com siga possible.
4. Es podrà preparar i manejar amb exactitud en tot moment.
5. Ha de presentar unes característiques mecàniques suficients per dur a terme la seua comesa.
6. Ha de suportar els canvis fisicoquímics i bioquímics que es produeixen en l'organisme, i, quan es produeixen, ha de reaccionar de manera previsible i adequada.
7. Ha de ser esterilitzable, perquè no es convertesca en vehicle de gèrmens patògens en l'interior de l'organisme.
8. La seua capacitat d'emmagatzemament ha de ser suficient per permetre'n una distribució còmoda.
9. El cost econòmic del biomaterial ha de ser raonable, perquè no es convertesca en un entrebanc per a la seua aplicació en tots aquells casos en què puga aportar un benefici al pacient.

Totes aquestes propietats s'han de sospesar en cada biomaterial abans d'aplicar-lo clínicament, per tal de minimitzar-ne els riscos i maximitzar-ne els beneficis.

Encara que puga semblar confús el panorama dels biomaterials, la utilització clínica continua experimentant una progressió geomètrica que va deixant cada vegada menys camps mèdics en què no tinga aplicació, encara que els èxits més cridaners derivats del seu ús es donen fonamentalment en el terreny de les especialitats quirúrgiques. Des de la més senzilla de les obturacions dentals fins el cor artificial exposen dia a dia de manera contundent la gran dependència que té la medicina actual respecte als materials d'aplicació mèdica. Criden l'atenció particularment els materials implantables, que, seguint la definició de Vega, són "aquells dispositius o mecanismes elaborats amb un o diversos materials artificials no metabolitzables, dotats d'una reactivitat convenient i destinats a entrar en contacte amb el medi intern, temporal o definitivament, per tornar a l'organisme la falta d'un òrgan o de part, amb la seua funció específica". Aquests materials implantables poden ser indiferents per al teixit perimplantari, que es comporta com si no hi foren presents, són els materials denominats bioactius.

Una característica que centra gran part de l'atenció en l'estudi dels materials en general és el fet que pugen presentar capacitat mutàgena, és a dir, que pugen alterar els gens dels organismes en contacte amb ells i la possibilitat que aquestes mutacions genètiques induïdes pugen provocar l'aparició de tumors benignes o malignes. A fi de controlar aquesta possibilitat, els biomaterials a hores d'ara són sotmesos a una sèrie d'estudis adreçats a determinar-ne la innocuïtat, abans d'aplicar-los clínicament en l'organisme.

Enumerar en tan breu espai les múltiples aplicacions actuals dels biomaterials és pràcticament impossible, però a títol de mostra hi ha prou amb recordar que dins d'aquest epígraf quedarien inclosos la pràctica totalitat dels materials utilitzats en la fabricació de l'instrumental clínic que entra en contacte amb l'organisme, des de les agulles per a injecció, passant per multitud de tipus d'apòsits i d'embenatges, fins l'extensa gamma de pròtesis que abracen la quasi totalitat de l'organisme humà. El futur immediat dels biomaterials és enormement prometedor, assistirem a la millora de les característiques dels biomaterials ja en ús i a l'aparició d'altres de nous que estendran enormement l'horitzó d'aplicació actual. 

\* Departament d'Estomatologia; encarregat de l'assignatura Materials Odontològics, Equipament i Ergonomia. Universitat de València-Estudi General