



LES EMPREMES DE LA CIÈNCIA

*Ciència, tecnologia, societat:
unes relacions controvertides*

JORDI SOLBES

Germania

Les emprentes de la ciència

Les empremtes de la ciència

Ciència, tecnologia, societat:
unes relacions controvertides

JORDI SOLBES

Germania

© Jordi Solbes Matarredona

© Editorial Germania, s.l.

Printed in EU – Impres a la Unió Europea

ISBN: 84-89847-88-6

Depòsit legal: V-3122-2002

INTRODUCCIÓ

Totes les enquestes que es fan entre el públic en general per determinar el grau de coneixement sobre qüestions científiques solen coincidir en dos fets colpidors. En primer lloc, que la resposta més abundant és “no sap, no contesta” i, en segon lloc, que consideren com avanços científics més importants des de 1945 el motor a reacció, el codi genètic, la televisió en color, l'ordinador o els viatges espacials. El primer fet indica, evidentment, que la gent del carrer està poc informada. El segon, fa palesa la confusió entre ciència i tecnologia i que allò que més interessa de la ciència són les seues aplicacions a la vida quotidiana.

També s'observa que la majoria de la població considera la ciència/ tecnologia com a objectiva, en continu avanç, sobre el qual a penes podem influir i que a vegades escapa del nostre control i molt poderosa, en el sentit que afecta molt a les nostres vides tant positivament com negativament. Eixa influència negativa fa que es detecten sentiments anticientífics en la població i, especialment, en grups minoritaris però amb gran influència en els mitjans de comunicació. Diversos autors, com Chalmers, Holton o Dunbar, mencionen entre ells a filòsofs anomenats relativistes, que sostenen que no hi ha cap forma racional d'elegir entre teories rivals i que, per tant, la ciència no aporta cap veritat sobre el món; a sociòlegs del que es coneix com programa fort, que

pensen que la societat no sols influeix en els aspectes no cognitius de la ciència, per exemple, l'organització social de la mateixa, sinó també en els aspectes cognitius. També mencionen als grups que sempre s'han oposat a la ciència, com és el cas dels grups creacionistes o fonamentalistes.

Hi ha sectors d'opinió que manifesten una visió negativa de la ciència com alguns grups antiglobalització i que consideren als científics com a responsables de les noves tecnologies de la comunicació i la informàtica que l'han feta possible i, en última instància, dels problemes associats a la globalització, com la desocupació estructural o la desigualtat creixent entre rics i pobres. També alguns grups pacifistes i ecologistes jutgen que la ciència és culpable dels nous armaments nuclears, químics o biològics i dels problemes de contaminació i esgotament de recursos. Finalment, certs grups feministes i ètnics consideren a la ciència masculista i pro-occidental. En resum, aquests grups coincideixen a considerar la ciència com una aliada del poder, és a dir, com assenyala Holton, pareix que ja s'ha tornat contra la ciència la seua posició protegida pel seu compromís amb la guerra freda i amb la promesa implícita d'aconseguir beneficis. No obstant, no cal oblidar que durant segles han sigut els grups progressistes de la societat els principals defensors de l'empresa científica.

D'altra banda, segons indiquen les enquestes la gent no està gens familiaritzada amb la història de la ciència del nostre país i els escassos científics que coneixen són tots estrangers, amb l'excepció de Ramón y Cajal. Açò es pot atribuir a una actitud d'escassa estima cap a la ciència al llarg de la nostra història i que es pot dir que comença en la Contrareforma. Aquesta actitud es posa de manifest en els sectors més conservadors de la

intel·lectualitat espanyola en diferents moments de la peculiar polèmica sobre la ciència espanyola que es produeix en la Il·lustració i en la segona meitat del segle XIX. Bona prova d'ella és la frase dita per un dels ministres encarregats de l'educació del segle XIX: "les ciències són estudis propis de les gents del nord" o també el conegut exabrupte d'Unamuno "Que inventen ells!". Eixa escassa apreciació pareix que subsistesca en l'actualitat quan es comprova que els mitjans de comunicació transmeten persistentment des de 1995 la idea que les humanitats estan sent desplaçades en l'Ensenyament secundari de la LOGSE per les matèries científiques i tecnològiques. Aquesta afirmació no és certa, perquè les matèries científiques tampoc han eixit molt ben parades en el nou sistema educatiu. I, a més, planteja la relació entre humanitats i ciències com una controvèrsia, com la vella pugna entre "les dues cultures". Així en el nostre país és freqüent parlar de ciència i de cultura com si de dues coses diferents es tractara i es pot presumir de culte sense posseir un coneixement suficient dels avanços científics i tecnològics dels que depèn la nostra vida quotidiana. Té interès veure la gran diferència de criteris amb què es jutja la incultura científica respecte a altres àmbits en les notícies de premsa. Hi ha una gran preocupació per no incórrer en errors ortogràfics o de vocabulari, amb la qual, evidentment, estem d'acord. Quan apareixen, provoquen merescudes reaccions irades en els lectors. No obstant, no hi ha la mateixa atenció (i, per descomptat, les mateixes reaccions) quan els errors corresponen als conceptes científics. Açò permet que s'escriguen disbarats com, per exemple, "elements químics com els òxids de nitrogen".

Davant d'aquesta situació els científics donen

poques respostes perquè el que és la ciència per a la comunitat científica es pot veure clarament mirant allò que s'ensenya majoritàriament: lleis, teories, algunes experiències, etc. És a dir, des de "dins" la ciència és, sobretot, un esquema conceptual que aprofita per organitzar fets observables. En conseqüència, costa que els científics es dediquen a la divulgació o facen valoracions crítiques sobre la ciència.

I per això és necessària una divulgació que no es limite a temes puntuals d'actualitat i done una imatge més completa i actual mostrant la ciència com una empresa humana i, a la vegada, com una xarxa complexa que relaciona coses i persones. Entre altres ingredients de l'empresa (o la xarxa) podríem esmentar els següents:

En primer lloc, els productes de l'empresa, és a dir, els conceptes, les lleis, els models, les teories, així com nous materials o dispositius (cristalls purs, xips o medicaments) i els mètodes de treball que utilitzen els científics: el plantejament de problemes, l'emissió d'hipòtesi, l'observació, l'experimentació o el tractament matemàtic de les dades obtingudes.

També els instruments per obtindre'ls: els aparells dels laboratoris, els ordinadors, els sistemes metrològics, els grans equipaments de la megaciència (com els acceleradors de partícules o els grans radiotelescopis).

Però, evidentment, les empreses no són sols els seus productes, instruments i mètodes. També ho són les persones que treballen en elles. Per això, forma part de la ciència la comunitat científica i la seua organització (com comunica les seues aportacions o quines relacions d'autoritat existeixen entre els científics). En efecte, és el seu treball col·lectiu de crítica, de controvèrsia, el que permet arribar a un consens sobre allò que és pot

considerar coneixement científic.

Tampoc podem deixar a banda les relacions o interaccions de l'empresa científica amb altres entitats, com l'estat o les empreses privades, especialment en sectors com la indústria (elèctrica, química, farmacèutica, informàtica i electrònica), els armaments i els sistemes educatius i de salut. Ací és on més clarament ens apareix la ciència com una força productiva i, alhora, destructiva.

Per últim, no cal oblidar les relacions de la ciència amb el públic, no sols mitjançant els seus productes i dispositius materials, sinó com a font d'idees i de canvis en les creences i opinions de molta gent (senyalar, a tall d'exemple, l'impacte de Copèrnic o Darwin). Això posa de manifest la necessitat d'un treball de difondre els coneixements científics.

Per això els investigadors de la ciència no poden limitar-se a estudiar els documents i instruments científics i deuen buscar les empremtes de la ciència en la tecnologia i d'ambdues en la societat, en la indústria, els serveis, l'agricultura, en la política, en el desenrotllament de les idees, en el medi ambient. I per altra banda, com les relacions no és produeixen en una sola direcció, ja que es tracta d'interaccions, cal recercar les empremtes que totes elles han produït en la ciència. Eixe és l'objectiu que perseguim en aquest treball: presentar la ciència, mostrant alhora les seues relacions amb la tècnica, la societat i el medi ambient i fer-ho d'una forma crítica, que no vol dir destructiva.

Desitjaríem mostrar la ciència com una gran aventura del pensament humà, en el passat, en el present i en el futur. En conseqüència, com un element fonamental de la cultura. Així mateix, presentar el seu creixent impacte al llarg de la història i el gran desenrotllament de la ciència

en aquestos últims anys. I veure com en un futur pròxim, les ciències, poden fer-nos conscients d'alguns problemes del món com la destrucció del medi ambient, l'esgotament de matèries primeres i fonts energètiques, la fam o algunes malalties i com, usades solidàriament, podrien contribuir a la seua solució. I dic sols contribuir perquè per la seua complexitat eixos problemes no es poden resoldre només amb les ciències, però no seran resolts sense elles.

També pot servir perquè es coneguen algunes de les principals aportacions a la ciència realitzades en el nostre país, així com els problemes que han obstaculitzat el seu desenrotllament i que quan s'ha produït un col·lapse en eixe desenvolupament, la recuperació ha estat difícil. Açò permet mostrar, sense caure en el pessimisme de la polèmica de la ciència espanyola, que en situacions socioeconòmiques i culturals normals Espanya ha produït la ciència que corresponia a la seua grandària de potència mitja.

Vull manifestar el meu agraïment a Amelia López, Amparo Vilches, Jesús Navarro, Xose M. Souto i José Beltrán per la lectura i els comentaris que han fet del llibre des de diferents camps disciplinaris i a tots ells i a Daniel Gil i Manel Traver per les discussions i treballs realitzats al llarg dels anys sobre aquestos temes. I també a Maria Garcerà per la revisió ortogràfica.

Per últim, dedicar-li el llibre a ma mare pel seu ànim per seguir endavant.

PRIMERA PART
Ciència tecnologia i societat (CTS)
en la història

CAPÍTOL 1

L'antiguitat i l'edat mitjana

No es preten reduir a uns breus paràgrafs diversos mil·lennis d'història de la humanitat, sinó mostrar com les relacions CTS han evolucionat al llarg de la història, el que al seu torn ens ajudarà a comprendre-les en el present.

La tècnica té el seu origen en la lluita per la supervivència i per la solució de les necessitats bàsiques de l'espècie humana i ja existeixen tècniques en les societats caçadores del paleolític. No deixa de ser curiós que els llibres d'història ordenen o seqüencien la prehistòria a partir de la tecnologia, o més concretament, a partir dels materials amb què els sers humans confeccionaven els seus instruments i de les tècniques o processos que usaven per a elaborar-los (paleolític, neolític, edat de bronze, de ferro), però quan comencen la història (a partir de l'escriptura) s'obliden de la tecnologia i, encara més, de la ciència. No obstant, molts autors pensen que sense elles és difícil comprendre el passat i encara menys el present, com es tracta de posar de manifest en aquest treball.

La primera gran revolució tècnica va ser l'agricultura riberenca, que va originar el naixement de les civilitzacions d'Egipte, Mesopotàmia, Índia i Xina, durant el neolític i l'edat de bronze. Va canviar el nivell de riquesa

de la societat sent les primeres societats amb capacitat de produir excedents i, per tant, de mantindre col·lectius que no produeixen aliments. Canvia l'organització de la societat: apareix la divisió en classes, les ciutats, l'estat i les lleis, aspectes que encara es conserven milers d'anys després.

Però, evidentment, la tècnica no s'aplica sols a les necessitats bàsiques d'alimentació, vestit i sostre, sinó també a necessitats religioses, de control social i de prestigi. Així, la construcció de grans edificis, com temples, palaus i piràmides, aconsegueix eixes necessitats en l'antiguitat i difícilment hagueren sigut possibles sense la utilització de les tècniques més avançades i la participació (voluntària o no) d'amplis sectors de la població.

Amb eixa revolució sorgeixen les primeres ciències. Inicialment les diferències entre elles i algunes tècniques no són clares, com ho posa de manifest el fet que les primeres ciències (les Matemàtiques, l'Astronomia i la Medicina) tinguen el seu origen en pràctiques socials com portar comptes, realitzar mesures de longitud, superfície i volum, construir calendaris o curar malalts. Però gradualment es constitueixen com dos camps bàsicament independents (una ciència teòrica i una tècnica empírica), cultivades per col·lectius diferents, els teòrics (ja siguen filòsofs o sacerdots) i els artesans. Finalment, assenyalar que la tradició grega és teòrica i la valoració de les activitats manuals, com l'agricultura o l'artesania, és molt baixa, com es pot apreciar en els textos de Plató i Aristòtil.

Alguns autors no distingeixen entre la ciència i la tècnica antigues, considerant científics els sabers sobre tints, metalls, l'alquímia, etc. Inicialment ja hem assenyalat que és difícil distingir entre elles, però quan ja es van establir les diferències, els propis antics no consideren com a científics els sabers abans mencionats, pel seu

caràcter ateu i purament empíric. D'altra banda, tampoc des d'una perspectiva actual es pot dir que ho siguin, ja que manquen del caràcter hipotètic i experimental, propis de la ciència moderna.

L'astronomia en l'antiguitat

En textos tan antics com l'Odissea d'Homer es mencionen ja estrelles i constel·lacions i la utilitat que té el seu coneixement: "(Ulisses) va començar a regir hàbilment la nau amb el timó,..., fixos els ulls en les Plèiades i el Bouer, que es posa molt tard, i l'Óssa, anomenada per sobrenom el Carro, la qual gira sempre en el mateix lloc, aguaita a Orió i és l'única que no es banya en l'oceà. Perquè Calipse, insigne entre les deesses, li havia ordenat que tinguera l'Óssa a mà esquerra durant la travessia" (cant V, versicles 262-282).

En el text apareixen dos papers pràctics de l'astronomia: l'orientació (en la navegació i també en les grans caravanes) i la mesura del temps ("es posa molt tard"). Per això, no deu sorprendre el primer desenvolupament de l'astronomia (en totes les civilitzacions antigues des d'Egipte a la Xina). La regularitat dels moviments celests no podia passar inadvertida i permet mesurar el temps, elaborar calendaris i predir esdeveniments celests. Alguns d'ells coincidien amb la sembra, la collita o el desbordament del Nil i d'altres rius a la vora dels quals sorgiren les civilitzacions de l'antiguitat, de tanta importància per a l'agricultura i, en conseqüència, per a la vida dels sers humans. Era, per tant, natural creure que els cossos celests influïen en els assumptes d'aquest món. Açò permetia als sacerdots, que realitzaven les observacions i els registres de les dades astronòmiques, augmentar el seu poder i influència. També va ser l'origen de l'astrologia, creença que encara

subsisteix en l'actualitat, a pesar de totes les proves en contra, perquè es basa en la necessitat humana de preveure i, així, controlar el futur.

Els antics grecs, llevat d'Aristarc (com veurem tot seguit) pensaven a través de les seues observacions que la Terra era el centre de l'Univers, estava immòbil, i era el Sol i la resta dels astres els que es movien al seu voltant. De fet, el llenguatge ordinari està ple d'expressions basades en el model geocèntric: el Sol ix per l'est i es posa per l'oest, la Lluna també, les estrelles giren (com s'ha pogut llegir en el text d'Homer). Açò ens pot fer pensar que les concepcions de l'Univers d'aquella època no eren tan desgavellades, puix es recolzaven en observacions de la vida quotidiana, és a dir, en evidències del sentit comú.

Una primera expressió del model la va realitzar Aristòtil en el segle IV aC. Ordenava tots els cossos celests des de la Terra cap a fora: Lluna, Mercuri, Venus, Sol, Mart, Júpiter i Saturn. L'esfera més externa de les estrelles fixes era moguda pel Primer Motor. Totes les coses per davall de l'esfera de la Luna estaven fetes a base dels quatre elements terrestres, terra, aigua, aire i foc. Els cels estaven formats per un cinquè element més pur, la quinta essència o èter. Els cossos celests eren incorruptibles i eterns, sent-ho també els seus moviments, que eren conseqüentment circulars i uniformes. En la Terra es donava la generació i corrupció per la qual cosa els moviments terrestres eren rectilinis i tenien principi i fi com tots els fenòmens terrestres.

En primer lloc, veiem que l'Univers per als antics grecs es limita als planetes més interiors del Sistema Solar i a les estrelles fixes, és a dir, l'Univers visible amb els ulls. Aquesta idea limitada de l'Univers va prevaldre fins que els telescopis, a partir del segle XVII, van permetre ampliar la imatge i grandària de l'Univers. Altre aspecte remarcable és la clara separació entre el món terrestre i el

celeste. Les diferències es manifesten tant en la composició com en el comportament, és a dir, els tipus de moviment, la permanència en el "lloc natural".

La ciència alexandrina

Es coneix així a la ciència del període d'esplendor Alexandria (segles III i II aC), ciutat fundada per Alexandre a Egipte i destinada a ser la capital del seu imperi. Els Ptolomeus, que van heretar el poder a Egipte al desmembrar-se l'imperi macedònic, van voler que la nova ciutat superara a Atenes, en el pla cultural i comercial. Per a això, sota la direcció de l'estat es crea el Museu (o temple de les Muses), que no es tractava d'un museu en el sentit modern de la paraula, sinó de la primera universitat que ha existit en el món. Tenia aules, observatori astronòmic, sala de dissecció, jardí botànic i zoològic i una gran biblioteca, amb uns 500.000 rotllos, que arribà a ser una de les meravelles de l'antiguitat. S'hi estudiava literatura, matemàtiques, astronomia, medicina i història natural. Allí van estudiar i treballar la major part dels científics d'aquest període (excepte Aristarc i Arquimedes). La ciència alexandrina és molt matemàtica, amb importants contribucions a la Geometria, l'Astronomia i la Mecànica.

Resulta sorprenent per a tothom el nivell dels coneixements dels alexandrins, sobre tot si es compara amb el de l'Imperi romà o el de l'alta edat mitjana, la qual cosa posa de manifest que la ciència no es genera espontàniament, sinó que cal conrear-la.

En Matemàtiques destaquen Euclides, que va recapitular la geometria grega en els seus "Elements", un dels llibres més influents de la història de la humanitat, i Arquimedes que va determinar amb molta aproximació la raó entre la circumferència i el seu diàmetre (el nombre

pi). També l'àrea de polígons, del cercle i l'el·lipse i el volum i la superfície de l'esfera i el con. Són coneixements tan bàsics de la nostra cultura que, més de dos mil anys després, encara s'ensenyen en la secundària.

En Astronomia Aristarc suposant que quan es veu mitja Lluna, aquesta forma amb la Terra i el Sol un triangle rectangle i a partir de la grandària de les ombres en els eclipsis del Sol i la Lluna va estimar les proporcions entre els radis de la Terra, la Lluna i el Sol i les seues distàncies relatives. Al comprovar que el Sol era major que la Terra, va plantejar el primer sistema heliocèntric conegut. Però per a conèixer els radis i les distàncies absolutes era necessari determinar el radi de la Terra. Això ho va fer Eratóstenes considerant que el dia 21 de Juny (solstici d'estiu) el Sol es troba en la vertical d'Assuan i que a Alexandria té una inclinació de $7^{\circ} 30'$ (determinada per la longitud de l'ombra de un pal vertical d'altura coneguda). Si es coneix l'arc (la distància d'Assuan a Alexandria), el quocient entre l'arc i l'angle ens permet calcular el radi de la Terra, que ell va calcular amb poc error respecte del radi mitjà (6370 km) que s'utilitza avui. Hiparc en el segle II aC, va determinar les posicions d'unes 1.080 estrelles, classificant-les en 6 magnituds de brillantor. A més, va desenrotllar el sistema dels epicicles per a explicar els moviments de retrogradació dels planetes en els cels, és a dir, els seus aparents retrocessos sobre el fons de les estrelles fixes. Per últim, Claudi Ptolemeu en el segle II dC va escriure un tractat que arreplega i sistematitza el model geocèntric i tota l'astronomia grega, que es coneix pel nom de la seua versió a l'àrab, el "Almagest". Eixe model es difon en l'Europa medieval quan Gerard de Cremona va traduir l'Almagest el 1175

En Mecànica Arquímedes va realitzar estudis sobre estàtica (lleis de la palanca) i hidrostàtica (el principi de

flotació) i va contribuir amb els seus invents a la defensa de la seua ciutat, Siracusa, assetjada pels romans. Com enginyer destaca Heró. El seu invent més conegut va ser un antecedent de les màquines de vapor, consistent en una esfera que podia girar expulsant vapor per uns tubs corbats.

Per últim, Teofastre en ciències naturals i Galé en Medicina es basen en l'observació. Segueixen en açò la tradició aristotèlica en eixe camp, ja que en les ciències físiques Aristòtil va ser molt més especulatiu

Es pot observar el gran període de temps que transcorre entre Hiparc i Ptolemeu. Quasi no es coneixen contribucions importants a la ciència a occident durant el creixement de l'imperi romà i l'establiment del cristianisme. Roma és una civilització guerrera i agrícola. Les seues elits, els senadors, són estadistes i militars i per tant no valoren la perspectiva quantitativa i espacial dels comerciants i viatgers. En conseqüència, no cultiven ni les matemàtiques ni l'astronomia i, per això, els seus grans èxits són d'organització (el dret) i tècnics, particularment, en el camp de l'enginyeria militar i civil (carreteres, aqüeductes).

L'edat mitjana en diverses civilitzacions

L'edat mitjana, en tècnica i ciència, no és una època fosca. Quan s'afirma el contrari s'està utilitzant una perspectiva eurocèntrica que exclou el Califat de Còrdova d'Europa i que oblida les contribucions de civilitzacions com la xinesa, l'índia i la musulmana. La civilització xinesa es remunta al 1800 aC. Després d'un període d'estats guerrers (220 a 581 dC) experimenta una nova unificació sota les dinasties Sui, Thang i Sung (del 581 al 1279) Durant aquest període, com han posat de manifest els treballs de Needham, va estar molt avançada en tècnica,

amb la invenció de la porcellana en el 621, la impressió xilogràfica en el 868 (els tipus mòbils d'argila apareixen en el 1040), de la pólvora (està documentat l'ús de coets l'any 969, de granades el 1231 i d'armes de foc el 1259) i de l'agulla magnètica en el 1086. En ciència, l'astronomia s'ocupa fonamentalment de problemes de calendari, sent la seua cosmologia purament especulativa.

Els indis sobreïxen en matemàtiques. Així, en el segle VI Aryabhata utilitza la numeració decimal de posició que donarà origen a les xifres àrabs que ara utilitzem. A més de les operacions elementals coneix l'elevació al quadrat i al cub i les seues respectives arrels i les equacions de segon grau. En el VII Brahmagupta utilitza lletres en les equacions per a les incògnites i nombres negatius. També destacaren en astronomia de posició: per a les seues mesures de posició utilitzen sinus de l'angle, la qual cosa afavoreix el desenrotllament de la trigonometria (la primera taula de sinus és del segle V). Ambdues civilitzacions no van avançar més en el desenrotllament científic per no combinar teoria i experimentació, al considerar degradant el treball manual, com la majoria de les civilitzacions de caràcter agrícola estratificat.

D'altra banda, tenim l'esplendor musulmana dels segles IX a l'XI, sent Bagdad, Còrdova, Damasc o El Caire, els centres culturals més importants del seu temps. No es limiten a arreplegar l'herència grega i ser els seus mers intermediaris cap al món cristià, sinó que l'amplien i realitzen importants contribucions. En Matemàtiques, al-Kwarizmi va introduir en el món musulmà la numeració decimal i la trigonometria de l'Índia. En Astronomia són grans observadors perquè les mesures astronòmics són indispensables en la pràctica de l'Islam. Estes mesures només van ser superades per Tycho Brahe. Destaca Al-Zarqali (Azarquiel) de Còrdova, que va confeccionar les

taules astronòmiques toledanes (1080). Ibn-Bayya (Avempace) de Saragossa i Abu Bakr (Abubacer) de Granada rebutjaven els epicles de Ptolemeu perquè els planetes han de girar entorn d'un cos físic i no al voltant d'un punt geomètric. En Física destaca Ibn al-Haytam (Alhazen) de Bàssora que reestructura l'òptica. Apunta la idea que els raigs procedeixen dels objectes o que van del Sol als objectes i d'aquests als ulls. Obté la llei de la reflexió i l'aplica a l'estudi de la formació d'imatges en els espills. Va mostrar que l'angle d'incidència era proporcional al de refracció. En Medicina es pot mencionar a al-Razi (Rhazes) i Ibn Sina (Avicenna), que no van millorar l'obra de Galé, però coneixien el pols i un nombre més gran de drogues.

En l'alta edat mitjana (segles V a XI) Europa sofreix una gran transformació. Es produeix la decadència de les ciutats i, amb elles, la de la ciència, i l'emergència del món rural, en el qual domina una cultura religiosa i literària, amb escasses contribucions científiques, que es desenvolupa en els monestirs. En la baixa edat mitjana europea (des del 1100, i en particular entre 1200 i 1350), s'inicia un procés de recuperació que permet un considerable desenrotllament en ciència i tecnologia, basant-se en les aportacions musulmanes i xineses, arreglades a través d'Espanya, de les croades i de la ruta de la seda. La tècnica és bàsicament il·letrada i els seus principals èxits són les catedrals i l'aprofitament d'energia eòlica i hidràulica (rodes, molins, navegació contra el vent). El paper, la impremta, la pólvora i la brúixola van ser importades de Xina. La ciència es desenrotlla en llatí, amb un caràcter teòric, especulatiu, seguint la tradició aristotèlic- escolàstica. Les primeres crides a l'experimentació procedeixen de Roger Bacon. Podem veure com *la ciència i tècnica segueixen sent bàsicament independents. La ciència és una força social menor i la tècnica,*

evidentment no és una aplicació de la ciència, sinó que la precedeix i li planteja alguns problemes, com les investigacions sobre l'imant o sobre el moviment de projectils.

Tecnologia i cultura: l'arquitectura

Les arts i les humanitats tenen moltes relacions amb la ciència, com posa de manifest l'arquitectura. El primer invent arquitectònic va ser la utilització de dos muntants per a suportar una biga horitzontal (o llindar). L'espai que es podia cobrir usant bigues de pedra era xicotet, com s'aprecia en la menuda separació entre columnes en els temples grecs.

La introducció pels romans de l'arc de mig punt va constituir una gran innovació tècnica. Les seues pedres en forma de falca al suportar una càrrega forta (com el sostre d'una catedral romànica), s'estrenyen unes contra altres, experimentant una compressió. L'arc transmet als suports forces horitzontals i verticals. Per a suportar les forces horitzontals era necessari refermar els costats, per mitjà de gruixuts murs i contraforts.

L'arc ogival va començar a utilitzar-se a Europa cap a l'any 1100 en les catedrals gòtiques. Els constructors es van adonar que la major inclinació dels arcs ogivals feia que les forces degudes al pes damunt d'ell incidiren més verticalment, amb la qual cosa es necessitava una consolidació horitzontal menor. S'aconseguia des de l'exterior per mitjà d'arcbotants. Ambdós innovacions van permetre voltes més altes, reduir el gruix de la paret i l'ús de finestres cada vegada majors. Es va produir una gran competència entre ciutats i arquitectes per a aconseguir la volta més elevada: Notre Dame i Chartres tenen una alçària de 33.5 m, Rouen i Reims, de 38 m, Amiens, començada en 1220, de 42.5 m, Beauvais, en 1247, de 47.7 m, igualats per l'abadia de Westminster i la catedral de

Colònia.

Els romans van construir les primeres grans cúpules, com la del Panteó de Roma. El problema no es va tornar a plantejar fins al Renaixement, quan en la Florència del segle XV es va projectar una nova catedral que havia de tindre una cúpula de 43 m de diàmetre. El concurs va ser guanyat per Brunelleschi projectant una cúpula punxeguda que, com l'arc ogival, exerceix menor força horitzontal contra la seua base.

Però, com assenyala Pacey, els grans edificis tenen implicacions no sols tècniques (utilitzen les tècniques més avançades de l'època, contribueixen al seu desenvolupament). També culturals. Així reflecteixen i reforcen el poder dels grups dominants que les fan construir (des dels reis i sacerdots de l'antiguitat fins als senyors i bisbes feudals), complint així una funció de prestigi. A més, aquests edificis, junt amb tot el simbolisme que els rodeja, funcionen com a instruments de control social, per assegurar el consens de les poblacions urbanes on s'assenten. Per últim, les catedrals medievals contribueixen a la instrucció religiosa d'una població majoritàriament analfabeta, mitjançant les imatges i les escultures.

Ciència i religió

Es tracta d'unes relacions que han durat milers d'anys i, per això, no és estrany que aquestes siguen complexes. La ciència va conviure amb les religions politeistes de grecs, romans o indis. Però en el cas de les religions monoteistes revelades, com el judaisme, el cristianisme o l'islam, molt més dogmàtiques, es produïa un domini quasi absolut de la religió en la vida de les persones. Això planteja interrogants, per exemple, com és possible que després de més d'un mil·lenni de predomini

del cristianisme a Europa, es creara un àmbit per al desenrotllament de les ciències naturals.

Durant l'antiguitat i l'alta edat mitjana (des del segle I a l'XI) el cristianisme és la religió dominant a Europa, sobretot des de l'emperador romà Constantí que la va convertir en la religió oficial de l'imperi. Per al cristianisme allò transcendental per a la vida humana és ocupar-se de Déu, la qual cosa es tradueix en un desdeny per la naturalesa i les ocupacions mundanals, com l'economia, la política o les ciències. S. Pau diu que "la saviesa dels homes és neciesa". S. Agustí subordina la intel·ligència a la fe, perquè per a conèixer és necessari abans creure: "si no pots entendre, creu, perquè entengues; no vullgues entendre per a creure". En l'alta edat mitjana continuen aquestes actituds i així S. Pere Damià assenyala que l'única cosa que importa és salvar-se i que la filosofia és "un invent del dimoni"

És a finals del segle XI i sobretot en el XII quan comencen a detectar-se canvis. Es tracta de l'inici de la baixa edat mitjana, un període d'estabilitat, amb el creixement de ciutats, el desenvolupament del comerç, el triomf del romànic i el naixement del gòtic, la creació de les primeres universitats (París, 1150; Oxford, 1190; Bolonya, 1200), les traduccions dels àrabs i, a través d'elles, la recuperació de Plató, Aristòtil i els científics alexandrins. En el segle XIII, amb S. Tomàs d'Aquino, el cristianisme reconeix en la raó humana representada pels grecs, especialment Aristòtil, una potència a banda de la fe. En les qüestions comunes ha d'haver-hi harmonia. La revelació conté la veritat i la raó deu tindre-la igualment. Les discrepàncies es deuen a errors comesos al raonar o a un mode erroni d'entendre l'escriptura. No obstant la filosofia té una posició subordinada, és "una esclava de la teologia", que es considerava la reina de les ciències, la qual cosa posa de manifest com canvia i pot canviar el

concepte de ciència al llarg de la història. En els països islàmics també es plantejen els mateixos problemes i Averrois intenta establir la possibilitat d'una filosofia a través de la seua doctrina de la "doble veritat".

En el segle XIV, Duns Escot i Occam, accentuen la distinció tomista entre raó i fe. Són distints modes de conèixer i els seus objectes són distints, per tant, allò que ha de ser cregut no pot ser demostrat. Déu és pura voluntat, per tant tot intent de comprendre'l és impossible. Açò en el fons implica una invitació a la intel·ligència humana a abandonar els problemes teològics i a ocupar-se d'altres més manejables. De fet, en el segle XIV, tant en la Universitat d'Oxford com en la de París (Buridan, Oresme) estudien en profunditat el moviment dels cossos, superant a Aristòtil amb la introducció de la teoria d'ímpetus, la distinció entre moviment uniforme i diforme i l'ús de tècniques matemàtiques. Aquestes novetats són anuncis de la revolució científica dels segles XVI i XVII.

No obstant, en el segle XIV una sèrie de cataclismes sacsen la societat medieval. La gran pesta de 1348, la guerra dels Cent anys (1337-1453) i el cisma en l'església. En el segle XV es reuneixen diversos concilis que aconsegueixen restablir la unitat sota l'autoritat d'un Papa únic, però no poden realitzar canvis en l'Església. Per això a principis del segle XVI es produeix la Reforma protestant de Luter i Calví. Aquestos rebutgen l'autoritat de l'Església i del clero i sostenen que la Bíblia és l'única dipositària de la Revelació. El catolicisme reacciona, iniciant la Contrareforma amb la creació de la Companyia de Jesús i el començament del Concili de Trento en 1545. Evidentment açò suposa una actitud molt més tancada que en el segle XIV que provocarà conflictes entre la Ciència que comença a desenrotllar-se com una potència autònoma i l'Església, que al cap i a la fi és un dels poders

constituïts fins a l'actualitat.

Es dir, a més de canvis exteriors (en l'economia, en la societat) es veu com són necessaris canvis culturals a l'interior de la pròpia religió per a fer possible el desenvolupament de la ciència. Això ara és important quan des d'un discurs tecnocràtic es plantegen canvis culturals en països del tercer món per adaptar-los a la ciència contemporània (el que anomenen aculturació). Però la nostra pròpia tradició ens mostra com els canvis són més fàcils des de dins (inculturació).

CAPÍTOL 2

La revolució científica

En el segle XVII la ciència i la tecnologia van iniciar un gran desenrotllament. Les raons són complexes, però molts autors posen de manifest com una de les més importants és l'inici del capitalisme, les necessitats del qual, per al comerç primer i la indústria després, originen el llarg procés de convergència entre ciència i tècnica. En el Renaixement es produeix un acostament cap a la tècnica dels científics en camps com l'enginyeria mecànica, l'òptica, l'anatomia i la cartografia. Per altra banda, els tècnics (constructors, escultors, pintors o cirurgians) comencen a escriure llibres i interessar-se per qüestions teòriques.

La revolució científica va suposar una nova forma d'abordar els problemes, caracteritzada per la substitució d'un pensament basat en "les evidències del sentit comú" i en les autoritats, per un altre al mateix temps més creatiu, amb les hipòtesis com a nucli central, i rigorós, amb realització d'experiències i l'ús de les matemàtiques. D'altra banda, la tradició tècnica inicia el procés de transició des de l'empirisme complet fins a les tecnologies plenament basades en les matemàtiques i la ciència aplicada. Així,

moltes investigacions científiques han tingut el seu origen en problemes d'ordre tècnic (la cinemàtica de Galileu té relació amb el llançament de projectils, el magnetisme de Gilbert amb la brúixola). A més, l'avanç tècnic determina amb freqüència la mateixa possibilitat del treball científic (els progressos en astronomia es vinculen a la construcció de telescopis).

La revolució científica té una lògica interna. S'inicià en el segle XVI amb les Matemàtiques, l'Astronomia (amb la revolució copernicana) i l'Anatomia de Vesal, basada en l'observació directa, en la dissecció de cadàvers i en el descobriment de la circulació menor i major de la sang per Servet i Harvey. Va prosseguir en el XVII amb la Mecànica i l'Òptica.

Desenrotllament del model heliocèntric

El model geocèntric no va ser superat fàcilment. Va tindre vigència durant quasi 20 segles, des d'Aristòtil fins que Nicolás Copèrnic, nascut en Torun (Polònia), publicà en 1543 el seu llibre "De les revolucions de les esferes celests", on s'exposa el model heliocèntric. Altres partidaris del sistema copernicà van ser Kepler, Bruno i Galileu.

L'astrònom alemany Johannes Kepler va treballar amb l'astrònom danès Tycho Brahe i va utilitzar les seues dades per a perfeccionar el sistema heliocèntric. Va trobar que les posicions de Mart no s'ajustaven a las òrbites circulars de Copèrnic. Açò el va portar a enunciar, després d'anys de treball, les lleis que porten el seu nom: Primera, tots els planetes es mouen en òrbites el·líptiques (quasi circulars), ocupant el Sol un dels focus. Segona, la rapidesa del planeta és major quant més pròxim està del Sol. Tercera, el període al quadrat d'un planeta augmenta quan ho fa el radi mitjà al cub de la seua òrbita.

Una altra gran contribució al nou model foren les observacions astronòmiques de Galileu publicades en llatí en el llibre "Sidereus Nuncius" (El missatger celestial, 1610). Amplia els arguments en favor del sistema copernicà en la seua gran obra "Diàleg sobre els dos grans sistemes del món" (1632). El telescopi que ell mateix construï li va permetre observar l'existència de cràters i muntanyes en la Lluna, descobrir quatre satèl·lits de Júpiter i observar que las estrelles fixes segueixen sent puntuals com a simple vista. Aquestes observacions van suposar un important recolzament a la teoria heliocèntrica perquè mostren que els cossos celests no apareixien com perfectes i immutables, que no tots giraven en torn a la Terra i que las estrelles es troben molt allunyades.

Galileu, quan va realitzar aquestos descobriments, era professor a la Universitat de Pàdua, a la república de Venècia. Ho va ser des de 1591 a 1610, però no estava satisfet amb la seua posició i per això dedicà el seu "Sidereus Nuncius" a Cosme Mèdicis, Duc de Toscana i fins i tot anomenà els satèl·lits de Júpiter descoberts per ell estrelles "Medícies", a fi que el Duc li donara treball. Així explicava les seues raons: "És impossible obtenir ajudes d'una república, per esplèndida i generosa que siga, sense establir uns impostos. Per tal d'obtenir alguna cosa de l'Estat, s'ha de satisfer l'Estat i no qualsevol altre individu; i mentre jo siga capaç d'instruir i de servir, ningú a la república no em pot dispensar d'aqueix deure, si per això em guanye un sou. En resum, espere percebre aquests beneficis només d'un governant absolut". En aquest text posa de manifest un greu problema del desenvolupament de la ciència, el seu finançament. Donat que en els inicis de la revolució científica no es veien molt clares les aplicacions útils de la ciència per a la societat, els investigadors que es dedicaven a ella a temps complet tenien recursos propis (per exemple, aristòcrates com

Boyle) o un mecenes que els financés. L'altra alternativa era tindre un treball, com el de professor universitari, que els permet una dedicació a temps parcial. Galileu volia passar d'eixe segon status al primer.

Una altra afirmació de Galileu que es troba en el seu "Diàleg sobre dues Noves Ciències" (1638) és la següent: "Quin camp tan ample de reflexions em sembla que obre als esperits especulatius la freqüentació del vostre famós arsenal, senyors venecians, i, en particular la zona dels treballs mecànics. Allí es veuen en activitat incessant tota mena d'instruments i màquines que manegen un gran nombre d'artesans dels que alguns, tant per les observacions que els llegaren els seus predecessors com per les que fan ells mateixos sense parar, alien necessàriament l'habilitat més gran amb el judici més penetrant".

Fa referència al paper de la tecnologia en el desenrotllament de la ciència. Moltes persones pensen que la ciència precedeix a la tecnologia o que aquesta és una mera aplicació de la ciència. En aquest text es posa de manifest com la tècnica (el llançament de projectils o la navegació, especialment la determinació de la latitud i la longitud) planteja problemes a la ciència o, en el cas del telescopi o del microscopi, la tecnologia aporta nous instruments que permeten nous desenrotllaments científics.

L'oposició inicial del poder a la revolució científica

La revolució científica suposava en ocasions la ruptura radical amb les concepcions vigents, i per això es va trobar amb dificultats tant "científiques" com ideològiques. Un exemple típic és la teoria heliocèntrica de Copèrnic, que va ser molt atacat durant més de cent anys

perquè trencava amb el model geocèntric, la pervivència del qual durant l'Edat Mitjana és una prova més de les implicacions socials de la ciència. En efecte, el model geocèntric era coherent amb las concepcions medievals dominants, tant religioses com socials (el feudalisme): el paper central de la Terra en la història de la salvació de l'home, la necessitat d'un primer motor i l'existència de jerarquies naturals.

Els arguments de tipus ideològic contra el sistema copernicà deriven de la seua oposició a eixes concepcions i, en últim extrem, als interessos de la noblesa i el clero. S'hi utilitzaren, en particular, textos de la Bíblia com el que afirma que el Sol es va detindre i la Lluna es va parar (Josué 10, 13). Aquestos arguments es basaven en una interpretació literal de la Bíblia, que no distingia el missatge de la forma literària que estava escrit, fruit de l'antiga cultura judaica. Esta literalitat interpretativa de la Bíblia s'ha continuat utilitzant en contra de las teories científiques sobre l'origen de l'home o l'edat de la Terra, com veurem més endavant.

A més, havia dificultats científiques perquè les observacions efectuades a simple vista estaven en perfecta concordança amb el model geocèntric i no existia explicació més natural de les mateixes. Entre els arguments de tipus físic contra el moviment de la Terra es poden assenyalar els següents: els objectes, inclosa la atmosfera, sortirien de llançats de la Terra; un objecte deixat caure verticalment des d'una torre xocaria amb la paret o s'allunyaria d'aquesta; s'observaria paral·laxi de les estrelles fixes, etc. Però aquestos arguments físics eren falsos. Per a comprendre-ho va ser necessari recórrer el llarg procés en el que foren construïts coneixements sobre gravitació (Newton), cinemàtica (Galileu) i astronomia. Eixos científics ens permeten entendre que els objectes són atrets per la Terra i, per tant, no són llançats; que els

cossos que cauen verticalment porten la velocitat de la Terra i, en conseqüència, no s'allunyen de la vertical; i que les estrelles es troben a una distància pràcticament infinita la qual cosa justifica la seua menuda grandària. Però, de fet, en aquella època, no existia cap observació o experiment "crucial", que poguera explicar-se només per una teoria. Calgué esperar al descobriment de las aberracions estel·lars o a l'experiment del pèndol de Foucault.

Però els defensors del geocentrisme no es limitaren als arguments, i els seus oponents foren sotmesos a persecucions. Encara que Copèrnic se'n lliurà al publicar el seu llibre el mateix any de la seua mort, Martín Luter el va titllar de boig i heretge i l'església catòlica va incloure les "Revolucions" en el "Índex de llibres prohibits". Giordano Bruno, amb la seua defensa de la infinitud de l'Univers i de l'existència d'un gran nombre de móns habitats, no es limitava a substituir el geocentrisme per l'heliocentrisme, sinó que eliminava tota classe d'antropocentrisme. Va ser sotmès a tortures perquè abjurara i al no fer-ho, va ser cremat en la foguera l'any 1600.

Al publicar Galileu en llatí observacions astronòmiques en favor del sistema copernicà en el llibre "Sidereus Nuncius" (1610), va ser advertit per la Inquisició, que li va prohibir publicar sobre eixe tema. Quan en 1632 publica la seua obra "Diàleg sobre els dos grans sistemes del món", en italià i en forma de diàleg, fent-la accessible a la societat, s'inicia la seua persecució a pesar de la seua edat avançada. Va ser jutjat per la Inquisició, amenaçat amb tortura, obligat a renunciar a les seues idees (la seua abjuració va ser llegida públicament en tots les esglésies d'Itàlia) i confinat fins a la seua mort en 1642 en una vila en el camp. En aquest tancament va escriure "Discursos i demostracions sobre dues noves

ciències pertanyents a la mecànica i el moviment global" que es va publicar a Holanda, atès que a Itàlia els seus llibres estaven prohibits. El "Diàleg" va ser inclòs en el "Índex", on va romandre al costat del de Copèrnic i un altre de Kepler fins a 1835. Aquesta condemna de les teories de Galileu s'ha perllongat fins l'actualitat. El Vaticà no va anunciar fins a 1968 la conveniència d'anul·lar-la i l'ha fet efectiva en 1992.

Alguns autors presenten esta confrontació com una victòria de la ciència, perquè a partir d'ella es produeix el gran desenrotllament de les ciències (o revolució científica) del segle XVII. Però si realitzem una anàlisi més detinguda aquesta consideració es veurà sensiblement matisada. En primer lloc, en els països del sud majoritàriament catòlics (Espanya i Itàlia) hi ha grans obstacles com les persecucions de la Inquisició. Fins i tot, un segle després de la condemna de Galileu els científics van eludir eixes persecucions indicant que el sistema heliocèntric era més eficaç per a fer els càlculs, però no era un model de la realitat.

En segon lloc, en els països en què prossegueix el desenrotllament de la ciència (Anglaterra, Holanda i França) s'estableix un clar criteri de demarcació: es delimita una regió inaccessible a la física, la de la passió, la voluntat, la fe, etc., que pertany al regne de la religió. Alguns textos fundacionals poden ser reveladors. Per exemple, Descartes en la tercera part del "Discurs del mètode" (1637) renuncia a posar en dubte, sent per tant inconseqüent amb el seu mètode, les qüestions de moral i religió, afirmant "seguir les lleis i els costums del meu país" i dirigir-se "per les opinions més moderades". En els Estatuts de la Royal Society (1663) s'assenyala que el seu objectiu és: "millorar el coneixement dels objectes naturals, de totes les arts útils, les manufactures, les pràctiques mecàniques, les màquines i els invents per mitjà

de l'experimentació (sense tractar de Teologia, Metafísica, Moral, Política, Gramàtica, Retòrica i Lògica)". Com assenyala un dels seus membres, Thomas Spratt, "...aquest tema mai ens va dividir en mortals faccions, ens permetia mantindre sense animositat les diferències d'opinió".

En resum es produeix una separació entre ciència i religió que permet el desenrotllament autònom d'aquesta, però al seu torn la ciència deixa de tindre incidència sobre la concepció del món o en les qüestions d'organització social.

Newton i la ciència en el segle XVII

Després de la mort de Galileu es produeix un gran floriment de les ciències físiques. Destaquen els treballs sobre buit i gasos de l'italià Torricelli, del francès Pascal, de l'anglès Boyle i de l'alemany Guericke; els estudis del francès Descartes sobre geometria analítica i òptica; els treballs de l'holandès Huygens en astronomia (va construir un telescopi amb què va descobrir un satèl·lit de Saturn), sobre les col·lisions elàstiques i el pèndol (va inventar el primer rellotge pràctic de pèndol) i la teoria ondulatoria de la llum; el tractat de Newton sobre òptica i la invenció del càlcul simultàniament amb el filòsof i matemàtic alemany Leibniz, els treballs de l'anglès Hooke sobre elasticitat; etc. Però no es tracta de científics aïllats. En aquestos anys es constitueixen una sèrie de Societats Científiques com l'Acadèmia del Cimento a Florència en 1657 sota el patrocini dels Medicis; la Royal Society de Londres en 1662, per iniciativa autònoma d'un centenar de científics; l'Acadèmia de les Ciències de París en 1666 o la de Berlín en 1700, per iniciativa reial. Des de 1450 a 1660 els científics pertanyien a les classes ocioses (noblesa i clero), o tenien professions com la medicina (cirurgians, veterinaris, farmacèutics), l'arquitectura, l'enginyeria

(mecànica, militar), pilots o professors. Açò prossegueix en el XVIII, encara que com va augmentant la institucionalització de la comunitat científica els vint membres de l'Acadèmia de París rebien del rei Lluís XIV un salari per investigar.

S'observa un desplaçament geogràfic del protagonisme científic des d'Itàlia, Alemanya i Espanya, a Anglaterra, Holanda i França. Es poden mostrar algunes de les múltiples raons d'aquest fet, sense aprofundir en elles per la seua gran complexitat. En primer lloc les econòmiques, donat que els nous descobriments geogràfics afavoreixen, tant a nivell comercial com manufacturer, a les regions pròximes a l'Atlàntic. Per altra banda el protestantisme, dominant en aquestes regions, no obstaculitza i fins i tot afavoreix el desenrotllament de la ciència perquè no la consideren enemiga de la revelació. Al contrari, pensen que la naturalesa presta el seu testimoni en recolzament de l'Escriptura.

En els cinquanta anys següents els científics segueixen abordant el problema de la gravitació. En el segle XVII Descartes, que identificava la matèria amb el volum, negava que poguera existir el buit. Considerava que el Sol ocupava el centre d'un vòrtex i que el moviment de rotació d'eixe vòrtex arrossegava a la Terra i als planetes. El vòrtex de la Terra o el de Júpiter, que tenien una grandària més menuda que el del Sol, arrossegaven a la Luna i als satèl·lits de Júpiter, respectivament. Els anglesos Hooke, Halley, l'astrònom de qui pren nom el cometa, i l'arquitecte Wren, a partir de la força centrípeta d'Huygens i de la tercera llei de Kepler, van deduir la llei de l'invers del quadrat de la distància cap a 1679 i, a petició d'aquests, Newton publicà les seues reflexions sobre el problema. Però abans de mostrar-les, coneguem alguns aspectes de la vida d'Isaac Newton.

Va nàixer en la granja de Woolsthorpe, Anglaterra,

el dia de Nadal de 1642, any de la mort de Galileu. En 1661, als 18 anys, Newton va ingressar en el Trinity College de Cambridge com a becari (realitzant labors domèstiques, com a assistent dels pensionistes), on va tindre com a professor de matemàtiques a Barrow i va formular el teorema del binomi. Durant la tardor de 1665 i l'any 1666, acabat de graduar com a batxiller d'arts, es retirà a la seua granja per la terrible pesta de Londres. En aquest període formulà la seua hipòtesi sobre la força de gravitació, suposant que la força que reté a la Luna en la seua òrbita és la mateixa que actua sobre una pedra que cau. També va deixar redactat un esbós del càlcul diferencial i integral. A més treballà polint lents no esfèriques, iniciant els estudis sobre la llum blanca del sol i descomponent-la en colors.

En 1667 va tornar a Cambridge i, ja mestre en Arts, va ser nomenat professor lucasià de matemàtiques en 1669. Açò, encara que requeria mantindre's cèlibe, li va donar a Newton la llibertat de prosseguir els seus estudis en mecànica, matemàtiques, òptica, astronomia, alquímia i teologia i, encara que la seua fama es deu a les primeres, va dedicar gran part del seu temps a les dues últimes. En 1672 publica la seua teoria sobre la llum i els colors que el va embolicar en tan amargues controvèrsies amb els seus rivals que va resoldre no publicar res.

Com els científics anglesos Halley, Hooke i Wren no podien deduir l'òrbita que hauria de seguir un planeta sotmès a una força proporcional al invers del quadrat de la distància, en 1684 Halley va anar a consultar a Newton el problema. Aquest li va dir que ja ho havia calculat. Halley el va persuadir que escriguera aquest treball i en 1687 es publiquen els "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", on estableix les seues tres lleis de la dinàmica i la teoria de la gravitació universal. En 1704 veu la llum la seua "Òptica".

Newton no tenia bon caràcter i va tindre al llarg de la seua vida vives discussions sobre la prioritat de descobriments: amb Leibniz sobre el càlcul infinitesimal i amb Hooke sobre la llei de la gravitació. No va dubtar a utilitzar la seua influència com a president de la Royal Society (des de 1703 fins a la seua mort) en contra dels seus rivals. També, com era partidari del model corpuscular, sostingué controvèrsies sobre la naturalesa de la llum amb Huygens i aquells que defenien la hipòtesi ondulatoria. Des de 1696 va rebre honors en abundància, sent nomenat Director de la Casa de la Moneda i cavaller. Va morir en 1727.

En el text anterior es pot apreciar com la ciència és un treball *col·lectiu i internacional*, fruit de les contribucions de múltiples homes (i dones?, veure capítol 6), al llarg del temps i en diferents països. Un altre aspecte d'interès és la importància de les controvèrsies, que permeten als científics aconseguir consensos sobre el que es pot considerar coneixement científic. També es pot assenyalar que aquest és un dels casos en què la gran autoritat científica d'una de les parts en controvèrsia (Newton) fa que prevalga durant un segle la teoria corpuscular de la llum sobre la teoria ondulatoria, que era més correcta. Així mateix, veiem la importància de les disputes de prioritat en el desenrotllament de les ciències, atès que el reconeixement d'eixa prioritat i els beneficis que comporta (prestigi, premis, llocs de treball) constitueix el principal mecanisme de recompensa de la comunitat científica.

Espanya i la revolució científica

Es dóna la paradoxa que sent Espanya la iniciadora dels descobriments geogràfics (1492) i la metròpoli del major imperi conegut en el segle XVI, quedara al marge de la Revolució científica al mateix

temps que declinava el seu comerç i indústria. El problema és complex. Durant el Renaixement, el desenrotllament científic i tecnològic era paral·lel al de la resta d'Europa.

Així, en Astronomia, s'accepten les idees de Copèrnic. Diego de Zúñiga, de la Universitat de Salamanca, va publicar en els seus "Comentaris al llibre de Job" (1584) que per mitjà de la teoria de Copèrnic s'explica la posició dels planetes millor que amb la teoria de Ptolomeu. Jeroni Munyós, catedràtic d'astronomia en les universitats de València i Salamanca va escriure el "Llibre del nou cometa" (1573), traduït al francès i al llatí i elogiat pels millors astrònoms europeus com Tycho Brahe i Galileu. Hi dona la posició relativa d'una nova estrella que es va fer visible en 1572 en la constel·lació de Casiopea, critica obertament la doctrina aristotèlica sobre la incorruptibilitat del cel i, encara que la qualifica de cometa, argumenta sobre la seua naturalesa celeste. Avui anomenem supernova a aquest tipus d'estrella i sabem que sols han estat observades tres més en el mil·lenni, l'any 1054 pels astrònoms xinesos, en 1604 per Kepler i en 1987 per Oscar Duvalde i Ian K. Shelton.

En física, Juan de Celsaia, de la Universitat de València, i el seu deixeble Domingo de Soto, de Salamanca, desenrotllen crítiques sobre la concepció aristotèlica del moviment local. Aquest últim va identificar en 1572 (abans que Galileu) el moviment de caiguda de greus amb el moviment uniformement diforme (accelerat), estudiat matemàticament per científics del segle XIV com Oresme o els calculadors del Merton College.

En Medicina van destacar Miguel Servet (1511-53), que va suggerir la teoria de la circulació menor de la sang i Pere Jimeno i Lluís Collado, deixebles de Vesal, defenen la nova anatomia dels atacs dels galenistes. Però, sobretot, hi ha un gran desenrotllament i valoració de la tècnica, en

particular, la navegació (Europa va aprendre a navegar amb textos espanyols com "L'art de navegar" de Cortés), la metal·lúrgia (que va aconseguir un gran desenvolupament per l'explotació dels jaciments americans de metalls preciosos, destacant, pel nombre de traduccions, "L'art dels metalls" de Barba), l'enginyeria civil i militar, l'arquitectura, etc.

No obstant, el costós manteniment de la idea d'una monarquia imperial i catòlica de Carles I i Felip II, van devorar els ingressos de les Índies, els tresors dels quals enriqueixen als banquers europeus (que prestaven amb alt interès als monarques espanyols) sense fructificar en el país. Les necessitats de la Hisenda pública i l'increment dels preus (fruit de les remeses de plata americana) van portar a la ruïna a la indústria i artesania peninsulars. A més, amb la Contrareforma el misticisme i la Inquisició s'apoderen del pensament nacional i s'impedeix la comunicació de la nostra ciència amb la de la resta d'Europa, amb la prohibició de Felip II l'any 1558 que els espanyols estudiaren o ensenyaren en universitats estrangeres. Açò provoca l'aïllament de la península de la revolució científica i tecnològica que s'iniciava a Europa. Es produeix una actitud d'escassa apreciació de la ciència entre nosaltres i un retard científic i tecnològic que costarà molt de recuperar.

El país cobra consciència d'aquesta absència de la revolució científica en l'últim terç del segle XVII i s'inicia el procés de recuperació científica amb el moviment "novator" espanyol, la tasca del qual va ser aprendre les idees i mètodes de la nova ciència, ensenyar-la, derrocar el criteri d'autoritat i denunciar l'endarreriment científic espanyol. El manifest d'aquest moviment va ser la "Carta filosòfica, médico-chymica" (1687) de Joan de Cabriada. En Astronomia i Física el moviment va ser més tímida per la necessitat d'evitar represàlies de la Inquisició que

s'oposava frontalment a l'heliocentrisme. Cal destacar a l'astrònom Josep de Zaragozá, que va observar els cometes de 1664 i 1667 i va ser partidari en secret de l'heliocentrisme; i al seu deixeble Tomàs Vicent Tosca, que va contribuir notablement a la difusió dels coneixements anteriors a Newton, 20 any després de la publicació dels "Principia", amb el seu "Compendio Mathematico" (1705-1715). Aquest moviment de renovació iniciat pels "novators" culmina en la Il·lustració, com es veurà més endavant.

Ací tenim un altre exemple de com la ciència es marceix quan deixa de conrear-se, i de com la recuperació, després dels nostres característics col·lapses en el desenrotllament de la ciència, és molt difícil. És necessari aprendre els nous coneixements i mètodes i difondre'ls (escrivint textos i ensenyant bàsicament) per a formar les noves generacions.

El mecanicisme i la Il·lustració

La Gravitació universal relacionà la nova astronomia de Copèrnic i Kepler amb la nova dinàmica de Galileu i Newton, derrocant així la suposada barrera medieval entre el món terrestre i el celeste, realitzant la primera unificació o síntesi de la Física clàssica. Encara que introduïda en el segle anterior en 1687, va ser una fita singular en la ciència el desenvolupament de la qual marcà durant més de dos segles, amb particular intensitat en el segle XVIII abastant fins a finals del XIX. Açò va produir una extraordinària mitificació de la figura de Newton que va portar al físic i filòsof Mach a afirmar, ja a finals del segle XIX, que "Newton descobrí la gravitació universal i completà l'enunciat formal dels principis de la mecànica generalment acceptats avui en dia. No s'ha enunciat cap principi essencialment nou des del seu temps. Tot el que

s'ha aconseguit en mecànica des de llavors ha sigut un desenrotllament deductiu, formal, i matemàtic basat en les lleis de Newton".

Aquesta idea es troba prou estesa, però oblida molts desenrotllaments ulteriors, entre ells la introducció per Euler en el seu "Descobriment d'un nou principi de la Mecànica" (1752) de la famosa equació $F = ma$, atribuïda a Newton. Aquest mateix autor va introduir la llei fonamental de la mecànica de la rotació i la va aplicar a l'estudi del moviment del sòlid rígid. Daniel Bernoulli va començar el desenrotllament de la mecànica de fluids en la seua "Hidrodinàmica". Huygens, D'Alembert i altres van estudiar les vibracions i ones mecàniques, introduint aquest últim l'equació d'ones en 1746. Els treballs de Galileu i Hooke van iniciar els múltiples estudis sobre resistència de materials (una de les "Dos noves ciències" de Galileu) i elasticitat. Lagrange i Hamilton van crear noves formulacions de la mecànica que segueixen utilitzant-se en la física quàntica. Aquest mecanisme d'atribució d'algunes aportacions de científics posteriors als pioners d'un determinat camp, com si les teories nasqueren completes, és molt comú en molts llibres de text i de divulgació i contribueix molt a mostrar la ciència com a fruit del treball d'uns genis i no com una activitat humana col·lectiva. Un altre exemple és que s'atribueixen les equacions de Maxwell a aquest físic, oblidant que només van ser enunciatades explícitament per Heaviside i Lorentz.

La Mecànica explica fenòmens tan dispars com la caiguda dels cossos, la propagació d'ones sonores, el moviment dels astres o els fenòmens calorífics, constituint-se en un dels pilars de la ciència. L'èxit d'aquestes lleis durant més de dos segles va contribuir a formar una nova concepció sobre la matèria, el "mecanicisme", que considerava la matèria constituïda per

partícules en moviment sotmeses a forces (a distància, centrals, inverses al quadrat de la distància). Subjacent a aquesta visió està la idea que tot canvi pot, en últim terme, reduir-se a moviments mecànics de les partícules que constitueixen la matèria. En 1812 Laplace va proposar la seua famosa concepció del calculador diví que, sabent les velocitats i posicions de totes les partícules del món en un instant determinat, podria calcular tot el que havia ocorregut en el passat i tot quan hauria d'ocórrer en el futur. Açò posa de manifest que el mecanicisme es tracta d'una concepció clarament determinista (el coneixement de les equacions de moviment d'un objecte permet predir la seua posició i velocitat en qualsevol instant).

El mecanicisme va influir en les restants ciències ressaltant en general el paper de l'experimentació i de les matemàtiques. En particular, va contribuir positivament en la termodinàmica al relacionar la calor amb el moviment de les partícules dels cossos; en la química, al recolzar l'atomisme, a què s'oposaven molts químics del segle XIX, sent defensat per la major part dels físics. En òptica va donar suport al model corpuscular enfront de l'ondulatori; en electromagnetisme, va afavorir els treballs de Coulomb, Amper, Biot i Savart, que van utilitzar forces a distància. Tot açò va permetre que en el XVIII s'abordaren problemes més complexos i es desenrotllaren noves ciències com la calorimetria (Rumford, Black), l'electricitat i el magnetisme (Franklin, Priestley, Coulomb), la química (Lavoisier), la geologia (Werner, Hutton) i la biologia (Buffon, Linné).

Però el seu influx no es va limitar a les ciències, sinó que també va tindre conseqüències en la política, la cultura i la religió, per la seua influència en el pensament d'autors destacats de la Il·lustració, des de Voltaire a Kant. Així, Voltaire va contribuir a la difusió de Newton amb els seus "Elements de la filosofia de Newton" (1738) i amb el

prefaci a la traducció francesa dels "Principia" feta per Mme. Du Châtelet. A través d'eixos autors influeix en el dret natural de la Il·lustració (la societat, igual que la naturalesa, està regida per lleis "naturals", no divines i, en conseqüència, la idea "rei per la gràcia de Déu" no es suficient per a justificar les monarquies) i, en conseqüència, en la Revolució francesa.

El mecanicisme que en el seu moment suposà un gran avanç, es convertí en una rêmora, com es pot comprovar amb els models mecanicistes vuitcentistes. Kelvin en 1884 afirmava: "No estic satisfet fins a haver construït un model mecànic de l'objecte que estic estudiant. Si aconseguisc fer-ne un, comprenc; en cas contrari no". La teoria del camp electromagnètic com un ens físic a través del qual es propaguen les interaccions va constituir el primer cop per al mecanicisme i per això aquest va tractar de transformar-la. Així per a mantindre una explicació mecànica de l'electromagnetisme (i de la llum) i de les seues accions contigües s'introdueixen els complicats models mecànics de l'èter. També es va abandonar la fructífera idea de Faraday de les línies de camp com a ens físics, considerant-les com a tubs que transporten un fluid incomprensible, l'èter. No obstant, ambdues teories, la Mecànica i l'Electromagnetisme, integren la visió clàssica de la matèria, constituïda per partícules discontinües en moviment i camps continus, que transmeten les interaccions entre elles.

D'altra banda, el determinisme subjacent en el mecanicisme ha sigut posat en qüestió en el propi segle XIX per la Teoria Cinètica i la Mecànica estadística i, a principis del segle XX, amb major rotunditat, per la Física quàntica i, més recentment, amb el comportament caòtic.

CAPÍTOL 3.

Canvi en l'evolució de la Humanitat: les revolucions industrials

Des que en el neolític es va passar d'una societat caçadora i recol·lectora a una societat agrícola i ramadera, aquest sistema de producció va ser el dominant durant diversos mil·lennis. Cal esperar els segles XVIII i XIX perquè es produïska un canvi tan radical com aquest en la història de la humanitat, la denominada revolució (o revolucions) industrials.

La primera revolució industrial (1760-1870)

Està relacionada amb certs avanços tècnics. Es poden mencionar entre ells les màquines de vapor i les seues aplicacions en trens i vaixells, la maquinària tèxtil o la metal·lúrgia. Aquestes innovacions tècniques possibiliten la revolució industrial, però evidentment no són la causa determinant. Pensar el contrari, seria incórrer en determinisme tecnològic. Els autors, començant per Marx en la seua obra "El capital", que han estudiat els orígens de la revolució industrial en Gran Bretanya, mencionen múltiples canvis que la van afavorir. En primer lloc, les innovacions agrícoles de finals del XVIII: la

substitució del sistema de rotació triennal (blat, ordi o avena i guaret) pel quadriennal (blat, ordi o avena, naps i trèvol, que al fixar el nitrogen augmenta la productivitat de la terra), la introducció de nous aladres i trilladores, l'ampliació de regadius, la generalització de l'ús d'adobs, el tancament i la concentració parcel·laria. Es transforma així l'agricultura tradicional en agricultura de mercat i es produeix un augment de població i una disminució dels treballadors agrícoles, base de la mà d'obra industrial. Altres canvis són la millora en el transport (especialment el fluvial) i l'ampliació del comerç exterior i, en particular, la inversió del capital acumulat en la indústria, passant l'empresari a ser el propietari dels mitjans de producció, organitzant-los per a obtenir el màxim benefici. Per això, l'aparició del sistema fabril no és una revolució tecnològica sinó un canvi en el control social de la producció; es substitueix el control de l'obrer en el treball a domicili pel control del capitalista en la fàbrica, on la disciplina i la supervisió aconseguen la reducció de costos.

Els invents tècnics no van ser obra de científics, sinó d'artesans que estaven al corrent dels procediments tècnics en ús i que coneixien per la pràctica el problema que havia de resoldre's. Així, Newcomen era ferrer i la seua màquina de vapor (1760) era de moviment alternatiu i s'usava per a bombar aigua de les mines. Watt era constructor d'instruments de precisió i al reparar una màquina de Newcomen va tindre en 1765 la idea d'introduir el condensador separat que romaní fred.

En 1760 Hargreaves, teixidor, inventa la jenny o màquina de filar. En 1768, Arkwright, la màquina de filar giratòria (primer moguda per aigua i, posteriorment, per vapor). En 1780 Crompton inventa la selfactina, que reuneix els avantatges dels dos anteriors. Açò provoca la insuficiència dels telers manuals i que en 1785 Cartwright

invente el teler mecànic.

En resum, la construcció i utilització de màquines tèrmiques per Newcomen o Watt, és prèvia a la Termodinàmica; les tècniques siderúrgiques o de blanqueig i tint de teixits, són anteriors a la Química. Però al seu torn plantegen problemes la solució dels quals va contribuir al desenrotllament d'eixes ciències. Fins mitjan segle XIX, en plena primera revolució industrial, els desenvolupaments tècnics segueixen precedint en molts casos als científics.

Una bona prova de les escasses relacions entre ciència i tècnica durant aquest període és el fet que no existisca una correspondència estreta entre liderat científic i industrial. La ciència anglesa va arribar a un estat de declivi en el segle XVIII després de Newton, quan començava el seu decisiu liderat en l'energia de vapor, tèxtil, metal·lúrgia i mineria. El floriment de la ciència francesa en el XVIII i principis del XIX quan París era el centre científic del món, no estava acompanyat d'una empena corresponent de l'avanç industrial. Rússia va produir nombrosos científics i inventors durant el segle XIX, però pareixen haver exercit un impacte insignificant en el desenrotllament econòmic del país. L'ascens dels Estats Units a una posició de floriment i de creixement econòmic i liderat tecnològic va ocórrer durant el segle XIX, període en què els èxits nord-americans en la ciència bàsica van ser mínims.

La teoria de l'evolució i les seues repercussions socials

La teoria de l'evolució va ser la que va tindre major impacte social en el segle XIX. El seu principal autor, Darwin, en l'expedició del Beagle va observar que les

espècies de l'arxipèlag de les Tortugues s'assemblaven a les de Sudamèrica però diferien d'elles i fins i tot eren diferents d'unes illes a altres. Aquesta variació li va portar a la idea que les espècies havien evolucionat unes a partir d'altres. El mecanisme per mitjà del qual s'havia realitzat aquesta evolució el va extraure de l'èxit de jardiners i ramaders en la creació de races útils d'animals i plantes per selecció artificial i de l'obra de Malthus “Un assaig sobre la població” (1798). Es tractava de la selecció natural deguda a la lluita per l'existència que permetia que les variacions favorables es preservaren i les desfavorables es destruïren, amb el resultat de la formació d'una nova espècie adaptada al medi. Wallace també va arribar a la teoria de la selecció natural basant-se en Malthus, clar exemple d'un descobriment simultani. En 1859 Darwin va publicar el llibre “Origen de les espècies per mitjà de selecció natural o la conservació de les races afavorides en la lluita per la vida”.

Aquesta idea va experimentar una gran oposició tant científica com ideològica. La primera perquè no explicava com s'heretaven les variacions, per a la qual cosa calia esperar que es descobrís i difongués la genètica de Mendel. La segona, pel fet que s'oposava a l'origen de les espècies per creació divina i desposseïa a l'espècie humana del seu lloc privilegiat, com Copèrnic havia desallotjat a la Terra del centre de l'Univers. També l'evolució a l'atzar qüestiona la intervenció contínua de Déu en la naturalesa viva (com Laplace l'havia qüestionat en el sistema solar) i sobretot el finalisme, és a dir, el funcionament segons lleis establertes per Déu i dirigides a una finalitat, o el que és el mateix, l'existència d'un pla del creador.

La controvèrsia va començar ja un any després de publicat “L'origen de les espècies” entre Wilberforce, bisbe d'Oxford, i el científic Huxley. El primer continuava

utilitzant la interpretació literal de la Bíblia contra les teories científiques de Darwin sobre l'evolució i l'origen de l'home defenses pel segon. I açò ha prosseguit fins a l'actualitat. Així, en EUA es va prohibir en alguns estats l'ensenyament de la teoria de l'evolució, la qual cosa va provocar el "judici de la mona" en 1925 en Tennessee, contra un professor que va fer cas omís de la prohibició i va ser condemnat per això. En Arkansas i Lousiana (EUA) era obligatori per llei concedir un temps igual a la teoria de l'evolució i a les tesis creacionistes fins 1987 i en Kansas fins a dates tan recents com 1999.

Alguns pensadors com Spencer van estendre la teoria de la selecció natural a la societat humana veient en la competència entre les empreses i en el comerç lliure la selecció dels més aptes. Aquesta doctrina es va denominar darwinisme social i segons ella la lliure empresa i l'individualisme es converteixen en una llei natural i inevitable, idea que segueix actualment present en el neoliberalisme dominant dels nostres dies. Aquestes idees van ser esteses per militaristes com Begehot i racistes com Chamberlain a la lluita entre nacions i races, en la qual les més fortes conquistarien a les més dèbils, justificant així l'imperialisme militar dels EUA, Japó i diversos països europeus. Els propis biòlegs no eren molt donats a eixes interpretacions. Així Darwin veia en l'evolució de la humanitat el creixent domini dels instints cooperatius. Wallace defenia que en la lluita social ningú hauria de tindre un avantatge injust en riquesa o educació, tots han de tindre igualtat d'oportunitats. Huxley s'expressava contra la idea que l'evolucionisme donara al govern una excusa per a passar les seues responsabilitats a la naturalesa. Aquestes altres versions de la teoria van ser arreplegades per alguns socialistes i anarquistes, com Kropotkin, en suport del principi d'ajuda mútua.

La teoria de la selecció natural també va influir en l'eugenèsia de Galton, Pearson i Davenport, és a dir, en la idea d'una millora planificada de la raça humana per mitjà de l'esterilització dels individus menys aptes. Açò, unit a l'aplicació sistemàtica en l'exèrcit de test d'intel·ligència de Binet (que posaven de manifest la suposada inferioritat de negres i immigrants recents), van portar a EUA a adoptar en 1924 lleis restrictives de la immigració i a finals dels anys 20, una dotzena d'estats nord-americans van promoure lleis eugèniques sobre esterilitzacions, la constitucionalitat de les quals va ser ratificada pel tribunal suprem en 1927. A Alemanya, a partir de 1933, es publica una llei eugènica que va provocar l'esterilització de centenars de milers de persones i va obrir el camí als camps de la mort. Aquests conflictes són una mostra més del paper de la ciència en l'evolució de la idees filosòfiques, religioses i polítiques, en la legislació i en altres aspectes de la vida social.

La segona revolució industrial (1870-1939)

Però a finals del segle XIX, amb la segona revolució industrial, branques de la ciència com l'electromagnetisme, la química i la termodinàmica, tenien un immens potencial d'aplicació pràctica i són l'origen de la indústria química i elèctrica, és a dir, els desenrotllaments tecnològics comencen a ser fruit de la ciència. La indústria elèctrica s'inicia amb el telègraf i la il·luminació elèctrica, utilitzant al principi les làmpades d'arc voltaic i després les làmpades de filaments en bombetes de vidre iniciades per Edison (1879). La companyia d'Edison va obrir menudes estacions d'energia a Nova York i Londres en 1882 i xarxes per a la transmissió del corrent elèctric. En 1889 Ferranti va fer possible la producció de corrent a gran escala, que va

permetre la concentració de les grans quantitats d'energia necessàries en la indústria i ciutats modernes. En 1847 Siemens funda la seua fàbrica elèctrica i en 1879 adquireix els drets locals per a les patents d'Edison i exhibeix a Berlín el primer ferrocarril elèctric.

El desenrotllament de la química orgànica va conduir a la síntesi del primer tint d'anilina, descobert pel químic anglès Perkin en 1856; el primer tint sintètic es va obtenir en 1863; el primer plàstic (és a dir, material que pot modelar-se) modern, el cel·luloide, va ser inventat en una data tan llunyana com 1868 per l'americà Hyatt; la primera fibra artificial, el raíó, va ser patentada pel químic francès Chardonnet en 1884, i la baquelita en 1909. Quant als explosius, el químic italià Sobrer va descobrir en 1847 la nitroglicerina, sent Alfred Nobel en 1866 qui va aconseguir a partir d'ella una mescla de maneig segur, la dinamita.

La termodinàmica va ser un estímul per a la invenció de tota una nova família de motors, els de combustió interna. Els científics i enginyers alemanys van ser els pioners d'aquests desenrotllaments: el motor a gas d'Otto (1876), el motor de gasolina de Daimler (1882) i Benz (1893), el motor de gas-oil de Diesel (1892). Tot açò estimula la utilització de noves fonts energètiques: el petroli i els seus derivats i l'energia hidràulica, encara que el carbó segueixca sent la font dominant (el 96 % de tota l'energia l'any 1900).

També és necessari mencionar els avanços en la indústria siderúrgica que van fer assequible l'acer a escala industrial, afavorint el desenrotllament del ferrocarril. El seu ús en la construcció, en el formigó armat, s'inicia cap a 1890, la qual cosa fa possible la construcció de grans obres públiques, com ponts i preses.

Els resultats acumulatius de totes eixes innovacions van donar una empenta tan important al desenvolupament industrial que, a partir, de 1870, podem parlar d'una segona revolució industrial. Una altra característica és la reorganització dels processos de producció deguda a la fabricació en sèrie, introduïda per Whitney en la fabricació de canons, però explotada a fons per Henry Ford, amb la seua cadena de muntatge per a la fabricació massiva d'automòbils (el Ford T).

En aquest període s'origina l'extensió del fenomen industrial en altres països, especialment en EUA, Japó i Alemanya. El creixement continuat de la producció, permet inundar els mercats europeus. La saturació dels mercats, unida a la creixent demanda de matèries primeres i la necessitat d'invertir capitals amb majors beneficis, va provocar l'expansió de l'imperialisme dels països desenrotllats a Àfrica, Àsia i Oceania

És a dir, alguns països van entrant en una fase de gran interacció entre la ciència i la tecnologia, amb implicacions en alguns sectors de la societat (la indústria, les condicions de treball, la ideologia) i de la naturalesa (contaminació local dels nuclis industrials).

En aquestos països, especialment a Alemanya, s'és conscient que la segona revolució industrial depèn de les tecnologies basades en la ciència i per això es potencia un sistema d'educació científica i tècnica, es vinculen les investigacions científiques dels laboratoris universitaris amb la indústria que contribueix al seu finançament, es creen els primers laboratoris d'investigació en les empreses privades (Siemens a Alemanya, General Electric als EUA), l'estat participa en la indústria (instal·lació de ferrocarrils) i en la investigació (amb la creació d'Instituts i laboratoris nacionals). Amb tot això, cap a 1895 la producció d'acer a Alemanya era superior a la d'Anglaterra i en 1900 era

responsable del 90 % de la producció mundial de tints. En altres paraules, comencen a coincidir el liderat científic i en la indústria, com a Alemanya fins a la primera guerra mundial i als EUA després.

Les primeres xarxes de telecomunicació

Encara que es parla de les tecnologies de la comunicació com d'una cosa recent, la realitat es que ja al segle XIX es va plantejar l'ús de l'electricitat per a transmetre missatges a distància, però calgué esperar a la invenció de l'electroimant, per poder utilitzar el corrent generat en la pila de Volta per a transmetre senyals per un cable conductor, invent anomenat telègraf, patentat per Cooke i Wheatstone en 1837. Però el desenrotllament, en paral·lel en molts casos a les vies del tren, no es va poder realitzar fins a l'invent de l'alfabet de senyals per Morse (1844). Des de llavors fins al desenvolupament de la radiodifusió les telecomunicacions van tenir en el fil el seu principal suport. El primer cablejat de coure aïllat amb gutaperxa a través del canal de la Mànega es va realitzar en 1850. En 1865 a través de l'oceà Atlàntic es van estendre 4500 km de cable aïllat, que pesaven 4500 tones i quan la línia estava gairebé acabada el cable es va trencar. El primer cable transatlàntic que funcionà transmetent 12 paraules/min es va estendre en 1866. En 1873 Graham Bell inventa el telèfon, amb disputes sobre patents amb Asa Gray.

En 1864 James Clerk Maxwell va establir que no sols tot camp magnètic variable produeix un camp elèctric (segons la llei de Faraday), sinó que tot camp elèctric variable produeix un camp magnètic, íntimament associats, constituint un camp electromagnètic. Aquest camp pot propagar-se en forma *d'ona electromagnètica* per

l'espai buit, sense necessitat d'un suport material amb la mateixa velocitat que la llum en el buit o en l'aire. Es tracta d'un resultat enormement significatiu que suposava la integració de l'Òptica com una part de l'Electromagnetisme, produint-se així un fenomen present en tots els grans avanços científics: l'establiment de relacions entre dominis que apareixien inicialment deslligats. La contrastació experimental de la predicció de Maxwell que les càrregues accelerades (en rotació, vibració, etc.) emeten ones electromagnètiques va plantejar serioses dificultats tècniques i això va fer que només en 1887, vint-i-tres anys després dels treballs de Maxwell, el científic alemany H. Hertz demostrara que un corrent elèctric oscil·lant emet ones electromagnètiques.

En 1895 G. Marconi inventa la telegrafia sense fils, que patenta en 1896. Donada la importància de l'invent de la ràdio diversos països s'han atribuït la prioritat: Alemanya a Hertz, França a Edouard Branly (que en 1890 va inventar un detector de llimadures de ferro molt sensible), l'URSS a Popov (que va equipar un detector de tempestats amb una antena de recepció en 1895) i Anglaterra a Oliver Lodge (que en 1894 va fer funcionar un aparell de telegrafia hertziana al llarg de desenes de metres amb propòsits didàctics). Cap d'ells va fer patents perquè les seues invencions van tenir un caràcter científic. Realment açò posa de manifest que són poques les invencions importants que puguen atribuir-se a un sol individu, el geni fundador i el gran xovinisme existent en l'atribució dels descobriments i dels invents i en la idea que “nosaltres” vam realitzar l'invent i els “estrangers” ens el roben. També posa de manifest el caràcter evolutiu de la tecnologia que parteix d'idees i objectes destinats a altres fins, que descarta opcions, etc. Així, Marconi, persona aliena inicialment a la professió i que arriba a revolucionar-la, usa les ones hertzianes i el detector de

Branly, però amb l'antena augmenta la longitud d'ona, passant dels 9 m d'Hertz a les centenes de metres, la qual cosa augmenta considerablement l'abast. En 1912 el Titànic va realitzar la crida d'emergència per ràdio i en 1920 es va crear la primera cadena de ràdio comercial en els EE.UU.

Ciència, tècnica i literatura

En el Renaixement i el Barroc comencen a aparèixer en la literatura personatges científics, sobre tot metges, cirurgians i apotecaris, pel seu nombre major i pel seu paper en assumptes humans com la malaltia i la mort. El fet que les matemàtiques i les ciències foren les glòries de la Il·lustració es pot veure en la literatura d'eixa època. Així, Jonathan Swift en la seua obra els "Viatges de Gulliver" (1726), ens mostra en el tercer viatge una illa, Laputa, que es sosté magnèticament en l'aire, habitada per homes dedicats totalment a les matemàtiques i la música. Des de l'illa volant és "Fàcil... que qualsevol príncep pose sota la seua obediència tot país situat davall", presagiant així una ciència, aliada natural del poder, per a dominar als sers humans i a la naturalesa. De pitjor estima gaudeixen els científics naturals que, en la Gran Acadèmia de Lagado, es dediquen a extraure els raigs solars dels cogombres i a transformar els excrements humans en menjar, invertint així els fenòmens de la naturalesa. Voltaire s'inspira en ella en el seu conte "Micromegas", on narra els viatges espacials d'eixe gegant que el porten a la Terra, cosa que li aprofita per fer un sàtira dels humans i un elogi de la ciència, que sembla ser l'única cosa en què es poden posar d'acord.

Johann W. Goethe tractà de realitzar contribucions a la ciència. A partir de la seua filosofia

natural va escriure una teoria del color equivocada i va realitzar aportacions interessants a la morfologia vegetal i humana. En les "Afinitats electives" (1809) es basa en la idea que les passions humanes entre els protagonistes escapen de tota previsió racional, igual que succeïa amb les unions i les separacions químiques en aquella època. Des del seu vitalisme Goethe oposa l'activitat química al regnat de les lleis mecàniques.

En els grans clàssics de la novel·la del segle XIX (Stendhal, Balzac, Dickens, Flaubert, Dostoievski, Tolstoi, Galdós, Clarín, Oller) apareixen ben reflectides l'ascensió de la burgesia i la importància del capital, però la revolució industrial i el naixement del moviment obrer mereixen menor atenció. Fins i tot Dickens, malgrat que Anglaterra va ser el primer país on es va desenrotllar la revolució industrial, només tracta el tema en "Temps difícils" (1854). En ella pren com a escenari una ciutat industrial. És molt crític en totes les seues obres amb els patrons, banquers, polítics i jutges i perfectament conscient de les doloroses condicions de vida dels obrers i altres marginats, però pensa que la solució passa per la caritat dels poderosos i no per la unió dels oprimits. Cal esperar uns quants anys fins que Zola escriga "Germinal" (1885), perquè l'industrialisme i els obrers tinguen un paper protagonista. Descriu la misèria física i moral dels miners, les dures condicions de treball en una mina, les diferents postures dins del moviment obrer (socialistes, anarquistes), una vaga i la seua sagnant repressió. I si l'industrialisme tarda tant a aparèixer en la literatura, cal suposar que la ciència, una realitat social més minoritària, tindrà un impacte menor en la literatura. Però no és així. Molt prompte hi ha autors que presenten químics, inventors i enginyers.

Jules Verne intentarà fer la "novel·la de la ciència", és a dir, una novel·la que incloga els avanços científics i

tècnics, els viatges i les exploracions i el domini dels elements (l'aire i l'aigua). Per això les seues obres inclouen, amb gran anticipació respecte a la seua època, viatges "De la Terra a la Luna" (1865), viatges en submarí ("Vint mil llegües...", 1870) o el domini de la naturalesa per l'home gràcies a la ciència i la tècnica, en "L'illa misteriosa" (1874). A partir de la seua obra "Els cinc-cents milions de la Begun" (1879) es percep un canvi en la seua visió optimista de la ciència, que passa de ser una de les causes del progrés de la humanitat a convertir-se en quelcom amenaçant que pot emprar-se per a fins dolents, com la construcció d'armaments i de ciutats-fàbrica, que són una premonició del nazisme. Per això, aquesta obra va ser prohibida per les autoritats alemanyes. També el científic, heroi de les seues obres anteriors, es transforma en l'antiheroi pervers o boig, instrument cec del poder, que tanta influència tindrà en la literatura i cine posterior.

Herbert G. Wells que va estudiar ciències naturals en la universitat de Londres amb Thomas Huxley i es va dedicar a la seua ensenyament de 1890 a 1893, es considera, junt amb Verne, un iniciador de la literatura de ciència ficció, amb les seues novel·les: "La màquina del temps" (1895), "L'illa del doctor Moreau" (1896), "L'home invisible" (1897), "La guerra dels móns" (1898), totes les quals han sigut adaptades al cine.

Recentment, alguns han considerat que el "Frankenstein" (1818) de Mary Shelley com un precursor de la ciència ficció. En aquesta obra l'avanç científic relacionat amb la generació de vida, és un monstre que es rebel·la contra el seu creador.

També influeix la ciència en l'obra de Conan Doyle. Els mètodes d'investigació emprats per la seua creació literària el detectiu Sherlock Holmes es basen en el mètode científic positivista que se li va inculcar a l'autor en

els seus estudis de Medicina. En paraules del propi Holmes en "Estudi en escarlata": "Sóc aficionat tant a l'observació com a la deducció... Quan es presenta un cas de major complexitat... he de moure'm per a veure les coses amb els meus propis ulls", "No dispose encara de dades... És una equivocació colossal establir teories abans de disposar de tots els elements de judici, perquè així és com aquest es torç en un determinat sentit"

La ciència espanyola en els segles XVIII y XIX.

L'esforç realitzat en la Il·lustració per tal d'incorporar Espanya al ritme d'Europa i les condicions socials i econòmiques favorables de l'època, van promoure l'activitat científica i tecnològica a Espanya i van desenvolupar la trajectòria oberta pel moviment "novator". Aquesta promoció assolí el seu moment culminant durant el regnat de Carles III i va consistir en lluitar contra l'aïllament, amb la contractació de científics estrangers i amb la concessió de beques per a l'estranger i el finançament d'institucions (Observatoris astronòmics o Jardins botànics) i d'expedicions científiques.

El principal científic francès contractat fou Louis Proust, que va treballar la major part de la seua vida a Espanya, des del 1777 al 1807. Un dels seus grans èxits fou comprovar que els elements quan es combinen per a formar un compost, ho fan en una proporció en massa invariable; és el que coneixem com la Llei de les proporcions constants. Aquesta llei ajudà Dalton a interpretar els elements com a formats per àtoms, cosa que obrí el camí per al triomf de l'atomisme.

Respecte a les institucions cal assenyalar que l'ensenyament científic va tindre bon nivell en centres

dependents de la corona com el Seminari de Nobles (creat l'any 1725) o d'iniciativa particular, com les Escoles de Mecànica, Química, Nàutica i Botànica de la Junta de comerç de Barcelona (1758), el Seminari Patriòtic de Vergara creat en 1765 per la Societat Econòmica basca d'Amics del País o l'Institut Asturià de Gijón, organitzat per Jovellanos en 1794, per formar pilots i enginyers. Entre 1785 i 1792 es va construir en Madrid l'edifici per a la Real Acadèmia de Ciències, junt a l'Observatori astronòmic i el Jardí botànic. Com assenyala López Piñero, és molt significatiu respecte de l'evolució de la ciència en Espanya que aquest edifici fora destinat en 1819 a Museu de Pintura (l'actual Museu del Prado).

En quant a expedicions destaca la participació dels guàrdies marins Antonio de Ulloa i Jordi Juan, en l'organitzada per científics francesos per tal de mesurar al Perú l'arc del meridià terrestre. La primera completament espanyola va ser la de José Celestino Mutis a Nueva Granada i l'última la d'Alejandro Malaspina a les costes d'Amèrica i a l'oceà Pacífic.

Tot eixe esforç es traduïa en contribucions a la ciència. Les més importants es van produir en el camp de la química. Hi destaquen Fausto de Elhuyar, professor del Seminari Patriòtic de Vergara, on va descobrir juntament amb el seu germà Juan José el tungstè o wolframi. Andrés del Río, treballant l'escola de Mines de Mèxic, va descobrir en un mineral mexicà el vanadi l'any 1801. Antonio de Ulloa va portar de l'expedició al Perú mostres de platí amb la qual cosa contribuï a la descoberta d'aquest element.

En física destaca Jordi Juan, que en tornar del viatge científic al Perú publicà les "Observaciones astronómicas y físicas" (1748), on utilitza el càlcul infinitesimal i l'astronomia i física posteriors a Newton. En 1752 va ser nomenat director de l'Acadèmia de

guàrdies marins de Cadis, on va fundar l'observatori astronòmic més important d'Espanya. Va ser membre de les societats científiques europees més prestigioses, com la Royal Society de Londres i les Reials Acadèmies de Berlín i París. En botànica, destaquem a Antoni Josep Cavanilles va completar a París la seua formació científica amb el botànic Jussieu. En tornar a Madrid, l'any 1789, va rebre l'encàrrec del govern espanyol d'estudiar la flora de la Península. Començà els seus viatges pel País Valencià i com resultat va publicar el llibre "Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia (1795-97). Va participar en la fundació el 1799 de la revista "Anales de Ciencias Naturales". En 1801 fou nomenat director del Jardí Botànic de Madrid.

Però l'activitat científica espanyola torna a sofrir un col·lapse durant la Guerra del Francès i el regnat de Ferran VII. Les causes de la desfeta foren un país econòmicament arruïnat i unes classes dirigents dividides en conservadors, que consideraven un greu error l'esforç d'europèització del segle XVIII, i els liberals. En 1814, després de la restauració de Ferran VII, i en 1823, en acabar el trienni liberal, es produeixen períodes de repressió, que obliguen a l'exili de molts liberals. Per defensar aquestes idees sofriren postergació, persecució i desterrament el 90 % dels nostres científics de talla europea. Els observatoris i d'altres institucions desaparegueren o deixaren de funcionar. Un bon exemple d'això és Gabriel Císcar, Director de l'Acadèmia de Guàrdies marins de Cartagena de 1788 a 1798 i representant del país en la reunió convocada per l'Institut de França sobre el nou sistema decimal de pesos i mesures, que va introduir a Espanya. En tornar Ferran

VII Císcar va ser empresonat i confinat, fins l'alçament liberal de 1820. En restablir-se el poder absolut en 1823, el rei el va condemnar a mort, de la qual es va salvar refugiant-se a Gibraltar.

S'inicia la recuperació durant el regnat d'Isabel II (1840-68) i el període de 1868-75. És un període d'importació sistemàtica de coneixements, de creació d'institucions: en 1845 es crea una Facultat de Filosofia, amb una secció de ciències; en 1847, la Reial Societat Espanyola de Ciències Exactes, Físiques i Naturals; en 1847, amb la llei Moyano, la primera Facultat de Ciències. En aquest període s'aconsegueix un nivell mitjà europeu d'ensenyament en algunes disciplines, especialment en geologia, biologia, anatomia, i altres disciplines mèdiques, encara que a nivell d'investigació científica va haver-hi escasses aportacions importants, que es produiran a partir de la Restauració. La importància d'eixes contribucions va ser reconeguda amb el premi Nobel de Medicina a Ramón y Cajal l'any 1906, moltes vegades presentat com un geni aïllat, oblidant el caràcter col·lectiu de la ciència i l'existència de Maestre de San Juan i Lluís Carracido, que l'introduïren en la histologia o la Jaume Ferran i Ramón Turró, que posen de manifest el nivell de la medicina en el país.

Les ciències exactes i físiques sols assoliran el nivell que tenien les disciplines biomèdiques en la Restauració a principis del segle XX. Cal destacar la labor d'importació que va realitzar l'enginyer i literat José Echegaray. En química la situació era semblant però no tan precària per la seua relació amb la farmàcia i amb tècniques mineres i industrials.

SEGONA PART.
CTS en l'actualitat

CAPÍTOL 4

Nova revolució científica a principis del segle XX

A principis del segle XX una sèrie de problemes que no van poder ser explicats en el marc de la física clàssica van originar la seua crisi -posant en qüestió els conceptes més evidents i sòlids- i van produir el sorgiment de la física moderna, en particular, de les teories especial i general de la relativitat, de la física quàntica, de l'estat sòlid, la física nuclear i la química quàntica. També s'inicia el desenrotllament de dos branques tan importants de la biologia contemporània com la genètica, amb el redescobriment de Mendel i els treballs de Morgan i De Vrie, i la biologia molecular, amb el descobriment de l'estructura del ADN per Watson i Crick.

Albert Einstein: el “prototip” de científic

Un d'aquests problemes va ser la impossibilitat de detectar un sistema de referència en repòs absolut, abordat per Einstein i va ser l'origen de la teoria especial de la relativitat, teoria a què també van contribuir altres destacats científics com Poincaré, Lorentz o Minkowski. Einstein és el científic amb més popularitat del nostre

temps, passant a convertir-se, al costat de la seua equació $E=mc^2$, en una icona cultural de l'actualitat, present fins en camisetes o pòsters. Per a comprendre aquest fenomen convé que ens detinguem breument en la seua vida, la seua obra i les conseqüències d'ambdues.

Va nèixer en 1879 en Ulm, sud-oest d'Alemanya, traslladant-se un any més tard a Munic. En 1888 va passar de l'escola a l'Institut fins a 1895. En tots estos anys va obtenir el primer o segon lloc en matemàtiques i llatí, és a dir, manca de fonament la difosa creença que va ser un mal alumne. Li disgustaven els mètodes autoritaris i l'ensenyament memorístic. En la seua autobiografia assenyala que "la sospita contra tot tipus d'autoritat va desenrotllar una actitud escèptica cap a les conviccions que persistien en qualsevol ambient".

Encara que només tenia 16 anys (era dos anys més jove que la major part dels candidats) es va presentar a l'examen d'ingrés de l'Escola Politècnica Federal (EPF) de Zuric (Suïssa) i va ser suspès en biologia i francès. Per a obtenir el diploma d'ensenyament mitjà, que el permetera inscriure's en la Universitat, va assistir a l'Escola d'Aarau, on quedà impressionat pel seu esperit liberal i democràtic. Des de 1896 a 1900 estudià en l'EPF i obtingué el títol de Fachlehrer (professor de Matemàtiques i Física d'ensenyament mitjà). "La major part del temps treballava en el laboratori de Física, fascinat pel contacte directe amb l'observació". Va estudiar pel seu compte alguns temes avançats, com la teoria electromagnètica de Maxwell.

No obstant la seua carrera acadèmica va ser difícil. No va poder aconseguir un lloc d'ajudant d'universitat, i va haver d'acceptar en 1902 el càrrec de tècnic en l'Oficina de Patents de Berna, on va romandre fins a 1909. L'any 1905 va publicar tres articles que van commoure els fonaments de la Física: sobre l'efecte fotoelèctric (que

veurem en un pròxim apartat), una aplicació de la teoria cinètica molecular al moviment brownià i el que més tard es va anomenar Teoria Especial de la Relativitat.

En 1909 els seus treballs van aconseguir el reconeixement del món científic i va ser nomenat professor de la Universitat de Zuric i un any després, catedràtic de la Universitat de Praga. En 1912 tornà a Zuric com a catedràtic i en 1913 aconseguí la màxima aspiració d'un científic europeu d'aquell temps: una càtedra en la Universitat de Berlín, on romangué fins a 1933.

En 1916, després de huit anys d'esforços, publica la Teoria General de la Relativitat, una nova teoria de la gravitació. L'astrònom britànic Eddington va comprovar en 1919, una vegada finalitzada la primera Guerra Mundial, durant un eclipsi total, una de les prediccions de la Relativitat General: la curvatura, en les proximitats del Sol, dels raigs de llum d'una estrella.

Aquest fet va produir un gran impacte en l'opinió pública mundial, degut fonamentalment al caràcter revolucionari de la teoria i a la premsa. I amb la fama van arribar els viatges per tot el món: Japó, Espanya (en 1923), els EUA i Llatinoamèrica.

L'impacte de la Teoria de la Relativitat no ha de fer oblidar la importància d'altres contribucions d'Einstein a la Física, en particular, a la quàntica. En 1905 publicà un article, abans mencionat, sobre l'efecte fotoelèctric pel qual se li concedí el Premi Nobel de Física en 1921. En 1907 va aparèixer un estudi sobre la calor específica dels sòlids, el primer treball sobre teoria quàntica de l'estat sòlid. En 1916 i 1917 la teoria de les transicions espontànies i induïdes, base del làser. Entre 1924 i 1925 va desenrotllar amb Bose, l'estadística quàntica dels bosons

(per exemple, els fotons). A partir de 1927, quan s'estableix la teoria quàntica i la seua interpretació probabilística, la seua actitud respecte a eixa teoria es converteix en escèptica, publicant la famosa paradoxa d'Einstein- Podolsky- Rosen en 1935.

Des del començament de la I Guerra Mundial, Einstein va recolzar públicament la causa del pacifisme i de la democràcia. En els anys 20 va començar a interessar-se pel destí dels jueus. Tot això va contribuir a atraure's les crítiques del moviment polític nazi, caracteritzat pel seu nacionalisme racista, el seu bel·licisme i el seu caràcter dictatorial. Açò va significar un atac a la teoria de la Relativitat com a exemple de físic jueva o no ària.

Al començar l'any 1933, quan Hitler va arribar al poder i va començar les porgues racials a Alemanya, Einstein va acceptar una oferta de l'Institut d'Estudis Avançats de Princeton (EUA). En 1939 escrigué una carta al president F.D. Roosevelt en la que suggeria el desenrotllament d'armes nuclears, per a avançar-se al projecte dels alemanys.

Al final de la II Guerra Mundial i després de l'explosió de la bomba atòmica, Einstein es va implicar més que mai en la política, contravenint el tòpic clarament explicitat pel Premi Nobel de Física J. Franck que "(els científics) solem ser cauts i, per tant, tolerants. És precisament l'objectivitat la que ens impedeix prendre resoludament partit en política perquè ací no està la raó de cap part". Va participar, junt amb Born i altres, en moviments internacionals de científics a favor del desarmament nuclear. Plantejà la necessitat d'arribar a un govern internacional, per a combatre el militarisme i el nacionalisme. Va criticar les irracionalitats del capitalisme. Recolzà l'educació en general i una educació científica "perquè una ciutadania informada pugui, de forma

intel·ligent, determinar i donar forma a la seua acció, perquè servisca al millor interès, propi i de la humanitat". Va condemnar públicament les accions del govern dels EUA contra Oppenheimer perquè aquest no va voler participar en la construcció de la bomba d'hidrogen. Tot açò va fer que el FBI, en el període de McCarthy, obrira un dossier sobre ell, tancat en 1955, any de la seua mort.

Influències de la teoria de la relativitat en la societat

Les primeres dècades d'aquest segle constitueixen un període revolucionari a nivell polític, social, econòmic, artístic i científic. Hi ha prou en citar com a exemples la Revolució Russa de 1917, que va posar de manifest que l'economia capitalista no era l'economia natural, sinó una de les possibles economies; els moviments sufragistes femenins; el naixement de l'estat de benestar, teoritzat per Keynes i realitzat per F.D. Roosevelt, amb el seu "new deal"; l'aparició de la psicoanàlisi; l'avantguardisme i el surrealisme en literatura; el cubisme en pintura; o les revolucions relativista i quàntica en ciència.

En aquest context, la Teoria de la Relativitat, presentada en la premsa com la teoria revolucionària per excel·lència, va exercir un gran impacte tant en científics com en artistes, literats i filòsofs. La Relativitat va tenir evidents implicacions en la percepció de l'espai i del temps, que van influir en pintura (per exemple, en la pluralitat de perspectives del cubisme o en el dibuixos d'Escher) o en l'arquitectura racionalista i funcional de la Bauhaus. En literatura la influències de la nova visió de l'espai i temps es manifesten en la narració d'històries des de diferents punts de vista o en la utilització del temps lent en la narrativa per autors com Virginia Wolf, William

Faulkner, James Joyce o Thomas Mann. Fins i tot apareixen reflexions sobre el temps en novel·les com “La muntanya màgica” de Mann o sobre les quatre dimensions en la tetralogia “El quartet d’Alexandria” de Lawrence Durrell.

Per als científics va suposar la crisi de molts supòsits fonamentals. De fet, inicialment Einstein preferia parlar de teoria dels invariants, insistint en la idea que les equacions fonamentals conserven la mateixa forma en tots els sistemes de referència inercials. A partir de 1911 Einstein comença a parlar de relativitat recordant així que els conceptes d’espai i temps absoluts de Newton no són vàlids i subratllant el canvi que havia portat a terme. Va haver-hi científics que efectuaren la transició a la nova mecànica sense dificultat però per a altres el canvi va ser dolorós i no sempre ben assimilat. També va contribuir que nombrosos científics escrigueren llibres per a fer comprensible al lector la Teoria de la Relativitat, és a dir, va estimular la divulgació científica.

Al mateix temps va exercir un considerable impacte en el pensament contemporani. Gran nombre d’articles i llibres que van aparèixer en els anys 20 i 30 van utilitzar les formes d’expressió relativistes per a adquirir un caire revolucionari i heterodox. En filosofia, Einstein parla de les aportacions de Kant i Mach a la seua teoria i, a la seua vegada, va exercir un gran influx sobre els positivistes del Cercle de Viena i, en particular, en el falsacionisme de Popper (la ciència no busca verificar les seues teories sinó experiments crucials que les refuten). Filòsofs com Ortega van fer eco de la relativitat en “El sentido histórico de la teoría de Einstein”, apèndix del seu llibre “El tema de nuestro tiempo” (1923).

Tot açò, junt amb el gran impacte que va tindre de la Relativitat en la premsa, va fer que aquesta es convertira

en una moda i va convertir a Einstein en el científic més famós del món.

La quàntica i les seues primeres implicacions

La crisi de la Física clàssica, que té lloc al començament del segle XX, està relacionada amb la impossibilitat de detectar un sistema de referència en repòs absolut —que originà la relativitat— i amb problemes relacionats amb l'emissió i absorció de llum com l'efecte fotoelèctric —l'alliberament d'electrons per superfícies il·luminades—, els espectres discontinus dels àtoms i la interpretació dels espectres continus emesos per sòlids i líquids incandescents.

Aquestos problemes originaren la crisi de la Física clàssica, marcant els seus límits de validesa i posaren en evidència la necessitat de profunds canvis en ella. Encara que els primers canvis van apareixer històricament com a retocs, es dir, com hipòtesis parcials que van rectificar l'edifici teòric existent, prompte es va veure la necessitat d'un replantejament global, elaborant-se un nou marc conceptual que coneixem com a Física quàntica. És necessari presentar-la amb un major detall perquè la majoria de les noves tecnologies que caracteritzen el nostre temps són tecnologies quàntiques.

En el curs dels experiments que van confirmar la existència de les ones electromagnètiques Hertz va descobrir que ocorria més fàcilment una descàrrega elèctrica entre dos elèctrodes quan arribava llum a un d'ells, efecte (posteriorment denominat fotoelèctric) que no podia ser explicat per la física clàssica que culminaven aquests experiments. Einstein en el seu treball de 1905 sobre eixe efecte va plantejar la hipòtesi que les ones electromagnètiques són una distribució de "paquets de

energia" o quanta –després anomenats fotons- cada u dels quals posseïx una energia proporcional a la freqüència $E=h\nu$, on h es la constant de Planck, introduïda per aquest físic en 1900 en explicar els espectres continus de sòlids i líquids incandescents.

Entre les aplicacions d'aquest efecte cal mencionar les cèl·lules fotoelèctriques utilitzades en les alarmes antirobatoris i l'obertura electrònica de portes. Molts detectors de fums es basen en el mateix fet: s'interromp el pas de la llum, la qual cosa produeix una caiguda de corrent que activa l'interruptor. També utilitzen aquest circuit els fotòmetres dels fotògrafs i altres dispositius per a mesurar la intensitat de llum, per exemple, els espectrofotòmetres.

L'altre problema que es plantejava era que els models atòmics basats en la Física clàssica (Thomson i Rutherford) no podien explicar alguns dels fenòmens observats. Així, el model de Thomson (1904) era incapaç de donar compte de la dispersió de partícules alfa per una fina làmina d'or (Geiger i Mardsen 1909) i el model de Rutherford (1911), si bé explicava l'anterior, era inconsistent amb la teoria electromagnètica clàssica. Segons aquesta, un electró que gira al voltant del nucli, emet energia contínuament en forma de ones electromagnètiques, la qual cosa el portaria a caure molt ràpidament sobre el nucli, en contradicció amb l'evident estabilitat dels àtoms. A més, aquestos dos models eren incapaços d'explicar el caràcter discontinu i característic dels espectres atòmics.

Per a poder explicar els dits espectres, Bohr va aplicar en 1913 les noves idees de la teoria quàntica d'Einstein al model nuclear de Rutherford, modificant-lo de forma que donara compte dels fets experimentals relatius a l'emissió de llum. Bohr va postular que de la

infininitat d'òrbites que permet la Física clàssica, l'electró només pot moure's en unes òrbites amb una energia total constant determinada (estats estacionaris) i que l'emissió o absorció d'energia radiant es realitza quan l'electró passa d'un estat energètic a un altre. La quantificació de l'energia dels àtoms i de la radiació justifiquen el nom de quàntica que es va donar a aquesta teoria, i ens permetran explicar noves tecnologies com el làser o els semiconductors. No obstant, i a pesar dels seus èxits, prompte van sorgir dificultats que van obligar a modificar el model de Bohr i finalment a substituir-lo per altre, producte de l'establiment de la Mecànica quàntica que va suposar un canvi radical dels conceptes físics.

Encara que els treballs de Planck, Einstein, Bohr i altres havien confirmat de manera rotunda la naturalesa quàntica, discontinua de la llum i dels sistemes atòmics, eixos treballs només van poder ser considerats com els orígens de la nova concepció de la matèria que hauria de substituir a les teories clàssiques. En efecte, podem considerar que l'establiment de la Física quàntica s'inicia en 1923 amb els treballs de Louis De Broglie, en els que introdueix una nova i atrevida hipòtesi consistent a atribuir als electrons -i, en general, a qualsevol objecte- un comportament ondulatori, a més del seu evident comportament corpuscular. Açò plantejava el problema de determinar la longitud d'ona de l'electró, que era anàleg al que van plantejar els raigs X en 1912. La solució de Von Laue fou recórrer a xarxes cristal·lines. No obstant, els electrons plantegen dificultats, atès que no poden travessar tan fàcilment un cristall com una radiació electromagnètica. Per això és necessari estudiar els electrons reflectits en superfícies cristal·lines o els transmesos per fulls extremadament fins. Tres anys després, utilitzant eixes tècniques, Davisson i Germer, i Thomson van obtindre respectivament diagrames de

taques i de cercles com els obtinguts amb raigs X per Von Laue i Debye - Scherrer, que mostraven amb tota claredat la difracció d'electrons. A més, els càlculs realitzats a partir de les figures de difracció obtingudes proporcionaven valors de la longitud d'ones que corresponien amb els predits per la relació de De Broglie.

La primera aplicació del caràcter ondulatori dels electrons va ser la seua utilització per a ampliar objectes amb molt major detall que amb el microscopi òptic ordinari. En efecte, la resolució d'aquest ve limitada per la longitud d'ona de la llum. Un feix d'electrons, en canvi, pot obtindre's fàcilment amb una longitud d'ona de 100 vegades menor que la de la llum, la qual cosa multiplica per 100 la nostra possibilitat d'ampliació. Açò va donar origen en la dècada de 1930 als primers microscopis electrònics en els quals les lents de vidre foren substituïdes per lents magnètiques. També s'utilitzen electrons i neutrons, per a determinar l'estructura dels cristalls o també de molècules importants biològicament, amb les que és possible formar un cristall.

La crítica radical dels conceptes clàssics que realitza la Mecànica quàntica, i de la que són expressió l'equació de De Broglie o les relacions d'indeterminació d'Heisenberg, implica que els fotons, els electrons o els protons no són ni simplement ones ni simplement partícules, sinó objectes nous amb un comportament nou (el quàntic). Açò exigeix en conseqüència una modificació radical del formalisme matemàtic utilitzat per a descriure l'estat d'un sistema i la seua evolució temporal. Per això Schrödinger va introduir una funció que va denominar funció d'ones o funció d'estat. Així com l'equació d'un moviment s'obté a partir de l'equació de Newton, per a obtindre la funció d'estat desconeguda, ha de resoldre's una equació, denominada equació de Schrödinger. En

general, hi ha diverses funcions possibles corresponents a distints valors de l'energia que són solucions d'aquesta equació. Si apliquem la equació a un sistema lligat, com un electró en un àtom, apareix la discontinuïtat en els valors possibles de l'energia, trobant-se els mateixos nivells energètics que Bohr havia calculat.

Aquesta funció va plantejar el problema de determinar el seu significat, que va ser resolt per Born en 1926, amb la seua idea que l'amplitud de la funció d'onda al quadrat és proporcional la probabilitat per unitat de volum de trobar a l'electró en un element de volum. És convenient recalcar la connexió de la interpretació probabilista amb la dualitat i la indeterminació que, al no deixar descriure l'estat de l'electró en un instant determinat donant simultàniament els valors de les coordenades i les velocitats com en la Mecànica clàssica, sols permeten predir las probabilitats dels distints valors que poden obtindre's al mesurar les coordenades -o la magnitud que es tracte-. Així mateix, cal insistir en la probabilitat per la seua importància com nova llei del comportament de la matèria, que posa en qüestió el determinisme de la ciència clàssica.

La física quàntica es capaç d'explicar el conjunt dels fenòmens físics, des de l'escala més menuda a la major. En primer lloc, l'estructura electrònica de l'àtom i de l'enllaç químic. Heitler i London van aplicar la mecànica quàntica en 1927 a la molècula d'hidrogen, iniciant el que es va denominar mètode de l'enllaç de valència. Linus Pauling va jugar un paper fonamental en l'estudi de la naturalesa de l'enllaç químic, en aplicar les idees d'aquestos a molècules més complexes i desenvolupar una descripció detallada de la mecànica quàntica de l'enllaç covalent per la qual cosa va rebre el Premi Nobel de Química. També, explica els sòlids i les

seues propietats, on destaquen Peierls, Bethe, Bloch, Seitz, etc., que van aplicar l'equació de Schrödinger als sòlids i van obtindre les primeres estructures de bandes, investigacions que prepararen el camí per a la comprensió dels semiconductors, materials bàsics de la microelectrònica contemporània. Per últim, l'estructura del nucli i el món de les partícules elementals, fins l'evolució de les estrelles i l'origen de l'Univers. Respecte a les aplicacions, cal mencionar la microelectrònica (base dels ordinadors, les telecomunicacions o la robòtica), el làser, la física nuclear (centrals, bombes o medicina nuclear, un exemple més del caràcter productiu i alhora destructiu de la ciència), els nous materials (fruit de la Química moderna), etc., que veurem més endavant.

La teoria quàntica el gran impacte de la relativitat en la premsa possiblement degut al fet que és fruit del treball de molts científics de diferents països en un llarg període de temps, de 1900 a 1927. Si es van fer ressò d'ella filòsofs com Bertrand Russell i els neopositivistes Carnap, Reichenbach, Popper, etc. El filòsof Xavier Zubiri, que havia estudiat amb Schrödinger, va tractar la quàntica amb encert en "La nueva física" (1934). També molts intel·lectuals marxistes reflexionaren sobre la quàntica ja que les seues lleis probabilistes entraven en conflicte amb el materialisme dialèctic, la qual cosa va suposar greus conflictes a l'URSS. Les relacions d'indeterminació van traure el debat de l'àmbit restringit de la filosofia de la ciència i alguns filòsofs idealistes com Cassirer i físics d'idees semblants (com Heisenberg, Compton o Eddington) es van afanyar a capitalitzar l'indeterminisme en defensa de les seues idees metafísiques (el lliure albir, la immortalitat i Déu). Altres científics importants com Einstein, De Broglie o Bohm, consideren que l'atzar de la

teoria quàntica es deu només a la ignorància provisional i que desapareixerà quan sapiguem més sobre els quants.

La ciència espanyola en el primer terç del segle XX

La derrota d'Espanya pels Estats Units en Cuba i Cavite l'any 1898, implicava la perduda de les últimes restes de l'imperi colonial. Va ser atribuïda, entre altres causes, al retard científic i tècnic. Això va crear en el nostre país una àmplia base de suport per a la ciència. Aquest procés va culminar amb la fundació en 1907 de la Junta d'Ampliació d'Estudis, dirigida per Santiago Ramón i Cajal, i en 1911 de la Secció de Ciències de l'Institut d'Estudis Catalans. Ambdues institucions tenien plantejaments contraris als de la Restauració: els de la Institució Lliure d'Ensenyament i els del catalanisme, respectivament. S'inicia així una política de beques per a l'ampliació d'estudis i la investigació en l'estranger així com la creació de laboratoris. Entre ells cal mencionar el d'Investigacions Físiques (1910) dirigit per Blas Cabrera; el d'Automàtica (1906) dirigit per Leonardo Torres Quevedo i, sobretot, els laboratoris de Química, molt vinculats als interessos de les indústries, com el de la Residència d'Estudiants (1912) o el Laboratori General d'Assaig de la Mancomunitat catalana (1908). També es creen observatoris astronòmics, com el Fabra de Barcelona en 1904, dirigit per Josep Comas o el de l'Ebre a Tortosa en 1905. Aquests esforços van permetre que el nivell mitjà europeu aconseguït només per algunes disciplines (Medicina, Ciències naturals) a partir de la Restauració (1875) arribara a les altres (Matemàtiques, Física, Química) des de començaments de segle XX fins a la II República (1931-1936)..

Es detindrem un poc en les generacions que van saber col·locar la física espanyola, per primera vegada en la història, a nivell internacional. Membres destacats van ser Blas Cabrera, catedràtic d'Electricitat i director del Laboratori d'Investigacions Físiques. Reeixí com a físic experimental en els seus estudis sobre les propietats magnètiques de la matèria, tema en què es va iniciar amb Weiss en 1910 a Zuric. El seu treball va aconseguir una difusió internacional. Divulgà amb entusiasme la Teoria de la Relativitat i la Física quàntica i va arribar a ser rector de la Universitat Central de Madrid. José Maria Plans, autor d'una de les poques contribucions originals espanyoles sobre la relativitat en els anys 20: una nova equació per a explicar la deflexió de la llum en camps gravitatoris. L'altra va ser realitzada pel matemàtic Puig Adam en la seua tesi doctoral, dirigida per Plans. Aquest va publicar un llibre de difusió, "Nocions fonamentals de mecànica relativista" i va traduir el famós "Space, time and gravitation" d'Eddington.

La gran difusió de la Teoria de la Relativitat entre els professionals amb formació científica (enginyers, professors de segon ensenyament, farmacèutics, metges, etc.) i l'interès que despertava, van fer possible que Cabrera, el físic Esteban Terradas i el matemàtic Julio Rey Pastor organitzaren el viatge i l'estada d'Einstein a Espanya al març de 1923. Però no es va tractar d'un fet aïllat i així l'any 1934 Schrödinger va donar unes conferències en Santander.

Entre els físics de la següent generació destaquen Miguel A. Catalán que va investigar sobre espectroscòpia atòmica amb Fowler a Londres en 1920-21, on va descobrir els multiplets del manganès. Sommerfeld va conèixer les seues investigacions durant el seu viatge a Madrid en 1922 i, com a conseqüència d'això, li va ser

concedida una beca Rockefeller, que va conduir a Catalán al laboratori de Sommerfeld a Munic en 1923-25. Va tornar al Laboratori d'Investigacions Físiques de Madrid en companyia de K. Bechert per a prosseguir els seus treballs sobre espectroscòpia. Arturo Duperier estudià amb Cabrera. Experimentador notable, va idear procediments per a localitzar i estudiar raigs còsmics, disciplina que es convertiria després en la Física de partícules elementals. Julio Palacios va estudiar amb Terradas i amb el premi Nobel Kamerling Onnes en Leiden en 1918, realitzant investigacions sobre baixes temperatures, tema que no va poder prosseguir a Espanya per no tindre instal·lacions adequades.

En química els científics més rellevants van ser: Antonio de Gregorio Rocasolano que va treballar en química de col·loides i en el moviment brownià, per la qual cosa va rebre la visita d'Einstein quan aquest vingué a Espanya. Fundà i dirigí en la Universitat de Saragossa el prestigiós Laboratori d'Investigacions Bioquímiques. Enric Moles i Ormella es va doctorar a Ginebra amb un treball de revisió de la massa atòmica del brom. Catedràtic de química en la Universitat de Madrid i cap de l'Institut Nacional de Física i Química, va participar com delegat en una comissió internacional per a l'establiment de masses atòmiques.

En Medicina, seguint la tradició histològica de Cajal destaquen Nicolás Achúcarro i Pio del Río-Hortega. En Ciències Naturals Odón de Buen, primer Director de l'Institut Espanyol d'Oceanografia, i Josep Royo i Gómez, que des de 1917 va treballar en el Museu de Ciències Naturals de Madrid i va ser anomenat director de la seua secció de paleontologia en 1930.

La Guerra Civil i la derrota de la República per la insurrecció franquista, provoca un nou col·lapse econòmic

i cultural (ciència inclosa). Fins als anys 50 no es recupera el nivell de vida anterior a la guerra. D'altra banda entre morts en la guerra, les execucions de la postguerra i uns 300.000 exiliats es té quasi un milió de baixes, un 80 per cent de les quals corresponen als republicans, la majoria d'ells obrers qualificats, tècnics, artistes o professors. Aquesta sagnia intel·lectual faria molt difícil durant decennis la recuperació de la ciència i la tecnologia espanyoles.

Ciència i política: les dictadures i la ciència

La ciència del nostre temps ha hagut d'enfrontar-se amb poderosos enemics de l'ensenyament i la investigació lliures, com les dictadures de tot signe que van proliferar en el període d'entreguerres. Els motius d'enfrontament no sols eren racials o de dissidència política, també eren ideològics, perquè es van prohibir determinades teories científiques.

Es pot dir que la revolució soviètica va contribuir a l'augment de l'activitat científica del país orientada cap a fins pràctics. Bona prova d'això és que abans de la revolució hi havia 112.000 estudiants de ciències distribuïts en 91 universitats i en 1941 eren 667.000 en 800 institucions. Evidentment va haver-hi persecucions de la "intelligentsia" i dels "spezy" (especialistes) per motius de dissidència política a partir de 1920, encara que no estan prou quantificats. Es van incrementar en el període de Stalin, sobretot a partir dels anys 30, l'època de la col·lectivització. Està documentada l'existència de camps de concentració per a científics i enginyers que feien investigació per a l'estat soviètic (armament, telefonia secreta, etc.).

Es produeixen fortes persecucions per les

controvèrsies entre el materialisme dialèctic i les teories científiques. Aquests van ser especialment greus en genètica. Lysenko i els seus seguidors defensaven que els canvis produïts pel medi ambient a les plantes es podien heretar, oposant-se a la teoria acceptada pels genetistes del caràcter fortuït de les mutacions. Açò no haguera sigut més que una típica controvèrsia entre científics, però Lysenko va ser recolzat pel partit comunista que considerava que les mutacions a l'atzar s'oposaven al determinisme de l'evolució, més coherent amb les lleis del materialisme dialèctic. En conseqüència, a partir de 1939 Lysenko va substituir el genetista Vavilov en tots els seus càrrecs. Els genetistes van haver d'abandonar els seus llocs, fer confessions de culpabilitat i molts van ser desterrats, enviats a camps de concentració o simplement executats. Aquells que van poder continuar als seus laboratoris van haver de modificar les seues línies d'investigació per a tractar de demostrar la correcció de les teories de Lysenko. En 1948 encara prosseguia la persecució i Dubinin, l'últim genetista de reconegut prestigi, va ser privat del seu laboratori. Encara que en 1953, a la mort de Stalin, 300 científics sol·licitaren la dimissió de Lysenko, aquesta no s'aconseguí fins a 11 anys després.

Quan Hitler puja al poder en 1933 s'inicia la seua política bel·licista, nacionalista i antisemita, promulgant la llei de restauració de la carrera del funcionariat, segons la qual "els funcionaris que no siguen de llinatge ari han de ser jubilats o passar a la situació d'excedència". Més de 500.000 persones van haver d'exiliar-se d'Alemanya entre ells uns 2.500 científics. Un dels primers a ser perseguit va ser Einstein. Reunia alguna de les característiques que més odiaven els nazis: era jueu, pacifista i progressista.

Schrödinger, en desacord en la política dels nazis va abandonar Berlín en 1933, passant a Oxford i després a Àustria, d'on va haver d'exiliar-se al ser annexada per Alemanya en 1938. En la Universitat de Gotinga, de 33 professors de Física i Matemàtiques, van haver d'abandonar els seus càrrecs 22, entre ells M. Born i J. Frank. Amb tots ells i amb els nord-americans formats a Europa, el centre de gravetat de moltes altres disciplines científiques, es desplaça d'Alemanya als EUA. Molts dels físics van col·laborar en els EUA amb el projecte Manhattan, per a la construcció i el llançament de les primeres bombes atòmiques i el projecte radar, per a localitzar avions o blancs amb ones de ràdio, i tots ells van contribuir al gran desenrotllament científic nord-americà després de la II Guerra Mundial.

No obstant el nivell científic alemany era tan elevat que encara van quedar molt bons professionals a Alemanya, com els Premis Nobel Lenard i Stark, membres del partit nazi, que van intentar desenrotllar una física ària. Per a això van prohibir les teories d'origen jueu, com la relativitat i van privilegiar la intuïció i l'empirisme enfront de la raó, perquè algunes teories científiques contradieien pretensions del nazisme, per exemple, l'equivalència dels observadors o descobriments biològics i antropològics que no concordaven amb el racisme. Açò va produir una gran disminució dels estudiants de ciències que passen de 12.951 en 1932 a 4.616 en 1936 i els d'enginyeria que es redueixen de 14.477 a 7.649 en el mateix període. També va disminuir la qualitat per l'expulsió de tants científics i la concessió de les seues places a persones seleccionades atenent a les seues simpaties amb els nazis. Els científics Lenard i Stark només van ser recolzats pels nazis inicialment. Però quan va començar la guerra el suport nazi es va dirigir cap a Heisenberg i altres representants de la física moderna, molt més productiva que la física ària

en el desenrotllament d'armaments. En les bombes volants van col·laborar físics com von Braun i en el projecte de bomba atòmica alemanya, a més de Heisenberg, Hahn (que va descobrir amb Strassman la fissió nuclear en 1938), Gerlach, von Weizsäcker, Wirtz, Harteck i altres. Encara que no van arribar a produir la bomba per falta de recursos econòmics, van aconseguir un reactor nuclear, produir aigua pesada, separar els isòtops de l'urani, etc. Només científics consagrats com Planck, Sommerfeld o von Laue van poder romandre al marge.

Una altra característica del nazisme va ser la utilització de milions de presoners de guerra i ciutadans deportats dels països de l'Est per a treballar en la indústria militar alemanya (Krupp, IG Farben, Thyssen, etc.). També com a mà d'obra forçada per a traslladar els instituts d'Hahn i Heisenberg per a produir òxid d'urani, des de Berlín al sud d'Alemanya en Oranienburg. També es realitzaren experiments cruels i inútils amb presoners dels camps per alguns metges alemanys.

A Itàlia l'aliança de Mussolini amb Hitler, accentua el feixisme del règim. En 1938 es publica el "Manifest de les races", es promulguen lleis antijueves, es creen càtedres universitàries de racisme, es retiren llibres d'autors jueus o antifeixistes. El científic italià amb més prestigi era Fermi, que no desitjava anar-se'n del seu país i ho havia demostrat en diverses ocasions. Però quan va anar en 1938 a Estocolm a rebre el premi Nobel de física va aprofitar l'ocasió per a no retornar a Itàlia i anar-se'n als EUA, on es va convertir en un dels principals científics del projecte Manhattan. Altres deixebles seus, com Segre el van seguir.

A Espanya, amb el triomf de Franco al final de la guerra, s'exilien alguns científics de talla internacional. Així Blas Cabrera es va exiliar a París i després a Mèxic, on va

morir. Enric Moles va anar a París, on l'anomenaren Maître de Recherches del CNRS. Fugint dels alemanys va tornar a Espanya en 1941 on va ser condemnat a mort i, commutada la sentència, empresonat per 30 anys. Alliberat per acomplir 60 anys en 1945, mai recuperà la càtedra i hagué de treballar en laboratoris privats. Arturo Duperier es va exiliar a Londres en 1939 on va treballar en l'Imperial College. La seua tornada a Madrid va tindre lloc en 1953, sofrint grans dificultats burocràtiques. Josep Royo hagué d'exiliar-se a Colòmbia, on va fundar el Museu geològic de Bogotà, hui anomenat museu Royo Gómez. En 1951 es va traslladar a Caracas com professor de Geologia de l'escola de Mines, on va morir..

Els que s'hi queden són desterrats o postergats i els cossos docents depurats. Un exemple es Miguel Catalán que no va recuperar la seua càtedra fins l'any 1946. Aquests llocs foren coberts atenent més a les afinitats amb el règim franquista dels candidats que als seus mèrits. La ciència i la tecnologia haurien de ressentir-se durant decennis d'aquestes pèrdues, així com de la reducció en el finançament de la investigació i de l'hostilitat del nacional catolicisme triomfant cap a la ciència moderna (que produeix, per exemple, la pràctica desaparició de la docència de l'evolucionisme).

Es dissol la prestigiosa Junta per a l'Ampliació d'Estudis i Investigacions científiques (JAE) i es crea el Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC). L'equip dirigent que va inspirar les estructures i orientació inicial del CSIC van ser José Ibáñez Martín, de l'Associació Catòlica Nacional de Propagandistes, Ministre d'Educació de 1939 a 1951 i president del CSIC de 1939 a 1967, i José M^a Albareda, membre de l'Opus i Secretari del CSIC de 1939 a fins a la seua mort l'any 1966. Malgrat els condicionaments ideològics del CSIC, va afavorir més la

investigació científica i tècnica que la Universitat. Entre 1940 i 1955 un 42 % dels investigadors del CSIC eren químics (cal recordar que Albareda també ho era), un 12.7 % filòsofs, un 12 % metges, un 11.5 % biòlegs, un 10 % farmacèutics, un 2 % matemàtics, un 2 % físics i un 2 % enginyers, cosa que ens pot indicar els camps d'investigació coberts.

Després de la Guerra Civil, en 1942 es va crear el Institut Nacional de Tècnica Aeronàutica (INTA), depenent del Ministeri de l'Aire, del que va ser president Terradas. En ell es va investigar sobre materials i combustió, però la connexió entre la recerca militar i la civil no va existir. En 1951 es va crear la Junta d'Energia Nuclear (JEN), depenent del Ministeri d'Indústria, que en 1958 va construir un reactor nuclear amb l'ajuda dels nord-americans.

CAPÍTOL 5.

Els dos pilars de la ciència: armaments i noves tecnologies

El gran desenrotllament de la ciència en el segle XX és fruit d'una gran inversió dels estats a la vista del gran paper que la ciència pot jugar en el desenvolupament de nous armaments que aporten avantatges en el cas de conflictes bèl·lics i, també, d'una gran inversió de les empreses, que s'inicia amb els primers laboratoris industrials esmentats en el capítol anterior, a causa dels beneficis que poden aportar-los les noves tecnologies basades en la ciència.

Les Guerres i el desenrotllament de la Ciència i la Tecnologia

En totes les èpoques s'ha aplicat la ciència a fins militars: des d'Arquimedes al càlcul de la trajectòria d'una bala de canó passant per la formació d'enginyers i artillers

militars. No obstant, fins al segle XX la ciència va exercir només un paper subordinat en la guerra.

Per això l'aportació dels científics va ser poc valorada pels aliats en els inicis de la Gran Guerra i s'enviaren alguns científics joves al front, com per exemple Moseley a Gallipoli, on va morir en l'any 1915. Posteriorment, la carència de productes químics importats d'Alemanya (tints, acetona, fenol) i la necessitat de detectar els submarins U alemanys (primer amb micròfons i després mitjançant l'eco d'ultrasons), van obligar a utilitzar la ciència en eixa guerra, que ha sigut denominada amb freqüència la guerra de la química. Aquesta va poder exercir un paper molt important perquè la indústria química (més desenrotllada que la relacionada amb la física) va ser capaç d'aportar productes com els explosius, els gasos tòxics o els tints. Un exemple característic és el problema que se li planteja a Alemanya quan el bloqueig naval, impedeix les seues importacions d'adobs (nitrat de Xile). La síntesi de l'amoníac d'Haber i Bosch, realitzada en 1913 a l'empresa BASF, va permetre a Alemanya abastir-se del producte i produir les municions i fertilitzants que necessitava. Aquesta síntesi de l'amoníac, per la qual en 1918 es va concedir el premi Nobel de Química a Haber, posa al seu torn de manifest com la ciència pot ser utilitzada tant per al desenrotllament de l'agricultura i el benestar de la humanitat com per a la guerra.

En canvi, en la II Guerra Mundial, era evident per a tots els estats implicats, que la ciència anava a exercir un paper decisiu. Els grans projectes per a alliberar l'energia del nucli atòmic: el "projecte Manhattan" nord-americà, que va acabar amb la construcció i el llançament de les primeres bombes atòmiques en Hiroshima i Nagasaki en 1945 i el "Uran-Verein" alemany. El projecte radar, per a

localitzar avions o blancs de bombardeig amb ones de ràdio, en el marc del qual es va realitzar la investigació en semiconductors que va donar impuls a la microelectrònica de la postguerra. En el projecte Manhattan es van invertir 2191 milions de dòlars i van participar físics exiliats d'Europa com Bethe, Teller, Wigner, Peierls, Szilard, Weisskopf, Franck, Fermi, Segre, Bohr, i nord-americans com Oppenheimer (director científic), Feynman, Lawrence, Compton, Seaborg, Urey, Álvarez i Wheeler. En el "projecte radar" es van gastar al voltant de 2500 milions i entre els físics que van treballar en el RadLab (alguns repartint el seu temps amb els Álamos) figuren Condon, Rabí, Morse, Slater, Álvarez, Bethe, Schwinger, etc. Recentment s'ha subratllat que el projecte Manhattan no haguera tingut èxit sense el gran desenrotllament industrial dels EUA (és particularment remarcable la contribució de la gran multinacional química Du Pont de Nemours). Altres projectes bèl·lics, a més del radar i la bomba atòmica, són la producció de penicil·lina o el desenrotllament de coets (les bombes volants alemanyes. En resum, aquests projectes suposen l'aplicació sistemàtica de la ciència i la tecnologia a la guerra, establint contactes entre política, exèrcit, indústria i ciència en una mesura desconeguda fins llavors i obligant a una gran organització de la investigació.

Ciència, Tecnologia i Guerra freda

El desenrotllament de la bomba atòmica per EUA en 1945 suposa l'inici de la guerra freda i de la carrera nuclear, que prossegueix en ser produïdes noves bombes a l'URSS en 1949 i al Regne Unit en 1952. La rèplica nord-americana va ser l'autorització en 1950 per Truman d'un nou programa d'investigació per a desenrotllar la bomba H, aconseguida en 1952. Açò porta als soviètics a produir

la seua bomba H en 1953 i als anglesos en 1957. Paral·lelament es tractava de convèncer a l'opinió pública, mitjançant campanyes com la de "àtoms per a la pau", iniciada en 1954 per Eisenhower, que la investigació nuclear realitzava contribucions no bèl·liques, com la producció d'energia elèctrica mitjançant centrals nuclears. Però no cal oblidar que l'origen dels reactors va ser la producció de material fissible, com en el cas dels nord-americans d'Oak Ridge (1943) i Hanford (1944) i l'anglofrancès de Chalk River (Canadà) de 1947. La següent aplicació dels mateixos va ser la propulsió de submarins, com el Nautilus en 1955, als que dotava de gran autonomia de navegació. Fins a 1956 dos anys després de l'inici de la campanya propagandística, no es posa en marxa la primera central nuclear productora d'electricitat en Calder Hall (Gran Bretanya) i en 1957 la de Shippingport (EEUU). Per això, quan alguns països han volgut convertir-se en potències nuclears han començat instal·lant eixes centrals. En la dècada dels 60 General Electric i Westinghouse inicien el desenrotllament de la indústria nuclear nord-americana, però els tristament famosos accidents de Three Mille Island (1979) i de Chernobil (1986), junt amb altres problemes de contaminació radioactiva i l'irresoluble problema dels residus nuclears han produït una gran oposició popular cap les centrals nuclears, que es resumeix en la consigna "Nuclear no, gràcies". L'impacte electoral d'eixa oposició ha fet que molts governs, malgrat les pressions de les companyies elèctriques, convoquen referèndums amb resultats adversos a les centrals, com Suècia, Suïssa i Àustria. En la resta dels països avançats (excepte Japó) no es construeixen noves centrals nuclears, es à dir, de fet hi ha una moratòria. I, per últim, encara que alguns sectors estiguen aprofitant el problema del canvi climàtic per a defensar la construcció de noves centrals nuclears, al·legant

que aquestes no produeixen diòxid de carboni, hi ha països, com Alemanya que s'han plantejat no sols la moratòria, sinó desmantellar les centrals existents.

No obstant, açò no ens ha de fer oblidar que els radioisòtops han permès grans avanços en una sèrie de dominis: la medicina i la biologia, arqueologia, geologia, metal·lúrgia i construcció, anàlisi i investigació química, agricultura, etc. Les aplicacions dels radioisòtops en eixos camps es poden dividir en tres categories:

- Com a fonts de radiació (igual que els raigs X). S'utilitza en medicina, per a tractar malalties com el càncer (radioteràpia); en agricultura, per a esterilitzar aliments, combatre plagues, crear noves varietats de blat (produir canvis genètics); en química, per a activar reaccions.

- L'acció de la matèria sobre las radiacions (absorció, dispersió) ens dóna informació sobre la pròpia matèria. En indústria i construcció s'utilitza per a determinar estructures internes de metalls o formigons (gammagrafia); també en diagnòsis mèdiques.

- Com a traçadors, categoria d'utilització més estesa. En medicina i biologia, el seguiment dels fluxos d'elements químics en l'organisme, les anomalies en el funcionament d'algun òrgan, etc.; en anàlisi de reaccions químiques, per a seguir el curs de un procés, indicant los compostos que es van formant; en el transport de fluids (oleoductes), detecció de fugues; en anàlisis hidrològiques (connexions de corrents subterrànies); estudis geològics (moviment de terrenys); o estudis de l'edat de restes vegetals i animals fossilitzats mitjançant tècniques com la del carboni 14.

Molt vinculada amb la producció d'armes nuclears està la tecnologia aeroespacial ja que els coets junt amb els avions bombarders i els submarins nuclears, constitueixen els principals vectors estratègics de l'arma atòmica. Quant

als coets, després dels desenrotllaments pioners en la dècada dels 20 de Tsiolkovski (URSS), Goddard (EUA) i Oberth (Alemanya), la primera fita important són les instal·lacions de Peenemunde, dirigides des de 1937 per Von Braun, que van desenrotllar el coet V-2 en 1942, utilitzant-lo massivament contra el sud d'Anglaterra en 1944. Els soviètics van desenvolupar un míssil balístic intercontinental (ICBM), el T-3 de 8000 km d'abast, provat amb èxit en 1957, setmanes abans del llançament del satèl·lit Sputnik. Açò va produir una commoció als EUA, que va desencadenar la carrera espacial, la creació de la NASA en 1958 i una intensificació en la investigació i en l'ensenyament de les ciències (la miniaturització electrònica va formar part d'aquests esforços). En 1958 apareix el Thor nord-americà amb un abast de 1900 km, es llança el satèl·lit Explorer i en 1959 l'Atlas D amb unes característiques semblants al T-3. En posar els soviètics en òrbita al voltant de la Terra a Gagarin en 1961, el president Kennedy aprova el programa Apol·lo, en el que va exercir un paper fonamental Von Braun, i que va portar al primer allunatge en 1969. Posteriorment s'imposen criteris de rendibilitat, la qual cosa dóna lloc al desenrotllament del transbordador espacial, el primer vol del qual es realitza en 1981. Amb ambdós mitjans s'han posat en òrbita milers de satèl·lits artificials que han permès un gran desenrotllament de l'espionatge militar, de les telecomunicacions via satèl·lit, de la informació meteorològica i de l'adquisició de nous coneixements científics sobre la Terra (sobre la capa d'ozó, la vegetació, els processos de desertització, etc.) i sobre l'espai exterior (telescopis com l'Hubble que permeten fer observacions sense perturbacions atmosfèriques).

El complex militar industrial

Aquests contactes entre política, exèrcit, indústria i ciència, abans esmentats, van donar origen, sobretot en els EUA al denominat complex militar industrial, pel qual el Pentàgon, la NASA, el Departament d'Energia i altres institucions estatals, es van convertir en un component fonamental del finançament públic de la indústria avançada, transferint sobre els ciutadans (via impostos), els elevats costos de R+D (recerca i desenvolupament) de les indústries.

Actualment és difícil trobar una branca del coneixement que no estiga fent contribucions a l'esforç bèl·lic: les matemàtiques (amb contribucions de la teoria de jocs a la presa de decisions estratègiques o de la teoria de nombres a la criptografia), la lingüística (codis secrets), la biologia (utilització de virus i bacteris com a armes), la medicina, la història (justificacions ideològiques dels conflictes), electrònica i informàtica (destruir les telecomunicacions i crear un caos en els sistemes informàtics) o la psicologia. Així, la guerra psicològica ha afavorit el desenvolupament de les mines antipersonals, ja que a més del seu baix cost, es va comprovar que és més eficaç que l'enemic tinga més ferits i mutilats que morts, perquè requereixen més esforços d'organització i trenquen més la moral. Un exemple del caràcter cada vegada més científic tecnològic de la guerra el vam tenir en la guerra del Golf. I no sols pels bombardeigs, que per la seua asèpsia i precisió, semblaven extrets d'un joc d'ordinador. Però açò suposa, d'una banda, avions i míssils tecnològicament molt avançats i, per una altra, un ferri control de les imatges, servides mundialment per CNN, evitant mostrar en tot moment la cara bruta de la guerra, la visió de la qual tant va contribuir a les protestes contra la guerra del Vietnam. Però aquesta cara es posa de

manifest quan anys després es comprova que dels 750.000 soldats participants un 12 % pateixen el conegut símptoma de la guerra. Paradoxalment, una de les causes és la creixent medicació, l'excés de tractaments per a previndre els efectes de l'armament químic i biològic. En concret, vacunes contra el còlera, tètans, tifus, hepatitis B, poliomielitis, febre groga, àntrax i altres plagues, pastilles contra el gas nerviós i forts insecticides.

La caiguda dels règims comunistes i el final de la guerra freda feia preveure una reducció de la despesa en R+D militar i més si es té en compte que l'estoc d'armaments de les grans potències és tan gran que té el poder d'extingir la vida a la Terra mes de 20 vegades. Alguns esperaven que aquests diners s'invertiren en ciència o en la conquesta de l'espai, però açò no ha sigut així, com s'ha pogut apreciar en els retalls en el finançament de la NASA (que tant van contribuir als defectes de l'espill principal del telescopi Hubble ficat en òrbita en 1990) o en la cancel·lació del projecte de l'accelerador de partícules SSC (Súper col·lisionador superconductor) en 1993. Altres apostaven per un increment de la despesa social o de l'ajuda al tercer món (campanya del 0.7 %, condonació del deute extern). Però com açò pot retallar els beneficis de les multinacionals de l'aviació, l'electrònica o els ordinadors, s'opta per seguir mantenint la dinàmica militar industrial i una de les primeres mesures de Georges W. Bush ha sigut reactivar el vell projecte de l'escut antinuclear que ja va mostrar la seua inviabilitat en la "guerra de les galàxies" de Reagan.

L'electrònica i les seues aplicacions

Possiblement, l'electrònica siga una tecnologia tant important per a l'evolució de la humanitat com ho va ser

la màquina de vapor i recentment s'han celebrat els dos aniversaris del descobriment i l'invent que la originaren. El primer és el descobriment de l'electró en 1897 i el segon la invenció del transistor en 1947. Ambdós, ens ajudaran a comprendre algunes dificultats dels descobriments científics. Així molts pensen que els descobriments comencen amb l'observació, però en realitat el que hi ha al inici és un problema, un programa d'investigació. En el primer cas es tractava de l'estudi de la conductivitat dels gasos, encetat en 1858, després de l'èxit en l'estudi de la conductivitat dels metalls per Ohm i dels electròlits per Faraday. En un tub de vidre, on s'havia fet el buit, i que portava en cada extrem una placa metàl·lica, van trobar que quan aplicava una diferència de potencial a les plaques el tub era travessat per un raig lluminós, els anomenats raigs catòdics. En 1897 Thomson va aclarir que es tractava de partícules, els electrons. L'existència d'una partícula menor que l'àtom implicava que aquest no era indivisible, com s'havia pensat fins a eixe moment, en altres paraules, els àtoms no eren els constituents últims de la matèria. En eixe sentit es considera que l'electró va ser el primer descobriment de partícules més fonamentals que l'àtom, es dir, la primera d'una llarga sèrie que vindria després (el fotó, el protó, el positró, el neutró i un llarg etc.) i que va desembocar en la constitució d'una nova branca de la ciència, la física de partícules elementals.

Però també el descobriment de l'electró ha estat la base del desenvolupament de l'electrònica. Afegint més plaques metàl·liques al tub de raigs catòdics Fleming va inventar el díode en 1904 i de Forest el tríode en 1906. El primer rectificava el corrent elèctric, el segon l'amplificava. La primera aplicació va ser la radio i en la dècada de 1930 la majoria de les llars dels països industrialitzats posseïen ràdios de vàlvules, que van substituir als antics aparells de galena. Eixa tècnica electrònica va durar fins ben entrats

els anys 50 i amb ella es construïren els primers televisors. En 1932 Zworkyn descobreix la primera càmera de televisió elèctrica. Els receptors de TV incorporaven tubs de raigs catòdics en blanc negre. En 1950 la companyia americana CBS desenrotlla el sistema de televisió en color.

El gran desenvolupament de l'electrònica, convertida en la tecnologia més important del segle XX, es produeix quan l'antiga electrònica de vàlvules es desplaçada per l'electrònica d'estat sòlid. Les dues es basen en el control del comportament dels electrons mitjançant camps elèctrics, però la primera ho fa en el buit i la segona en semiconductors. El comportament dels electrons en els semiconductors s'explica per la teoria quàntica, per mitjà de la denominada teoria de bandes. En efecte, igual que succeïx amb les molècules, quan els àtoms s'uneixen per a formar un sòlid, la interacció dels electrons més externs provoca la deslocalització de les distribucions de probabilitat electrònica per tot el cristall. Els nivells energètics d'eixos electrons, a causa de les seues interaccions, prenen valors d'energia que difereixen molt poc entre si, originant una sèrie de nivells pràcticament continus (anomenats bandes). Entre dites bandes hi ha zones no permeses energèticament (bandes prohibides).

La fita crucial es la invenció en 1947, del transistor de contacte per J. Bardeen, W. Brattain i W. Shockley fruit d'un projecte d'investigació sobre semiconductors dels laboratoris de Bell Telephone, encetat els anys 30. El projecte radar, desenvolupat en la segona guerra mundial per tal de millorar la detecció i reduir la grandària dels radars, va potenciar aquestes investigacions. Els resultats obtinguts van permetre restringir els treballs de la postguerra al silici i al germani, amb l'objectiu de produir un dispositiu que amplificara el corrent, com el tríode. Els primers dispositius semiconductors eren tan grans com les

vàlvules més menudes i més cars, es a dir, inicialment la tecnologia de vàlvules era superior a la de semiconductors. Però l'exèrcit dels Estats Units conscient dels avantatges de la possible miniaturització, va subvencionar la investigació i el desenvolupament. Eixa miniaturització i les seues conseqüències de disminució del consum energètic i augment de la velocitat d'operació, no s'ha aturat fins l'actualitat i va permetre el desenvolupament ja en 1954 en EUA de la primera radio de transistors, anomenada erròniament “transistor”.

Altres descobriments importants de l'electrònica de semiconductors han sigut la invenció del circuit integrat, en 1958, per Kilby, que el va patentar en 1959 i, aqueix mateix any, Noyce realitza la mateixa patent, però amb l'actual tecnologia planar. En 1970 Ted Hoff i l'empresa Intel desenrotllen el primer microprocessador. Un circuit integrat connecta diversos dispositius electrònics en un sol xip de silici (Si). Es fabrica a partir de lingots de Si policristal·lí pur de 20 cm de diàmetre, que es tallen en oblees de 0.7 mm de gruix. Es dipositen fines capes i per successives fotolitografies es repliquen màscares fotogràfiques de les distintes parts del circuit en diferents capes. Eixes màscares, complexes com el plànol d'una ciutat, s'elaboren amb ordinador i s'obtenen per reduccions fotogràfiques successives. Els ions dopadors es projecten sobre la superfície amb un accelerador. Aquestes operacions es realitzen en sales blanques (amb 30 partícules per m^3 quan allò normal són 530 milions). Posteriorment es trenca l'oblea en xicotets rectangles, cada u dels quals conté un circuit integrat complet. Els transistors obtinguts tenen una grandària de centenars de nanometres (0'000001 mm), per la qual cosa cada circuit pot tindre de 2 a 8 milions de transistors. El microprocessador es la unitat central de procés (on es processen les instruccions dels programes que utilitza

l'ordinador i es controla el funcionament dels distints components del mateix) integrada en un sol xip.

Aquest desenrotllament ha originat una sèrie d'indústries electròniques que poden incloure's en un o més dels següents grups: components, comunicacions, control (ocupació de dispositius electrònics en el maneig i control de màquines, base de l'automàtica i la robòtica) i ordinadors. Els productes de l'electrònica estan presents en totes les esferes socials: en la indústria, en l'administració, en els habitatges (electrodomèstics, ordenadores personals) o en l'armament. Les seues implicacions en la vida dels homes són múltiples i no totes positives com l'increment de la productivitat, la generació de noves ocupacions o l'augment de la qualitat de vida. També s'esmenten altres negatives com el seu paper en la destrucció d'ocupació o en el control de la intimitat de les persones.

Els ordinadors

Entre els seus antecedents es parla de les màquines, inspirades en els mecanismes de rellotgeria, que realitzaven operacions aritmètiques elementals, construïdes per Pascal en 1645 i trenta anys després per Leibniz i de la màquina que va idear en 1833 el britànic Charles Babbage i que, al llarg dels següents anys, va tractar de construir sense aconseguir-ho. La va anomenar màquina analítica i havia de permetre realitzar les quatre operacions fonamentals sobre nombres de fins 50 xifres continguts en una memòria, segons les indicacions d'una programa de càlcul registrat en una tira de paper perforat, seguint una tècnica semblant a la desenrotllada per Jacquard per al teler automàtic. El seu disseny va aconseguir gran fama pel fet que va establir la separació de

memòria i càlcul i un funcionament controlat per programes.

Però els principals desenrotllaments es produeixen entre 1936 i 1946, en els que es passa de les calculadores mecàniques (amb rodes dentades i targetes perforades) a les electromecàniques (constituïdes per interruptors elèctrics o relès, dispositiu digital en els que la circulació de corrent representava l'1 i la interrupció del flux 0). Aquest tipus de màquines és considerablement més ràpid que les de tipus mecànic i també més fiable. Finalment, s'inicien les electròniques (de vàlvules), 1000 vegades més ràpides que les electromecàniques.

En 1934 l'alemany Konrad Zuse va planificar una calculadora, que va patentar en 1936. En 1938 el Z1, mecànic, estava preparat i en 1939 el Z2, de relès. Cridat a files aqueix any, en 1941 va ser destinat a la construcció de calculadores per a la Luftwaffe, que van contribuir a la posada al punt de les bombes volants. En 1935 Atanasoff, de la universitat d'Iowa, va iniciar una calculadora electrònica, la construcció de la qual no va poder finalitzar, al ser mobilitzat en 1942. En 1937, Aiken de la universitat d'Harvard, va projectar el Mark I, mecànic, construït per IBM i inaugurat en 1944. Es dir, encara que s'atribueix a la II Guerra Mundial el desenrotllament de l'ordinador, aquest és anterior i la guerra va interrompre els treballs de Zuse, Atanasoff i IBM, però també es cert que després va aportar finançament i objectius militars.

Així, Stibitz enginyer de la Bell, va construir un computador només amb relès en 1940 i 4 més per a la US Air Force, l'últim en 1946 amb 9000 relès. Els matemàtics Turing i Newman i l'enginyer Wynn-Williams, que treballaven per als serveis secrets anglesos des de 1940, van finalitzar en 1943 el Colossus, la primera calculadora electrònica amb 1500 vàlvules per al desxifrat de codis

secrets i en 1944 el Colossus II amb 20000. El secretisme militar va fer que es destruïren i va impedir que els anglesos traqueren partit comercial de el seu avantatge.

La línia de més futur passa pel físic Mauchly i l'electrònic Eckert, que a partir de les idees de Atanasoff van projectar en 1943 l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator), amb 18000 vàlvules, finalitzat en 1946. Aquesta màquina necessitava ser reprogramada, per la qual cosa les electromecàniques de Stibitz resultaven més ràpides. Per això, ambdós científics, al costat del famós matemàtic von Neumann, van projectar en 1945 l'EDVAC amb les característiques bàsiques del funcionament dels ordinadors. que hui coneixem com: emmagatzemament de programes en una memòria física i recorregut pas a pas, de forma seqüencial, de les instruccions emmagatzemades. La seua construcció va finalitzar en 1951. En base a aquestes idees, Wilkes va construir abans, en 1947, l'EDSAC a la Universitat de Cambridge. Aquest desenrotllament no va estar exempt de disputes de prioritat (fins i tot a nivell judicial) entre Aiken i IBM, Mauchly i Eckert contra Atanasoff primer i von Neumann després. Ací també és evident el caràcter col·lectiu del procés d'invenció o el que és els mateix, la inexistència d'un geni fundador i que no es poden atribuir tots els èxits dels ordinadors als EUA oblidant els treballs realitzats a Alemanya o el Regne Unit. Aquestos desenvolupaments són el que s'anomena primera generació d'ordinadors, es correspon amb l'ús de vàlvules de buit i relès electromagnètics per a l'emmagatzemament de dades,. El nombre de components per decímetre cúbic és de deu. Així l'ENIAC pesava 30 tones i consumia 174 kilowats.

La segona generació s'inicia l'any 1952, quan els transistors substitueixen a les vàlvules de buit i s'utilitzen

memòries de ferrites. Cada ordinador conté prop d'un centenar de components per decímetre cúbic. Apareixen els primers ordinadors comercials amb una programació prèvia (sistema operatiu) que interpreten instruccions escrites en llenguatges de programació com el Fortran o el Còbol. La tercera generació el 1964 amb la introducció del circuit integrat (xip) com a suport d'informació, la qual cosa permet disposar de diversos milers d'elements per decímetre cúbic. Gràcies a això es redueix significativament la grandària i el cost dels ordinadors, al mateix temps que augmenta la seua velocitat i les seues prestacions. En la quarta generació (1971), s'avança en l'escala d'integració dels circuits integrats, donant lloc al circuit microprocessador que integra tots els circuits de la unitat central de procés l'ordinador en un xip. La miniaturització i abaratiment de costos també va propiciar l'aparició en 1977 de l'ordinador personal o PC Apple II. Es parla de cinquena generació amb l'aparició en 1981 del PC d'IBM, la gran difusió del qual al mercat el converteix en part de les necessitats actuals i dels objectes de presència constant i generalitzada en la vida quotidiana. En aquesta última generació es dona major èmfasi a la intercomunicació usuari - ordinador, en un intent d'aproximar cada vegada més el llenguatge de l'ordinador a la forma de comunicació natural de les persones i al llenguatge convencional.

Molts autors posen de manifest una idea d'informàtica que prioritza programes, els llenguatges de programació, les estructures lògiques i les arquitectures internes (i centren l'èmfasi en Babbage, Turing i von Neumann). A més, els propis usuaris, davant de la complexitat dels artefactes, tendeixen a desenrotllar plantejaments de "caixa negra". Tots ells obliden els desenvolupaments científics i tècnics que constitueixen el suport de la informació, com aquells que defensen una

imatge idealista de la intel·ligència, que ignora el paper del cervell i de l'organisme. Per tot això, distingim les distintes generacions no sols dels programes, llenguatges, etc. sinó també dels dispositius.

El làser i els nous materials

La paraula làser provenen de les inicials de *light amplification by stimulated emission of radiation* (amplificació de llum per emissió estimulada de radiació).

L'acció del làser es basa en la teoria quàntica. Les primeres idees sobre emissió estimulada de radiació foren establertes per Einstein en 1917. Un àtom pot absorbir un fotó si la seua energia correspon a la diferència entre l'energia de l'electró i la d'un estat disponible. Si l'àtom es troba en l'estat excitat, l'electró pot passar espontàniament a l'estat inferior emetent un fotó i també quan un fotó de la mateixa freqüència arriba a l'àtom excitat. Aquest fenomen es denomina emissió estimulada i els dos fotons estan en fase.

Com normalment els electrons es troben en l'estat més baix, els fotons incidents s'absorbeixen. Per a obtenir llum amplificada per emissió estimulada s'han de complir dues condicions. Primera, els àtoms del material utilitzat han d'excitar-se prèviament a l'estat superior perquè l'emissió predomine sobre l'absorció. Segona, l'estat superior ha de ser metastable a fi que la transició a l'estat inferior tinga lloc per emissió estimulada i no espontàniament.

Aquestes i altres dificultats van provocar que aquesta nova tecnologia s'iniciara a finals dels anys 40, quan N. Bassov, A. Prokhorov i Ch. Townes van realitzar investigacions sobre l'amplificació de microones, que va

portar en 1945 a la construcció del primer làser operatiu. Van rebre per això el premi Nobel de 1964. En 1957 Gordon Gould i Ch. Townes van plantejar una amplificació anàloga de la llum, la qual cosa va conduir en 1960 al primer làser de robí satisfactori.

Les múltiples aplicacions del làser comencen cap 1980 i es poden mencionar les següents: com a lectors (de codis de barres en los supermercats, de discos compactes CD i de videodiscs), bèl·liques (direcció de projectils), industrials (direcció de túnels, soldadura i gravat de metalls, perforació de materials durs, tall de teixits), mèdiques (microcirurgia), científiques (faciliten las experiències d'interferència, difracció), artístiques, impressores làser, holografia, etc. Ha donat lloc a una tecnologia nova que es crida optoelectrònica i inclou les telecomunicacions per fibra òptica, així com els sistemes d'emmagatzemament de dades d'ordinador en CD. La utilització del làser en optoelectrònica es basa en el fet que la llum és preferible a les ones de radio per a transmetre informació perquè la quantitat de dades transmeses augmenta amb la freqüència de l'agent emprat.

Encara que la utilització de materials acompanya l'home des de la prehistòria (edats de pedra, bronze i ferro), és a partir de la segona revolució industrial quan s'inicia la producció dels materials, en especial pels avanços en siderúrgia i en química. En les dècades dels 50 i 60 es produeix el gran desenrotllament de nous materials: polímers (plàstics, fibres), aliatges, ceràmiques, composites (compostos de ceràmiques, fibres, metalls, vidres o plàstics), materials semiconductors, dels que ja s'ha parlat en un apartat anterior, i superconductors. Aquesta última propietat va ser descoberta en 1911 per Kamerling - Onnes en metalls a temperatures inferiors a -

269 °C (4 K), la de l'He líquid. Entre 1950 i 1970 s'aconsegueix la temperatura de l'hidrogen líquid, -253°C (20 K), amb compostos de niobi. Però el gran descobriment són els superconductors ceràmics d'alta temperatura (-243°C, la del neó líquid) en 1986 per G. Bednorz i A. Muller. En 1988 es van aconseguir els -163°C (per damunt del nitrogen i oxigen líquids, refrigerants més barats que els abans esmentats) amb compostos d'òxid de coure (amb impureses d'Itri i Bari). Això fa que projectes que depenen d'aquests fenòmens estiguen més pròxims: la transmissió de corrent sense resistència elèctrica, l'emmagatzemament d'energia, trens de levitació magnètica, equips per a detectar camps magnètics cerebrals molt dèbils, dispositius de commutació ultraràpids per a aplicacions d'ordinadors, etc.

Biotecnologia i enginyeria genètica

Les noves tecnologies més recents i amb majors perspectives de desenrotllament són les biotecnologies, que s'inicien en 1953, quan J. Watson i F. Crick descobreix que l'estructura de la molècula de ADN té forma de doble hèlice. En 1961 F. Monod i A. Lwoff descriuen la regulació genètica de la síntesi de proteïnes. No obstant això cal esperar fins a finals dels 60 perquè es puga parlar de biotecnologia i enginyeria genètica, consistent a aïllar i identificar material genètic d'un organisme i inserir-lo després en un nou organisme hoste. Per a això va ser necessari el descobriment de proteïnes que fan possible manipular el ADN de manera precisa. En 1967 de l'enzim ligasa que permet la unió de dos fragments de ADN en un ordre particular. En 1968 es van trobar els enzims de restricció que catalitzen el tall de ADN per llocs determinats. La meta era alterar el ADN de forma que

codifique instruccions per a una proteïna particular, la qual cosa es denomina ADN recombinant. Si eixe gen s'introdueix en una colònia de bacteris totes elles produiran la proteïna. Així, en 1978 es produeix per enginyeria genètica el primer medicament, la insulina humana. En 1986 es produeix per tecnologia de recombinació de ADN la primera vacuna contra l'hepatitis.

Si s'altera el ADN de cèl·lules germinals, es transmeten els canvis a la descendència, la qual cosa ha permès la producció d'animals i plantes transgènics, els denominats organismes genèticament modificats (OGM). Encara que es diga que l'espècie humana ha estat realitzant manipulacions de plantes i animals, els nous organismes arriben a una velocitat molt superior a la de l'antiga selecció artificial i, per això són difícilment controlables. Els científics qüestionen cinc categories de gens: els que produeixen resistència a insectes, a certs herbicides (el Roundup de Monsanto o el Basta d'AgrEvo) o a antibiòtics, els que provoquen esterilitat de les llavors (la famosa tecnologia "Terminator") i els que redueixen a altres al silenci. El problema és que aquests gens es transferisquen a altres plantes o bacteris. Per exemple, els marcadors que codifiquen la resistència a antibiòtics s'han utilitzat només per a facilitar la detecció de les cèl·lules en les quals el gen desitjat ha sigut introduït, però poden transformar-se i expressar-se en bacteris infecciosos. Un altre problema és el risc d'al·lèrgies per similitud d'una proteïna transgènica i un al·lèrgen o la introducció de l'àcid làuric (que estimula la producció de colesterol) provinent de soja modificada genèticament en la cadena alimentària. Aquest tema resulta ser molt conflictiu fins i tot entre països. Així, els EUA que han invertit molt de capital risc en OMG es neguen a etiquetar els aliments o productes que els contenen, apel·lant al tractat de lliure

comerç, en tant que la Unió Europea exigeix eixe etiquetatge des de 1998. D'altra banda, la possible alteració de ADN germinal en sers humans, molt més acceptada als països anglosaxons que en els europeus, també provoca molt de debat ètic i jurídic, perquè podria conduir a pràctiques eugèniques.

Una altra pràctica ha sigut la identificació de defectes en gens responsables de determinades malalties, per exemple, el responsable de la distròfia muscular en 1986, el de la fibrosi cística en 1989 o el de la corea de Huntington en 1993. Açò ha constituït la teràpia genètica i ha portat a una sèrie d'investigadors a noves formes de determinisme genètic, atribuint multitud de traços de caràcter o conductes socials (com l'homosexualitat, la intel·ligència, el tabaquisme, l'alcoholisme, la violència i un llarg etc.) a algun gen oblidant el paper jugat pel sistema social i l'aprenentatge. Aquestes anàlisis genètiques, d'una banda, poden permetre als pares prendre decisions respecte a embarassos els embrions dels quals presenten eixos defectes, però aquesta informació genètica ha de ser confidencial, en cas contrari les empreses i companyies d'assegurances poden utilitzar-la per a seleccionar treballadors i assegurats, conculcant drets humans fonamentals.

El projecte genoma humà es va posar en marxa en 1990 quan el govern dels EUA va decidir coordinar i finançar amb 3000 milions de dòlars una sèrie de programes, en universitats i Instituts nacionals de salut, per a identificar i localitzar els gens de l'espècie humana. També l'empresa privada va entrar en competència, en especial Celera Genomics, utilitzant un superordinador per a seqüenciar centenars de milers de fragments de ADN, sense saber la seua funció ni on es localitzen, amb l'objecte de patentar eixes dades. Aquest ha sigut un altre

tema molt controvertit ja que l'Oficina de Patents nord-americans va concedir el dret a patentar animals transgènics en 1987, encara que el mateix any va prohibir que es patentaren sers humans alterats genèticament. Al final aquesta competència es va resoldre mitjançant un acord pel qual el 26 de Juny del 2000 es va anunciar de forma conjunta entre el Projecte Genoma i Celera Genomics que s'havia completat pràcticament el genoma humà, que estava constituït per tan sols uns 40.000 gens, prou menys dels 100.000 que s'esperaven, basant-se en la hipòtesi del caràcter superior de l'espècie humana. No obstant, no sabem encara perquè serveixen molts d'aquests gens, que proteïnes codifiquen i com manipular-los. Per això, el següent pas seria desxifrar el denominat proteoma humà.

En resum, aquest capítol ens ha permès comprovar que totes aquestes noves tecnologies (nuclear, aeroespacial, electrònica, telecomunicacions, informàtica, enginyeria genètica) han sigut possibilitades per l'aplicació sistemàtica del coneixement científic. *S'està produint així un alt nivell d'integració entre ciència i tecnologia, constituint-se el que alguns autors denominen sistema ciència tecnologia. I aquest sistema té interaccions globals amb la societat i la naturalesa. Són globals perquè interactuen amb tots els sectors de la societat (en l'agricultura, indústria i serveis, en l'administració, en la configuració del poder polític, econòmic i militar, en les desigualtats entre les nacions, en els valors i concepcions del món, etc.) i afecten a la naturalesa a nivell global.*

CAPÍTOL 6

Economia, política, societat i cultura en la ciència del segle XX

En aquest capítol anem a veure com es finança la ciència i, en conseqüència, que objectius se li imposen, les desigualtats en la ciència (entre autonomies, entre primer i tercer món, entre homes i dones), com els estats no sols controlen el desenrotllament de la ciència assignant recursos, sinó que encara continuen exercint un cert control ideològic sobre la ciència. Finalment veurem les influències de la ciència en la cultura, en especial, la literatura i el cine.

La finançament de la ciència i la tecnologia.

Quan es parla de finançament de la ciència i la tecnologia es tracta del percentatge del producte interior brut (PIB) dedicat a recerca i desenvolupament (R+D). Així podem trobar que els Estats Units es gastava, en l'any 1985, un 2.77 % del PIB en R+D i en 1995 un 2.58 %, Japó un 2.81 % i un 3.0 %, Alemanya un 2.7 % i un 2.28

%, França un 2.26 % i un 2.34, el Regne Unit un 2.23 % i un 2.05 %, Itàlia un 1.13 % i 1.04 %, Espanya un 0.55 % i un 0.85 % i, per últim, la Unió Europea, un 1.91 % i un 1.92 %.

Eixos percentatges sols indiquen l'esforç relatiu i permeten comparar entre uns països i altres. Així es pot veure que Espanya està prou per davall dels altres països avançats i, per tant, que tenim una veritable dependència científica i tecnològica. També s'observa que en tots aquests països (excepte Japó) en la dècada que va de 1985 a 1995 eixe percentatge ha disminuït o s'ha mantingut constant. Es tracta d'una situació nova en el segle XX, en el qual eixe percentatge sempre havia crescut. De fet, D.J.S. Price, en els anys 60, va demostrar que els principals paràmetres quantitatius de la ciència (nombre de publicacions, de científics o de diners invertits), creixien exponencialment, es dir, es duplicaven en períodes de temps d'uns 15 anys. També la població del món té un creixement exponencial (i per això es parla d'explosió demogràfica que fins i tot pot superar el creixement de recursos), però com aquesta es duplica amb un període d'uns 50 anys, a la fi tots els habitants de la Terra serien científics i tots els diners es gastarien en ciència. Com això evidentment és absurd, Price va afirmar que a finals del segle es produiria un estancament del creixement exponencial de la ciència, que semblen confirmar les dades abans exposades.

Ara bé, els percentatges del PIB no ens diuen res respecte als diners totals invertits en R+D i com es distribueixen en les diferents activitats. Tampoc diuen qui paga la R+D ni qui la fa i, per últim, quins són els seus objectius prioritaris.

Així, respecte a l'esforç absolut els Estats Units es gastaren en 1988 uns 130 mil milions de dòlars en R+D. En altres paraules, quasi un 40 % de la ciència i la

tecnologia mundial és un assumpte dels nord americans. Respecte a la distribució en les diferents activitats, la investigació bàsica s'emporta aproximadament un 9 % de la inversió en R+D, la investigació aplicada un 18 % i el desenvolupament un 73 %. Es dir, la ciència i la tecnologia és una qüestió de desenvolupament tecnològic.

Un altre tema important és qui aporta eixos diners. La ciència i la tecnologia són finançades per l'estat i les grans empreses, moltes multinacionals. En els països avançats les despeses en investigació públiques són menors que les privades. Així en 1995 als EUA les empreses privades gasten un 1.8 % del PIB en R+D i l'estat un 0.78 %, a Japó un 2.1 % i un 0.9 %, a la Unió Europea un 1.2 % i un 0.72 %, a Itàlia un 0.6 % i un 0.44 % i, per últim, a Espanya un 0.4 % i un 0.45 %, respectivament. Per contra, als països que comencen a invertir en R+D la major part de l'esforç correspon a l'estat. Es veu que si a Espanya l'empresa privada invertirà en la mateixa proporció que en Itàlia es podríem trobar amb un percentatge semblant a l'italià. Si tenim en compte que quasi la meitat dels diners públics dels països avançats financen R+D de les indústries resulta que un 70 % de la R+D és una qüestió industrial. La resta es fa en les universitats i laboratoris públics.

Respecte als objectius de la R+D és ben conegut el dit popular de "qui paga, mana". Una de les grans prioritats de l'estat i les indústries d'armaments són els temes coberts sota l'eufemisme de defensa. Per això una gran part del pressupost estatal de R+D de les potències guanyadores en la segona guerra mundial s'inverteixen en desenvolupament nuclear i aeronàutic, electrònica militar, armaments químics i biològics, etc. Així, en els Estats Units, en els anys 60 es gastava un 80 % del pressupost federal de R+D en defensa. La contestació popular a la guerra del Vietnam va fer que baixarà al 50 % els anys 70.

En els anys 80, amb Reagan i la seua iniciativa de defensa estratègica, anomenada "guerra de les galàxies" va pujar al 70 %. En eixos anys, el Regne Unit invertia un 65 % i França un 49 %. Per contra, la República Federal Alemanya sols un 24 % i Japó un 17 % que en anys anteriors encara eren més baixos. Alguns autors diuen que el gran desenvolupament econòmic d'aquestos països (molt destruïts després de la segona guerra mundial) es pot explicar, en gran part, per les seues reduïdes despeses militars.

Abans es creia que es rendibilitzaven les inversions militars per transferència al sector civil (l'exemple típic, les centrals nuclears). Però, anàlisis recents posen de manifest que la competitivitat comercial dels Estats Units a penes s'ha beneficiat de la R+D militar. En 1972, la marina dels EUA disposaven de 8.372 patents, de les que només 17 estaven en procés d'adjudicació. Per contra, el departament d'agricultura tenia 1.423 patents i un ritme d'adjudicació 14 vegades superior. Açò s'atribueix que la R+D militar està més preocupada pel desenrotllament del producte que pel perfeccionament del procés de producció. És a dir, les forces armades estan interessades en productes d'elevada precisió i en xicotet nombre, per la qual cosa cada vegada és més difícil trobar aplicacions d'eixos productes al mercat civil.

Per últim, les despeses en R+D civil dels estats és distribueixen en capítols com la salut, energia, l'espai, agricultura, el creixement industrial i el progrés del coneixement. Però no convé sobrevalorar tota la investigació amb objectius civils. No es pot oblidar l'obsolescència planificada, és a dir, desenrotllament de productes que facen passar de "moda" els anteriors, fomentant el consumisme i el balafiament (característic sobre tot en productes farmacèutics, informàtics i electrònics).

Desigualtats en la ciència i la tecnologia

Ja hem vist que hi ha diferències entre el nostre país (una potència mitja) i els països avançats amb respecte al desenrotllament del sistema ciència tecnologia. Açò es deu al fet que la recuperació científica espanyola comença amb el desenvolupament de la dècada dels 60. Donades les escasses inversions en investigació i desenrotllament (R+D) realitzades pel règim franquista, el canvi tecnològic no podia recolzar-se en un desenrotllament autònom pel que es va basar en la importació de tecnologia i de saber fer. Així l'any 1964 el valor de les despeses en R+D era el 0.16 % del PIB, en 1975 era el 0.35 % i en 1982, encara es situaven en el 0.42 % del PIB i la iniciativa privada cobria menys del 20 % d'aquesta reduïda xifra. Com resultat d'això, els pagaments per transferència de tecnologia (licències i assistència tècnica i serveis) van ser de 79.000 milions de pessetes en 1982 mentre que els ingressos pel mateix concepte i any van ser de 16.000 milions.

En aquestos últims anys s'ha realitzat un gran esforç, que ha permès aconseguir 0.85 % del PIB dedicat a R+D en 1992, duplicant el percentatge de 1982, no obstant des d'eixe any pràcticament no ha variat. Ens trobem, per això, encara molt llunyans del 1.9 % de mitja als països de la Unió Europea. També el personal en R+D en tant per mil de la població activa d'Espanya en 1995 era un 5.1 i el de la UE un 9.5. Per això, el nivell de desenrotllament del sistema ciència tecnologia, tant en recursos econòmics com en nombre d'investigadors, és escàs; la participació de la iniciativa privada en l'esforç investigador també és escassa i, finalment, la incidència del sistema ciència tecnologia sobre el sistema productiu és

baixa.

Eixes comparacions també es poden realitzar entre les diferents comunitats autònomes de l'estat espanyol. En dades de 1999 es pot veure que la distribució de l'escassa inversió en R+D espanyola és molt poc homogènia. Crida l'atenció la situació de Madrid, amb un nivell elevat (un 1.64 %), lleugerament per davall de la mitja dels països de la UE. Eixa concentració de recursos, sobretot públics, és una altra manifestació de la inèrcia i vicis d'això que s'ha denunciat com centralisme. Després ens trobem amb el País Basc, amb un 1.16 %, i Catalunya amb un 1.06 % que s'aproximen a Itàlia, i Navarra, que amb un 0.93 % queda en el nivell mig d'Espanya (amb un 0.89 % en 1999). No és sorprenent ja que es tracta de les autonomies amb règim foral i amb el major sostre de competències transferides. La resta de les comunitats es troben entre el 0.74 % d'Aragó i el 0.25 % de les Illes balears. En el País Valencià eixe percentatge és del 0.62 %, encara per baix d'Aragó, Andalusia (un 0.65 %), Múrcia (0.65 %) i a la par de Castella i Lleó. Es a dir, en molts índex el País Valencià representa un 10 % de l'estat espanyol (per exemple, un 10 % de la població o del PIB). Però en inversió en R+D estem prou per baix d'eixe 10 % que ens correspondria. En altres paraules, les declaracions dels polítics sobre la modernitat del nostre país resulten difícilment creïbles si la Generalitat i el Govern central no inverteixen més per tal de millorar el nostre nivell en R+D.

I si açò succeeix amb un estat desenrotllat, com l'espanyol, què passarà amb els països del tercer món? Per a açò hi ha prou en esmentar unes dades. En 1990 els països del G-7 suposaven el 90.5 % de la manufactura d'alta tecnologia mundial i posseïen el 80.4 % del poder informàtic. Quant a les despeses en R+D, mentre que EUA suposava el 42.8 % del total mundial en 1990, i tots els països desenrotllats junts un 94 %, Amèrica Llatina i

Àfrica juntes representaven menys de l'1 %. També és crítica la diferència en recursos humans: el personal que treballa directament en R+D (no oblidem que hi ha altres titulats en ciències i enginyeria que treballen en l'ensenyament, en funcions directives, de producció i supervisió, o de control de qualitat) als països desenrotllats suposa el 89 % del total mundial.

Altres desigualtats: les dones i la ciència

Un altre problema que s'esmenta molt quan es parla de desigualtats en la ciència és el de les dones i la ciència. Es comenta que hi ha poques dones amb estudis científics, però si s'analitza el percentatge de dones a la universitat espanyola en 1993 en ciències experimentals és del 48.3 % (en 1982 del 47.2 %), en ciències de la salut del 66.9 % (en el 82 del 54.2 %) i en carreres tècniques del 22.7 % (el 12.2 % en el 82). I açò en un país com Espanya que no és dels més avançats respecte a la incorporació de la dona en tots els àmbits de la vida social. És a dir, l'afirmació només és certa en el cas dels estudis tècnics, però en el dels científics no és correcta. No obstant, la percepció social és eixa. A continuació veurem les raons.

Si preguntem el nom d'alguna científica la majoria de les persones sols són capaces de citar-ne una: Madame Curie nom amb el què es coneix habitualment Marie Sklodowska. En ella s'han reunit moltes variables perquè passe això: és la primera dona que va rebre un premi Nobel (el de Física en 1903) i la primera persona que ha estat premiada por segona vegada amb el Nobel (el de Química en 1911). Sols altres tres persones comparteixen el mèrit d'haver rebut dos premis Nobel (John Bardeen els de Física en 1956 i 1972, Linus Pauling el de Química en

1954 i el de la Pau en 1962 i Frederick Sanger els de Química en 1958 i 1980).

El fet de que es mencionen tan poques científiques és perquè la incorporació de les dones a la ciència és un tema recent. Des de l'antiguitat fins al segle XVIII la marginació científica de la dona no és més que un altre exemple de la seua marginació social. Però això no vol dir que estes contribucions no existiren. Algunes restaren amagades pel nom científic masculí (germà, marit) amb qui col·laboraven, per exemple les astrònomes Sophia Brahe i Caroline Herschel o la química, Marie - Anne Lavoisier. Per a que el nom d'una dona ens arribe a l'actualitat va haver de fer contribucions molt rellevants, com per exemple, Hypatia, directora del Museu d'Alexandria; Trótula de Salern, cirurgiana que va introduir la sutura amb fil de seda; Mary Montagu que va introduir a Europa la immunització contra la verola; Maria Mitchell, primera professora d'Astronomia en EUA; Williamina Fleming, que va descobrir set noves; Henrietta S. Leavitt, que descobrí la variació del període de les estrelles variables amb la lluminositat, cosa que ha permès determinar les distàncies de les galàxies; Cecilia Payne-Gaposchkin, que va explicar la composició de les atmosferes estel·lars. En el segle XIX, quan comença la institucionalització de la ciència apareixen llocs de treball per a científics, generalment com professors universitaris, també trobem poques dones en la ciència ja que fins a mitjans del segle no es permetia cursar a les dones estudis secundaris, raó per la qual no podien accedir a la universitat. Encara hauran d'esperar més temps per tal que se'ls permeta tenir una llicenciatura o un doctorat. Així sols comencem a aparèixer científiques destacades en els últims anys del segle XIX i principis del XX.

Però, tot i això, existeixen altres raons que emmascaren les seues contribucions recents. En primer

lloc, la ciència és un treball col·lectiu i només les aportacions molt destacades reben el cognom dels seus autors. Així en els estudis universitaris de física s'esmenta el teorema de Cauchy - Kovalevsky, el model nuclear de capes de Jansen i Mayer, l'explicació de les reaccions de fissió nuclear per Frisch i Meitner, el teorema de Noether, que relaciona la invariància de les lleis naturals sota transformacions amb els principis de conservació, el descobriment dels púlsars per Hewish i Bell o l'experiència de Wu i col·laboradors que va confirmar que la paritat no es conserva en les interaccions febles. Però ningú diu els noms, és a dir, que es tracte de Sophia Kovalevsky, Marie Goeppert-Mayer, Lise Meitner, Emmy Noether, Jocelyn Bell i Chien Shiung Wu. Els únics avanços on es va remarcar l'aportació femenina foren el descobriment de la radioactivitat natural i l'aïllament del radi i del poloni que li valgueren a Mme. Curie els premis Nobel i el descobriment de la radioactivitat artificial pel matrimoni Joliot - Curie.

En segon lloc el nombre de dones que han rebut el Premi Nobel en matèries científiques des de 1900 (primer any) fins a 1992 es pot contar amb els dits de les mans. De Física sols hi ha dues, M. Curie en 1903 i Marie Goeppert-Mayer en 1963. De Química 3, M. Curie en 1911, Irene Joliot Curie en 1935 i Dorothy Crowfoot en 1964. De Medicina i Fisiologia 6, Gerty Cori en 1947, Rosalyn Yallow en 1977, Barbara McClintock en 1983, Rita Levy-Montalcini en 1986, Gertrude Elion en 1988 i C. Nusslein-Volhard en 1995. Fins i tot hi ha científiques com Rosalind Franklin, que va investigar amb raigs X l'estructura de l'ADN, Ida Noddack que va predir la possibilitat de la fusió nuclear o les abans esmentades Lise Meitner i Jocelyn Bell, que no van rebre el premi Nobel, encara que altres científics que treballaren en el mateix camp d'investigació l'aconseguien.

En resum, hi ha una evident desigualtat històrica que s'està superant, al menys en les societats més avançades. Hi ha problemes en les carreres tècniques, que mostren un percentatge d'estudiants dones molt inferior a la mitja i també de manca de visibilitat de les contribucions de les dones al camp de la ciència, dels quals són responsables la forma de signar les publicacions i un sistema educatiu que no les dóna a conèixer. Per últim, de manca de reconeixement d'eixes contribucions científiques amb els llocs de treball científics superiors (catedràtiques d'universitat o investigadores principals) i amb premis destacats com el Nobel.

Control polític de la ciència en la segona meitat del segle XX

L'època de Stalin va ser una de les de major control en la història. Atès que els presoners d'abans de la II Guerra Mundial eren incapaços de construir fàbriques atòmiques, es van utilitzar els milions de presoners repatriats que van tornar a l'URSS procedents de camps de concentració alemanys i amb experiència adquirida a les fàbriques militars, al·legant que la rendició i el treball en captivitat per a l'enemic eren crims de guerra. Aquests milions de presoners van preparar els jaciments d'urani, van construir carreteres, comunicacions, fàbriques de purificació i enriquiment de l'urani i ciutats mineres. També van construir entre 1945 i 1956 dotze ciutats secretes per al desenrotllament d'armes nuclears (com Arzamas-16 o Krasnoyarsk-26 i 45, dotades de grans reactors, de fàbriques de separació d'isòtops i de producció de triti) o per a la investigació nuclear (com Obninsk i Dubna, amb els seus acceleradors i investigació sobre elements transurànids). Moltes d'aquestes

instal·lacions van ser construïdes davall terra, a gran profunditat. Aquest treball inhumà va ser un dels motors del gran desenrotllament nuclear soviètic.

En física l'indeterminisme d'Heisenberg i les lleis probabilistes de la quàntica també entren en conflicte amb el determinisme del materialisme dialèctic. Encara que els físics soviètics més importants (Frenkel, Fock, Tamm o Landau) no van dubtar a acceptar la interpretació probabilista, els més joves es van oposar a ella. A l'URSS aquest conflicte, encara que no tan cruent com al camp de la genètica, va produir confessions de culpabilitat de físics acusats de "idealisme burgès", per exemple, Frenkel i Khaikin, reedicions de llibres per a adequar-los a l'ortodòxia materialista (afirmant que la Mecànica quàntica és una teoria sobre conjunts de partícules i introduint el típic capítol sobre la relació entre física i materialisme dialèctic) i pèrdua de les seues càtedres d'alguns físics com Landau o Lifschitz. Possiblement no va degenerar en una persecució perquè es va pensar que açò podria retardar la investigació soviètica en física nuclear.

També es van produir incompatibilitats entre materialisme dialèctic i cosmologia. Parlar d'universos finits i de ràdios de l'Univers, planteja què existeix fora. D'altra banda, les teories d'un univers en expansió impliquen que el temps té un començament, suggerint un moment de creació i violant la conservació de la matèria. Així mateix es van resistir a reconèixer la cibernetica (base del control automàtic i de la robòtica) de Norman Wiener com a disciplina científica.

Però evidentment no sols les dictadures produeixen efectes negatius sobre la ciència, també en les democràcies hi ha control dels científics. Un exemple d'això són els EUA en la primera meitat dels anys 50 amb l'inici de la guerra freda, en especial en el període del senador McCarthy i el seu comitè d'activitats

antiamericanes. Així, el FBI va obrir un dossier sobre Einstein, ja esmentat. Oppenheimer (director científic del projecte Manhattan) es va oposar a la producció d'una bomba més poderosa, la d'hidrogen. Per això l'Atomic Energy Commission en 1954 el va apartar dels seus càrrecs i el va desplaçar de les seues investigacions en declarar-lo un risc per a la seguretat nacional. A Linus Pauling, premi Nobel de Química de 1954, se li va retirar el passaport en 1952 per la seua participació en campanyes contra les armes nuclears i pel seu llibre "No more war". Açò el va convertir en una de les poques persones que han tornat a rebre un premi Nobel, el de la Pau de 1963. David Bohm, autor d'una teoria quàntica alternativa i descobridor de l'efecte Aharonov - Bohm, va haver de comparèixer en 1949 davant del Comitè acusat de simpatitzar amb el comunisme. En negar-se a declarar va ser acusat de desacatament al Congrés. No se li va renovar el seu contracte a la Universitat de Princeton i no trobant treball en cap altra, va haver d'abandonar en 1951 el seu país fins que se'l va absoldre de desacatament en 1961. Mes greu va ser el cas de l'enginyer Julius Rosenberg i la seua esposa Ethel que, acusats d'espies per a l'URSS, van ser condemnats a mort en 1951, sense altres proves de culpabilitat que la paraula d'un científic. Davant de la pressió de l'opinió pública se'ls va oferir l'indult si confessaven la seua culpabilitat, però van afirmar que "l'acceptació de la transacció proposada pel govern significaria el final de la llibertat a Amèrica". Van ser executats en la cadira elèctrica en 1953.

Una altra pràctica, que mostra el poc respecte que el poder polític democràtic pot tindre de la llibertat i dignitat humanes, és la utilització també en els EUA, entre 1945 i 1955 de 23.000 persones, sense el seu coneixement, per a estudiar els efectes de les radiacions. Es van realitzar experiments del tipus d'injeccions de plutoni 238 i 239 o

d'urani enriquit, d'exposició a núvols radioactius o d'irradiació massiva amb raigs X, semblants als realitzats pels metges nazis. El seguiment d'aquests casos va perdurar fins als anys 70. Aquests experiments d'utilització de sers humans com “cobais del plutoni” només s'han conegut 20 anys després que finalitzaren els controls i es van realitzar perquè els científics implicats pensaven que no n' haurien de respondre mai.

Són molt recents una sèrie de casos de censura política o ideològica que han retardat la publicació de certes investigacions o han impedit que es realitzen. La Comissió Global 2000, anomenada pel president Carter per a estudiar les perspectives del planeta per a l'any 2000 va ser dissolta pel govern de Reagan en emetre un informe en què plantejava seriosos problemes a mitjà termini si no s'interrompia el deteriorament ambiental. Una altra comissió sobre el canvi climàtic també va trobar l'oposició i censura del govern de George Bush quan va intentar fer públic un informe en què donava per cert el calfament atmosfèric a causa de l'increment del diòxid de carboni. El Black report que assenyalava l'existència i ampliació de les desigualtats de salut per classe social en Gran Bretanya va ser silenciada pel govern de Thatcher i només va ser publicat 10 anys després en 1990. En 1998 EUA va arribar a amenaçar a l'Organització Mundial de la Salut de retirar les seues quotes si a aquesta se li ocorria investigar els efectes de les regles de l'Organització Mundial del Comerç sobre la salut (per exemple, els preus monopolistes que imposa la indústria farmacèutica de medicaments contra la SIDA i altres malalties en països del tercer món, que ha obligat a estats afectats a amenaçar de trencar la patent).

Ideologia de la ciència contemporània: el cientisme i la neutralitat

La idea bàsica que el mètode científic permet elaborar concisements objectius i neutrals, que a més han demostrat ser eficaços, és la que justifica el cientisme, és a dir, una actitud que considera a la ciència com l'únic saber autèntic (o almenys el millor saber); que la ciència és capaç de donar resposta a totes les qüestions teòriques i problemes pràctics (sempre que es formulen de manera positiva i racional) i, per tant, que és legítim i desitjable confiar als experts científics l'atenció de dirigir els assumptes humans. Bona prova d'això és que tot saber humà s'adjudica el títol de ciència: ciències de la informació, jurídiques, humanes, socials, etc., o la proliferació d'experts de tota classe, que s'utilitzen, per exemple, per a justificar o defensar diverses opcions (des de les centrals nuclears als OGM) amb un plantejament clar: "Si vostè no és competent en la matèria, per què opina sobre ella?".

En l'actualitat s'ha passat de la persecució de la ciència a la creença en la neutralitat i objectivitat de la ciència, suposadament per damunt de les ideologies. Apareix així en aquest segle una actitud que tracta de limitar la ciència a una funció merament operativa, afavoridora del desenrotllament tècnic, però negant-li tota incidència en la concepció del món o en qüestions d'organització social que afecten als interessos dels grups privilegiats. Eixa actitud davant de la ciència és la més general hui en dia, com s'evidencia en analitzar el tipus d'ensenyament que es programa en qualsevol nivell educatiu, com veurem en el capítol nou.

Els defensors d'aquesta postura saben que la investigació científica està econòmicament i socialment

condicionada (fa falta equip, diners i institucions) i que tot això pot influir en el ritme de desenrotllament i l'orientació de les diverses disciplines; que no tots els científics estan d'acord en determinades opcions filosòfiques (la manera de plantejar els problemes o el valor atribuïble a tal model o teoria); que hi ha llacunes i dificultats en els dominis d'investigació; etc. Però eviten aquest "inconvenient" distingint entre l'extern, el context, i l'intern, les proposicions teòriques i empíriques, els instruments, és a dir, la ciència pròpiament dita. I és aquest nucli dur el que els permet afirmar la neutralitat de la ciència.

És a dir, segons aquest punt de vista, la ciència i la tecnologia són ferramentes, no tenen res a veure amb els valors, transcendeixen les opcions ideològiques i, per tant, són indiferents als fins de la societat. Per exemple, parafrasejant a Marcuse, un ordinador pot servir igualment a una administració capitalista o socialista; un ciclotró pot ser eficaç per a un partit de la pau com per a un de la guerra. En el fons és la vella idea de la ciència com un ganivet que es pot utilitzar per a tallar i també per a matar. Tot depèn de les finalitats de qui les utilitza. Però no és tan senzill com la concepció merament instrumental dóna a entendre, que a més respon a una època artesanal, en la qual era fàcil forjar aladres de les espases i falçs de les llances. Ara, en una època tecnològicament avançada, EUA i Rússia tenen molts problemes perquè els coneixements, investigadors i laboratoris usats en R+D militar siguin utilitzats en R+D civil, com ja s'ha esmentat. Així, per exemple, les investigacions en làser d'alta potència desenrotllades en la guerra de les galàxies han tingut molt poca utilitat en el món civil, encara que hi ha una forta indústria civil del làser.

En altres paraules, en la ciència i la tecnologia, els interessos, els valors, ja estan presents des del mateix

començament en la definició del problema que es vol resoldre, en els objectius d'investigació. Açò condiciona els coneixements que s'obtenen, els equips necessaris i fins i tot, els valors dels científics que intervenen. Per això, les investigacions relacionades amb armaments són poc polivalents, poc flexibles. Altres desenrotllaments científics tenen major polivalència. Per exemple, l'enginyeria genètica pot utilitzar-se per a elaborar armes biològiques, però també per a desenrotllar un tipus d'arròs que no necessite gairebé aigua per a créixer o capac d'adaptar-se a terrenys salinitzats o creïlles que toleren les glaçades o cereals resistents a la sequera, és a dir, per a contribuir a resoldre problemes que generen fam en el món. I parle de contribuir perquè la solució depèn de dos factors: millorar la productivitat, que és una qüestió científica i tècnica, i aconseguir una estructura social més justa, que no ho és.

Però on més evidentment es pot posar en qüestió la pretesa neutralitat de la ciència és en el fet que el seu ritme de desenrotllament i la seua orientació estan fortament influïts per les institucions que les financen. No és estrany que unes branques progressen més que altres quan disposen de més recursos, com per exemple, el gran desenrotllament de la física nuclear (primer de baixes i després d'altres energies) a partir de 1941 o de la investigació aeroespacial, a partir de 1957, quan els soviètics posen en òrbita el Sputnik. A més també influeixen molt en l'orientació. Per exemple, Monsanto, una multinacional dels EUA que durant la guerra del Vietnam va produir l'agent taronja, que deixava les plantes sense fulls (efecte que encara persisteix hui), dedica l'enginyeria genètica a produir soja resistent a l'herbicida Roundup, el seu producte estrella, ja que suposa el 15 % de les vendes de Monsanto.

En la tecnologia, amb un nivell molt més elevat

d'interacció amb la indústria, la suposada neutralitat encara és menys defensable i, per això, alguns autors distingeixen entre tecnologies autoritàries i democràtiques (Munford) o de tecnologies pesades i ingovernables i lleugeres i flexibles (Winner). I açò succeeix a un nivell molt ampli, en la producció, en l'energia, el transport, etc. Per exemple, el pas de la producció en el propi domicili a la producció en fàbriques durant la primera revolució industrial es va fer per a augmentar el control social dels fabricants sobre el seu producte i els seus beneficis. El mateix pot dir-se de la producció en cadena, quan moltes experiències en diversos països (des de Volvo a Suècia fins a Toyota al Japó) posen de manifest que altres tipus d'organització (xicotets equips que acaben el producte) resulten més gratificants per als treballadors i no disminueixen la producció.

Quant a la producció d'energia s'opta per unitats complexes i centralitzades (nuclears, tèrmiques) enfront de les reduïdes i descentralitzades (solars, eòliques). Fins i tot en el cas de la solar es financen projectes faraònics (captació de llum solar mitjançant satèl·lits o grans superfícies d'espills) quan es tracta de l'energia més fàcil d'adaptar al consum immediat a través de plaques solars tèrmiques o de cèl·lules fotovoltaïques. Fins i tot en la investigació es pot apreciar la influència de les grans empreses de producció d'energia. Durant els anys 70, a resultes de la crisi del petroli de 1973, es va impulsar considerablement la investigació en energies renovables. Però quan la situació energètica torna a estar controlada, es tanquen les aixetes de finançament d'eixes investigacions.

En transport també s'opta per unitats d'alt consum energètic (per persona o tona de mercaderia transportada) enfront de les de baix, pel transport privat front del públic. És a dir, per al transport de persones s'opta per

l'automòbil, l'autobús i l'avió (que només és rendible per a grans distàncies) en lloc del tren, el tramvia i el metre. Per al de mercaderies s'opta pel camió en lloc del tren o el vaixell.

La ciència: un element fonamental de cultura del nostre temps

Des de 1959 és un tòpic referir-se a l'escissió a occident de dues cultures, la dels humanistes i la dels científics i tècnics, amb problemes de comunicació entre elles. Alguns, fins i tot, no consideren que aquesta última haja de considerar-se cultura i, per això, també es parla de la incultura dels científics. Altres l'atribueixen a l'excés d'especialisme dels científics. Però ja hem vist en aquest treball les grans interaccions de la ciència amb l'esfera cultural al llarg de la història (amb l'arquitectura, la religió, la filosofia de la Il·lustració o la literatura), que posen de manifest que la ciència és un element fonamental de la cultura. Ara mostrarem com en el segle XX han augmentat eixes interaccions. Així, en les primeres dècades del segle, que com ja hem assenyalat van ser un període revolucionari a tots els nivells (polític, econòmic, artístic i científic) es produeix una valoració positiva dels nous desenrotllaments tècnics i científics, provinents de la segona revolució industrial. Es valoren els efectes estètics de la producció en sèrie (el disseny uniforme i la qualitat en l'acabat), els nous motors i turbines i l'aerodinàmica dels vehicles que suposa la culminació d'una enginyeria refinada, exacta. Sense els nous materials i tecnologies no haguera sigut possible la construcció de símbols de la modernitat com els gratacels. Es contraposa la contaminació de la primera revolució industrial (fums i sutja) amb l'aparent neteja de la segona que encara no

havia produït els seus excessos automobilístics, petrolers, químics, etc.

Els primers artistes de la civilització tecnològica són els futuristes (escola que naix en 1909 amb el manifest de Marinetti) que exalten la velocitat, l'esport, la civilització mecànica i les conquestes de la tècnica, la màquina, l'avió, l'electricitat, els productes manufacturats. Un dels seus principals manifestants va ser el soviètic Maiakovski.

La Relativitat, com ja hem vist, va tenir evidents implicacions en la percepció de l'espai i del temps, que van influir en la pintura, en l'arquitectura i en la literatura.

A més, alguns científics han realitzat importants contribucions a l'art, especialment, la literatura. I açò no es limita als metges, com succeïa en el segle XIX (Chehov, Doyle), sinó a químics com Snow, que va introduir la idea de les dues cultures, o Primo Levi, que en el seu llibre "Si això és un home" posa de manifest l'horror dels camps de concentració nazis i com aconsegueix sobreviure gràcies als seus coneixements químics. El físic Alexander Solschenitzin, premi Nobel de Literatura, va mostrar en el seu llibre "El primer cercle" com científics i enginyers, presoners en camps de concentració, eren obligats a investigar per a l'URSS. En el nostre àmbit cultural no podem oblidar al físic Ernesto Sábato, molt crític amb la ciència, a l'enginyer Juan Benet, amb les seues científiques descripcions de "Región", o als metges Pio Baroja, que en obres com "Aventuras, inventos y mistificaciones de Silvestre Paradox", "La dama errante" o "El árbol de la ciencia" contraposa la retòrica, que dona èxits en Espanya, amb l'esperit científic, Llorenç Villalonga, que mostra les limitacions de l'industrialisme en "Andrea Victrix", o Luis Martín Santos, que en "Tiempo de silencio", posa de manifest les difícils condicions del treball científic en el franquisme.

La ciència no sols ha contribuït amb autors, sinó també amb temes, com el de la responsabilitat moral dels científics (en la física nuclear ja es va plantejar eixe tema l'eco del qual ressona en els actuals debats sobre enginyeria genètica), amb obres com “Galileu” de Bertold Brecht o “Els Físics” de Durrematt, o la utilització de les ciències i tecnologies en la societat de l'avenir, com les contrautòpiques “Un món felix” de Huxley, “1984” d'Orwell o “Fahrenheit 451” de Bradbury.

Va contribuir, així mateix, a l'establiment d'un gènere literari, la ciència ficció. Molts dels seus millors autors han sigut i són científics en exercici com Fred Hoyle, Paul Andersson, Carl Sagan o de formació com Isaac Asimov, Arthur Clarke o Michel Crichton. Al seu torn aquests han enriquit el gènere amb noves idees, que no estaven presents en els precursors Verne i Wells, com els robots, la colonització del sistema solar (la sèrie “Odissea en l'espai” de Clarke) i fins i tot de la galàxia (la sèrie de “Les fundacions” d'Asimov), l'ecologia planetària (“Dune” de F. Herbert) o els perills de les biotecnologies i l'enginyeria genètica (“L'amenaça d'Andròmeda” o “Parc Juràssic” de Crichton).

Però l'art més característic del nostre temps és el cine que junt amb la fotografia, la televisió i l'ordinador ha contribuït al desenrotllament d'una civilització de la imatge que, segons alguns, està desplaçant a la civilització de la paraula que es va desenrotllar amb la invenció de la impremta per Gutenberg. I, igual que aquesta tècnica va permetre la difusió massiva de la paraula escrita, el setè art deu la seua existència a una acumulació de desenrotllaments tecnològics que l'han fet possible. Entre ells cal esmentar el descobriment de la fotografia per Niepce en 1826 i de la persistència retiniana per Roget en 1824, la descomposició d'un moviment en fotografies successives cap a 1880, la seua projecció sobre una

pantalla en 1888, la pel·lícula de cel·luloide d'Edison en 1889 i sobretot les projeccions públiques amb un aparell patentat en 1895 pels germans Lumière, que servia per a l'obtenció i visió de seqüències fotogràfiques. Es va denominar cinematògraf i funcionava amb una maneta que arrossegava la pel·lícula a un ritme de 16 imatges per segon. Altres avanços van ser la incorporació de motors a les cambres, que va permetre aconseguir les 24 imatges per segon, la incorporació del cinema sonor en 1926 (amplificant el so amb tríoedes, utilitzant l'efecte fotoelèctric per a la banda sonora) i del denominat tecnicolor en 1939.

Igual que succeeix en la literatura també sorgeix al cine un gènere de ciència ficció, adaptant novel·les en molts casos. Els primers antecedents es remunten a 1902, amb “Viatge a la Luna”, de G. Méliès i “Metropolís” (1927), de F. Lang. No obstant això, el gènere pròpiament dit va nàixer als Estats Units durant els anys cinquanta, en plena guerra freda, amb temes com la invasió extraterrestre (el perill exterior), amb “Ultimàtum a la terra” (1951) de R. Wise, (després de la qual, curiosament, s'inicia l'albirament d'OVNIS en els EUA) o “La invasió dels lladres de cossos” (1956) de D. Siegel; la colonització espacial amb “El Planeta prohibit” (1956), de F. McLeod, o el perill nuclear amb “Telèfon roig? Volem cap a Moscou” (1963), de S. Kubrick. A finals de la dècada següent, amb la distensió, trobem pel·lícules de crítica social com “Fahrenheit 451” (1966) de F. Truffaut, l'epopeia espacial “2001, una odissea de l'espai” (1968), de S. Kubrick o “Solaris” (1971) de A. Tarkovsky, basada en la novel·la de S. Lem. El gènere llangueix sent recuperat anys després per la indústria del cine des de la seua vessant més espectacular, en “La guerra de les galàxies” de G. Lucas (1977), sensiblera en “Trobades en la tercera fase” (1977) o “ET” (1982) de S. Spielberg o catastrofista en

“Armagedon” i semblants. A la tendència general sols escapen excepcions com “Blade Runner” (R. Scott, 1983), “Contact” de R. Zemeckis (basada en una novel·la de C. Sagan) o “Apolo XIII”, que ja no és ciència ficció sinó realitat. El gènere és particularment important, per la seua difusió massiva, per a la imatge pública de la ciència. Possiblement la pel·lícula ”Retorn al futur” (1985) de R. Zemeckis i les seues seqüeles contribueix més a la idea de científic (retroalimenta tots els tòpics) que les millors sèries de divulgació.

Per últim, cal assenyalar que hi ha persones que diuen que la ciència no pot considerar-se cultura, perquè no s'ocupa dels fins del ser humà. Però la premi Nobel Levi-Montalcini ens recorda que la ciència busca la veritat que és un fi humà. Quant a la bellesa és necessari recordar les afirmacions del Nobel Perutz: "La imaginació ocupa el primer lloc tant en la creació artística com en la científica - la qual cosa fa que hi haja una cultura més prompte que dues-...". D'altra banda, la ciència ha contribuït a la comprensió de fenòmens bells: visuals (la física de la visió i del color ha permès explicar des de l'arc de San Martí a les posades de Sol), acústics (la música), etc. També ha construït instruments que permeten als artistes crear bellesa: la fotografia, la reprografia, el làser, l'holografia, nous instruments musicals, perfums i un llarg etc. A més, la utilització d'ordinadors ha permès crear noves formes belles: de les figures fractals a la realitat virtual.

TERCERA PART
Perspectives de futur

CAPÍTOL 7

Ciència, tecnologia i els problemes globals del món

Tractarem en aquest capítol de la nova economia basada en les tecnologies de la informació i comunicació (TIC) que s'ha desenrotllat en les dues últimes dècades del segle XX i dels problemes que genera. També tractarem de les necessitats humanes, en especial les energètiques, i de com pot contribuir la ciència a resoldre-les. Tots aquests problemes i necessitats marcaran el segle XXI i només si som capaços de resoldre'ls, podrem parlar d'un futur per a l'espècie humana, que és el que en el fons estem dient en utilitzar la paraula sostenibilitat.

Globalització i les seues conseqüències

El neoliberalisme i la globalització són paraules que poden definir el nostre temps. El *Neoliberalisme* és una doctrina econòmica que defensa major paper del mercat en tots els àmbits per equilibrar l'economia i eliminar la inflació i la plena llibertat per a les forces del mercat com la lliure competència, el lliure comerç (desaparició de barreres i aranzels comercials), procurant el màxim benefici amb el mínim cost. També recolza la perduda de paper de l'Estat, proposa un Estat cada vegada més petit,

amb menys competències, sobretot en l'àmbit social. És un retorn a l'Estat antic (exèrcit, administració, jutges i policies), abans de la seua transformació en estat de benestar. En el fons es tracta d'una reformulació per Milton Friedman i l'escola de Xicago de la vella doctrina d'Adam Smith i David Ricardo que es va traduir en pràctiques empresarials i polítiques de la burgesia del segle XIX i principis del XX i que va fer fallida en la crisi de 1929, essent substituïda per les idees de Keynes d'intervenció del sector públic en l'economia.

Ja fa uns 20 anys que s'ha convertit en el pensament dominant (únic, segons alguns autors) per l'accés dels partits conservadors al poder encapçalat per Thatcher en el Regne Unit en 1979, per Reagan en els Estats Units en 1981 i Kohl en Alemanya en 1982, per una banda, i la desaparició del comunisme com a sistema de govern en 1989, per l'altra.

La *globalització*, segons el Fondo Monetari Internacional (FMI), és la interdependència econòmica creixent del conjunt dels països del món, provocada per l'augment del volum i la varietat de les transaccions internacionals de béns i serveis, així com dels fluxos internacionals de capitals, al mateix temps que la difusió accelerada i garantida de la tecnologia. Aquesta definició, com totes, oculta algunes coses, per exemple, que no es tracta d'una tendència actual, atès que el capitalisme des dels seus orígens vol l'augment dels mercats i el desenrotllament de la tecnologia per a incrementar el benefici. I açò es tradueix, com ja assenyalara Marx fa més d'un segle, en una concentració de riquesa i en un increment de la desigualtat constants.

A *nivell de l'economia* produeix l'extensió d'una sèrie d'estructures fins abastar el món sencer i es concreta en les multinacionals (empreses i bancs), el Banc Mundial, el

FMI, l'Acord de lliure comerç (GATT) i, sobre tot, els mercats financers mundials. Un tret molt important per al desenvolupament d'aquests és la liberalització en l'entrada i sortida de capitals dels EUA en 1974, que s'ha anat estenent a altres països (cal recordar que no fa molts anys era delictes). Això va originar a partir dels anys 80 una gran mobilitat de capitals buscant el màxim benefici i una economia especulativa i no productiva. Eixos capitals mòbils arriben a 11 bilions de dòlars (5 en Borses dels EUA, 2,5 a Europa, 2,1 al Japó i als abans anomenats tigres asiàtics). Això està produint :

- Que gran part de les economies nacionals siguin propietats de multinacionals i bancs.
- Concentracions de capital de magnitud mai vista en poques mans per una banda i, per l'altra, que sectors de la població (el 4t món), nacions (les del 3r món) i, fins i tot, continents (Àfrica) es queden al marge de l'economia. El resultat un creixement de les desigualtats internes de cada país i de les desigualtats entre països a nivell mundial.
- Que eixes desigualtats s'agreugin amb el temps. La part de la renda mundial en mans del 20 % més pobre ha disminuït del 2.3 al 1.4 %. En el mateix període la part posseïda pel 20 % més ric va passar del 70 al 85 %. La fortuna dels 358 multimilionaris més rics del món supera la renda del 45 % dels habitants més pobres (2600 milions de persones).

A *nivell polític* la globalització es tradueix en grans organitzacions militars OTAN, polítiques i econòmiques com la UE (Unió Europea) o el G-7, i econòmiques com la NAFTA (EUA, Mèxic, Canadà) o Mercosur (Argentina, Brasil, Uruguai). Una conseqüència és la pèrdua de poder dels estats nacionals. A més, el poder polític s'ha desplaçat cap l'econòmic, és a dir, les grans

companyies i bancs tenen més poder que els governs i parlaments nacionals. Sí aquests prenen decisions contraries als seus interessos, el capital abandona el país. I. Evidenment, es tracta d'un poder no triat democràticament i, per tant, sense cara i sense responsabilitat respecte als ciutadans.

A nivell *cultural*, les xarxes comunicatives mundials permeten saber al dia que passa en l'altra banda del món (aldea global), la qual cosa afavoreix l'homogeneïtzació cultural, agafant com a model la forma de vida americana. Els grans mitjans de comunicació, que són grans multinacionals (com Time Warner CNN, Disney/ABC, Bertelsman o Murdoch) interessades en el sosteniment d'un status que els beneficia, amaguen la informació crítica i alternativa i, a més, tenen molta importància en la deformació de l'opinió, amb publicitat massiva (no sols explícita, també implícita: "qui veu pel·lícules americanes compra productes americans"), culte a la violència i falses il·lusions d'èxit.

Eixa globalització crea en els ciutadans una situació d'incertesa, de por, d'indefensa, de llunyania. En el primer món s'ha passat de l'aspiració a deixar un treball alienat característica dels anys 60 a la necessitat de trobar un treball, degut a l'atur estructural produït per les noves tecnologies (automàtica, robòtica) i, sobre tot, pel trasllat d'empreses a països amb costos laborals més baixos. En el tercer món a situacions de misèria insostenibles fruit de les noves formes econòmiques (deute extern) i tecnològiques de colonialisme. Per tot això l'individu es sent fràgil i amb perduda d'identitat front a eixes grans forces que el dominen i es produeixen els fenòmens del nacionalisme i els integrismes.

Ara bé açò no és una simple crítica de la globalització, sinó d'una globalització tan sols del sistema

econòmic, realitzada segons postulats neoliberals, que destrueix el medi ambient i esgota els recursos a nivell també global i que oblida la globalització política (més poder per a una ONU sense dret de veto d'alguns estats privilegiats) o la dels drets humans.

Les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) i la globalització

La globalització està molt afavorida per les noves tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) que possibiliten la creació de xarxes comunicatives mundials. Per això hi ha autors com Petrella que denuncien que científics i enginyers s'han convertit en aliats naturals dels empresaris globalitzats, ja que quants més mitjans els ofereix la tecnociència per arribar a ser i seguir sent els amos del planeta, més interessades estan les empreses privades en finançar-la.

Entre eixes tecnologies cal parlar dels satèl·lits de comunicacions. En 1962 el Telstar llançat per la NASA, 5 anys després que l'URSS posara en òrbita el satèl·lit *Sputnik*, transmet les primeres imatges transatlàntiques. Com la posició favorable per a la transmissió no durava molta d'estona, es va plantejar la necessitat d'utilitzar satèl·lits geostacionaris, que tenen una òrbita equatorial amb la mateixa velocitat de rotació que la Terra, per la qual cosa romanen en la vertical d'un punt donat. En 1965 es va llançar el "Early Bird" que transmet programes de televisió i comunicacions telefòniques.

Pocs anys després, en 1977 es va instal·lar en Chicago el primer sistema de comunicacions per fibra òptica amb una capacitat de 8.000 canals telefònics simultanis. Posteriorment es va realitzar la connexió entre Chicago i Filadèlfia per mitjà d'un sistema que permetia

24.000 canals telefònics. En 1987 el desenrotllament tecnològic de la fibra òptica va permetre l'enviament de 400.000 canals telefònics. L'última fibra transatlàntica té una capacitat de 30 milions de crides. Les dades anteriors posen de manifest que com la llum té més freqüència que les ones de ràdio pot transmetre més informació, la qual cosa constitueix un dels avantatges de la fibra òptica respecte a altres sistemes. La absència total de interferències elèctriques i la major facilitat en l'estès de les fibres per la seua gran flexibilitat i lleugeresa constitueixen altres aspectes positius. Però la velocitat de transmissió sempre està limitada per la capacitat dels últims metres de la connexió. Com aquesta xarxa de fibra només connecta els EUA amb Europa i amb Japó o Corea del Sud, els satèl·lits geostacionaris continuen sent essencials per als països sense bona connexió per fibra, però en l'actualitat només transmeten un 10 % de la informació, la resta es transmet per fibra òptica

Per últim tenim Internet, xarxa informàtica d'ordinadors que es troben interconnectats entre si en tot el món i que posa a disposició de l'usuari informació molt variada quant al seu contingut. Els orígens d'aquesta xarxa es remunten a l'any 1969, quan l'Agència governamental de defensa nord-americana va crear Arpanet, una xarxa informàtica altament descentralitzada que emprava un llenguatge universal de comunicacions, per tal de garantir l'intercanvi de dades fins i tot en circumstàncies extremes (com la destrucció parcial de la xarxa després d'un hipotètic bombardeig). La nova xarxa es va convertir en element aglutinant de multitud de xarxes independents que van nàixer a la seua ombra i que van decidir utilitzar-la com a nucli per a intercanviar informació. En 1972 naix el correu electrònic que en 1973 produeix el 75 % del trànsit. En 1983 el conjunt de totes aquestes xarxes va passar a denominar-se Internet. En 1989 Tim Berners-Lee proposa

el desenvolupament d'un sistema hipertext en xarxa per al CERN (Centre Europeu de Recerca Nuclear) que denomina Word Wide Web i que es posa a disposició de tot el món en 1993. Actualment, Internet agrupa més de 30.000 xarxes internacionals i el nombre d'ordinadors connectats la mateixa s'ha multiplicat per 8 entre 1995 i 1999, superant els 100 milions i apropant-se en l'actualitat als 200 milions.

A través d'aquesta xarxa tots els equips informàtics (superordinadors, ordinadors personals, etc.) poden comunicar-se entre si amb independència de les característiques del seu sistema operatiu i del mitjà de transmissió emprat. Aquesta flexibilitat de connexió, una de les qualitats que fan més atractiva a Internet, és possible gràcies a la família de protocols TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Observem que les noves TIC són fruit de la convergència, fins i tot es podria parlar de simbiosi, de molts desenvolupaments científics i tecnològics sense els quals no haguera sigut possible. Parlem de l'electromagnetisme (línies de transmissió, ones electromagnètiques, memòries magnètiques), electrònica (transistors, circuits integrats, microprocessadors), satèl·lits de comunicacions, òptica (làser, CD, fibres òptiques). D'altra banda, tenen una estructura de xarxa, amb nusos (els ordinadors, els telèfons mòbils) i connexions (ones electromagnètiques, fibres òptiques, cables) i una gran capacitat d'integrar xarxes ja existents, actualment les telefòniques i possiblement la xarxa de receptors de TV quan es digitalicen les emissions.

La informàtica i, especialment, Internet, des que les grans potències econòmiques (EUA, UE, Japó) aposten pel seu desenvolupament ha rebut elogis contínuament. Es parla del seu paper en la modernització

de tota classe d'empreses mitjançant la informàtica (agrícoles i industrials, els serveis bancaris, borsaris, l'administració, els transports i comunicacions). Però també en el desenvolupament d'una nova economia, caracteritzada per les noves empreses i noves ocupacions lligades a la informàtica i Internet i per la mobilització de capitals quasi instantània (les caigudes de les borses repercuteixen en poques hores en les altres borses del món). En paraules de Castells (1997), aquesta nova economia “és capaç, per primera vegada en la història, de funcionar com una unitat en temps real a escala planetària, en virtut de la nova infraestructura proporcionada per les TIC”. Es parla del creixement exponencial del nombre de telèfons, d'ordinadors i dels connectats a Internet. També s'esmenten grans xifres de creació d'ocupació. Així, en el 2000 hi havia a Espanya mig milió d'experts en TIC, amb un creixement anual superior al 10 % i per tant, amb un dèficit de professionals.

Ara bé, tot creixement exponencial és insostenible. Està limitat per la riquesa dels països i, així trobem que més del 96 % dels ordinadors connectats a Internet es troben als països més rics on només viu el 15 % de la població. A Finlàndia hi ha més ordinadors connectats que en tot el continent africà. També està limitat per la distribució interior de la riquesa en cada país. Així, a Espanya un 90 % de les consultes a Internet són realitzades per les classes mitja i alta de la societat.

Un altre problema és el de les transferències de tecnologia, que es plantegen com favorables per al país exportador i l'importador. La primera part sol ser certa, però la segona no sempre ho és, perquè es transfereixen tecnologies obsoletes (per exemple, cadenes de muntatge i vehicles que ja no s'utilitzen en el primer món) o perquè en transferir tecnologies a societats distintes de les

L'originaren es pot produir més pertorbació social i econòmica que millora en la qualitat de vida. D'altra banda, els països del tercer món, on abunda la mà d'obra i escasseja el capital, necessiten transferències de tecnologies que no requerisquen capital i encara que, aparentment els ordinadors, donada la seua xicoteta escala, semblen pertànyer a aquest tipus, açò no és del tot cert, ja que per a estar en Internet requereixen xarxes de fibra òptica que els connecten i aquestes si són intensives en capital, per la qual cosa com ja hem vist només interconnecten els països més rics.

Als països avançats hi ha altres problemes relacionats amb les TIC. En els inicis, els propis ordinadors van ser usats com a mitjà de discriminació social i així, els col·legis privats dels EUA van començar a oferir-los a principis dels 80 com a mitjà per a competir al mercat d'alumnes de famílies de classe alta. Ara es planteja com un gran problema el control de la intimitat que permet la informàtica. En la societat hi ha múltiples bases de dades: personals (cens), fiscals (hisenda), sanitaris, bancaris, policíaques, etc. Si algun organisme de l'Estat o empresa les creuara totes aconseguiria un gran control sobre la vida dels ciutadans. Es diu que la llei de protecció de dades prohibeix que dades privades puguen ser divulgades sense el coneixement dels interessats. No obstant, a pesar de la llei, es reben cartes d'empreses privades que inclouen dades personals (nom, domicili, professió, nombre de fills, etc.). Açò és degut al fet que hi ha persones que els venen, que accedeixen il·legalment a ells o institucions que utilitzen les dades amb un fi que no és el declarat. També es pot controlar la informació que circula per la xarxa, així com les pàgines Web o correu electrònic d'un usuari.

En quant a Internet les grans empreses van marcant les tendències sobre formes i continguts, convertint-la en un gegantesc sistema d'entreteniment, de publicitat i de consum, sense desenvolupar el seu potencial per millorar la política, l'educació, la salut i la cultura, cosa que queda en mans d'iniciatives particulars amb molts menys recursos. Per exemple, en els inicis de la xarxa es parlava de les seues possibilitats per afavorir una democràcia més participativa (amb la possibilitat d'intervenir en les discussions i decisions importants per als ciutadans), però el que realment s'ha desenrotllat en eixe camp son les pàgines Web de propaganda d'institucions i partits polítics. A més Internet permet grans fluxos d'informació, però no de coneixement, ja que gran part de la informació es irrellevant, la gent no està ensenyada a tractar-la i la resta està molt controlada (les decisions empresarials, els documents classificats i un gran etc., es dir, la informació que realment suposa poder) o no es difon (l'existència d'alternatives polítiques a nivell global o local).

Els problemes del nostre temps.

Aquest sistema no és molt sostenible a mig termini perquè no resol els greus problemes que afecten el destí del planeta i que fins i tot els provoca o els agreuja. Entre eixos problemes esmenten els següents:

- El creixement exponencial de la població, que fa que aquesta es duplique en períodes molt curts de temps. En 1950 érem 2500 milions de persones, ara en som més de 6000 milions i en el 2050 es preveuen més de 10000 milions de persones en la Terra.

- El creixement de la polarització entre riquesa i pobresa i problemes associats com la fam (ara hi ha més

de 700 milions de persones que la pateixen), les malalties i l'analfabetisme. A més, la situació s'agreuja amb el temps i si ara hi ha uns 1200 milions de persones al primer món i 5000 milions al tercer, dels quals 1500 milions malviuen amb menys d'un dòlar diari, en el 2025 es preveu que hi haurà 1400 milions i 7100 milions, respectivament.

- Les guerres (des de 1945 més de 100, quasi totes al tercer món i amb més de 16 milions de morts majoritàriament civils) i problemes relacionats com la producció d'armaments, el tràfic d'armes i l'existència d'un stock d'armes nuclears, químiques i biològiques, amb capacitat més que sobrada per destruir el món com planeta habitable.

- L'esgotament dels recursos, particularment els energètics (el petroli, el gas natural), l'aigua potable, els bancs de peixos de la plataforma continental, etc.

- La contaminació del medi ambient, on s'ha passat de problemes locals com la pol·lució atmosfèrica de les grans ciutats, els residus urbans, la contaminació de rius, llacs i costes, la pluja àcida, a problemes globals com:

. l'efecte hivernacle, produït pel diòxid de carboni CO_2 i altres substàncies, que contribueix a l'augment global de la temperatura del planeta (que s'estudiarà amb més detall a continuació).

. la destrucció de la capa d'ozó pels clor-fluor-carbonis (CFCs), sense la qual no és possible la vida a la Terra ja que absorbeix les radiacions ultraviolades. L'aprimament de la dita capa provoca una major incidència del càncer de pell, danys oculars, disminució de defenses i augment d'infeccions.

. la pluja àcida, deguda als òxids de sofre i nitrogen, que poden desplaçar-se grans distàncies abans de combinar-se amb l'aigua i precipitar-se en forma d'àcids (sulfúric,

nítric), fent que el problema creat a les zones industrials d'uns països (per exemple, en la conca del Ruhr alemanya) siga sofert en els veïns (per exemple, a Suècia o Noruega), on s'acidifiquen llacs i rius, es destrueixen boscos o es deterioren monuments famosos.

. la desforestació, no sols per la pèrdua de biodiversitat que suposa en el cas de les selves tropicals, sinó pels seus efectes en la disminució de pluges, en l'erosió de sòls productius pel vent, l'aigua, i la consegüent desertització, que no es limita només a l'Àfrica subsahariana, sinó que afecta el nostre país (el sud-est).

És tracta de problemes molt complexos i molt interrelacionats els uns amb els altres. Per exemple, l'augment de la misèria dels més pobres els obliga a talar més arbres per a poder conrear les corresponents terres. Això produeix disminució de la pluja a la zona desforestada (i, en conseqüència, reducció de les aigües potables), erosió dels sòls sense arbres (desertització) i, com a final del procés, més misèria. També l'esgotament de recursos com l'aigua per sobre explotació i per contaminació, agreuja els problemes de pobresa, fam i malalties infeccioses. Eixos problemes també es traslladen al primer món, perquè els problemes ambientals, com l'efecte hivernacle, són globals o per les emigracions massives o per les guerres.

S'atribueix en molts casos la responsabilitat d'aquests problemes a la ciència i la tècnica, i per això es produeixen actituds negatives d'algunes persones cap a les ciències anomenades "dures" (la física, la química). I és veritat que alguns problemes són fruit de la utilització perversa de la ciència i, sobre tot, de la tècnica -com els armaments- o s'agreugen amb la seua aplicació imprudent -com la contaminació-. Però també és veritat que la ciència i la tècnica poden contribuir a la solució d'alguns,

per exemple, de la superpoblació amb mètodes anticonceptius i planificació familiar, de la fam amb biotecnologies, en particular, l'enginyeria genètica, de la contaminació amb el seu control i amb energies i tecnologies alternatives, que a la seua vegada poden contribuir a la conservació de recursos. Però la ciència i la tècnica soles no ho poden fer. Són condicions necessàries per a resoldre els problemes, però no suficients, perquè també és necessària la voluntat de canviar la situació injusta. En resum, els problemes no es poden resoldre sols amb la ciència, però tampoc és podran resoldre sense ella.

Els mateixos impactes ambientals presentats posen de manifest que no són deguts a la ciència i la tecnologia, quant a l'ús que en fan els qui tenen el poder en la societat, és a dir, els empresaris, polítics i militars. De fet, la pròpia ciència ha contribuït a posar de manifest els problemes ecològics i a buscar solucions per a ells. I si aquestes solucions no s'apliquen és perquè no augmenten els beneficis o el poder dels qui poden prendre aqueixa decisió i perquè els ciutadans no tenen la consciència suficient d'eixos problemes i del que poden fer per a remeiar-los, en particular, com a consumidors (boicotejant determinats productes i racionalitzant el consum d'altres) o com votants.

El canvi climàtic

Tractarem aquest problema perquè és un dels més preocupants entre els abans esmentats, ja que com els canvis que es van produint en l'entorn són de gran complexitat i lentitud, són poc percebuts per las persones. És el que es denomina síndrome de la granota bullida, que resta tranquil·la en l'aigua quan aquesta va escalfant-se i que quan es posa a bullir ja no pot fer res.

En els anys 80 els científics van descobrir que la temperatura mitja del planeta s'havia incrementat quasi un grau el darrer segle i que el nivell del mar havia pujat entre 10 i 15 cm en el mateix període. Eixes investigacions van posar de manifest que aquest canvi climàtic es pot atribuir a l'activitat humana, que es suma a la variabilitat natural del clima, deguda entre altres causes a l'increment de la radiació solar.

La principal causa d'eixos problemes es el fet que amb la revolució industrial, la quantitat de diòxid de carboni CO₂ en l'atmosfera ha augmentat en un 25 %, des de 280 parts per milió en volum (ppmv) en l'any 1.800 a 360 ppmv en l'actualitat. Aquest increment és fruit de l'activitat humana, especialment a través de les reaccions de combustió de petroli, carbó i gas natural utilitzades com a combustibles en les indústries, els automòbils, avions, les centrals elèctriques tèrmiques, etc., sense oblidar la que procedeix dels incendis forestals, que han augmentat espectacularment en els últims anys. Això contribueix a augmentar el problema ja que els boscos i els oceans absorbeixen unes 1.500 tones de diòxid de carboni a l'any. Però la humanitat produeix uns 6.000 milions de tones a l'any, que cal afegir als 170.000 milions de tones acumulades des de la revolució industrial.

La contribució del diòxid de carboni a l'escalfament global s'explica de la següent forma. La Terra rep energia procedent del Sol. Aquesta energia cobreix un ample espectre de longituds d'ona des de l'ultraviolat (UV) al visible i fins a l'infraroig (IR). Una part d'aquesta energia es reflectida i una altra absorbida per la Terra que torna a emetre-la en forma de radiacions IR. Part d'aquesta radiació és absorbida per l'atmosfera abans d'eixir a l'espai exterior. El CO₂ absorbeix radiació IR i actua com els vidres o els plàstics d'un hivernacle impeding la pèrdua de

calor. En aquest procés s'acumula energia i quan major és la quantitat de CO₂ major és l'energia atrapada, per la qual cosa aquest fet s'anomena efecte hivernacle. A més de CO₂ hi ha d'altres gasos que contribueixen a l'efecte hivernacle: el metà, els clor-fluor-carbonis (CFC), que també produeixen la disminució de la capa d'ozó, els òxids de nitrogen.

Hom ha predit que, si continuen les tendències actuals, el nivell de CO₂ a l'atmosfera es doblarà en 50 anys. Açò donaria com a resultat un augment global de la temperatura del planeta entre 1'5°C i 4'5°C abans d'aplegar a la meitat del segle pròxim. Aquest canvi potser produiria l'erosió de la capa de gel del mon (l'Antàrtida, Grenlàndia, les glaceres de les grans muntanyes) amb la consegüent elevació del nivell de la mar inundant o fins i tot submergint moltes ciutats costaneres, on es concentra la major part de la població del món, i illes del Pacífic. També produirà pluges, inundacions i sequeres en àrees agrícolament productives, amb el perill de manca d'aliments.

L'opinió pública i els mitjans de comunicació solen atribuir la responsabilitat del canvi climàtic, i de la contaminació en general, a la ciència i la tècnica. Però, com hem vist abans la ciència ha contribuït a observar el canvi climàtic i a tractar d'explicar-lo, així com a denunciar els efectes que pot produir i a proposar solucions. Abans de la cimera de Kioto, 1500 científics de renom de 63 països, entre ells 98 Premis Nobel de Ciències (en aquell moment sols eren 171 vius) han signat un manifest en el que demanen als líders polítics de tot el món que limiten l'emissió de diòxid de carboni dels seus països per tal de previndre les conseqüències devastadores del escalfament global i diuen que en 25 any caldrà millorar molt

l'eficiència energètica i substituir els combustibles fòssils per energies renovables com la solar, eòlica, etc.

Però com hem pogut veure en la cimera de Kioto els polítics del primer món, especialment els Estats Units que, amb un 5 % de la població mundial, són responsables de l'emissió d'un 25 % del CO₂ (uns 1400 milions de tones anuals) no semblen disposats a fer cas ni als científics ni a les organitzacions ecologistes. I aquestos polítics es comporten així perquè les grans empreses multinacionals dels seus països (especialment les petroleres i automobilístiques) pensen que la reducció d'emissions de CO₂ perjudica els seus interessos. De fet, als Estats Units eixes multinacionals han finançat campanyes publicitàries en contra de la limitació d'emissions. Així es pot veure qui son els veritables responsables del canvi climàtic. Darrerament, les pressions d'aquestes han fet que l'actual president dels EUA i antic empresari petrolier, George W. Bush, es negue a dur endavant els acords signats a Kioto.

Per altra banda, els països del tercer món també es neguen a reduir les emissions de gasos d'hivernacle donat que això pot dificultar el seu desenvolupament i que la responsabilitat del països rics és major. I així, entre uns i altres, es juguen el futur de la Terra.

Camps d'investigació i desenrotllament que responguen a necessitats socials

Malgrat totes les crítiques ningú sembla proposar una alternativa, a curt termini, a la ciència i la tecnologia, que garantisca la subsistència del món. El tema no és menys ciència i tecnologia, sinó més control públic (polític, social) sobre elles, perquè responguen a autèntiques necessitats socials i no siguin apropiades per unes èlits empresarials i militars, que les utilitzen per al

seu benefici econòmic o per al creixement de la seua pròpia organització.

D'altra banda, es constata que el problema bàsic no és tant d'investigació com de distribució. És necessària més ciència i tecnologia als llocs on no ha arribat encara, és a dir, en el tercer món, on viu la major part de la població mundial. Les miserables condicions de vida allí existents, a nivell d'alimentació o salut, es poden solucionar amb les tècniques i coneixements que ja es posseeixen. També han de contribuir a l'educació i a la destrucció de mites i fanatismes que obstaculitzen una organització més racional de les societats humanes.

Quant a línies de R+D que responguen a necessitats socials s'assenyalen les investigacions en fonts energètiques alternatives, de les que parlarem a continuació, i a millorar l'estalvi i l'eficiència en l'ús de l'energia, que poden contribuir a la reducció de l'efecte hivernacle. També investigacions en noves tecnologies no contaminants, en miniaturització i en nous materials, que disminueixen la destrucció de l'ambient o que no suposen gran consum de recursos.

En aquesta línia de miniaturització cal parlar de les nanotecnologies, una mena d'enginyeria microscòpica per a dissenyar molècules o dispositius electrònics i òptics que realitzen determinades funcions. Un dels problemes que se'ls plantegen és que els circuits integrats a molt gran escala (VLSI) aconsegueixen xifres de l'ordre de milions de transistors que ocupen un espai menor que 1 cm^2 , es dir, tenen una grandària d'uns centenars de nanòmetres (uns milers d'àtoms), amb la qual cosa s'acosten als seus límits físics i fa necessari investigar en noves tecnologies substitutives (dispositius quàntics, moleculars, òptics, etc.).

Tot el món sembla coincidir que les investigacions

en salut constitueixen una de les prioritats socials, però s'investiga sobretot en les malalties de la civilització (el càncer, el cor i la SIDA) i en el possible origen genètic d'alguna d'elles, però cal subratllar que les investigacions en salut i higiene públiques del tercer món per a previndre i eradicar malalties infeccioses com la malària escassegen així com les investigacions per a millorar les condicions de treball i la qualitat de vida, ja que en elles està l'origen de moltes malalties físiques i psíquiques. En resum, s'opta per una medicina curativa i no per una preventiva.

Finalment, insistirem en les investigacions per a millorar la transmissió del coneixement (en particular, el seu ensenyament i aprenentatge). Per això l'educació científica apareix, segons l'Agència Nord-americana per a la Ciència, com una de les huit àrees estratègiques per a la investigació científica. Açò és especialment important si es vol maximitzar no sols la producció científica sinó també la seua difusió. I això sembla necessari per dues raons: per la necessitat de qualificar la força de treball per a adaptar-se a les noves tecnologies i per la necessitat d'una comprensió de les implicacions de la ciència i la tecnologia en la naturalesa i la societat, que permeta als ciutadans avaluar les conseqüències que es deriven de les innovacions i participar en una societat cada vegada més marcada pel desenrotllament de la ciència i la tecnologia.

Consum energètic i necessitats humanes

Possiblement l'energia siga el recurs la utilització del qual és més important per a la satisfacció de les necessitats humanes, per això el consum d'energia ha anat en augment constant. Hi ha dues raons, el creixement de població i l'increment d'energia consumida per habitant. Així en la societat caçadora una persona consumia 20.000

J/dia, en les primeres societats agricultores 50.000 J/dia, en la societat industrial europea cap a 1870, 280.000 J/dia i un nord-americà cap a 1970, uns 1.000.000 J/dia. També ha anat variant el tipus d'energia consumida majoritàriament: en l'antiguitat la llenya el treball animal i humà, durant la revolució industrial, el carbó i, en l'actualitat, el petroli i el gas.

No obstant, les xifres de consum revelen un abisme que separa els països pobres dels països rics. Els 270 milions de nord-americans consumeixen tanta energia -en un 80 % d'origen fòssil- com els 3.600 milions d'habitants d'Àfrica, Amèrica del Sud i Àsia. Així, l'any 1994 un habitant dels EUA consumia per any 8 TEP, un de la Unió europea 3.7 TEP, un d'Espanya, 2.4 TEP, un de l'Índia 0.2 TEP (Tona equivalent de petroli és l'energia obtinguda per la combustió d'una tona (1000 kg) de petroli. $1 \text{ TEP} = 4.18 \cdot 10^{10} \text{ J}$).

Quant als tipus d'energia consumida en el món, les dominants són les no renovables, un 82 %, distribuïdes en petroli (36 %), carbó (25 %), gas natural (17 %) i nuclear (4 %). Les energies renovables aporten en l'actualitat un 18 % de l'energia primària (un 11 % correspon a la llenya, un 6% a la hidràulica i el 1% restant correspon a energia solar -tèrmica i fotovoltaica-, energia eòlica, etc.)

En açò també hi ha grans diferències entre el món desenrotllat i el tercer món. Un 30 % de la humanitat (1.700 milions de persones) queda exclosa de tota forma d'energia que no siga la que proporciona la biomassa (llenya sobretot). Hi ha 2.400 milions de persones que no tenen accés a l'electricitat. Per això, en els percentatges de consum d'energia primària en el tercer món, la biomassa representa el 35 % del total, el petroli el 26 %, el carbó el 25 % i el gas natural el 8 %. Al contrari, en la UE el consum d'energia renovable només representa el 5.38 %

(biomassa el 3.25 %, hidroelèctrica el 1.91 %)

En resum, des de la revolució industrial s'ha produït un gran increment en l'ús d'energia als països del primer món, responsable del seu elevat nivell de desenvolupament, basada sobretot en el consum dels denominats combustibles fòssils. Aquests són recursos no renovables, és a dir, s'esgoten (el petroli en poques dècades) i, a més, la seua combustió produeix diòxid de carboni, incrementant l'efecte hivernacle. Per tot això, des d'alguns fòrums industrials i acadèmics, s'està tornant a plantejar l'energia nuclear com a alternativa. S'obliden així els problemes que comporta la fissió nuclear (producció de residus radioactius de gran duració i, en conseqüència, de difícil emmagatzemament, així com de materials fissils reutilitzables en armament nuclear i la possibilitat d'accidents nuclears de gran magnitud) i les grans dificultats que planteja el control de la fusió. Fa 40 anys es deia el mateix que es diu en l'actualitat, d'ací a 40 anys funcionaran reactors de fusió.

Sembla que la humanitat haja oblidat que la gairebé totalitat de l'energia del nostre planeta procedeix del Sol. Aquesta energia es calcula a partir de la constant solar, definida com la potència per unitat de superfície de la llum del Sol quan arriba a l'atmosfera terrestre. El seu valor és d'uns $1,395 \text{ kW/m}^2$. Per tant el valor de l'energia solar interceptada per la superfície il·luminada de la Terra durant un segon és de $173 \cdot 10^{12} \text{ kW}$. Representa el 99.9 % de l'energia a la superfície terrestre. La menuda part del total que no és d'origen solar és energia de la calor interna de la Terra (volcans, brolladors calents), de l'energia de les mareas (deguda a la interacció gravitatòria de la Luna, la Terra i el Sol) i de l'energia nuclear (causada per la desintegració de substàncies radioactives).

Aproximadament un 30 % de la potència solar

incident és reflectida directament a l'espai. Un 2 % és absorbit a la capa d'ozó. Un 45 % és absorbit per l'atmosfera, la superfície terrestre i els oceans i convertit en calor, que és radiat de nou (en especial a la nit) com a infraroig. Un altre 23 % és consumit en el cicle hidrològic (evaporació, precipitació i circulació superficial de l'aigua). Un 0.2 % produeix vents, onades i corrents oceànics. Finalment, un 0.02 % és utilitzada en la fotosíntesi.

Energies renovables

Per totes les consideracions anteriors sembla que les úniques solucions passen per l'estalvi i l'eficàcia en l'ús de l'energia i per l'aprofitament de l'energia del Sol, és a dir, per les energies renovables. Són energies que no esgoten recursos i que tenen un baix impacte ambiental. Les més utilitzades en l'actualitat són la biomassa i la hidroelèctrica. Menys utilitzades són l'energia geotèrmica, l'eòlica o la solar.

La hidroelèctrica utilitza l'energia potencial dels salts d'aigua i mitjançant turbines i generadors la transforma en energia elèctrica. És la més coneguda ja que porta un segle entre nosaltres, per la qual cosa, als països desenrotllats queden ja molt pocs llocs on construir noves preses i, majoritàriament, es tracta d'espais protegits pel seu elevat valor ecològic.

La biomassa és la matèria orgànica que directament o sotmesa a un procés de transformació pot ser utilitzada com a font d'energia. Molts autors inclouen en aquest concepte la llenya utilitzada com a combustible. Però no cal oblidar que els arbres tenen un cicle de renovació llarg i que algunes tècniques d'explotació forestal impedeixen eixa renovació. Altres inclouen només la biomassa destinada directament a aplicacions

energètiques (plantacions de canya de sucre o sorgo) i la biomassa residual que inclou residus forestals i agrícoles, ramaders, residus sòlids urbans orgànics, aigües residuals, etc. S'utilitzen directament com a combustible i com adobs. Per fermentació anaeròbica es pot obtenir a partir d'ells biogàs (60 % de metà i 40 % de diòxid de carboni) o bioalcohol a partir de la canya de sucre. Brasil ha desenrotllat un pla de bioalcohol com a combustible substitutiu de la gasolina. Xina i Índia són els majors productors de biogàs.

La geotèrmica es basa en la calor procedent de la terra, especialment de zones volcàniques, per la qual cosa té molt d'ús en països com Islàndia. A Espanya només sembla factible a les illes Canàries on s'estan realitzant investigacions al respecte.

L'eòlica utilitza l'energia cinètica del vent que mitjançant molins, turbines i generadors és transformada en energia elèctrica. Inicialment només s'utilitzava per a subministrar electricitat directament a granges o aldees retirades i en l'actualitat, en augmentar la potència, hi ha parcs eòlics que subministren energia a la xarxa elèctrica. Espanya és un dels grans productors mundials d'aquesta energia, després d'Alemanya i Dinamarca, amb parcs eòlics a la Muela (Saragossa), Manzanares, As Pontes (Galícia), etc. Fins i tot hi ha comunitats autònomes com Navarra que estan a punt d'aconseguir que la major part de la seua energia elèctrica siga d'origen eòlic.

L'energia solar és un terme confús perquè inclou gran quantitat de dispositius que només tenen en comú la utilització directa de la llum del Sol. Podem esmentar les plaques solars (que subministren aigua calenta per a ús domèstic), l'arquitectura solar, que permet reduir considerablement les despeses en calefacció, refrigeració i il·luminació de les cases simplement mitjançant el disseny

i la construcció adequades de les mateixes, els forns solars (que concentren els raigs solars amb espills per a produir elevades temperatures), les centrals electrosolars (grans forns solars, que escalfen un fluid que acciona turbines i generadors), les cèl·lules solars fotovoltaïques, construïdes a partir de semiconductors, com el silici, que transformen la llum en electricitat.

Els partidaris de les energies convencionals sostenen que les alternatives són incapaces de solucionar les nostres necessitats i que el seu rendiment és molt baix. Aquesta afirmació respon evidentment a interessos particulars i per això, les empreses elèctriques, malgrat la legislació vigent, han posat obstacles que no deixen connectar a la xarxa les menudes instal·lacions particulars i, en particular, les cèl·lules fotovoltaïques. Resulta paradoxal que en un país amb dèficit energètic (només produïm el 30 % de l'energia consumida) i amb tantes hores d'insolació gaudim dels inconvenients d'aquesta (la sequera), però no dels seus avantatges (l'ús de l'energia solar és insignificant).

Són compatibles el desenvolupament i la sostenibilitat?

En la dècada dels 60 i principis dels 70 comença a desenvolupar-se una consciència crítica sobre les relacions entre la ciència i la tècnica i les seues implicacions en la naturalesa i la societat. Aquesta consciència, inicialment minoritària, va difonent-se en l'opinió pública, especialment entre els universitaris, amb els moviments crítics dels 60 i amb la crisi energètica de 1973, que posa en relleu temes energètics, ecològics com la contaminació de les aigües (en rius, llacs, platges), de l'atmosfera (el boirum en les grans ciutats), radioactiva, els grans femers

urbans, l'esgotament dels recursos (com l'aigua potable o el petroli).

En 1972 Commoner redacta *Els límits del creixement*, primer informe al Club de Roma, on es planteja la necessitat de detindre el creixement econòmic per a salvar a la Terra de les agressions de la industrialització, és a dir, va proposar un creixement zero sense plantejar canvis en la societat (com la redistribució més equitativa dels recursos existents). Va ser molt mal rebut per:

- els empresaris, perquè era una agressió al principi capitalista del benefici al més curt termini possible
- els sindicats, perquè suposava, al no plantejar contrapartides, un retall en les conquestes dels treballadors
- el tercer món, perquè si es deté el creixement es manté la seua situació de pobresa i la seua desigualtat respecte al primer món.

En 1987 Brundtland publica l'informe *El nostre futur comú*, on distingeix entre creixement i desenvolupament i introdueix el concepte de desenrotllament sostenible, que intenta fer compatibles desenrotllament i ecologia. Aquest es basa, per una banda, en una ecologia de la pobresa, és a dir, en una sèrie de mesures internacionals per a afavorir el desenrotllament sostenible del tercer món, com, per exemple, l'augment de l'ajuda econòmica dels països avançats (al 0.7 % del seu PIB), la transferència de tecnologies modernes i eficients energèticament (en compte de les tecnologies contaminants i obsoletes que es transfereixen en l'actualitat), canviar el deute exterior del tercer món (que absorbeix bona part dels seus recursos) per mesures ecològiques i substitució dels monocultius controlats per les multinacionals per conreus propis.

Per l'altra banda, aquestes mesures s'han de

complementar amb altres per als països avançats perquè el nivell de vida a què la humanitat ha accedit en els dos últims segles només l'ha aconseguit una part de la humanitat i -d'acord amb el coneixement que disposem- no pot ser a l'abast d'una població com l'actual. Si tots els països es comportaren com a països desenrotllats, és poc probable que poguera seguir sent-ho cap, ja que la quantitat de recursos explotats (aigua, energia) i de residus generats transformaria el món en un desert o en un abocador en qüestió d'anys.

Per tot això és necessària en primer lloc l'educació dels ciutadans i després l'elaboració de lleis que obliguen a les empreses i ciutadans a utilitzar més racionalment els recursos, a limitar la contaminació, a reciclar i reutilitzar els productes i els residus, a protegir espais naturals, etc. Però no hi ha prou amb mesures proteccionistes o conservacionistes: es necessiten també canvis en el model econòmic del primer món. És necessari reduir la producció i el transport i consumir menys, i és necessari que açò no es faci, com de costum, a costa dels més dèbils, incrementant la desocupació i la misèria, sinó distribuint mes equitativament el treball i també els beneficis.

Per a *assegurar les bases d'un desenrotllament sostenible*, com assenyala Herman Daly, és necessari que les taxes de recollida de recursos renovables siguin iguals a les taxes de regeneració i que les taxes d'emissió de residus siguin iguals a les capacitats d'assimilació dels sistemes a què s'emeten eixos residus. L'ús quasi-sostenible de recursos no renovables exigeix que tota inversió en l'explotació d'un recurs no renovable porte aparellada una inversió compensatòria en un substitut renovable. I resumeix, cal frenar l'hiperconsum de les societats desenrotllades i l'explosió demogràfica dels països pobres.

CAPÍTOL 8

Ciència i ètica

Els valors semblen ser temes tabú per als científics, perquè oscil·len entre l'Escala del subjectivisme i el Caridbis del relativisme. Açò pot deure's que antany l'ètica es fonamentava en un principi d'obediència a l'autoritat, ja siga dels déus, del govern o del costum. Com aquests eren distints en cada grup o societat, ens vàiem abocats als problemes abans esmentats. Actualment, el procés de globalització que existeix en el món, està portant a plantejar ètiques mundials, que puguen ser compartides pel nombre més gran d'habitants del planeta. Són ètiques amb principis senzills: el major ben comú (o públic) per al nombre més gran de persones, com ja assenyalara el filòsof Bertrand Russell. Consideren que els drets humans, la democràcia, la llibertat i la justícia, no són només conquestes occidentals sinó de tota la humanitat. A més tenen en compte els desitjos de les persones i les discordances entre ells. Així, és millor el desig de conèixer que el desig de posseir béns i poder, perquè el primer s'obté sense desposseir d'ell a un altre i, per contra, els altres dos només poden satisfer a una minoria i són fonts de conflicte.

Moltes vegades es veu el científic molt aïllat del món, centrat en el coneixement de la natura i sense preocupar-se professionalment dels problemes del món. Com en tots els tòpics hi ha alguna cosa darrere. De fet els estudis científics, tant a nivell secundari com universitari, no anima als estudiants a examinar algunes de les qüestions humanes més urgents i es mostra una ciència allunyada de les seues aplicacions tecnològiques i de les seues implicacions socials i ambientals. Per altra banda, la majoria dels joves científics com a conseqüència de la necessitat de publicar per aconseguir la seua promoció professional ("publica o mor") estan més preocupats pel nombre d'articles que pot produir el seu treball que per dedicar temps a eixes qüestions. Això no vol dir que altres científics, sobre tot quan ja han assolit un elevat status en la comunitat científica i, en conseqüència, una certa edat, com els Premis Nobel Abdus Salam o Murray Gell-Mann o el científic Antonio Fdez-Rañada, no es preocupen pel destí del planeta i facen en els seus escrits diagnòstics molt precisos dels seus problemes més angoixants.

D'altra banda, no cal oblidar que tots, científics i no científics, estem fent judicis ètics a cada moment, aplicant els termes de correcte o bo o d'incorrecte a roí a accions o qualitats, i que l'anàlisi ètic és, simplement, l'anàlisi conscient de les justificacions de les nostres decisions.

CUDOS

Els valors o normes vigents en la comunitat científica van ser explicitats per primera vegada per Robert K. Merton, el pare de la sociologia de la ciència en 1942, denominant-los CUDOS (a partir dels seus inicials). Ens recorda la paraula *kudos* que significa "glòria, fama,

renom", verdadera recompensa per als qui obeïsquen aquestes normes. Són els següents:

- El Comunisme: la ciència és coneixement públic lliure i a disposició de tots

- L'Universalisme: Els descobriments s'han de valorar pels seus mèrits prescindint de la nacionalitat, raça, religió, sexe, edat o categoria científica dels qui els produeixen.

- El Desinterès: la ciència es conrea per la ciència, pel progrés del coneixement.

- L'Originalitat: La ciència és el descobriment d'allò que es desconeix.

- L'Escepticisme (Scepticism): El coneixement científic ha de sotmetre's a un examen crític a la recerca d'errors i contradiccions.

Però, com assenyala Ziman aquests valors o normes són tan respectats en la infracció com en el compliment. A continuació mostrem algunes formes d'incompliment:

- Al costat del Comunisme, tenim predomini de la investigació secreta, les patents o altres reivindicacions jurídiques de " propietat " científica privada.

- En comptes d'Universalisme, es discriminen les opinions de les persones que no pertanyen a la comunitat científica. A més, es parla d'efecte Mateu (basant-se en un versicle del citat evangelista "A qui tinga se li donarà i a qui no tinga se li llevarà el poc que té") per a assenyalar que se sol concedir massa pes científic, és a dir, subvencions, publicacions o ponències als membres de l'èlit científica.

- Enfront del Desinterès, les disputes de prioritats revelen la competició intensa a la recerca de reconeixement i recompenses personals.

- Al costat de l'Originalitat trobem el plagi científic, la concessió de poc pes acadèmic a les investigacions industrials i de desenrotllament tecnològic.
- A la vora de l'Escepticisme tenim fal·làcies que han passat desapercbedudes molt de temps o una educació dogmàtica que tanca els ulls, de la que es parlarà més detingudament en el següent capítol.

La responsabilitat moral dels científics

Però més interessants que les consideracions teòriques de la sociologia de la ciència són les preses de postura o els exemples de responsabilitat moral dels científics. Alguns pensen que ells produeixen bombes atòmiques, però és decisió del govern usar-les o no, o fan conreus bacterians, però no els correspon decidir si s'utilitzaren per a produir medicines o com a armament biològic. Participen en eixes recerques i pensen que la responsabilitat és dels polítics o empresaris que realment decideixen. Aquesta afirmació apareix com una conseqüència de la suposada neutralitat de la ciència. Segons aquesta la ciència no té res a veure amb els valors, transcendeix les opcions ideològiques. Per això, la ciència és una ferramenta: és només l'ús que es fa d'ella el que la converteix en bona o roïna. Altres autors, redueixen la responsabilitat dels científics a informar el públic de la fiabilitat i els efectes dels seus descobriments.

En el fons, ambdues afirmacions semblen un subterfugi perquè els científics puguin eludir la seua responsabilitat moral. El cas de la bomba atòmica pot mostrar com funcionen les coses realment. Primer apareix una situació que obliga a científics com Einstein, profundament compromesos amb la causa de la pau, a firmar la carta a Roosevelt demanant que els EUA

comencen a produir la bomba, per a evitar que s'avancen els nazis. Però la unanimitat dels científics es trenca quan, poc després dels llançaments de les bombes sobre Japó, alguns científics com Einstein, Bohr i Szilard van manifestar la seua oposició a la utilització de la bomba, en tant que altres com Lawrence, Compton i Oppenheimer van recolzar públicament el bombardeig. És evident que no és tan senzill passar-los la responsabilitat només a polítics i militars. I quan els soviètics van fer explotar la seua pròpia bomba en 1949 científics com Teller i Lawrence influeixen en el govern, recolzant la idea de produir una bomba més poderosa, la d'hidrogen. També va haver-hi científics, com Oppenheimer, que es van oposar.

No obstant, l'oposició corria a càrrec de científics importants, que van denunciar els perills de la proliferació nuclear i assenyalen que aqueixes armes amenacen l'existència de la humanitat: manifest de Einstein i Russell de 1955, signat per científics com Pauling, Born, Joliot-Curie, Bridgman o Yukawa; el manifest del grup de Gotinga de 1958 promogut per Born; les conferències Pugwahs convocades per iniciativa de Russell a partir de 1958; etc. El mateix Born assenjala que no van tenir prou ressò en la premsa. Però la majoria dels científics, especialment els que havien d'obrir-se camí, "no han tingut massa prejudicis en deixar-se conduir a aquells camps en què les prioritats nacionals van posar diners, prestigi i l'excitació implícita en programes d'investigació que plantegen qüestions que es volen resoldre urgentment" (Sánchez Ron 1992).

A principis dels anys 70 també existien preocupacions sobre les possibilitats de les biotecnologia: produir virus o bacteris patògens, amb resultat d'epidèmies, o clonar sers humans. En 1974 l'Acadèmia

Nacional de Ciències dels EUA va sol·licitar que s'establira un ajornament mundial de la investigació en el dit camp i que es convocara una conferència internacional al respecte. Va ser la cèlebre d'Asilomar, Califòrnia, en 1975, en la qual es va voler limitar el debat únicament als riscos associats a la investigació genètica i les mesures de seguretat que es podien introduir, evitant qüestions de valors. La veritat és que la conclusió de la conferència va ser reemplaçar la moratòria, substituint-la per uns protocols per a la investigació.

El frau en la ciència

Però no es tracta sols de responsabilitat social. També hem vist que la ciència busca la veritat, per tant, activitats científiques que no estan d'acord amb eixa finalitat es poden considerar fraudulentos o, com a mínim, males conductes científiques. La forma més generalitzada i menys greu és el retoc de dades empíriques, per a que ajusten millor a la hipòtesi, proporcionant major credibilitat al treball científic, com és evident que va fer Mendel en les seues perfectes estadístiques sobre els creuaments de pèsols. Una altra forma és la selecció de dades científiques, descartant totes les que no s'ajusten a la hipòtesi que es vol provar, per exemple, en l'experiència amb gotes d'oli per determinar la càrrega dels electrons, Millikan sols va publicar les dades obtingudes amb 58 d'un total de 140 gotes, aquelles que oferien els resultats més propers al valor buscat. També es poden utilitzar idees o resultats sense reconèixer-ho, com va fer Kekulé amb les idees de Lambert sobre l'estructura cíclica del benzé i dels seus derivats. De totes menes, es pot veure amb eixos exemples, que abans s'enganyava per defensar una idea científica o pel desig de prioritat en els descobriments.

La situació ha empitjorat en els últims anys, perquè el gran desenvolupament de la ciència a partir de la II Guerra Mundial, ha provocat, com ja hem vist, un fort increment en la població científica i, per tant, un gran clima de competitivitat, agreujat a partir de 1980 quan el finançament de la R+D deixa de créixer o, fins i tot, disminueix. Eixa situació sembla més greu en les ciències biomèdiques que en les físiques i no sols per la forta competència entre els grans laboratoris i la dimensió comercial de la investigació biomèdica. També per la seua especificitat. Un àtom o un dispositiu electrònic no varia d'un laboratori a un altre. Els sers vius són variables i complexos i la investigació en biomedicina tolera més que la física o la química resultats dispersos segons els laboratoris. També és cert que el frau és més abundant als EUA que en la Unió Europea, degut possiblement a la major competitivitat i a la menor estabilitat laboral dels científics als EUA. Per això, en 1989 els Instituts Nacionals de Salut d'eixe país, que financen i realitzen bona part de la recerca biomèdica, crearen en 1989 la Oficina d'Integritat Científica. Així i tot, s'observa que eixes males conductes científiques son molt reduïdes (mil reclamacions per milions d'articles publicats entre 1993 i 1997, de les quals sols 150 donaren lloc a investigacions i 76 investigadors foren declarats culpables) sobre tot si es compara amb altres activitats socials.

La major part de les males conductes científiques estan relacionades amb les publicacions ja que en el seu nombre i qualitat es basa el reconeixement dels científics (i, per tant, la seua promoció professional i el finançament dels seus projectes). Així es plantegen situacions conflictives sobre l'ordre en la signatura dels articles o sobre la publicació del mateix article, amb altre títol i menuts canvis en el major nombre de revistes. Més greus són el robatori d'idees o resultats, usant-los sense citar

l'origen, com va fer Max Gallo amb el descobriment del virus de la SIDA de Montaigner; el plagi descarat, que va contra el reconeixement de l'autoria; o la falsificació de resultats, especialment, la invenció dels mateixos, com va fer Cyril Burt amb les dades sobre bessons idèntics, criats en ambients diferents, per mostrar el caràcter exclusivament hereditari del coeficient intel·lectual. Evidentment, la majoria d'aquestes pràctiques permeten publicar molt amb poc temps i esforç, inflant el currículum o afavorir els interessos de les empreses, especialment farmacèutiques o d'enginyeria genètica, per a les quals treballen els investigadors. També els editors (i els assessors) tenen possibilitats d'afavorir als aliats, no publicar als competidors i, sobre tot, de disposar d'informació privilegiada abans de la seua publicació.

Recentment, s'han utilitzat els mitjans de comunicació per realitzar la comunicació de descobriments científics que després no han resultat certs, com per exemple, les reaccions nuclears de fusió fredes o nous mètodes per aconseguir hidrogen de l'aigua. No es tracta d'un frau, però és una mala pràctica científica molt lògica en una societat dominada pels mitjans de comunicació. El procediment correcte i habitual és que els científics presenten els resultats de les seues investigacions a la comunitat científica internacional en revistes o congressos científics, explicant tots els procediments i materials emprats, per tal que qualsevol altre científic pugua reproduir l'experiència. Això afavoreix la crítica i comprovació dels resultats. El procediment emprat, amb la seua manca d'informació, fa que alguns científics siguen escèptics al no veure clar el fonament teòric dels treballs o la possibilitat de replicar l'experiment. A més, eixa pràctica afavoreix l'aparició de titulars que donen idees falses al assegurar, per exemple, que amb mig litre d'aigua es pot arribar de València fins a Bilbao.

Els descobriments esmentats, no confirmats per altres grups han tingut tanta ressonància en els mitjans perquè l'aparició d'un nou combustible barat i no contaminant vindria a resoldre dos grans problemes de la humanitat: l'esgotament de recursos energètics, com el petroli, el gas i el carbó i l'efecte hivernacle produït pel consum de combustibles fòssils. Però amb el sensacionalisme s'oblida que hi ha molt camí a fer abans que es realitzin les esperances manifestades als periòdics. Cal més investigació per tal de millorar el procés al laboratori. Després s'entra en la fase de desenvolupament, on s'ha de veure el rendiment de les reaccions a nivell industrial, construir plantes pilot i un llarg etc.

Finalitats i valors en la ciència

En la ciència sembla fàcil parlar de la responsabilitat moral del científic o de l'ètica d'aplicacions científiques, però ens trobem que és difícil dir si són bones o roïnes les teories (per exemple, les de la gravitació o de l'evolució), sense la qual cosa és molt difícil realitzar avaluacions socials de la ciència.

No obstant, es pot parlar d'ètica d'uns continguts o teories si es té en compte que tota activitat pot ser definida per la finalitat que es proposa, completada amb els resultats o conseqüències que realment aconseguix, com diu Chalmers. Així, qualsevol activitat social (i la ciència ho és) es caracteritza per tendir a la consecució d'uns béns interns que donen sentit a l'activitat. Aquestes activitats permeten, al seu torn, aconseguir uns béns externs, com els diners, el prestigi o el poder, que són comuns a diverses activitats i no es poden atribuir a cap en particular. Quan els que participen en eixes activitats deixen de buscar els béns interns i la desenrotllen

exclusivament pels externs, l'activitat perd la seua ètica, la seua legitimitat, es corromp.

Per tant, el problema consisteix a determinar quines són les finalitats (o béns interns) d'eixa activitat denominada ciència. En els inicis de la revolució científica, Francis Bacon, Descartes, Galileu o els Estatuts de la Royal Society, van assignar dos fins a la ciència: el coneixement de la naturalesa i la utilitat. Podem observar que es separa la ciència del món dels valors (ètica) i de l'art (estètica). Açò es realitza per dos motius: a) la necessitat del mètode científic d'apartar allò no inclòs en ell, és a dir "allò que no es pot mesurar, pesar, comprovar, observar i raonar lògicament a partir d'experiments"; b) l'evitació de conflictes amb l'Església (els problemes de Giordano Bruno, Galileu i altres, estaven molt presents), establint un clar criteri de demarcació: s'acota una regió accessible a la ciència, i una altra, la de la passió, la voluntat i la fe, que pertany al regne de la religió i de la filosofia.

Normalment, respecte a l'ètica de la ciència trobem tres postures (les dues primeres solen correspondre a membres de la comunitat científica) que presentem tot seguit:

- En primer lloc, per a alguns la ciència és bona perquè les seues finalitats, coneixement i utilitat, ho són. A més, amb Galileu, Darwin i altres, ha contribuït a la destrucció de mites i fanatismes que obstaculitzaven una major racionalitat en la societat humana. Per això no és d'estranyar que la ciència fóra un dels majors suports de l'ideal de progrés vuitcentista. Així, un membre de la Convenció francesa afirmava: "No oblidem que molt abans que nosaltres la ciència i la filosofia van lluitar contra la tirania. I que els seus esforços constants van fer la revolució. Nosaltres com a homes lliures i agraïts, hem d'establir-les i conservar-les per a sempre. Perquè la

ciència i la filosofia mantindran la llibertat que hem aconseguit".

- La segona idea, més estesa en l'actualitat, és la de la neutralitat de la ciència, que no té res a veure ni amb valors ni amb opcions polítiques i ideològiques. Així, se'ns diu que la teoria de la relativitat o la invenció del transistor són independents de l'humanisme democràtic d'Einstein i del conservadorisme i racisme de Shockley. Per tant, la ciència és un instrument, no hi ha res que obligue a usar-la en un sentit o un altre. Són els seus usos i aplicacions, que depenen de les finalitats o interessos de qui les utilitza i de qui les finança (empreses, Estat) els que són roïns (o bons). És a dir, la ciència no dóna els fins, es contenta de prescriure els mitjans. Dóna poder a l'home però no li diu com usar-lo.

- Finalment, hi ha una actitud que considera negativa a la ciència, iniciada per Rousseau en el seu "Discurs sobre les ciències i les arts", que no nega la validesa de la ciència, sinó que afirma que el coneixement científic és contrari a la felicitat humana. En termes actuals, paguen la pena els avantatges de la ciència (en medicina, transports o agricultura) si van acompanyades de bombes atòmiques o contaminació? És molt més fàcil convèncer a la gent que la ciència és perversa que convèncer-la que és falsa. Una altra línia crítica de la ciència i la tecnologia assenyalava que la ciència moderna està lligada al naixement del capitalisme i a l'ascens de la burgesia i comparteix amb ella el desig de dominar, explotar i manipular la naturalesa i els homes (Marcuse, Habermas). D'ací a plantejar la perversitat intrínseca de la ciència i la tecnologia hi ha un pas, que alguns autors donen parlant de la "ciència -tecnocràcia" actual i de societats futures anàlogues a "Un món feliç" d'Huxley. Una altra versió d'aquesta línia és la que assenyalava que les

finalitats i l'orientació de la ciència i la tecnologia estan determinades per les institucions que les financen.

Respecte a aquestes tres postures podem assenyalar que la primera ha sigut superada des de la participació creixent de la ciència en les guerres d'aquest segle i el desenrotllament de la consciència ecològica a partir dels anys 60. Malgrat tot alguns autors assenyalen que la ciència ha deixat de ser positiva perquè ha sigut domesticada pel sistema en benefici propi i privada així de la seua capacitat crítica.

La segona postura tampoc sembla correcta, perquè la ciència i els científics sempre estan immersos en la societat, en institucions (empreses i ministeris) amb interessos determinats (benefici privat, defensa). En conseqüència, la ciència té tanta neutralitat com els qui la usen, o siga cap. D'altra banda, eixos interessos o finalitats externes poden arribar a prevaldre sobre les finalitats pròpies de la ciència, el coneixement de la naturalesa i el bé públic.

I encara que els paràgrafs anteriors semblen alinear-se amb la tercera postura, ara sembla necessari criticar el determinisme sociològic subjacent a la mateixa. Convé no oblidar que el desenrotllament de la ciència (i de la tecnologia) està influenciat (però no determinat) per la societat de què forma part. Però, d'altra banda, és evident que gaudeixen d'una gran autonomia. Una prova d'això és que la ciència i la tecnologia, progressen, en certa mesura, a partir del seu desenrotllament interior, del seu grau de complexitat i del coneixement acumulat. Així, encara que sempre ha existit una gran demanda de medicaments, no es van produir millores fins a finals del XIX. Una explicació d'açò es pot apuntar en el fet que les disciplines que van arribar a un estat més avançat en l'Antiguitat foren astronomia, matemàtiques, mecànica i òptica, és a

dir, aquelles que poden avançar sobre experiències humanes, amb poca dependència d'un aparell experimental complex. El domini dels principis del món mecànic és la base per a aconseguir un domini semblant sobre la química. I només quan aquest es va produir van avançar la microbiologia, la bioquímica i la biologia molecular que han permès el desenrotllament de medicaments. També hi ha una gran autonomia en l'avaluació científica, és a dir, en els criteris mitjançant els quals la comunitat científica considera uns determinats coneixements com provats. En efecte, si només prevalgueren els interessos econòmics i polítics mai s'haguera conegut que el tabac produeix càncer, que la radioactivitat és perjudicial, que el diòxid de carboni contribueix al calfament de la terra o que el PVC contamina.

En resum, l'única cosa que podem dir de la Ciència, com de l'art, la literatura, la religió, la filosofia o altres grans empreses humanes, és que són ambivalents, és a dir que coexisteixen en elles contribucions positives i negatives. I encara que en aquests moments semblen prevaldre les contribucions negatives perquè la majoria dels objectius els fixen institucions que anteposen el seu creixement, la seua rendibilitat econòmica o la defensa nacional a les finalitats de la ciència (parafraejant Marx, la ciència dominant en la societat és la ciència de les classes dominants), no cal oblidar que per a molts científics eixes finalitats han sigut i continuen sent el alleugerir problemes o necessitats humanes, és a dir, ideals clarament humanitaris. D'ací sorgeixen línies de R+D que contribueixen no sols al coneixement sinó també a les necessitats socials (el descobriment de nous problemes de contaminació i la seua denúncia o de tecnologies alternatives que els eviten). A més, no podem oblidar que una ciència i tecnologia neutres, és a dir, sense valors, són

perilloses, perquè convertides en poderoses forces socials, tot els està permès

Avaluació i control de ciència i tecnologia

Són molts els canvis que han tingut lloc en la societat que impulsen la necessitat de l'avaluació de la ciència i la tecnologia, entre altres: nous riscos a escala planetària, creixent irreversibilitat dels efectes, creixement de moviments socials crítics, estat actual de les democràcies que exigeix participació, creixent paper de la ciència i la tecnologia com a elements estratègics, dependència de les decisions polítiques del coneixement científic i tecnològic, paper cada vegada més rellevant de la ciència i la tecnologia en la societat actual, però, al mateix temps, pèrdua de confiança en el progrés i la idea automàtica del millorament de la vida. Es tracta, llavors, de promoure que els ciutadans siguin capaços de realitzar avaluacions sobre diversos desenrotllaments científics i tecnològics, en concret, avaluació de riscos per a la salut i d'impactes ambientals, psicològics, institucionals o polítics, socials, tecnològics, legals i econòmics. Aquestes avaluacions han de portar a valoracions, a judicis ètics que poden realitzar-se atenent a la contribució d'eixos desenrotllaments a la satisfacció de necessitats humanes (sense oblidar que el coneixement és una d'elles) i a la solució dels problemes del món. Es tracta, així mateix, de posar de manifest els interessos i valors subjacents en les opcions i decisions sobre ciència i tecnologia de diversos actors socials (estat, multinacionals, científics, empresaris), ocults per l'aparent neutralitat de la ciència i tecnologia. Veuran així que hi ha diferents valoracions i que és necessari comparar-les, argumentar-les, per a arribar a conclusions. Finalment és necessari traduir els arguments en polítiques públiques: escrits i declaracions, sol·licituds,

participació en projectes, votacions, col·laboració amb Organitzacions no Governamentals o altres organitzacions socials implicades en el denominat entramat sociotecnològic. I per a això és condició necessària que els ciutadans coneguen les relacions CTS i els problemes del món.

Un exemple de control social seria que aquestes avaluacions podrien portar en alguns casos a l'aplicació del principi de precaució, segons el qual l'absència de certes científiques no ha de retardar l'adopció de mesures preventives. Basant-se en el eixe principi alguns científics i grups de la Unió Europea desitjarien que s'aplicara als OGM una moratòria, perquè aquests es puguin sotmetre a un profund examen científic previ, com els medicaments. No obstant, EUA i Canadà pensen que s'ha de seguir endavant mentre no es tinguin proves científiques evidents que són perjudicials. Però, paradoxalment, aquests països apliquen taxativament el principi de precaució als formatges elaborats amb llet no pasteuritzada o a la carn d'ovella europeus, la qual cosa posa de manifest que es tracta d'un problema d'interessos (inversió realitzada, llocs de treball) i de la capacitat d'imposar-los en el comerç mundial

CAPÍTOL 9

Ciència i educació

Actualment, hem assumit com quelcom obvi que el sistema educatiu incloga l'ensenyament de les ciències i, no obstant, açò és un fet històric prou recent. En efecte, l'ensenyament institucionalitzat de les ciències s'inicia a finals del segle XVIII, durant la Revolució francesa, és a dir, gairebé dos segles després de la revolució científica. Abans els coneixements científics s'ensenyaven en Matemàtiques o en Filosofia natural.

S'ensenyen ciències perquè la burgesia revolucionària, pensava que la ciència podia contribuir a la destrucció de mites i fanatismes que obstaculitzaven una major racionalitat en la societat humana. Però també estava present la idea d'utilitat al servei de l'Estat, del bé comú (per exemple, en l'Ecole Polytechnique). Amb el triomf de la burgesia conservadora es va imposant la idea d'una ciència útil, al servei de "la seua" indústria.

El paper de l'educació científica

En el segle XIX la importància de les ciències era evident per a alguns sectors socials (no per a tots, com hem pogut veure en l'apartat sobre l'impacte social de la teoria de l'evolució), per la seua utilitat, la seua contribució al benestar de la humanitat, i per això es va institucionalitzar el seu ensenyament a les universitats a principis del segle XIX, especialment en les alemanyes, que van crear el model de professor investigador que es va anar expandint a les universitats europees i nord-americanes, o a les escoles politècniques sobretot a França. També en aquesta època apareix la denominació de científic que substitueix a la de filòsof natural. Al mig del segle XIX comencen a incloure's assignatures científiques en l'ensenyament secundari que, no oblidem, era un privilegi dels homes de classe mitjana i alta.

En el segle XX, la major exigència social d'igualtat d'oportunitats en les societats més avançades i el fet que la ciència i la tecnologia hi juguen cada vegada un paper més important, ha portat a un creixent interès per l'educació, en particular per l'educació científica (molt visible en l'antiga URSS des dels seus orígens i als EUA des del llançament del Sputnik), com a mode de garantir el desenrotllament d'un país. Açò s'ha traduït, als països desenrotllats en increments de la inversió en educació i en la generalització de l'educació secundària a tota la població. Així, en EUA s'invertia en 1990 el 7.5 % del PIB en educació, al Japó el 5.1 %, a Alemanya el 4.7 %, a França el 6.1 %, a Itàlia el 4.0 %, al Regne Unit el 5.2 %, a Canadà el 7.4 %, a Espanya un escàs 3.2 %, a Holanda el 6.9 % i a Suècia el 7.6 %. El National Research Council considera l'alfabetització científica per a tots com una necessitat urgent. També recentment, des de la Conferència Mundial sobre la Ciència per al segle XXI

celebrada al juny de 1999, propiciada per la UNESCO i el Consell Internacional per a la Ciència (ICSU), assenyala la necessitat d'impartir una educació científica bàsica per a tots, perquè un país estiga en condicions d'atendre a les necessitats fonamentals de la seua població.

D'altra banda, es planteja la necessitat que l'ensenyament de les ciències contribuísca a la formació dels futurs ciutadans, per a evitar que la informació i les decisions sobre la ciència estiguen cada vegada en menys mans i permetre que els ciutadans puguen opinar, participar i votar informadament sobre temes científics, sense la qual cosa es produeix una situació de dèficit democràtic. No oblidem que moltes iniciatives parlamentàries dels països avançats estan relacionades amb temes de CTS i medi ambient.

En resum, la importància de la ciència per a la societat és cada vegada més evident i per això s'ha institucionalitzat el seu ensenyament, però el que potser no siga tan evident per a tots és la importància de l'ensenyament per a la pròpia ciència i per a la societat. Podem esmentar les següents raons:

- En primer lloc, va afavorir la institucionalització de la pròpia ciència, oferir nous llocs de treball en universitats a principis del segle XIX. Després amb la creació dels laboratoris industrials a principis del XX va aparèixer una altra gran font d'ocupacions
- El fet que el manteniment i la continuació de l'activitat científic- tècnica depenen de la formació del suficient nombre de científics i enginyers
- Menys conegut resulta el fet que el propi ensenyament pot contribuir a la realització de descobriments científics, com per exemple, en el cas de Mendelèiev. Aquest va arribar al seu sistema periòdic buscant un sistema de

classificació d'elements que evitara la impossibilitat de transmetre, a curt termini, coneixements químics, donada la llista interminable de monografies existents sobre cada u dels elements coneguts. Sense anar tan lluny, el propi Weisskopf assenyala que “l'esforç d'explicar i aclarir un camp de la física no sols porta a un millor enteniment del treball passat sinó que també produeix idees noves, explicacions i descobriments. Aquest és un exemple de la connexió estreta entre ensenyament i investigació”.

- Tampoc cal oblidar que l'ensenyament de les ciències contribueix al constant procés d'aclariment i refosa de les teories, en afavorir que s'organitze millor la seua arquitectura, se n'expliciten els seus conceptes clau i es supere la confusió entre les fases de la seua concepció i creixement. A aquest respecte resulta il·lustratiu el camí que porta dels articles en revistes especialitzades a les monografies i d'ací als textos universitaris.

- Finalment, és necessari assenyalar que l'ensenyament ha sigut i continua sent un dels vehicles més eficaços en la difusió dels coneixements científics i tècnics i, en conseqüència, del suport a la ciència, almenys implícit, d'una certa fracció de la societat.

Desinterès cap a la ciència

La mateixa existència de crides sobre la necessitat d'una alfabetització científica posa de manifest l'existència de problemes. El primer és el desinterès de l'alumnat cap a la ciència i el seu ensenyament. El problema de les actituds cap a les ciències és un tema preocupant i de gran rellevància que ja va ser posat de manifest fa poques dècades i l'intent de solució del qual va originar el sorgiment de nombroses línies d'investigació al camp de la didàctica de les ciències que, des dels diferents aspectes de

l'aprenentatge, tractaven de pal·liar el problema. Així es van potenciar noves formes d'ensenyar, nous continguts, que pretenien despertar l'interès de l'alumnat cap als estudis científics. No obstant, a finals dels 80, es segueix constatant un baix interès dels estudiants cap a l'aprenentatge de les ciències, en especial, cap a la física i la química i, en conseqüència, un abandó del seu estudi. Matthews assenyalava que als EUA es fuig de la ciència de forma dramàtica i, en conseqüència, a finals dels anys 80, 7100 instituts no tenien cursos de física, 4200 no en tenien de química i 1300 no en tenien de biologia.

Dunbar assenyalava que al Regne Unit el nombre d'estudiants de secundària que elegeixen química s'ha desplomtat en un 70%, des d'uns 205.000 en 1989 fins a uns 62.000 en 1991, i el mateix es detecta en altres països. Per tant, en disminuir la base de la piràmide, els alumnes de ciències de secundària, especialment de física i química, disminueix el vèrtex, amb la qual cosa es produeix una disminució alarmant en el nombre de professors de ciències de secundària. Així, es pot observar, per exemple, la situació al Regne Unit: de 9000 places de professors de física en secundària, a principis dels 90 només havia cobertes 7200 i a partir del 2000 es preveu que hi haja 4000 places per cobrir o mal cobertes. Per a resoldre el problema, s'ha optat per no exigir la llicenciatura als professors, sinó només la diplomatura. Problemes semblants s'estan detectant en nombrosos països. Així, per exemple, a Holanda s'ha decidit augmentar els incentius professionals i econòmics del professorat de disciplines científiques, a França només es cobreixen la meitat de les places que es trauen a oposició. En resum, falten professors de ciències de secundària, especialment de física i química, i s'estima que més del 30 % no estan degudament qualificats. Amb la qual cosa el peix es mossega la cua, professors poc preparats no seran capaços

d'interessar els alumnes per l'ensenyament de les ciències.

Aquesta tendència s'està notant també en altres països en què estan tenint lloc reformes educatives que augmenten l'optativitat. Així, en el cas espanyol, es veu observant una disminució de l'alumnat en les assignatures optatives de ciències en l'últim curs de la secundària obligatòria, fins i tot es veu amb preocupació que la Física i Química no siga elegida per l'alumnat que després iniciarà un Batxillerat de Ciències de la Naturalesa. També s'ha observat que el nombre d'alumnes que trien eixe batxillerat s'ha reduït, augmentant el dels que elegeixen el d'Humanitats i Ciències Socials.

Causes del desinterès

Entre les causes de desinterès, coincideixen molts autors a responsabilitzar al propi ensenyament de la ciència. Així, Barnes compara la preparació en la ciència amb l'aprenentatge d'un ofici i adverteix que "l'estudiant d'una ciència ha de passar llargs anys en un paper subordinat per a adquirir un nivell de competència adequat. No és un moment per a l'examen del coneixement científic ni per a la reflexió sobre els seus fonaments, sinó que és el moment d'assimilar el que a un li diuen i de perfeccionar tècniques de manipulació i càlcul. L'ensenyament serà probablement dogmàtic i autoritari". Dunbar es pregunta "És la ciència més semblant a aprendre a tocar un instrument musical, al que cal dedicar hores d'inevitable aflicció, que només anys després comencen a donar els seus dividends de plaer?". En altres paraules, hem d'ensenyar des del principi solfeig (moltes fórmules, llenguatge molt tècnic, a penes treball experimental) o hem d'ensenyar a apreciar la música? A més, afegim que "les ciències es perceben com més difícils

que les humanitats”. Per altra banda, es presenta la ciència com un domini reservat a minories especialment dotades i es contribueix a l'elitisme amb la complexitat de l'aparell matemàtic.

Els propis estudiants, segons diverses investigacions, assenyalen com els principals causants de la seua actitud desfavorable, del seu desinterès cap a la ciència i el seu aprenentatge, la presència en l'ensenyament d'una ciència descontextualitzada de la societat i de l'entorn, poc útil i sense temes d'actualitat, junt amb altres factors, com el mètode d'ensenyament del professor, al qual qualifiquen d'avorrit i poc participatiu, l'escassetat de pràctiques i, especialment, la falta de confiança en l'èxit quan són avaluats. Però aquestes dificultats es trobaven compensades fa pocs anys per un major prestigi i majors possibilitats de col·locació, aspectes que, actualment, no són tan clars per als estudiants, d'ací la importància de la imatge pública de la ciència i la tecnologia.

I com vam veure en la introducció hi ha una imatge ambivalent i poc informada en la majoria de la població i, d'altra banda, hi ha minories informades i amb gran impacte en els mitjans de comunicació, que per distints motius comparteixen una visió negativa de la ciència. Però en ambdós casos, es té una visió més negativa de les aplicacions i influència de la Física i Química en la societat i el medi que de la Biologia i Geologia. Respecte a les primeres s'esmenten aplicacions relacionades amb els armaments i l'energia nuclear o amb la contaminació, i al contrari, respecte a les segones, es parla de la lluita contra les malalties, la conservació de l'ambient o de millores en l'agricultura.

A més, apareix una visió deformada i empobrida al cine, TV o els còmics, de l'activitat científica, presentant les persones que treballen en ciència com algú genial,

home, blanc, que treballa individualment, o el que és pitjor, com a antiherois perversos, bojos, o instruments del poder. Un altre factor extern és l'escassa presència de la ciència i la tecnologia en els mitjans de comunicació, sobretot si se la compara amb altres activitats socials, sempre esbiaixada de forma superficial, com acrediten els molts documentals de la naturalesa, cap a la biologia.

Els mitjans més especialitzats (revistes de divulgació, suplementes de la premsa) també es centren en biologia i medicina, on ubiquen els grans desafiaments intel·lectuals: el funcionament del cervell i la comprensió de la intel·ligència, l'origen de la vida, la teoria de l'evolució (des de les extincions massives a la seua extensió a altres dominis com l'antropologia o la sociologia), la identificació dels gens (en el genoma ja seqüenciat) i els traços físics, malalties i comportaments que determinen. També es situen en ella els grans problemes: les malalties del nostre temps (càncer, cor) i els seus possibles remeis, els alimentaris (com, per exemple, les vaques boges), el clonatge, els organismes modificats genèticament i un llarg etc. Enfront d'açò, la física i química tenen molta menor presència i les seues fronteres, la física de partícules i la cosmologia, estan molt lluny de les dimensions humanes per a interessar als no iniciats i, a més, s'han realitzat en aquests dominis desenrotllaments excessivament especulatiu (des de les supercordes i les seues dimensions enrotllades fins a l'univers inflacionista o la multiplicitat d'universos) que difícilment interessen a molts dels propis físics, que els veuen sense comprovació experimental. Altres aventures del pensament, com el problema del temps i la irreversibilitat, el caos o la complexitat, perden impacte i possibilitats de desenrotllament, al no encaixar en els estrets marges de les especialitats establertes. Sembla que els temes que tindran més interès per al públic són la física i química ambientals, la biofísica, i alguns

temes d'astrofísica, com l'existència d'altres planetes, la possibilitat de vida extraterrestre, com molt ben sap la NASA, que utilitza aquest reclam quan necessita finançar els seus programes espacials.

Per què hi ha pocs canvis en l'educació científica?

Tot l'anterior mostra una convergència bàsica en la necessitat una alfabetització científica per a tots, tant en l'educació formal (la que es produeix a les aules) com en la informal (divulgació, museus, Internet). I per a aconseguir-la cal que, com assenyala Weisskopf, en la ciència com en la música, s'estime no sols al compositor sinó a l'artista que interpreta. En efecte, la comunitat científica sols valora les noves investigacions quan, segons Weisskopf, “una presentació clara i comprensible de la ciència val més que un tros de l'anomenada investigació original del tipus que es troba en moltes tesis doctorals”, la qual resulta profitosa al propi científic perquè “si u no pot explicar el seu treball a una persona aliena a l'assumpte, u realment no l'ha comprés”. I, afegeix que això fa necessari un esforç més sistemàtic cap l'educació i la divulgació científiques. Però per a l'efectivitat d'aquestes cal anar més enllà de l'habitual transmissió de coneixements científics i incloure una aproximació a la naturalesa de la ciència i a la pràctica científica i, sobretot, de posar èmfasi en les relacions ciència- tecnologia-societat.

Però el professorat s'enfronta a eixes noves propostes amb certa resistència i inseguretat, a pesar que reconeix en teoria la importància d'eixos objectius i continguts d'alfabetització científica. En alguns casos diu no sentir-se preparat per a impartir-los i fins i tot que no

és competència de l'educació científica.

Açò és degut al fet que el professorat ha sigut format a la universitat com un futur científic i poc com a professor o com a professional de la indústria o dels serveis. Tot açò es tradueix en una sèrie de criteris de demarcació entre el que és ciència i el que no és (les relacions ciència, tecnologia i societat, per exemple, semblen no ser-ho en molts casos), models del que ha de ser un professor, de que cal ensenyar i de com ha de ser ensenyat. En conseqüència, tots els alumnes de secundària seran formats com futurs estudiants de llicenciatures científiques, amb visions de la ciència descontextualitzades, i poc tenint en compte altres treballs possibles o que tots han de participar com a ciutadans en la societat. Açò planteja una gran contradicció ja que en la secundària seran pocs els futurs llicenciats en ciències i també seran pocs els futurs científics a la universitat, no obstant, ambdues minories determinen l'ensenyament de les ciències en ambdós nivells. D'ací que l'ensenyament de les ciències s'haja plantejat sempre en funció del següent nivell: l'escola en funció de l'institut i, aquest al seu torn, en funció de la universitat.

No obstant, açò sembla coherent amb els interessos dels grups i institucions dominants en la societat que requereix fer màxima la producció del coneixement tècnic, però no plantegen maximitzar la seua difusió i divulgació entre tota la població, com succeeix amb altres béns i serveis que cal produir al màxim, però no distribuir igualitàriament. Açò constitueix un dels principals suports de la tecnocràcia i de la ideologia de l'expert ja que, al no afavorir la participació ciutadana, només els experts poden opinar i, sobretot, decidir.

No obstant, encara que des de les administracions educatives es plantegen canvis en els objectius i continguts

de l'ensenyament científic, com ha succeït recentment en diversos països immersos en reformes educatives (entre ells el nostre) els canvis són extraordinàriament difícils perquè s'enfronten al procés de socialització, a la pròpia educació, dels qui han de portar-lo a cap, els propis professors. I en l'educació usual de la ciència, a més de les coses que s'ensenyen d'una manera explícita, com es fa amb els conceptes, lleis, teories, exercicis, problemes, pràctiques de laboratori, etc., hi ha altres que s'ensenyen implícitament i també es dóna una determinada imatge de la ciència al no ensenyar determinats temes. A açò és el que alguns autors denominen el *currículum ocult*. En història, açò és molt més evident. S'ensenya la història del poder econòmic, polític i cultural i s'exclou la història dels marginats del sistema (treballadors, dones o nacionalitats sense estat). En les ciències el currículum ocult possiblement estiga més ocult. Apple afirma que en ciències s'ensenya explícitament l'objectivitat i la neutralitat i, igual que en la història, s'oculta el conflicte en les seues formes de competència i controvèrsia científiques, així com el paper de la dona en la ciència.

Altres aspectes que s'ensenyen implícitament en ciències són:

- El dogmatisme. En aquest diagnòstic coincideixen molts autors amb formació científica. Així Popper diu que "Al científic se li ha ensenyat malament. Se li ha ensenyat dins d'un esperit dogmàtic, ha sigut víctima d'adoctrinament. Ha après una tècnica que pot aplicar-se sense preguntar per què". Kuhn afirma que "es tracta d'una educació estreta i rígida, possiblement més que cap altra, exceptuant potser la teologia ortodoxa". Fins i tot Ziman, investigador i professor d'estat sòlid, assenyaleta que en els cursos de ciències "una investigació realitzada 20 o 30 anys abans sol presentar-se com si ja

fora incontestable" i que "aquest dogmatisme no sempre està justificat".

- La separació de teoria i pràctica. S'ensenya teoria de circuits però no circuits domèstics o, almenys, a reparar un interruptor. S'ensenya biologia humana però no s'educa per a la salut. Han desaparegut els temes considerats ciència aplicada o tecnologia, per exemple, acústica, fluids, elasticitat, termodinàmica, electrònica, química industrial, medicina, enginyeria agrícola, etc.

- El formalisme, que en la física, química i biologia molecular es concreta en moltes fórmules i pocs comentaris i discussions conceptuals, sense a penes treball experimental i en biologia i geologia, en un llenguatge molt tècnic. En conseqüència, una ciència difícil, àrdua i elitista. Alguns físics teòrics, és a dir, els majors usuaris i creadors de formalisme, han posat en qüestió que la ciència i el seu ensenyament es puguin reduir a aquest. Així, Boltzmann deia: "cria l'atenció que les teories siguin difícils d'entendre i que estiguen rodejades d'un muntó de fórmules (que no signifiquen res per al profà)". No obstant, aquesta no és la seua essència, ja que el vertader teòric estalvia en la mesura que es puga aquest tipus de mitjans; el que es pot dir amb paraules, es diu amb paraules". O Einstein. "Cap científic pensa amb fórmules. Abans que el físic comence a calcular, ha de tindre al seu cervell el curs dels raonaments. Aquests últims, en la majoria dels casos, poden ser formulats amb paraules senzilles. Els càlculs i les fórmules vénen després". Heisenberg: "Per a un científic la descripció en llenguatge pla és una mesura del grau de comprensió a què s'ha arribat".

- La descontextualització, és a dir, una ciència aïllada respecte a la tecnologia, la societat i el medi ambient, que no mostra la influència de la ciència i la

tecnologia en l'evolució de les societats, que no analitza ni valora les repercussions socials i ambientals de l'activitat científica i tecnològica, que no aplica els coneixements científics i tecnològics a la resolució de necessitats i problemes de la humanitat i que no valora, a la vegada, les capacitats i limitacions per a fer-ho.

- L'ahistoricisme, que ignora els problemes que van originar les investigacions, així com l'existència de grans crisis en el desenvolupament de la ciència i fins i tot de xicotets canvis a l'interior d'una teoria. Així mateix, no es mostren el caràcter hipotètic de la ciència, les limitacions de les teories, els seus problemes pendents de solució, i tampoc es presenta la ciència com una construcció col·lectiva, fruit del treball de moltes persones, que competeixen i tenen controvèrsies.

Possibles alternatives

Per tot això, hi ha un ampli moviment que considera que les interaccions CTS es converteixen en continguts imprescindibles per a la consecució de les noves finalitats de l'educació científica, que passen necessàriament per augmentar l'interès cap a la ciència. En particular, des d'aquest camp de les interaccions CTS, s'han proposat una sèrie d'orientacions a tindre en compte que pretenen contribuir a millorar en el futur l'ensenyament de les ciències. Entre altres, es poden citar:

- Considerar la importància de la utilització de la història de la ciència en l'ensenyament de la mateixa, atès que la ciència del passat constitueix la major part dels continguts de l'ensenyament secundari. Açò permet extraure d'eixa història els problemes significatius i posar a l'alumnat en situació d'abordar-los, mostrar l'existència de gran crisi en el desenvolupament de les ciències, el

caràcter hipotètic, temptatiu de la ciència i les limitacions de les teories, els problemes frontera i els pendents de solució, etc. Així es presenta als alumnes l'aventura de la creació científica, evitant visions dogmàtiques. També, tindre en compte l'existència de nombroses relacions entre Història de la Ciència i les interaccions CTS, atès que es tracta de dos camps d'investigació amb una àmplia zona d'intersecció: la història externa, o social, de la Ciència o, en altres paraules, les relacions CTS al llarg de la història. A més, és necessari integrar les aportacions d'ambdues línies d'investigació en els materials didàctics si volem evitar una imatge deformada de la ciència i dels científics. En concret, es tracta de veure la naturalesa col·lectiva i controvertida de la investigació científica, fruit del treball de moltes persones, basat al seu torn en el treball de moltes altres, per a evitar la idea d'una ciència feta bàsicament per genis, en la seua majoria homes, que ignora les contribucions de les dones científiques. Així mateix convé presentar les contribucions a la ciència realitzades en països que no són grans potències científiques i els obstacles que s'han plantejat al desenrotllament de la ciència en eixos països al llarg de la història.

- Plantejar i debatre els greus problemes i desafiaments que hipotequen el futur de la humanitat als que, segons diversos autors, l'ensenyament ha prestat escassa atenció. La situació és tan greu que, des de diferents organismes i institucions internacionals, com la Conferència de Rio -en què van participar més de 120 caps d'estat i 14.000 Organitzacions no Governamentals-, en l'Agenda 21 es reclama una decidida acció dels educadors perquè els ciutadans i ciutadanes adquirisquen una percepció adequada dels problemes i puguem participar en la presa de decisions. Es tractaria que els estudiants compregueren els problemes a què caldrà fer

front per a encarar l'avenir, les seues causes i les mesures a adoptar. En concret, la contaminació ambiental i les seues conseqüències, esgotament de recursos, destrucció de la diversitat biològica i cultural, creixement desordenat de les ciutats, l'hiperconsum de les societats desenrotllades, l'explosió demogràfica, els desequilibris existents entre grups humans i les seues conseqüències: violència, fam, malalties, etc., i les mesures a prendre per a posar fi a tots aquests problemes per a avançar cap a un desenrotllament sostenible.

- Prestar atenció als aspectes ètics de la ciència i la tecnologia. També hi ha crides de diverses institucions, com la BSCS (Innovative Science Education) i l'AMA (American Medical Association) (1994) plantejant la necessitat d'ensenyar ètica i política pública en classe de ciències, per a poder educar en valors associats amb les noves finalitats de formar científics responsables i futurs ciutadans. Per a això és necessari mostrar exemples de responsabilitat social de científics i tècnics, com denunciar que l'ús de la ciència en la guerra posa en perill la pau entre les nacions o, fins i tot, la subsistència de l'espècie humana a la Terra o les investigacions que han posat de manifest, a pesar de l'oposició de moltes empreses, que el DDT és perjudicial, que el tabac i altres productes són cancerígens o que els CFC destrueixen la capa d'ozó. Veure com els valors estan presents en les finalitats que per a molts científics han sigut i continuen sent alleujar problemes o necessitats humanes i mostrar quan els objectius els fixen institucions que anteposen el seu benefici econòmic o la defensa nacional a eixos fins. També presentar la contribució de la ciència a una nova ètica basada en la racionalitat, l'esperit crític enfront de qualsevol tipus de fonamentalisme (especialment aquells que han pretès tindre un origen científic, com el darwinisme social, l'eugenèsia o el racisme) i

pseudocientisme (com l'astrologia, la ufologia o el creacionisme). O donar a conèixer la idea de la nau espacial Terra, que posa de manifest l'origen comú i el destí solidari de la humanitat, que podria perir a causa de la destrucció de la nau en què viatja. I tot això sense oblidar que els valors no es transmeten només verbalment i depenen de la forma en què s'ensenye, de com es comporte el professor. Finalment, cal recordar que en aquest camp es considera prioritari promoure que els alumnes realitzen avaluacions dels impactes social i ambientals de la tecnociència per tal d'afavorir el seu control pels ciutadans, com hem vist en el darrer apartat del capítol anterior.

És obvi que treballar a l'aula aquests aspectes no és senzill, però aquesta complexitat no ha de significar que no es realitzen valoracions si el que es pretén és l'alfabetització científica i tecnològica, la preparació dels futurs ciutadans i ciutadanes.

EPÍLEG

Hem vist que la ciència i les seues relacions amb la tecnologia, la societat i el medi ambient, formen una xarxa molt complexa. Si preguntem en què pot consistir la ciència als científics o als filòsofs, historiadors i sociòlegs de la ciència podem trobar tantes respostes com escoles. En resum, amb la ciència i les imatges que d'ella tenen diferents col·lectius passa un poc com amb l'elefant i els cecs de la falla. Volien esbrinar com era un elefant i per a fer-ho cadascun d'ells va tocar una part diferent de l'elefant, un les potes, altre la trompa, altre el llom, i van sortir amb una idea diferent. Amb l'agreujant que l'elefant – ciència ha anat evolucionant amb el temps. Trobaríem una idea millor si juntarem totes eixes aportacions, com hem tractat de fer en aquest llibre, del qual resumirem ara les idees principals.

La història, posa de manifest que durant molts segles les ciències eren una força social menor. Les primeres ciències van tenir el seu origen en pràctiques tècniques. Però gradualment es constitueixen dos camps independents (una ciència teòrica i una tècnica empírica), conreades per col·lectius diferents, els teòrics i els artesans. Aquesta situació continua, fins al Renaixement, on s'inicia el llarg procés de convergència d'ambdós camps que dóna origen a la revolució científica. D'altra

banda, la tradició tècnica inicia el procés de transició des de l'empirisme complet fins a les tecnologies plenament basades en les matemàtiques i la ciència aplicada. El desenrotllament a què això va donar origen suposava en ocasions la ruptura radical amb les concepcions vigents, la qual cosa va provocar persecucions i condemnes de molts científics. El ràpid repàs al que ha ocorregut al llarg de la història ens ha permès observar el paper de la ciència en l'evolució de les idees filosòfiques, religioses, artístiques, així com que la imatge pública de la ciència i la tècnica ha canviat amb el transcurs del temps. En l'Antiguitat i l'Edat Mitjana es té constància d'una actitud d'escepticisme, sospita i desconfiança cap a la ciència i la tècnica. En el Renaixement i la Il·lustració trobem una visió molt més optimista, favorable al desenrotllament d'ambdues. En el Romanticisme una actitud de desassossec, clarament identificat en el "Frankenstein" de Mary Shelley. En la segona meitat del segle XIX i gran part del XX, novament prevalen l'optimisme, l'ideal de progrés i, en conseqüència, una actitud positiva.

Fins al mig del segle XIX, en la primera revolució industrial, els desenrotllaments tècnics segueixen precedint als científics i, per exemple, les màquines tèrmiques són prèvies a la Termodinàmica. Però al seu torn plantegen problemes la solució dels quals va contribuir al desenrotllament de les ciències. Però a finals del segle, amb la segona revolució industrial, l'electromagnetisme o la química són l'origen de la indústria química i elèctrica. Açò provoca que alguns països (Alemanya, Regne Unit, Estats Units, França) vagen entrant en una fase de gran interacció entre la ciència i la tecnologia, amb implicacions en alguns sectors de la societat (la indústria, les condicions de treball, la ideologia) i de la naturalesa (contaminació en els nuclis industrials). I és llavors quan es produeix la institucionalització de les ciències a les universitats i els

primers laboratoris industrials.

Després de la II Guerra Mundial, amb l'aplicació sistemàtica de la ciència i la tecnologia al desenrotllament de projectes bèl·lics com el radar, la bomba atòmica, la producció de penicil·lina, comença a desenrotllar-se el que alguns van denominar revolució científica i tècnica. Aquesta revolució es basa en les noves tecnologies que s'han desenrotllat en la segona meitat d'aquest segle: l'electrònica de semiconductors, els ordinadors, la robòtica, el làser, la fibra òptica, les telecomunicacions, les tecnologies aeroespacial i nuclear, les biotecnologies i l'enginyeria genètica, possibilitades totes elles per l'aplicació del coneixement científic. Es produeix així un alt nivell d'interacció entre ciència i tecnologia, que alguns autors denominen sistema ciència tecnologia, amb interaccions globals amb la societat i la naturalesa. Són globals perquè interactuen amb tots els sectors de la societat (en l'agricultura, indústria i serveis, en l'administració, en la configuració del poder polític, econòmic i militar, en les desigualtats entre les nacions, en els valors i concepcions del món, etc.). I és en aquesta situació en què ens trobem que es plantegen grans demandes i crítiques socials a les ciències.

Una de les més contundents prové del programa fort de sociologia de la ciència i l'existència de múltiples interaccions CTS sembla confirmar-ho. Però convé no oblidar que el desenrotllament de la ciència (i en certa mesura el de la tecnologia) aquesta influenciat (però no determinat) per la societat de què forma part. Una prova d'això és que la ciència i la tecnologia, progressen, en certa mesura, a partir del seu desenrotllament interior, del seu grau de complexitat i del coneixement acumulat. Per molt que existisca una gran demanda de solucions a cert tipus de problemes, no es produeixen avanços si el nivell de

coneixements no és l'adequat.

Altres provenen de grups progressistes de la societat que antany van ser els principals defensors de l'empresa científica. Cal reconèixer-los que un elevat percentatge (no hi ha mes que veure els pressupostos) dels coneixements, investigacions i laboratoris s'usen en R+D militar. I que açò, a pesar de que alguns sostinguen que és bo per a la ciència, perquè ha permès l'enorme desenrotllament d'aquestes últimes dècades, no ho és tant, perquè condiciona els coneixements que s'obtenen, els equípaments necessaris i, fins i tot, els valors dels científics que participen (dominats pel secretisme i el militarisme). I, per això, pocs coneixements i laboratoris usats en R+D militar poden ser utilitzats en la R+D civil i s'impedeix, a més, que els pressupostos gastats es puguin invertir en millors causes. També cal reconèixer-los que moltes multinacionals utilitzen les ciències per a la recerca de beneficis a curt termini, la qual cosa promou un desenrotllament econòmic, científic i tecnològic agressiu amb el medi ambient i particularment perillós amb els sers vius, causa principal dels problemes del planeta.

Seria injust i perillós, no obstant, caure per això en una actitud de rebuig absolut. No cal oblidar que durant segles gràcies a les ciències ens hem alliberat de nombrosos prejudicis i poden seguir fent-ho (per exemple, els descobriments en el genoma humà posen de manifest que no hi ha cap base científica per al racisme). També la ciència i la tecnologia poden ajudar a molts països a eixir de l'endarreriment i de la pobresa (i es aquest el major compte pendent per al segle XXI). I, finalment, és el coneixement científic qui ens fa ser conscients d'alguns dels greus problemes que ens afecten (des de la deterioració del medi ambient a l'esgotament de recursos) i, a més, pot contribuir a solucionar-los.

Eixa actitud de rebuig pot realimentar-se amb polítiques científiques i educatives basades en el principi de maximitzar la producció científica però no la seua distribució, que produeix en la majoria de la població un cert analfabetisme científic acompanyat d'un gran desinterès per la ciència i la tecnologia que obstaculitza qualsevol intent de control social de la seua utilització indiscriminada. Per a això cal introduir en l'educació científica (formal i informal) el tractament de les interaccions CTS que serà de gran ajuda per a la consecució de la finalitat d'una alfabetització en ciència multidimensional per a tots (fins i tot els propis científics). A més, ajudarà a evitar que l'alumnat incòrrega en el científisme, a pensar que la solució a molts problemes socials relacionats amb la ciència i la tecnologia depenen únicament d'un major coneixement científic i de tecnologies més avançades. També evitarem així la idea de la suposada neutralitat de la ciència, considerada com un instrument. La imatge descontextualitzada, socialment "neutra", que l'ensenyament ha transmès de la ciència, ha contribuït, al creixent desprestigi de l'activitat científica i tecnològica: la neutralitat pot interpretar-se lògicament com a submissió a interessos particulars, la qual cosa per a molts converteix a la ciència en responsable dels perills de destrucció massiva o de la contaminació del planeta. Tot açò ha de portar a una valoració més matisada de cada una de les investigacions i desenrotllaments de la ciència i la tecnologia. I, finalment, es contribuirà a combatre la imatge pública negativa de la ciència que hem mostrat en el llibre.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- AIKENHEAD, G.S., 1985, Collective decision making in the social context of science, *Science Education*, 69, (4), 453-475.
- ALONSO L. (Ed), 1993, *Dones Premis Nobel*, Institut Valencia de la Dona, Conselleria de Cultura, Valencia.
- APPLE M.W, 1986, *Ideología y currículo*. Akal, Madrid.
- BARNES B., 1987, *Sobre Ciencia*. Labor, Barcelona
- BELL R, 1995, Los cobayas humanos del plutonio, *Mundo científico*, 15, 510-520
- BENACH J Y TAPIA J.A, 1995, Mitos o realidades: a propósito de la publicación de trabajos científicos, *Mundo científico*, 15, 154, 124-130.
- BERNAL J.D, 1976, *Historia social de la ciencia*, Península, Barcelona.
- BOLTZMANN L., 1986, *Escritos de mecánica y termodinámica*, Alianza, Madrid.
- BORN M, 1968, *La responsabilidad del científico*, Labor, Barcelona.
- BOY L, 2000, El principio de la precaución: de la moral al derecho, *Mundo científico*, 209, 84-88.
- BSCS y AMA (American Medical Association), 1994, *Genoma Humano. Ciencia, Ética y Política Pública*, Edicions Alfons el Magnànim, València.
- BRAVO I, 1998, La clonación de seres humanos a debate, *Mundo científico*, 189. 35-38.
- BUNGE M, 1973, *La Investigación Científica*, Ariel, Barcelona.
- CAPRA F, 1998, *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona.
- CARDWELL D, 1994, *Historia de la tecnología*, Alianza, Madrid.
- CASTELLS M, 1997, *La era de la información vol 1: La sociedad red*, Alianza, Madrid.
- CHALMERS A, 1990, *La ciencia y cómo se elabora*. Siglo XXI, Madrid.
- CHESSON A Y JAMES P, 2000, Los alimentos con OMG ¿están exentos de peligro?, *Mundo científico*, 210, 23-32
- COHEN, I. B., 1993. A Sense of History in Science, *Science & Education*, 2 (3), pp. 251-277).
- DALY H.E. et al, 1997, *Crisis ecológica y sociedad*, Germania, Alzira.

- DARWIN CH., 1982, *L'origen de les espècies*, Edicions 62, Barcelona.
- DE BROGLIE L., 1965, *La física nueva y los cuanta*, Losada, Buenos Aires
- DI TROCCHIO F., 1995, *Las mentiras de la ciencia*, Alianza, Madrid.
- DUMBAR R., 1999, *El miedo a la ciencia*, Alianza, Madrid.
- DURAN X., 1991, *L'esperit de la ciencia*, Tres i Quatre, Valencia.
- ECKERT M Y SCHUBERT, 1991, *Cristales, electrones, transistores. Del gabinete del sabio a la investigación industrial*, Madrid : Alianza.
- EINSTEIN A, NEWTON I, MACH E et al, 1973, *La teoría de la relatividad: sus orígenes e impacto en el mundo moderno*, Alianza, Madrid.
- ELLIOT D. Y ELLIOT R, 1980, *El control popular de la tecnología*, Gustavo Gili, Barcelona.
- FERNÁNDEZ RAÑADA, 1995, *Los muchos rostros de la ciencia*, Ediciones Nobel, Oviedo.
- FEYERABEND P K, 1974, *Contra el método*, Ariel, Barcelona.
- FISAS V, 1981, *Despilfarro y control de la energía*, Ediciones 2001, Barcelona.
- FORMAN P, 1984, *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica 1918-1927*, Alianza, Madrid.
- GALIANA A, 1999, *Nosaltres els humans*, Universitat de Valencia i Bromera, Alzira.
- GALILEO, 1991, *Antología*, Península, Barcelona.
- GARCIA, E., *El trampolí fàustic*, Germania, Alzira.
- GARCÍA MOLINER, F, 2001, *La ciencia descolocada*, Ediciones del Laberinto, Madrid.
- GARDNER, M., 1989, *La ciencia: lo bueno, lo malo y lo falso*, Alianza, Madrid.
- GELL-MANN M., 1995, *El quark y el jaguar*, Tusquets, Barcelona.
- GEORGESCU-ROEGEN N, 1996, *La Ley de la Entropía y el proceso económico*, Fundación Argentaria, Madrid.
- GEYMONAT L, 1969, *Galileo Galilei*, Península, Barcelona.
- GIL, D., 1993, Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias a un modelo de enseñanza aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las ciencias*, 11 (2), 197-212.
- GIL, D., VILCHES, A et al, 2000, La atención a la situación del mundo en la educación de los futuros ciudadanos, *Investigación en la Escuela*, 40, 39-56.
- GLICK T F, 1986, *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*, Alianza, Madrid.
- GONZALEZ P, JIMÉNEZ J. Y LÓPEZ PIÑERO J.M, 1979, *Historia y sociología de la ciencia en España*, Alianza, Madrid.
- GORZ A, 1980, *Ecología y política*, Ediciones 2001, Barcelona.
- HABERMAS J, 1992, *Ciencia y técnica como "ideología"*. Tecnos, Madrid.
- HAN M.Y., 1992, *La vida secreta de los cuantos*, Mc Graw-Hill, Aravaca.

- HERZENBERG C.L., et al, 1991, Women Scientists and Physicians of Antiquity and the Middle Ages. *Journal of Chemical Education*, 68 (2), 101-105.
- HODSON D, 1994, Seeking Directions for Change. The Personalisation and Politisation of Science Education, *Curriculum Studies*, 2 (1), p 71-98.
- HOLTON G., 1976, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Reverté, Barcelona.
- HOLTON G, 1996, *Einstein, historia y otras pasiones. La rebelión contra la ciencia en el final del s. XX*, Taurus, Madrid.
- HORGAN J, 1998, *El fin de la ciencia, Los límites del conocimiento en el declive de la era científica*, Paidós, Barna.
- HULL L.W.H, 1981, *Historia y filosofía de la ciencia*, Ariel, Barcelona.
- JACOB F, 1982, *El juego de lo posible*, Grijalbo, Barcelona
- JENKINS, E. S., 1996. "Beyond the Seventh Fold": A Historical Account of a Natural Product Chemist. *Science & Education*, 5, pp. 31-49.
- KAPITZA S., 1994, Presente y futuro de la ciencia en Rusia, *Revista Española de Física*, 8 (2), 1-6.
- KEVLES B.H. Y KEVLES D, 1998, La biología de los chivos expiatorios, *Mundo científico*, 194, 38-44
- KEYFITZ N, 1994, Crecimiento Demográfico: ¿Quién puede evaluar sus límites?, *Mundo científico*, 147, 542-548
- KOBLITZ, A. H., 1987. A historian looks at gender and science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), pp. 399-407.
- KRANZBERG M. Y DAVENPORT W.H. (Eds), 1979, *Tecnología y cultura*, Gustavo Gili, Barcelona.
- KUHN T S, 1975, *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, Madrid.
- LAKATOS I Y MUSGRAVE A (Eds.), 1975, *Crítica y conocimiento*, Grijalbo, Barcelona.
- LATOUR B, 1992, *Ciencia en Acción*, Labor, Barcelona
- LEVY-LEBLOND J.M, 1975, *La ideología de/en la física contemporánea*, Anagrama, Barcelona.
- LEWONTIN R.C et al, 1996, *No está en los genes*, Grijalbo, Barcelona.
- LÓPEZ PIÑERO J.M, 1979, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los s. XVI y XVII*, Labor, Barcelona.
- LÓPEZ PIÑERO J.M y NAVARRO V, 1995, *Història de la ciència al País valencià*, Alfons el Magnànim, València.
- LÜHL, J., 1992. Teaching of Social and Philosophical Background to Atomic Theory, *Science & Education*, 1, pp. 193-204.
- MARCUSE H, 1972, *El hombre unidimensional*, Seix Barral, Barcelona.

- MARKS J, 1997, La raza, teoría popular de la herencia, *Mundo científico*, 185, 145-152
- MARTÍNEZ ALIER, J., 1992, *Ecología y pobreza*, Bancaixa, Valencia.
- MASON S.F, 1986, *Historia de las ciencias*, 5 vol, Alianza, Madrid.
- MATTHEWS, M. R., 1990. History, Philosophy and Science: A Rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, pp. 25-51.
- MATTHEWS, M. R. 1991, Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, pp. 141-155.
- MEDINA M. y SANMARTIN J. (eds), 1990, *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Anthropos, Barcelona.
- MEDVEDEV J A, 1995, Del átomo al GULAG, *Mundo científico*, 154, 154-160
- MERTON, R.K, NEEDHAM J et al, 1980, *Estudios sobre sociología de la ciencia*, Alianza, Madrid.
- MORENO A, 1988, *Una ciencia en cuarentena. La física académica en España (1750-1900)*, C.S.I.C., Madrid.
- MUNFORD L, 1992, *Técnica y Civilización*, Alianza, Madrid.
- NACIONES UNIDAS, 1992, *UN Conference on Environment and Development, Agenda 21 Rio Declaration, Forest Principles*, París, UNESCO
- N'DIAYE P, 1998, Los ingenieros olvidados de la bomba, *Mundo científico*, 189, 74-80
- OPEN UNIVERSITY, 1974, *Curso básico de ciencias, Unidades 33 y 34, Ciencia y sociedad*, Mcgraw-Hill, Panamá.
- ORTEGA Y GASSET J, 1970, *Meditación de la técnica, En torno a Galileo*, Obras completas tomo V, Revista de Occidente, Madrid.
- OUTRAM, D., 1987. The most difficult career: Women's history in science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), pp. 409-416.
- PACEY A, 1980, *El laberinto del ingenio. Ideas e idealismo en el desarrollo de la tecnología* (Gustavo Gili: Barcelona)
- PENICK, J.E., YAGER, R.E. 1986, Trends in science education: some observations of exemplary programme in the US. *European Journal of Science Education*, 8 (1), 1-8.
- PETRELLA R, 1997, *El bien común*, Debate, Madrid.
- POPPER, K.R, 1975, La ciencia normal y sus peligros, en LAKATOS I Y MUSGRAVE A (Eds.), *Crítica y conocimiento*, Grijalbo, Barcelona.
- PRICE D. J. S, 1973, *Hacia una ciencia de la ciencia*, Ariel, Barcelona.
- RAMENTOL S, 2000, *Els silencis de la ciència*, Eliseu Climent Ed, Valencia.
- RAMON D, 1997, *Els gens que mengem*, Universitat de València i Bromera, Alzira.
- ROSENBERG N, 1979, *Tecnología y economía*, Gustavo Gili, Barcelona.

- ROTHMAN, 1980, *La barbarie ecológica. Estudio sobre la polución en la sociedad industrial*, Fontamara, Barcelona.
- ROUSSEAU J.J., 1990, *Discurs sobre les ciències i les arts*, Servei de Publicacions, Universitat de València.
- RUSSELL B, 1974, *Fundamentos de filosofía*, Plaza & Janés, Barcelona.
- SAGAN C., 1999, *El cerebro de Broca*, Crítica, Barcelona.
- SALAM A., 1986, Defensa nuclear, desarme y desarrollo, *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (1), 25-35.
- SANCHEZ RON J.M, 1992, *El poder de la ciencia. Historia socio-económica de la física (s XX)*, Alianza, Madrid.
- SÁNCHEZ RON J.M. 1999, *Cinzel, Martillo y Piedra*, Taurus, Madrid.
- SANMARTÍN, J., CUTCLIFFE, S.H., GOLDMAN, S.L. y MEDINA, M, 1992, *Estudios sobre Sociedad y Tecnología*, Anthropos, Barcelona.
- SCIENTIFIC AMERICAN, 1982, *La energía*, Alianza, Madrid.
- SERRES M (Ed.), 1991, *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid.
- SILVERMAN, M. P., 1992. Raising Questions: Philosophical Significance of Controversy in Science. *Science & Education*, 1, pp. 163-179.
- SOLBES, J. 1999, Los valores en la enseñanza de las ciencias, *Alambique*, 22, 97-109.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. 1996, La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química, *Enseñanza de las ciencias*, 14 (1), 103-112.
- SOLBES, J., VILCHES, A. 1997, STS interactions and the teaching of physics and chemistry, *Science Education*, 81 (4), 377-386.
- SOLOMON J, 1993, *Teaching Science, Technology & Society*, Open University Press, Buckingham.
- TATON R et al, 1972, *La ciencia moderna (s XVI, XVII y XVIII)*, Destino, Barcelona.
- TATON R et al, 1973, *La ciencia contemporánea (s XIX)*, Destino, Barcelona.
- TRUESDELL C, 1975, *Ensayos de historia de la mecánica*, Tecnos, Madrid.
- THUILLIER P, 1990, *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, Alianza, Madrid.
- VVAA, 1995, *Ciència i Tècnica als Països Catalans*, Fundació Catalana per a la Recerca, Barcelona.
- VVAA, 1995, La educación Ciencia- Tecnología- Sociedad, *Alambique*, nº 3.
- WALKER M, 1994, La Física bajo el tercer Reich, *Mundo científico*, 145, 324-332.
- WACHTEL C, 1995, Cómo perdió Rusia la Guerra de las Galaxias, *Mundo científico*, 158, 556-566.
- WATSON J, 1994, *La doble hélice*, Salvat, Barcelona.

- WEBER M, 1992, *La ciencia como profesión. La política como profesión*, Espasa Calpe, Madrid.
- WEISSKOPF V.F., 1990, *La física en el siglo XX*, Alianza, Madrid.
- WINNER L, 1979, *Tecnología autónoma*, Gustavo Gili, Barcelona.
- WINNER L., 1987, *La ballena y el reactor*, Gedisa, Barcelona.
- WOLPERT L., 1992, *La naturaleza no natural de la ciencia*, Acento Editorial, Madrid
- ZIMAN J, 1980, *La fuerza del conocimiento*, Alianza, Madrid.
- ZIMAN J, 1986, *Introducción al estudio de las ciencias* Ariel, Barcelona.

INDEX

INTRODUCCIÓ.....	7
------------------	---

PRIMERA PART.

Ciència tecnologia i societat (CTS) en la història

CAPÍTOL 1. L'antiguitat i l'edat mitjana.....	15
<i>L'astronomia en l'antiguitat.....</i>	17
<i>La ciència alexandrina.....</i>	19
<i>L'edat mitjana en diverses civilitzacions.....</i>	21
<i>Tecnologia i cultura: l'arquitectura.....</i>	24
<i>Ciència i religió.....</i>	26
CAPÍTOL 2. La revolució científica	29
<i>Desenrotllament del model heliocèntric.....</i>	30
<i>L'oposició inicial del poder a la revolució científica.....</i>	32
<i>Newton i la ciència en el segle XVII.....</i>	36
<i>Espanya i la revolució científica.....</i>	39
<i>El mecanicisme i la Il·lustració.....</i>	42
CAPÍTOL 3. Canvi en l'evolució de la Humanitat: les revolucions industrials.....	47

<i>La primera revolució industrial (1760-1870)</i>	47
<i>La teoria de l'evolució i les seues repercussions socials</i>	49
<i>La segona revolució industrial (1870-1939)</i>	52
<i>Les primeres xarxes de telecomunicació</i>	55
<i>Ciència, tècnica i literatura</i>	57
<i>La ciència espanyola en els segles XVIII i XIX</i>	60

SEGONA PART.

Ciència tecnologia i societat (CTS) en l'actualitat

CAPÍTOL 4. Nova revolució científica a principis del segle XX.....	67
<i>Albert Einstein: el "prototip" de científic</i>	67
<i>Influències de la teoria de la relativitat en la societat</i>	71
<i>La quàntica i les seues primeres implicacions</i>	73
<i>La ciència espanyola en el primer terç del segle XX</i>	79
<i>Ciència i política: les dictadures i la ciència</i>	82
CAPÍTOL 5. Dos pilars de la ciència del segle XX: armaments i noves tecnologies.....	89
<i>Les Guerres i el desenrotllament de la Ciència i la Tecnologia</i>	89
<i>Ciència, Tecnologia i Guerra freda</i>	91
<i>El complex militar industrial</i>	95
<i>L'electrònica i les seues aplicacions</i>	96
<i>Els ordinadors</i>	100
<i>El làser i els nous materials</i>	104
<i>Biotecnologia i enginyeria genètica</i>	106

CAPÍTOL 6. Economia, política, societat i cultura en la ciència del segle XX.....	111
<i>El finançament de la ciència i la tecnologia.....</i>	111
<i>Desigualtats socials en la ciència i la tecnologia.....</i>	115
<i>Altres desigualtats: les dones i la ciència.....</i>	117
<i>Control polític de la ciència en la segona meitat del segle XX.....</i>	120
<i>Ideologia de la ciència contemporània: el cientisme i la neutralitat.....</i>	124
<i>Ciència: un element fonamental de la cultura del nostre temps.....</i>	128

TERCERA PART.

Perspectives de futur

CAPÍTOL 7. Ciència, tecnologia i els problemes globals del món.....	135
<i>Globalització i les seues conseqüències.....</i>	135
<i>Les tecnologies de la informació i comunicació (TIC) i la globalització.....</i>	139
<i>Els problemes del nostre temps.....</i>	144
<i>El canvi climàtic.....</i>	147
<i>Camps d'investigació i desenvolupament que responguen a necessitats socials.....</i>	150
<i>Consum energètic i necessitats humanes.....</i>	152
<i>Energies renovables.....</i>	155
<i>Són compatibles el desenvolupament i la sostenibilitat?.....</i>	157
Capítol 8. Ciència i ètica.....	161
CUDOS.....	162

<i>La responsabilitat moral dels científics.....</i>	164
<i>El frau en la ciència.....</i>	166
<i>Finalitats i valors en la ciència.....</i>	169
<i>Avaluació i control de ciència i tecnologia.....</i>	174
CAPÍTOL 9. Ciència i educació.....	177
<i>Paper de l'educació científica.....</i>	178
<i>Desinterès cap a la ciència.....</i>	180
<i>Causas del desinterès.....</i>	182
<i>Per què hi ha pocs canvis en l'educació científica?.....</i>	185
<i>Possibles alternatives.....</i>	189
EPÍLEG.....	193
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	199

És molt difícil entendre el mon actual sense conèixer les relacions entre la ciència, la tecnologia i la societat (CTS). Aquest llibre vol mostrar com han evolucionat aquestes relacions al llarg de la història i, amb més deteniment, com son en l'actualitat i quin paper poden jugar en el futur pròxim. Es tracta de buscar, com un detectiu, "Les empremtes de la ciència" en la tecnologia i d'ambdues en la societat i l'ambient i viceversa.

Jordi Solbes, natural d'Alcoi, doctor en ciències físiques per la Universitat de València, catedràtic de secundària de física i química en excedència i catedràtic d'universitat de didàctica de les ciències. Investiga en didàctica de la física i en la utilització de la història de la ciència i les relacions CTS en l'ensenyament de les ciències, temes sobre els quals ha realitzat molts cursos i publicacions.

