

ELS LÍMITS DEL CONEIXEMENT CIENTÍFIC

Miquel Gassiot Matas

UNIVERSITAT RAMON LLULL

En aquest article, l'autor porta a terme un estudi, en clau històrica, del desenvolupament de la ciència occidental des de Grècia fins a la Revolució Científica. D'altra banda, l'autor, químic de vocació, desenvolupa una reflexió de tipus personal sobre els límits de la ciència.

53

1. INTRODUCCIÓ

Vaig haver de passar alguns anys vivint l'experiència d'ensenyar el primer curs de Química, per caure en el compte del gran recurs pedagògic que és la Història de la Ciència si se sap presentar d'una manera motivadora.

La ciència és un conjunt d'aportacions individuals que el temps i la història han anant ordenant i sistematitzant: el temps i la història dels homes. Molt sovint ens oblidem del protagonisme del simple factor "temps", temps cronològic.

És fàcil deduir que per entendre mínimament el món de la ciència és oportú seguir la història; d'aquesta manera, serà possible refer en unes hores el dur camí que milers d'éssers anònims i uns centenars de savis universals han fet al llarg de molts segles.

És evident que els segles XVIII i XIX són els més productius. Durant aquest període té lloc l'eclosió de la ciència, que durant anys i segles s'havia estat desenvolupant i alimentant d'experiències, teories, encerts i errors. Però ha estat una equivocació prescindir de tot el que es podria considerar etapa paleolítica i neolíti-

ca de la ciència, èpoques en les quals la humanitat cerca i pensa per trobar una explicació a la gran meravella de la creació: la naturalesa. L'home antic intenta trobar explicacions i fins formular teories basant-se en la simple observació de la naturalesa, i en mesures molt limitades.

Fa cosa d'un parell d'anys, el Dr. Ramon Pascual –catedràtic de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona–, en un escrit sobre la limitació que tenim els científics per explicar certs fenòmens, afirmava:

"Els físics no pretenem interpretar la naturalesa, prou feina tenim a simplement descriure-la."

Malgrat això, sí que m'agradaria recordar i tenir molt present la preocupació de l'home antic per una comprensió o estudi global de la naturalesa. El preocupava entendre els fenòmens més quotidians, com un mitjà per progressar en el coneixement de si mateix, de l'ésser humà, perquè en el fons l'inquietaven les tres grans preguntes:

- Qui sóc?
- D'on vinc?
- On vaig? Què és la mort?

La història de les bases del coneixement científic és la d'un colossal i meravellós procés iteratiu o de prova i ajustament.

En aquestes primeres paraules d'introducció acabo d'afirmar que l'angoixa per trobar una resposta als gairebé misteris, o grans qüestions de la humanitat, condicionaren una cosmologia antropocèntrica que va influir sobre la ciència en els seus orígens.

El segle de les llums obre camins de llibertat, es trenquen motlles, es recuperen algunes metodologies i es consolida el mètode científic.

El progrés de la ciència dels últims segles ha fet augmentar d'una manera exponencial el poder de l'home sobre el seu entorn, fent gairebé realitat amb totes les seves conseqüències aquella màxima bíblica:

"Creixeu, multipliqueu-vos i domineu la Terra."

Però tota iniciativa humana comporta el risc corresponent, i difícilment està exempta de conseqüències negatives.

Així, després d'un progrés científic i tecnològic sense precedents, ens trobem davant d'una màquina infernal que pot posar en perill l'existència de la mateixa humanitat, i davant d'aquest monstre surt la consciència mediambiental i la por vers la ciència

i la tecnologia. Però hem de tenir en compte que la por, el pànic, acostuma a tenir conseqüències negatives, i l'ésser humà sempre ha associat por i tenebres.

Podríem arribar a formular una sentència no exempta de perversitat, si diem:

"La llum de la ciència ha pogut donar lloc a l'aparició de l'obscurantisme de nombrosos grups d'ecologistes radicals."

2. ELS INICIS DE LA CIÈNCIA I LA TECNOLOGIA

Em permetran que després d'aquesta introducció de "filòsof aficionat", entri més en matèria fent una reducció necessària i centrant-me en l'entorn de la química, ciència que actualment és objecte de recels per part d'un mal entès ecologisme. D'altra banda, és necessari tenir en compte que precisament la química i les seves tecnologies són qui tenen la clau mestra per solucionar els principals problemes del medi ambient, permetent un desenvolupament tecnològic "amable" amb l'entorn, la naturalesa i l'espècie humana.

Intentaré fer una referència històrica als orígens de la química i de l'alquímia, com si es tractés de dos àmbits diferents del coneixement, malgrat que coincideixen en el mateix objecte d'estudi: la matèria.

2.1. El món antic

Amb el descobriment i domini del foc i de les seves primeres aplicacions:

Neix la química amb les primeres tècniques metal·lúrgiques i ceràmiques. Es tracta d'uns incipients oficis o professions sense la més mínima pretensió filosòfica. Es descobreix el ferro meteorític cap al 1600 a.C.; i

Neix també l'alquímia en el moment en què l'home "manipula" el que ha descobert o sap sobre la matèria amb pretensions cosmològiques.

– A Babilònia es considerava l'aigua com l'origen del món.

– A Mesopotàmia i Egipte l'origen de tot, del món, provenia de l'aparellament d'éssers complementaris i fins i tot antagonics.

Mascle-Femella

Sol-Lluna

aprox. 50 anys a.C.

Llum-Tenebres

Osiris-Isis

Així trobem en textos antics:

"Un és calent, l'altre humit i fred, però tots tenen quelcom d'aire i per ell totes les coses creixen i s'alimenten; això explica que cada ésser de l'univers es perfeccioni i completi pel Sol i la Lluna."

Aquests primers textos o reflexions insinuen un component filosòfic i una preocupació per ennobrir o elevar la matèria; "això explica que cada ésser de l'Univers es perfeccioni i completi per..."

Aquestes dues referències ens il·lustren dues tendències clares en l'estudi de la matèria:

a) La pragmàtica, que anomeno "prequímica", amb finalitats tecnològiques i que aconsegueix dominar alguns materials com l'argila i alguns elements químics com el coure, el ferro o el sofre. Aquesta línia es regeix per criteris pragmàtics i molt sovint estava en mans d'obriers, menestrals i esclaus.

b) La filosòfica o "prealquímica", que es prodiga entre els "intel·lectuals" i pensadors, clergues, etc. Estudien la naturalesa com un mitjà per trobar una explicació al cosmos, al món que els envolta; la frontera del misteri està tan pròxima que fa inevitable la connexió o interferència amb el món religiós.

2.2. La ciència en el món grec

Els grecs consideraven el treball intel·lectual com una tasca ennoblidora, però el treball manual era cosa d'esclaus. Aquesta posició davant del treball condicionà molt seriosament el progrés del que fins ara anomenem ciència a l'Antiga Grècia.

Fa uns anys, durant el mes de juliol, vaig anar a Grècia a passar les vacances amb la meua família, on ens va sorprendre com s'havia institucionalitzat la migdiada en aquell país. Vam veure com a l'hora canicular, mentre nosaltres corríem apressats d'un museu a unes ruïnes, una gran majoria de ciutadans grecs estaven descansant en llits instal·lats en balcons ombrejats o en alguns carrers tranquils a l'ombra d'un plàtan o d'un pi mediterrani.

M'explicaven que la vocació a la reflexió i al debat vénen de molt lluny en el poble grec: la migdiada, més que un repòs passiu (dormir), és un temps dedicat a l'especulació intel·lectual.

Efectivament, els pensadors grecs van ser uns grans especulatius. La bondat d'una teoria depenia que resistís el debat i que racionalment no fos possible falsejar-la. No tenia interès ni objecte la comprovació experimental.

Sempre hi ha excepcions a fer a qualsevol afirmació general. Es tracta del cas d'Arquimedes.

Arquimedes és del segle III a.C. i el descobriment del seu

famós principi no es deu a un treball experimental, sinó a la casualitat. L'"eureka", com tots deuen saber, va ser fortuït en observar la sensació de disminució del pes del propi cos en submergir-se a la banyera. Cal afegir que Arquimedes es va formar a Alexandria, ciutat on conflueixen totes les cultures i que estava sota la influència d'Egipte, poble molt més pragmàtic que havia desenvolupat les més avançades tecnologies i mètodes de càlcul en aquell temps.

Plató (427-347 a.C.) inclou en els seus diàlegs idees científiques i cosmològiques, si bé considera com a secundari allò que ara nosaltres qualificaríem com a científic.

"En algunes ocasions es pot interrompre la meditació sobre les coses eternes (les idees) i tendir cap a aquelles que són veritablement probables. Experimentarà així un plaer del qual no haurà de penedir-se..."

En contra del que es pugui pensar, el gran rigor del pensament de Plató no ajuda en absolut a estructurar mínimament la química –iniciada com a ofici en les primeres tècniques metal·lúrgiques–, sinó que estableix les bases de l'alquímia. Podria considerar-se Plató com el creador de la idea de la "pedra filosofal", base i raó de ser de l'alquímia.

El mite de la caverna ens condiona a creure que allò que veuen els nostres sentits, el "fàctic", no és res més que el reflex del que és veritable o ideal. Així, la matèria que toquem i que es transforma i que els químics i físics estudiem, és quelcom "fàctic", reflex de la idea veritable i ideal de la matèria i que tan sols faltaria denominar-la "pedra filosofal".

A tall d'exemple, vegi's aquest fragment dels Diàlegs de Plató:

"De totes les coses considerades fusibles, aquella que és més densa i uniforme, és la possessió més preciosa, es denomina or, que s'endureix en filtrar-se entre les roques. És de naturalesa única i té color brillant i groguenc... L'or és el metall més perfecte i els altres metalls són essencialment com ell, però contenen impureses, barreges d'altres substàncies"

Aristòtil, deixeble de Plató, té un sentit més pràctic, però segueix en bona part el seu mestre quan, pel que fa a l'estudi de la naturalesa, afirma que la base de tot és l'essència, sobre la qual estan superposades les qualitats específiques de les coses. La diferència amb Plató és que Aristòtil és més realista; el que captem amb els sentits és la realitat, no la imatge. Aristòtil ha sortit de la caverna. El realisme d'Aristòtil, juntament amb el referent o el concepte de l'essència, condiona el model cosmològic àmpliament acceptat per l'occident fins les albrors de l'edat contemporà-

nia. No és necessari dir que la filosofia aristotèlica dóna cos i reforça l'alquímia. D'altra banda, les escoles de Plató i Aristòtil postulen la teoria del continu, no són atomistes, si bé Aristòtil accepta la teoria d'Empèdocles (490-435 a.C., nascut a l'actual Agrigento, Sicília (Magna Grècia)) dels quatre elements: aire, aigua, foc i terra, síntesi de les teories dels pensadors jònics i pitagòrics.

Demòcrit d'Abdera (460-370 a.C.) ha passat a la història com el primer atomista. Postula la teoria de l'àtom, partícula indivisible, com les partícules immutables petitíssimes i diferents per a cada element. Demòcrit va ser deixeble de Leucip i Anaxàgores, va passar diversos anys a Egipte i va rebre una forta influència dels geòmetres del país del Nil, on les tecnologies havien fet grans progressos. La teoria atòmica de Demòcrit va ser rebutjada per Aristòtil, que considerava absurd que la divisió de la matèria tingués un límit.

El cas de Demòcrit és un dels primers exemples del fruit que aporta la hibridació de cultures.

Si bé la gran autoritat intel·lectual d'Aristòtil fa arribar la teoria dels quatre elements i del continu fins a l'edat moderna, en les interfícies culturals naixien idees que es perderen o que quedaren "hivernades": un cas és el de l'esmentat Demòcrit, un altre pot ser el d'Heró (segle I a.C.).

Heró el Vell o *Heró d'Alexandria* introdueix un canvi metodològic interessant que donaria els seus fruits. Allò que desconeixia ho enfocava segons els principis d'Aristòtil, però quan l'objecte d'estudi permetia l'experimentació prescindia del model aristotèlic. Heró va fer importants experiments sobre gasos i vapors que li permeteren fer la següent afirmació, en la seva obra *La pneumàtica*:

"Els recipients que a tots els homes els semblen buits no ho són, són plens d'aire. Ara bé, l'aire, com molt bé saben els que s'han ocupat de la física, està compost de partícules lleugeres invisibles en la seva major part. Així, si posem aigua en un recipient, surt d'ell una quantitat d'aire proporcional a l'aigua que s'ha introduït en el recipient"

Ens trobem davant d'una veritable descripció científica. Heró s'aproximà enormement a Boyle i Gay-Lussac; l'observació i mesura dels fenòmens estudiats per Heró, prescindint dels primers apriorismes cosmològics, ens permeten considerar-lo com un científic.

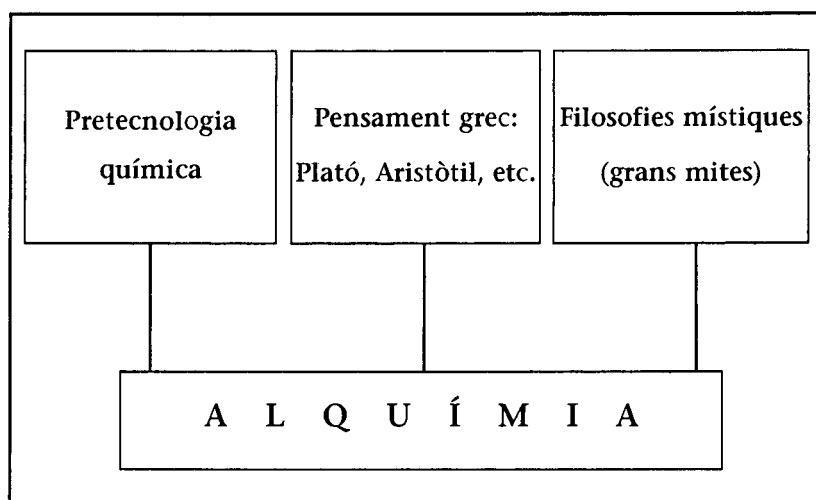
Com a conclusió d'aquesta primera part podríem dir que en el món grec neix poca ciència, però fructifica una síntesi entre matemàtics i pensadors especulatius que dóna com a resultat un

corpus filosòfic del qual encara ara gaudim. No obstant això, és en la frontera de la civilització hel·lènica on trobem els primers avenços científics.

3. L'ALQUÍMIA

Hem pogut veure com en el món antic s'entrecreuen i es confonen dues metodologies en l'estudi de la naturalesa: la *pragmàtica* o *interessada* i la *filosòfica* o *prealquímica*. En general, el pensament grec s'inclina per la prealquímica amb algunes excepcions, com les dels esmentats Demòcrit o Heró.

En general, hom associa l'alquímia amb l'edat mitjana, però l'arrel de l'alquímia la trobem ja en el món grec.



L'alquímia tenia elements mítics. L'atribució de vida a alguns metalls, que:

"Com les llavors, podien créixer i florir però havien de patir mort i putrefacció..."

Durant el segle XIII comencen a ser contestades les tècniques alquímiques, i més especialment alguns dels seus discutibles resultats.

Roger Bacon (1214-1294, Oxford), anglès, anomenat "Doctor Mirabilis", estudià a Oxford i a París, era frare franciscà i es dedicà a l'estudi de la naturalesa i a l'experimentació. Mig alquimista i mig físic, assenyalà defectes en el sistema astronòmic de

Ptolemeu i estudià els fenòmens de reflexió i refracció. Va tenir controvèrsies amb els dominics Albert el Magne i Tomàs d'Aquino i va obrir la dialèctica escolàstica a l'observació i l'experimentació, propugnant una *Scientia Experimentalis*.

"La Ciència Experimental no rep la veritat de mans de les ciències superiors (Filosofia i Teologia); és ella la "Senyora" (l'experimental) i les altres ciències són les seves servidores."

Però malgrat les polèmiques amb els esmentats dominics, tots tres (Bacon, sant Albert i sant Tomàs) contesten de la mateixa manera a la gran qüestió de l'edat mitjana.

"Quan pot ser lícitament donat l'or alquímic com a or real?"

La resposta va ser:

"Quan la seva naturalesa sigui la de l'or."

Sant Albert el Magne, patró dels científics, és molt despectiu amb l'alquímia. La definia com:

"La miserable unió del geni amb el foc."

Sant Albert, nasqué l'any 1193, fou bisbe de Ratisbònia i morí a Colònia el 1280. Frare dominic, doctor de l'Església, l'anomenaven "Doctor Universalis", pensador, teòleg i evidentment científic. És autor d'una gran enciclopèdia del saber del seu temps i posa a l'abast dels seus deixebles les obres d'Aristòtil, recuperades mitjançant metges i savis musulmans i jueus. Va ser mestre de sant Tomàs. Sant Albert estableix que s'han de delimitar els camps de la fe i de la raó. Freqüentment opta per "navegar" entre dues afirmacions o teories oposades que sovint intenta fer compatibles. Per exemple: presenta els àtoms de Demòcrit com equivalents a la *minima naturalia* d'Aristòtil, és acèrrim partidari de la teoria del continu i independitza l'incipient i fràgil estudi de la naturalesa dels condicionaments místics o filosòfics.

Com acostuma a succeir, s'atribueix a Albert el Magne infinitat de coses, fins les més inversemblants. Per exemple, s'atribueix a sant Albert el següent:

L'escola aristotèlica considerava la dona com un ésser inferior a l'home, entre l'animal i l'home. La base per a aquesta afirmació és que morfològicament home i dona no són iguals, i la inferioritat es manifesta, segons Aristòtil, en una dentadura inferior: la de la dona (menys dents).

Sant Albert no estava d'acord amb aquesta tesi aristotèlica per raons religioses (la Bíblia). Però per rebutjar aquesta tesi no va

recórrer al debat filosòfic sinó a l'experimentació: es va posar a observar i a comptar dentadures femenines, i del resultat experimental va concloure que la Bíblia tenia raó, no Aristòtil.

Bacon i sant Albert posen de manifest una tensió entre l'alquímia i la química. Que quedi ben clar que en aquells temps tot es confoia dins del sac de l'alquímia.

Podríem dir que abans de sant Albert i Bacon, les dues línies d'estudi de la matèria seguien els seus camins d'una manera gairebé independent, compartint algunes metodologies experimentals i tècniques de laboratori. D'una banda hi havia pragmàtics fabricants (entre ells també alquimistes estafadors), i de l'altra cosmòlegs, pensadors, alquimistes que, mitjançant la perfecció de la matèria, perseguien la pedra filosofal.

És interessant aprofundir una mica més en aquest component mític o espiritualista de l'alquímia. L'alquimista honest s'identifica amb la matèria, la qual purifica i sublima, i per aquest camí s'apropa a l'absolut en la mesura que aconsegueix aproximar la seva obra, matèria que purifica, a la pedra filosofal. Aquesta era la forma de pensar de Paracels (neix a Einsiedeln el 1493 i mor a Salzburg el 1541), que tenia un concepte molt més positiu i noble de l'alquímia que sant Albert.

L'alquímia, segons Paracels, és *"l'art de convertir l'impur en pur mitjançant el foc, separar l'útil de l'inútil i transmutar l'útil en substància final i la seva última essència."*

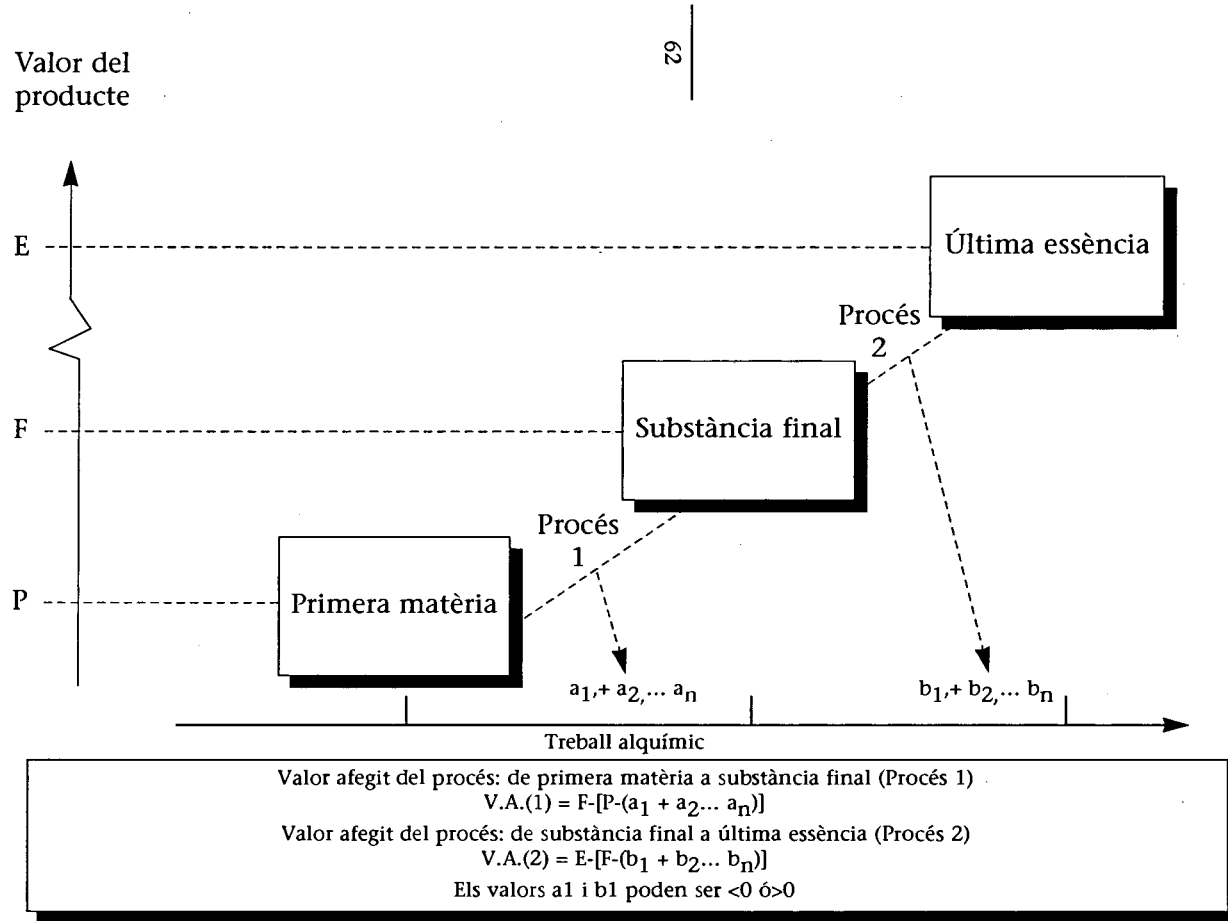
Per a Paracels, el treball de l'alquimista aporta un valor afegit a la matèria.

En l'esquema número 1 es mostra com el procés alquímic parteix d'una matèria primera coneguda (dins les limitacions de l'època) i tangible, i s'obté una matèria transformada "substància final" desconeguda que pot conduir a l'última essència, substància intangible. El treball alquímic augmenta el valor de la matèria, l'ennobleix.

El desconeixement de la substància final (molt sovint intangible) i el gairebé sempre producte de la imaginació: l'última essència, introdueixen un component de misteri al valor afegit del procés que transcendeix el mateix alquimista i, segons ell, l'aproxima a l'absolut. Per això, el llenguatge alquímic és esotèric, perquè pretén incloure en el relat components de misteri.

Un altre aspecte important, i sobre el qual no s'ha parat atenció, és que en el procés alquímic hi ha gairebé sempre una separació: "separar l'útil de l'inútil."

Esquema núm. 1



Cal tenir en compte, en l'esquema número 1, que a1 a2 ... i b1 b2 ... no sols tenen un valor inferior a la matèria primera, sinó que poden tenir un valor negatiu perquè, com que són inútils, poden destorbar (produeixen molèsties), contaminar l'entorn.

Un exemple en seria l'obtenció de l'alcohol, "l'esperit del vi", introduït, segons sembla, per Ramon Llull, que va aprendre dels àrabs l'ús de l'alambí.

Primera matèria: vi, amb el color propi del vi i un valor determinat. Substància final o essència, "l'esperit del vi", alcohol amb un 55% d'aigua, incolor i amb unes característiques organolèptiques i fisiològiques que tots coneixem. El valor d'aquesta substància final, el que ara els especialistes denominen holandes, és superior al del vi, però en el temps de Ramon Llull tenia un valor afegit immens, ja que es considerava com l'elixir de la força i de la salut. En aquest cas també es donaven, i es donen, els components inútils a1, a2, etc., que ara anomenem vinassa i que en aquell temps no preocupaven.

L'alquímia, que continuà com un art o pseudociència fins ben entrat el segle XVII, tenia un sentit totalitzador, holístic i fins i tot podríem dir transcendent. Un aspecte, aquest, que va influir negativament en el progrés de la ciència i molt especialment de la química, ja que, havent oblidat la metodologia d'Heró d'Alexandria i del mateix sant Albert, els paradigmes cosmològics i teològics condicionaven qualsevol progrés, fruit de l'observació i l'experimentació.

Però, com veurem, no tot és negatiu en l'alquímia.

4. LA REVOLUCIÓ CIENTÍFICA

La il·lustració (*Aufklärung*), la prerevolució i la Revolució francesa; tota aquesta confusió –intel·lectual, filosòfica i social– contribueix al naixement d'un nou món: el món científic, el racionalisme i la societat industrial.

Es menysprea el misteri, la claredat és una obsessió, es busca la llum en la raó i en el coneixement. Una il·lustració d'aquest ambient poden ser les paraules de Goethe quan agonitzava:

"Licht mehr licht..."

És el moment històric en el qual la ciència es fa definitivament autònoma.

Comença Robert Boyle (segle XVII) amb la solució definitiva sobre el concepte d'element amb una definició bellíssima, però gens fàcil de trobar en un llibre modern de química:

"Element és aquella substància que sempre, en tot canvi químic (reacció química), guanya pes."

Aquesta definició és perfecta, i semblaria bàsica per destruir la teoria dels quatre elements aristotèlics. No obstant això, es creu que Boyle la presentà amb la finalitat de demostrar que allò que ara anomenem un element químic no podia existir. Això es dedueix de l'anàlisi del context de l'obra de Boyle *Sceptical Chemist*. Pel que sembla, Boyle no tenia gens clar el concepte d'element químic.

Uns cent anys més tard, Gay-Lussac i Lavoisier, amb la instrumentació coneguda ja pels egipcis, estableixen les bases de la ciència química.

Aquests instruments no eren cap altra cosa que les balances. També utilitza unes provetes de gasos basades en l'aparell de Torricelli, és a dir, un baròmetre i també uns cilindres amb pistons similars als que s'usaren en les primeres màquines de vapor.

Fixem-nos que els aparells bàsics existien des de feia temps, alguns des de feia segles. El que faltava era que en l'ambient, en la societat, s'imposés una nova mentalitat, la ja anunciada en part per Heró (quan prescindia dels principis aristotèlics), Roger Bacon (quan defensava l'autonomia de la ciència) i Albert el Magne amb el seu empirisme.

La premissa de l'autonomia de la ciència i l'aplicació rigorosa de l'experimentació, basada en mesures cada cop més precises, permet l'estructuració de la química que deixa en via morta l'alquímia.

Neix la ciència i es fa definitivament autònoma. Autonomia que en diverses ocasions dóna símptomes de la seva pròpia falta de maduresa, ja que la ciència es revela amb raó, però de forma inoportuna. Com un adolescent, l'home científic considera reaccionari el paradigma de pensament que fins aleshores havia estat el seu bressol.

Fruit d'aquesta revolució és un ràpid desenvolupament de totes aquelles ciències que es qualificaven de positives: la física, la biologia i molt especialment la química.

La química és possiblement la ciència que, amb Gay-Lussac i Lavoisier, fa un veritable i definitiu salt endavant.

El naixement de la química com a ciència no és fàcil i coincideix amb el gran moviment de la Revolució francesa, que devora, sense pietat i d'una manera una mica indiscriminada, no solament els membres de la noblesa i clergues realistes, sinó algunes de les ments més clares d'Europa com el mateix Lavoisier.

Lavoisier va ser director de l'Acadèmia de Ciències de França. En esclatar la Revolució, totes les acadèmies van ser clausurades, i Lavoisier va ser empresonat per sospitós de reialista i guillotinat el 8 de maig de 1794. Condemnat a la màxima pena, algú va intercedir dient que Lavoisier era un gran savi. El president del tribunal, Coffinhal, va dir: *"La República no té necessitat ni de químics ni de savis; que la justícia continuï el seu curs."*

El matemàtic Lagrange comentà aquest fet dramàtic així:

"N'hi ha hagut prou amb un instant per fer caure aquest cap, i pot ser que calguin cent anys perquè a França n'aparegui un de semblant."

L'eclosió de la ciència, el seu gran desenvolupament i divulgació comporten com a conseqüència la ràpida evolució de les tecnologies bàsiques: el vapor, la metal·lúrgia, la producció en massa del que ara anomenen *"comodities"* (substàncies i materials químics bàsics), l'electricitat, etc. Comença l'era industrial.

5. LA METODOLOGIA DE LA CIÈNCIA

La història ens ensenya com l'ésser humà ha anat progressant mitjançant un procediment que ara en diem prova i ajustament.

Les primeres escenes de la pel·lícula "2001. Una odissea a l'espai", de Stanley Kubrick i Arthur Clarke, són una imatge del progrés per prova i ajustament.

Cada pas vers el desconegut, es fa amb una intuïtiva i mínima hipòtesi que permet fer aquest pas. Quan s'ha avançat en el coneixement, es rectifica o es confirma la hipòtesi de partida. Ara ho veiem molt clar i considerem aquesta metodologia com una cosa evident, però l'ésser humà es mou en un univers de gran complexitat del qual ignora molt més del que coneix.

D'altra banda, existeixen àmbits de coneixement purament especulatiu, que tenen com a finalitat establir estructures racionals i que no pretenen la comprovació experimental de la hipòtesi, sinó la demostració racional, és a dir, que no pugui ser falsejada.

Antigament qualsevol hipòtesi científica venia condicionada per una cosmovisió que donava sentit a l'home i a la seva existència, però aquesta "llum" impedia entrar amb independència en àmbits d'estudi i pensament autònoms.

Malauradament aquesta confusió no s'ha superat del tot. És fàcil que la gran capacitat especulativa de l'home –juntament amb el conjunt d'apriorismes ideològics suportats per la seva pròpia

supèrbia— arribi a fer prevaler la seva hipòtesi per sobre del que diu l'experiència. Tots sabem que l'enamorament pot deformar la visió de la realitat. Doncs bé, hi ha qui s'enamora de la seva pròpia hipòtesi. Jo he viscut l'anècdota d'un alumne que veia al laboratori una substància de color verd —perquè d'acord amb la hipòtesi del treball que havia establert, la substància que s'havia de produir en aquella reacció era de color verd—, mentre que els seus companys i jo insistíem que el color era clarament groc.

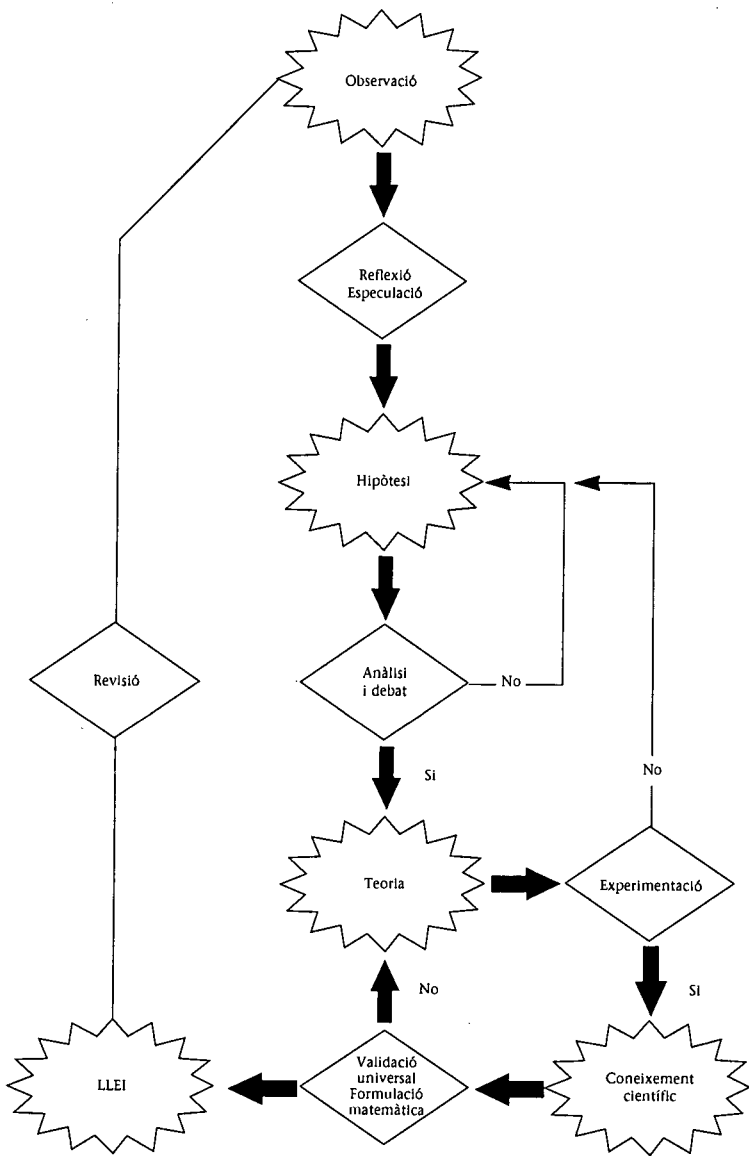
Quan aquesta miopia, o daltonisme intel·lectual, es deu a l'enamorament és perdonable. El fet greu és que sovint aquesta deformació de la realitat experimental, o la seva interpretació tendenciosa, parcial o esbiaixada, es realitza per motius perversos.

Davant un fet o fenomen desconegut, el científic elabora una *hipòtesi de treball* basada en el coneixement de l'entorn més immediat. Aquesta hipòtesi s'elabora per via especulativa, i si és autocoherent i no pot ser racionalment falsejada es converteix en una teoria. Però de cap manera no serà una veritat científica. (*Esquema núm. 2*)

La *hipòtesi*, sigui o no estructurada com una teoria, es converteix en un coneixement científic quan es comprova experimentalment.

Un nou coneixement científic es converteix en *lei* científica, quan és possible demostrar experimentalment el comportament universal de la part de l'univers (sistema) on té lloc aquell fenomen i es pot descriure aquest comportament d'una manera exacta i quantitativa, és a dir, mitjançant una expressió matemàtica.

Esquema núm. 2



6. LIMITACIONS I REDUCCIONISME DEL MÈTODE CIENTÍFIC

L'experimentació científica és gairebé sempre limitada en extensió i, al mateix temps, per la modelització realitzada al laboratori.

La llei que estableix la ciència té un àmbit de validesa que ve definit pels límits de l'experimentació. Per aquest motiu, la metodologia científica implica en part un cert reduccionisme.

Els límits de l'àmbit de l'experimentació en general poden ser a causa del marge dels valors de les variables que s'han estudiat, experimentat i mesurat, i a causa de la sensibilitat i precisió amb la qual s'han realitzat les mesures que permeten obtenir les dades experimentals.

Tots recordarem l'ús que es fa en física i química del terme "ideal": els gasos "ideals", que en algun text podem trobar com gasos "perfectes".

Recordo que d'estudiant el qualificatiu ideal l'associava al de perfecte, en el sentit del Diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans: "Que té totes les qualitats requerides, que no li falta res; acabat del tot." Per això, se'n podia extreure la idea simple, equivocada, que era la ciència qui conduïa o governava el comportament dels sistemes en la naturalesa, i que, en tot cas, era la imperfecció de la "realitat" de la naturalesa la que de forma rebel i desobedient es desviava del comportament previst per les lleis.

Gay-Lussac, Charles, Guldberg, Waage, etc., tenien clar que eren les limitacions de les lleis que havien descobert i que complien rigorosament uns sistemes que es denominaven "ideals", quan en realitat haurien d'haver definit com "*reduïts*", "*restringits*", ja que amb exactitud tot sistema real manifestava desviacions entre el que preveïen les lleis i el que es mesurava al laboratori.

Aquelles grans i primeres lleis eren una primera aproximació a la descripció d'aquells sistemes que l'home havia aïllat de la naturalesa per al seu estudi.

Quin desengany!, diran aquells que havien o han substituït els mites i creences atàviques pel gran mite de la Ciència!

Si hom hi fa atenció, veurà que no acostumen a ser els científics els qui gosen fer especulacions cosmològiques fonamentades en el coneixement científic.

És precisament l'home de ciència el més conscient de les limitacions dels seus coneixements, i per això utilitza una teoria o una altra, mentre li funcioni o li sigui útil.

Un coneixement científic no es pot considerar com a absolut; sempre és una aproximació que l'home de ciència utilitzarà en

funció de la seva utilitat.

Es pot afirmar que tots els coneixements adquirits mitjançant la metodologia científica no han estat revocats, però més modernament s'han descobert nous aspectes d'aquells fenòmens que han enriquit, completat i fins i tot superat aquells coneixements.

La teoria de la relativitat no anul·la la mecànica clàssica (que continua essent enormement útil), sinó que la complementa obrint-la a una altra dimensió per al concepte de temps i espai.

L'"àtom de Bohr-Rutherford-Somerfeld" és perfectament vàlid per a interpretar els espectres atòmics. Aquest model permet calcular els nivells energètics dels electrons en els àtoms dels elements químics en estat gasós. Però de cap manera aquest model no pot preveure la naturalesa ondulatoria de l'electró, i per això dóna una visió estrictament geomètrica i reduïda de l'àtom.

Per aquest motiu el científic no acostuma a ser iconoclasta; quan li convé, utilitza el model de Bohr (ben conscient de les seves limitacions), i quan cal utilitza el mecànic ondulatori de Schroedinger.

L'any 1955, quan morí Einstein a Princeton, jo feia el preuniversitari. Els professors de l'Institut on estudiava, dedicaren una classe a explicar-nos alguns aspectes de la gran obra d'Einstein. Recordo que el professor de Física i Química ens va explicar l'efecte fotoelèctric, i el de Literatura dedicà una hora a dir-nos que amb Einstein naixia una nova física, induint-nos a pensar que podríem abandonar la mecànica de Newton, com si es tractés d'una relíquia històrica similar a la teoria del flogist.

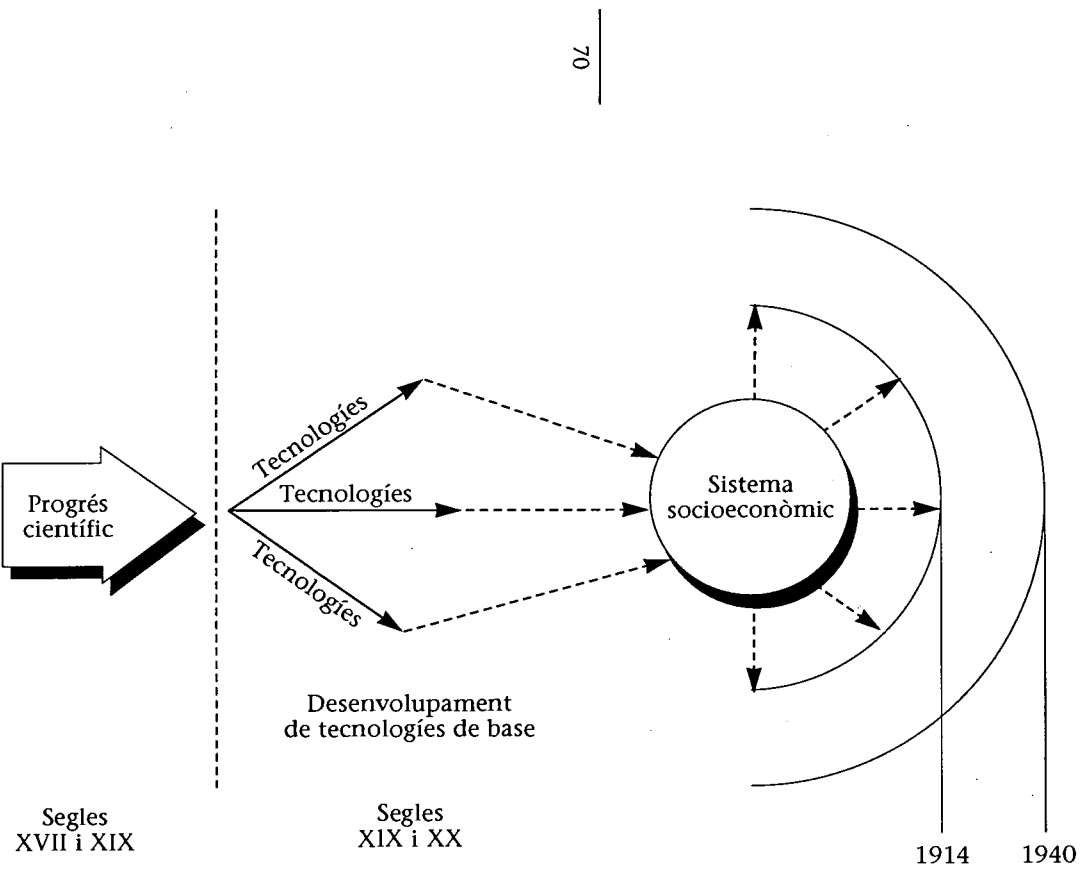
7. EL RACIONALISME I LA REVOLUCIÓ INDUSTRIAL

El naixement de les ciències anomenades positives, experimentals o de la naturalesa i la sistematització dels coneixements forniren la societat de poderoses armes per al desenvolupament industrial i econòmic, però també per a la destrucció i la guerra. Així podem veure com, a partir de Napoleó, la ciència i la tecnologia –encara incipients– es transformen en dos components estratègics.

L'ordenació universitària francesa, el famós model napoleònic, del qual encara vivim, té com a finalitat última que la ciència estigui al servei de l'Estat. (Esquema núm. 3)

Per exemple, els mètodes per a l'obtenció de carbonat sòdic, primer el de Le Blanch i més endavant el de Solvay, són resultat d'una ofensiva tecnològica estratègica per no haver de dependre

Esquema núm. 3



de les fons naturals de carbonats alcalins, gairebé tots lluny d'Europa. La guerra del catorze, la Gran Guerra, fa néixer el mètode de síntesi de l'amoníac, font d'adobs sintètics i compostos nitrogenats, a causa de les dificultats que tenia Alemanya per accedir als jaciments de guano i nitrats a Xile.

Podríem parlar també de la gran expansió en el camp de les tecnologies mecàniques durant la Gran Guerra: ferrocarrils, ferrocarrils cremalleres, telefèrics, vehicles motoritzats i aeroplans.

La Segona Guerra Mundial transforma l'aviació en un dels sistemes de transport més segurs, dona l'impuls definitiu a l'electrònica com a base de la comunicació i control, i obre l'accés al nucli atòmic, que equival a dir a la font d'energia que mou el nostre Univers.

El mètode científic obre meravellosos camins de progrés per a la humanitat, però els esdeveniments i la crisi de saviesa fan pensar que aquest progrés –l'actual progrés– ha estat fruit més d'interessos immediats, i moltes vegades inconfessables, que de la reflexió i "digestió" racional i "sàvia" dels mateixos descobriments.

Comencen a sentir-se les opinions de grans científics que lamenten l'ús de molts dels seus descobriments. Les veus de Pauli, Einstein, etc., impacten en el si de la nostra societat i s'inicia la gran oscil·lació: de creure que la ciència i la tecnologia resoldrien per elles mateixes tots els problemes de la humanitat, es passa –en unes dècades– a pensar que la tecnologia és incompatible amb la naturalesa. Un neobscurantisme sembla apropiat-se a final del segle XX, com si d'un nou mil·lenarisme es tractés.

Cal recordar que la revolució industrial, que porta com a conseqüència el desenvolupament, promou la superespecialització. En molts països, les carreres científiques i tecnològiques es divideixen, abraçant sectors de coneixement més i més restringits, però arribant als últims detalls tecnològics. Aquesta obsessió per l'especialització es prodiga, especialment, en els dos grans països que representen sistemes socioeconòmics completament oposats i enfrontats: Estats Units i la Unió Soviètica.

El desenvolupament incontrolat, per una part, i la naixent ecologia, per l'altra, obliguen a nous plantejaments que comporten la interdisciplinarietat, i que tot acceptant el mètode científic, són conscients de la seva limitació i reclamen una lectura més "holística" dels seus resultats.

8. DE L'ECOLOGIA A L'ECOLOGISME I DELS SENYALS D'ALARMA (VERMELLS) A LA CONFUSIÓ VERDA

El desenvolupament científic i el consumisme han produït l'arma més poderosa per al seu propi qüestionament: l'aparició de tècniques analítiques de gran potència i sensibilitat.

La possibilitat de mesurar i registrar petits senyals elèctrics de l'ordre del microvolt, fa possible mesurar, registrar i seguir corrents elèctrics de l'ordre del nanoampere amb precisió, i de forma gairebé automàtica. Tot això motivat pel gran desenvolupament de l'electrònica, fruit o conseqüència de la Segona Guerra Mundial.

Els anys cinquanta i seixanta són testimoni de la confluència de tres disciplines: l'electrònica, l'òptica i la química. Aquest encontre pluridisciplinari dóna com a fruit el desenvolupament de certes metodologies científiques, que fins aleshores tenien aplicacions limitades, i al naixement d'altres de noves.

Tecnologies que es desenvolupen

Les espectroscòpies: visible, ultravioleta i infraroig.

72

Tecnologies que neixen

La cromatografia de gasos, la polarografia, la resonància magnètica nuclear, la microscòpia electrònica, la difracció d'electrons, etc.

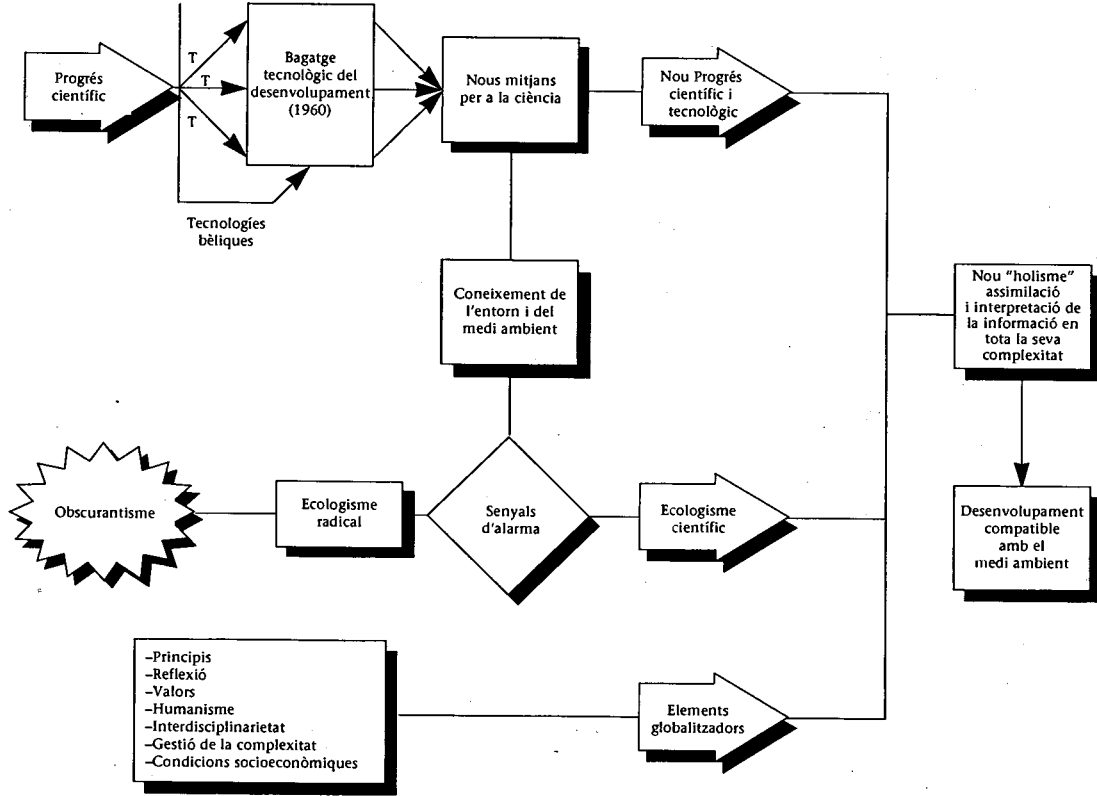
El salt del mil.ligram al microgram

Fins a la Segona Guerra Mundial, la frontera habitual de mesura bàsica se situava al voltant del mil.ligram. Les millors balances de precisió situaven la seva sensibilitat en la centèsima del mil.ligram.

L'electrònica, amb el descobriment del tríode, introdueix l'amplificació; aquest recurs electrònic fa possible la generalització de la ràdio, la megafonia, etc. Però molt sovint ha passat desapercebut que aquest recurs per amplificar un senyal elèctric ha entrat també en la metodologia científica.

L'amplificació electrònica, primer mitjançant vàlvules i després amb transistors, ha fet possible el salt de com a mínim tres potències de deu (tres ordres de magnitud) en la mesura de senyals elèctrics.

Aconseguits aquests meravellosos recursos en el món de l'electricitat i de l'electrònica, tots els esforços de químics i físics se



centren a trobar artificis que transformin un senyal màssic –canvi en la quantitat de matèria d'una substància– en un senyal elèctric. Afortunadament, la interacció matèria-càrrega elèctrica és rica en possibilitats: l'electroquímica en fase aquosa o gas i l'efecte foto-elèctric van ser els fenòmens més estudiats que donaren lloc al que ara anomenem transductors: artificis que transformen (tradueixen) una variació de concentració o quantitat absoluta de matèria en una variació de corrent o de voltatge.

L'amplificació electrònica juntament amb l'amplificació química, posaren en mans dels científics una eina de gran potència que obriria els senyals d'alarma que han proveït els ecologistes d'armes.

Passar del mg al (g, i poc després al nanogram fins a arribar al femtomol, com a límit de detecció en moltes substàncies, va produir una gran quantitat de treballs de recerca que posaven de manifest l'existència de substàncies tòxiques en els medis més insospitats: mercuri a les aigües del Mediterrani, compostos organoclorats als gels eterns del pol o a la llet materna humana, etc.

Com acostuma a succeir, un pas endavant obre noves perspectives, nous problemes. Multiplicar per mil la sensibilitat augmentà, com a mínim, pel mateix factor la dificultat a interpretar tanta i tan nova informació. (Esquema núm. 4)

9. UN NOU HOLISME: L'ASSIMILACIÓ I INTERPRETACIÓ DE LA INFORMACIÓ EN TOTA LA SEVA COMPLEXITAT

En el moment en què la ciència augmenta prodigiosament la seva capacitat d'entrar en el microcosmos, arribant gairebé a "veure" els àtoms, neix una nova eina que permet tractar de manera automàtica la informació, multiplicant també per mil, i ràpidament per un milió, el factor quantitat d'informació a tractar, ordenar i estudiar.

La comunitat científica s'adona del perill associat al coneixement parcial, fruit d'un estudi inevitablement limitat.

Així, les dades sobre els nivells de mercuri al Mediterrani - que produïren gran alarma i originaren grans campanyes contra la indústria d'obtenció del clor i sosa- s'han sotmès a revisió, i s'ha arribat a la conclusió que el més gran contaminador en mercuri del "Mare Nostrum" no és l'home ni la indústria química, sinó el volcà Etna.

Un altre fantasma creat per les parcialitats del coneixement científic és el conjunt de conclusions precipitades sobre el canvi

climàtic. Estudis molt recents estan demostrant que la Terra està sotmesa a canvis climàtics periòdics d'entorn de 23.000 anys. El primer que va formular aquesta hipòtesi va ser Milankovitch el 1860; la seva teoria es basava en l'estudi de la trajectòria el·líptica de la Terra i del seu moviment de precessió. La teoria de Milankovitch s'està demostrant com a certa gràcies a les mesures experimentals fetes últimament: algunes d'elles formen part de la tesi doctoral del Dr. Joan Villanueva, titulada *Estudi de les variacions climàtiques i oceanogràfiques en l'Atlàntic Nord durant els últims 300.000 anys, mitjançant l'anàlisi de marcadors moleculars*, tesi defensada a la Universitat Ramon Llull el 18 de gener de 1996 i dirigida pel Prof. Joan Grimalt.

La crisi del desenvolupament, l'ecologisme i altres reaccions davant d'indiscutibles abusos produïts per un creixement caòtic de l'activitat humana no posen en dubte la ciència, ni la seva metodologia o epistemologia. Els senyals d'alarma ens fan adonar que la ciència descobreix i cultiva veritats, però que per a aprofundir en el món de la Veritat, és necessari un salt qualitatiu de moltes "potències de deu" que ens porten a estudiar el món, l'home i l'univers, amb un afany globalitzador per al qual l'epistemologia de la ciència és sens dubte necessària però no és suficient.

Acabo amb una pregunta o qüestió:

¿Serà necessari recuperar dels vells i honrats alquimistes aquell esperit, amb què creien que perfeccionant la matèria o matèria primera, ells mateixos es despulaven de les seves imperfeccions?

L'ecologisme, com el vell alquimista, ha fet aterrar la ciència al nivell que li correspon, creant una sensibilitat i preocupació per estudiar l'activitat humana amb un afany globalitzador.

Si fa uns anys algú va arribar a dir: "No hi ha filosofia, tan sols hi ha ciència" (concretament Rudolf Carnap afirmava que la Filosofia es redueix a la lògica de la Ciència), ara l'ecologisme, amb la seva exigència d'interdisciplinarietat, ens portaria a dir que en el fons tot coneixement científic reclama la Filosofia.

Abstract

In this article, the author develops a historical study of the development of western science from Greece until the Scientific Revolution. On the other hand, the author, vocationally a chemist, develops a personal reflection on the limitations of science.