

Concepcions espontànies dels professors i dels estudiants sobre la idea de matèria

Carles J. Furió Más

Departament de Didàctica de les Ciències

Universitat de València

Introducció

El fil conductor de la conferència-taller té com eix estructurant la formació del professorat i, en particular, fa èmfasi especial en dues de les principals condicions per portar endavant un ensenyament profitós de la Física i Química. D'una banda està la necessitat de conèixer bé la o les matèries que hem d'ensenyar i, d'altra, assolir que aquest coneixement científic del qual disposem és hipotètic, no mai dogmàtic, i, per tant, sempre serà convenient posar-lo en qüestió o, simplement, dubtar d'ell. Aquells professors i estudiants que assumeixen críticament el seu pensament seran en disposició de plantejar-se preguntes atrevides i intel·ligents. Quan aquestes siguin contestades de manera plausible i coherent, es pot dir que s'ha après de manera significativa o constructiva. Des d'aquesta perspectiva el professor i l'alumne estaran contínuament desteixint i teixint els seus coneixements i fent cada vegada més complex i espès el seu cos teòric.

Així doncs, el contingut d'aquest taller girarà al voltant de què sabem i no sabem els professors i els alumnes envers la idea de matèria, quines concepcions simples i visions limitades o distorsionades es tenen sobre el coneixement actual de la matèria i sobre com s'han anat construint per la Ciència aquestos coneixements enderrocant barreres, obstacles, etc., que s'oposaven a una imatge cada vegada més unitària de la matèria que tracta d'explicar el món que ens envolta. Conèixer i qüestionar aquestos pensaments espontanis docents i discents envers la idea de matèria i la seua evolució són, al nostre parer, fonamentals per superar visions compartimentades, inconnexes, aproblemàtiques i ahistòriques en aquestes construccions. I, per suposat, als professors i professores ens vé molt bé saber tot això a l'hora de fonamentar les decisions a prendre sobre una bona selecció i organització dels continguts del currículum.

Convé doncs, en primer lloc, i a fi de tenir una concepció preliminar del que ve després, plantejar-se la qüestió general:

“Proposar, a títol d'hipòtesi, aquelles visions incorrectes en què podem caure o en què incorreguem els professors i professores de Física i Química a l'hora d'ensenyar l'estructura de la matèria.”

La pregunta feta als professors pot donar respostes variades com les que es reflecteixen en el quadre 1 i que serviràn de base per desenvolupar la xerrada.

Quadre 1.- Exemples de visions massa simplificades sobre la idea de matèria que podem trobar en el professorat i en l'alumnat:

- reduir els estats físics de la matèria als tres més comuns en el planeta;
- representar quasi sempre la matèria de manera estàtica, oblidant el dinamisme consubstancial a ella mateixa;
- presentar en exclusiva com propietats generals de la matèria a la massa i el volum;
- presentar de forma inconnexa els distints nivells d'organització de la matèria (no establir relacions interdisciplinars, no relacionar el macrocosmos amb el microcosmos dins d'una mateixa disciplina, etc.);
- manca de referències a les distintes interaccions existents a l'Univers i quines són predominants en cadascun dels nivells d'estructuració i organització de la matèria;
- absències dels problemes, controvèrsies, crisis..., que s'han presentat en la recerca d'explicacions unitàries al comportament de la matèria;
- etc.

Pensaments poc actualitzats sobre els estats de la matèria

És freqüent observar imatges poc actualitzades del coneixement científic que avui tenim sobre els estats físics de la matèria. Per exemple, abunden les visions que els redueixen als tres més coneguts com són el sòlid, el líquid i el gasós. S'exclouen les adquisicions darreres dels dos últims segles. No es fa cap menció d'altres estats que estan molt més presents a l'Univers como poden ésser *l'estat plasmàtic*, existent en estrelles grogues com el nostre Sol o a l'interior del nostre planeta; o els *camp electromagnètics*, que s'estenen per quasi tot l'espai, encara que siga matèria extraordinàriament difuminada però mesurable, com ho mostra les tones de massa que va perdent el Sol cada segon que passa.

Ens sorprendria bastant si preguntarem als nostres alumnes i, també, a nosaltres mateix, què pensen sobre la naturalesa del foc, igual que s'ho plantejaren filòsofs i científics del segle XVIII, com Immanuel Kant. És curiós llegir un dels opuscles que va presentar el jove Kant l'abril del 1755 per ésser admès a l'examen de professor de la Facultat de Filosofia de Königsberg (Prusia oriental) i que es deia "*Breu bosqueig d'unes meditacions sobre el foc*". En la proposició 8 diu (Kant 1992): 'La matèria del foc no és sinó el mateix éter (o matèria de llum) comprimit dins dels intersticis dels cossos en virtut de la intensa força de l'atracció o adhesió'(s'entenia que aquesta força era la que hi havia entre les partícules del foc i les de la matèria ordinària). És a dir, el foc, la llum o l'èter ja eren considerats com materials, salvant naturalment les distàncies ontològiques i conceptuals que ens separen d'aquell segle.

Un altre tret d'aquestes visions reduccionistes sobre els estats de la matèria és el seu caràcter ahistòric. Es pot posar en evidència aquesta manera de pensar quan s'admet que aquest coneixement dels tres estats físics 'sempre ha estat present' al llarg de la història. Per exemple, és fàcil trobar cert desconeixement respecte al que va costar acceptar en la comunitat científica el tercer estat. Pocs saben que la consideració de l'estat gasós com estat general de la matèria, tan material com la matèria corpòria, fou el final de més de tres segles de Ciència Neumàtica fins arribar al XVIII. Recordem que la física 'oficial' dels grecs establí una diferència qualitativa neta entre la matèria corpòrea, la visible, la tangible, etc., que ocupava un espai localitzat. D'altra banda estava la 'matèria rara' o 'matèria no corpòria', com l'aire, els vapors, etc. S'admetia que aquesta matèria rara tenia certa 'espirituositat' (pneuma, espècie d'esperit) i, per tant, era quasi immaterial, doncs se li considerava sense pes ja que flotava i se n'anava cap amunt. Precisament el pes era la característica material bàsica de la matèria corpòria aristotèlica, ja que mesurava directament la tendència dels cossos a anar cap el lloc natural que li era propi (la primera esfera que hi havia en la seua visió del món era la de la terra). I quan més pes tenia un sòlid més de pressa tendeix a anar cap a terra. És així com s'entén que la principal controvèrsia en el XVII entre escolàstics i empiristes fóra si l'aire que ens envolta tenia pes o no en tenia. Les evidències de sentit comú dels escolàstics van estar qüestionades per Pascal, Pèrier, Torricelli, etc., amb la hipòtesi del 'mar d'aire', on es plantejava el problema del pes de l'aire, és a dir, l'existència de la pressió atmosfèrica.

Els resultats obtinguts en la recerca didàctica (Furió, Hernández i Harris 1987; Hernández 1997) mostren el paral·lisme existent entre aquelles concepcions sobre l'estat gasós i la cultura experimental que tenen els nostres alumnes d'avui. En efecte, aquests resultats mostren que el model mental més freqüent entre estudiants de 10 a 18 anys, incloent els que han estudiat Química, és aquell que es representa a un gas com 'quelcom substancial' que pràcticament no pesa. Com a conseqüències contrastades estan: a) una associació d'idees entre la flotació, el no pes, i no tenir massa que són equivalents en termes estadístics; b) els estudiants no són conservacionistes de la massa en aquells processos en els que participen gasos (en particular, en aquells canvis físics o químics on desapareix matèria corpòria i es formen gasos, matèria que no pesa). Però és més, en estudiants de Magisteri de la especialitat de Ciències es comprova que no tenen en compte ni la pressió atmosfèrica a l'hora d'explicar fenòmens quotidians, ni tampoc l'oxigen en processos de, per exemple, calcinació de metalls com el magnesi.

Contra les visions estàtiques en l'estructura de la matèria

Un altre aspecte que se sol oblidar en l'estudi de la matèria, en particular a nivells introductoris de Ciències, és el dinamisme consubstancial amb ella mateixa. Es pot preguntar per exemples concrets que posem els professors i que, inconscientment, presenten visions estàtiques de la matèria. Sobretot, tenim exemples quan tractem nivells inferiors (microcòsmics) d'organització de la matèria. Exemples com ara

presentar de forma paradigmàtica les partícules d'un sòlid sempre en repòs, que agreuja les concepcions alternatives dels estudiants, o representar el moviment de les partícules d'un cos dependent del seu estat físic i no pas de la temperatura. Aquests són raonaments qualitatiu molt poc coherents amb la naturalesa cinètica i corpuscular de la matèria, que normalment s'expliquen en els llibres. A un nivell més elevat, segons la mecànica quàntica, ja es posa en qüestió la concepció de molècula com conjunt d'àtoms amb una geometria fixa i, per exemple, s'ha vist com les molècules de PCl_5 tenen certa 'fluxionalitat', en el sentit que hi àtoms de F que canvien de les seues posicions equatorials a les axials (Mortimer 1997).

El reduccionisme en les propietats generals de la matèria

En general, quan s'estudien en l'ESO les propietats generals de la matèria, solen reduir-se a dues: la massa i el volum. Tanmateix, els professors van introduint-ne a mesura que ho demana el currículum escolar. No hi ha una estratègia o plantejament global en començar l'estudi de les Ciències, on l'estudiant tinga un fil conductor clar del que està estudiant i del que estudiarà més endavant. Per exemple, en principi, com que comencem per la Mecànica s'introdueix la massa i el volum; més avant es presenta la càrrega elèctrica quan s'estudia l'Electricitat i es perd el sentit de propietat general que la Ciència li ha donat. En la Química passa el mateix però agreujat pel desconeixement que es té sobre el contexte d'indagació en què se introdueixen els conceptes, com és el cas de la 'quantitat de substància', n , que també és una propietat general de les substàncies (visió ontològica de la matèria, dels químics). Recentment, la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada ha insistit en què n és una magnitud fonamental al mateix nivell que ho poden ser la massa o la temperatura (Mills et al 1993). En canvi, la recerca didàctica recent ha mostrat les confusions existents en el professorat sobre els conceptes de mol i de quantitat de substància (Azcona 1997). En general, el professorat no ensenya el concepte de quantitat de substància perquè li atribueix un significat de massa (confon quantitat de substància amb quantitat de matèria) i, en canvi, ensenya com nous conceptes el mol i el 'nombre de mols'. Però el professorat i els textos identifiquen majoritàriament el mol amb una massa química o amb un nombre de partícules. Així, en entrevistes fetes a 47 professors de Química de Batxillerat i d'Universitat, sols un 11% considera que el mol és la unitat de quantitat de substància, mentre un 23% li atribueix significat de massa i un 66% diu erròniament que és un número de Avogadro de partícules. Un estudi similar en 87 llibres de textos de Química de Secundària i d'Universitat, editats entre 1976 i 1996, dona compte de què pel 50.6% dels llibres el mol és una unitat de massa química i pel 21.8% és un número d'entitats elementals.

Aquests resultats no han d'alarmar-nos: els conceptes de quantitat de substància i mol són 'joves' ja que no tenen més d'un segle d'existència. El mol fou introduït per Ostwald el 1900 i la quantitat de substància per la UIPAC el 1961. Ara bé, el que no coneix el professorat és el context sociohistòric amb què es varen introduir. Tot el segle XIX es caracteritza en la Química per la lluita entre el paradigma equivalentista (preocupat per matematitzar els processos químics cercant les masses o pesos de combinació de les substàncies bassant-se en la llei de Richter,

entre altres) i l'atomista (bassat en les hipòtesis presentades per Dalton, primer, i en la mol·lecular d'Avogadro, molt menys acceptada). Ostwald, el pare de la Química-Física actual, es declarava en 1900 *'equivalentista'*, és a dir, creia en els 'fets' (lleis de conservació de la massa, de les proporcions constants i la dels equivalents), creia menys en la hipòtesi atòmica i res en la mol·lecular. Deia que les hipòtesis eren idees fàcilment canviables mentre els fets no. Això es pot llegir en la presentació de la seva obra original, "Grundlinien der Anorganische Chemie", que fou el principal manual europeu de Química Inorgànica de principis de segle. És en aquest text on expressa clarament com introdueix el concepte de 'mol' al tractar de resoldre el problema de si l'aigua oxigenada tenia **HO** o **H₂O₂** de fórmula. I l'inventa per no utilitzar el concepte de *mol·lècula-gram* que empraven els atomistes. Literalment, diu: "...Així s'ha constatat que si es dilueix un mol (*el pes normal o mol·lecular d'una substància expressada en grams es deu d'anomenar a partir d'ara mol*) de qualsevol substància en 1 litre o 1000 g d'aigua, la dissolució resultant gelarà a -1.850°C . " (Ostwald 1990). Nogensmenys, resulta graciós com un dels seus contemporanis, tal vegada atomista, el treix al traduir el mateix text al francès, dient el següent: "...S'ha establert que quan es dilueix en 1 litre ó 1000 g d'aigua, 1 mol d'una matèria qualsevol (*anomenat mol·lècula-gram o abreujadament mol*, com l'anomenaren des d'ací endavant, *al pes molar expressat en grams*) la dissolució gela a -1.850°C " (Ostwald 1904).

En resum, entendre més profundament el significat dels conceptes sobre la matèria ens porta necessàriament a concloure que el coneixement de la Història i Filosofia de la Ciència és l'assignatura pendent del professorat.

A títol de conclusió: saber avui com és la matèria requereix conèixer com ha anat evolucionant el seu coneixement en el passat

Si es vol transformar l'ensenyament acostant-lo a un tractament científic de situacions problemàtiques obertes, és de tot punt necessari conèixer quins han estat històricament els principals 'bots qualitius' que han fet avançar la construcció dels coneixements científics. Malhauradament, és freqüent trobar visions aproblemàtiques i ahistòriques de la Química en el professorat. Visions derivades del positivisme subjacent en forma d'imatges de la ciència acumulatives, acrítiques i acabades. Convé conèixer i posar en qüestió aquestes imatges deformades de l'activitat científica abordant els problemes principals que han resultat determinants en l'avanç del coneixement sobre la matèria. A títol d'exemples que hauríem de tenir en compte els professors vegem els del quadre 2 que s'adjunta.

Quadre 2

Principals obstacles que ha vençut la ciència fins arribar al coneixement actual de la matèria

- la *crisi entre el geocentrisme i l'heliocentrisme* en relació a la posició de la Terra en l'Univers;

- *la ruptura de la barrera cel-terra* quant a la natura de la constitució dels materials; ruptura lligada a la introducció de les interaccions gravitatòries sempre presents en l'Univers;
- *la superació de les diferències existents entre la matèria corpòria (sòlids i líquids) i la no corpòria o matèria 'rara' (gasos)* (superació que va conduir a la generalització de l'existència de tres estats físics en la matèria, l'acceptació del buit i la introducció de l'elasticitat com nova propietat general de la matèria);
- l'estudi del comportament físic dels gasos va suposar un primer pas en la superació de la polèmica entre estructura contínua o discontinua, arribant a establir-se *la natura corpuscular de la matèria*;
- *la renúncia al caràcter metafísic dels elements aristotèlics* amb la introducció empírica del concepte de *substància química*;
- les tensions entre *equivalentisme i atomisme* (segles XVIII i XIX) que acabaren amb l'acceptació de *les hipòtesis atòmica i molecular amb les quals s'interpretaren les substàncies i les interaccions substancials* (canvis químics) en el que anomenem 'teoria atómico-molecular de la matèria';
- la superació del *vitalisme* que justificava l'especial comportament químic de la matèria orgànica versus l'inorgànica;
- la construcció del concepte de *càrrega com nova propietat general de la matèria*, obrint el camp a un nou tipus d'interaccions en la matèria (les electromagnètiques);
- la cerca de la unificació de les distintes interaccions (forces), que desembocà a mitjans del XIX en la introducció dels conceptes de *camp electromagnètic (com nou estat de la matèria no constituïda per partícules)* i d'*energia* (altra propietat general de la matèria!) per explicar qualsevol canvi (físic, químic, biològic, geològic);
- la crisi de la Física clàssica pel que fa referència a l'*estructura de l'àtom*. Crisi íntimament lligada als problemes de l'efecte fotoelèctric, les radiacions de sòlids, líquids o gasos incandescents o a elevat voltatge, etc.;
- l'emergència de la Física Moderna que vingué a solucionar la major part dels problemes anteriors amb l'*establiment del model quàntic de l'àtom*;
- l'explicació de l'Ordenació dels elements en la Taula Periòdica i del problema del per què s'uneixen els àtoms (*l'enllaç químic*);
- els problemes derivats de la desintegració dels àtoms (la radioactivitat natural, la desintegració beta, etc.) i per què s'uneixen protons i neutrons en el nucli dels àtoms;
- el qüestionament d'aquests nucleons (protons i neutrons) com a partícules elementals (és a dir, sense estructura); etc.

Però també s'ha que dir que n'hi ha problemes sense resoldre en la Ciència, tals com, p.e., el propi origen de l'Univers, la seva extensió (no sabem si l'Univers detectat fins ara pels astrofísics n'és o no només una fracció), la unificació teòrica de les quatre interaccions conegudes, etc.

En definitiva, l'existència d'aquestes concepcions espontànies sobre la idea de matèria en el professorat i en l'alumnat hi ha que assumir-ho amb mentalitat oberta i flexible, és a dir, com un repte per aprendre cada vegada més. Sols així podrem comprendre per què moltes vegades els deixebles no comprenen la ciència i podrem anar organitzant i seqüenciant millor el curriculum que hem d'ensenyar.

Bibliografia

AZCONA, R., 1997, Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de 'cantidad de sustancia' y de mol. Una alternativa didáctica basada en el aprendizaje por investigación, Tesis doctoral no publicada (Euskal Herriko Unibersitatea-Universidad del País Vasco).

FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H.H., 1987, Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 64 (7), 616-618.

HERNÁNDEZ, J., 1997, Dificultades de aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria. Una propuesta didáctica para superarlas. Tesis doctoral no publicada (Universitat de València).

KANT, I., 1992, *Opúsculos de filosofía natural* (Alianza Editorial: Madrid).

MILLS, I.M., CVITAS, T., HOMANN, K., KALLAY, N. y KUCHITSU, K., 1993, I.U.P.A.C. *Quantities, units and symbols in physical chemistry* (Blackwell: Oxford).

MORTIMER, E.F., 1997, Para além das fronteiras da Química: relações entre Filosofia, Psicologia e Ensino de Química, *Química Nova*, 20 (2), 200-206.

OSTWALD, W., 1900, *Grundlinien der Anorganischen Chemie* (W. Engelmann: Leipzig).

OSTWALD, W., 1904, *Elements de Chemie Inorganique* (Gauthier-Villars, Imprimeur-Librairie: Paris).