

Contribució del llenguatge al procés de modelització del canvi químic

Contribution of language to the modelling process of chemical change

Josep Lluís Estanya i Mercè Izquierdo / Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Didàctica de les Ciències



resum

Presentem alguns resultats d'una recerca sobre el procés de modelització d'un episodi (escalfar sucre fins que es carbonitzi) portada a terme per alumnes d'educació secundària obligatòria (ESO). Al llarg de la pràctica, se'ls va encoratjar a què reflexionessin sobre allò que feien per tal d'explicar què passava. Havien de justificar els canvis de manera raonada i generalitzable amb el llenguatge més acurat possible. Els documents que redactaven havien de reflectir tant la discussió a classe com les aportacions fetes pel professor. D'aquesta manera, van comprendre que, en escalfar el sucre, s'havia produït un canvi químic i que el sucre havia «desaparegut».

paraules clau

Canvi químic, educació secundària obligatòria, llenguatge i comunicació a l'aula, modelització.

abstract

We present the results of research about the modelling process of an experiment (to heat sugar until it becomes carbon). It was made by secondary school students. During the practical work students were encouraged to think about what they do in order to explain what happens. They had to justify changes in a rationale and generalized way, using the most accurate language is possible. The texts the students wrote had to reflect class discussions and the teacher's intervention. This way the students understood that heating sugar caused a chemical change and that sugar had «disappeared».

keywords

Chemical change, secondary school, language and communication in classroom, modelling.

Introducció

En els darrers anys, s'ha posat en evidència que, malgrat que el treball experimental resulta útil per adquirir habilitats pràctiques (Hodson, 1994), l'alumnat no l'aprofita prou per a la construcció

del coneixement teòric (conceptual i generalitzable). Per a nosaltres, l'experimentació és imprescindible a la classe de química i volem trobar el camí per tal de vincular-la a la reflexió abstracta, teòrica, i per tal d'establir una

epistemologia adequada a la química escolar (Izquierdo i Adúriz, 2003).

La nostra recerca es va dissenyar segons la proposta didàctica que anomenem Ciència Escolar o, millor, Activitat Científica Escolar

(ACE, Izquierdo *et al.*, 1999), inspirada en un model cognitiu de ciència que inclou una concepció semàntica de les teories científiques (Giere, 1988) i una gestió socialitzadora de la classe (Jorba i Sanmartí, 1995). Segons aquest enfocament, el llenguatge de comunicació a l'aula (multimodal, per representar tot allò que no pot ser dit només amb paraules) és molt important (Márquez, *et al.*, 2006).

El procés d'ensenyament i d'aprenentatge es concep com un procés de «modelització» que duen a terme de manera conjunta els alumnes i el professor, gràcies al qual els fenòmens passen a ser exemples d'alguns dels «models teòrics» de la disciplina. Aquest procés requereix la interacció entre l'experimentació i el llenguatge, en un ambient escolar gestionat adequadament pels professors i pels alumnes. El treball experimental hi aporta una dimensió específica, irrenunciable: la intervenció en un fenomen (fent-hi quelcom) i la representació dels resultats amb els nous llenguatges (gràfiques, símbols, paraules, expressions, raonaments) permeten donar raó dels canvis produïts a partir de la reflexió i del diàleg amb els companys i amb el professor. Moltes recerques i propostes curriculars en els darrers anys reforcen aquesta orientació didàctica (Projecte Ciències 12-16).

És molt important el fet de fer una selecció molt acurada dels fenòmens que presentem a classe, ja que han de resultar familiars als alumnes, els quals han de poder-hi intervenir i parlar-ne; han de poder ser interpretats amb algun dels conceptes bàsics d'alguna de les disciplines científiques. En el cas que presentem, la disciplina és la química i el fenomen, l'escalfament del sucre que canvia fins a formar carbó i altres substàncies, entre elles,

l'aigua. Procurarem que els alumnes identifiquin el carbó (substància simple) i l'aigua (substància composta) i que relacionin la seva «aparició» amb la «desaparició» del sucre; que interpretin els canvis de massa i que els relacionin amb les substàncies que marxen; que comprenguin que l'element carboni forma part tant del carbó final com del sucre que teníem inicialment i que també els elements hidrogen i oxigen de l'aigua havien de formar part del sucre.

És molt important el fet de fer una selecció molt acurada dels fenòmens que presentem a classe, ja que han de resultar familiars als alumnes, els quals han de poder-hi intervenir i parlar-ne

El model teòric de canvi químic

Els conceptes *substància simple*, *substància composta* i *element* formen part del model teòric de canvi químic. L'experiment acaba amb la desaparició del sucre. I en el sucre, però, no hi havia ni aigua ni carbó, perquè en el canvi químic «apareixen i desapareixen» substàncies, però es conserven els àtoms dels elements i, per tant, la massa.

El concepte de *model* és un dels més importants en la recerca en didàctica de les ciències realitzada els darrers anys i ha donat lloc a nombroses publicacions, especialment en el camp de l'ensenyament de la física (Gilbert i Boulter, 1998; Gilbert i Boulter, 2000). D'una manera general, totes elles ens presenten el model com un mediador entre la realitat experimental i les teories i els conceptes abstractes. La nostra proposta introdueix les aules de

ciències en un nou tipus de model, el Model Teòric Escolar (MTE, Márquez, 2002), el qual va una mica més enllà, ja que fa de «teoria escolar» per tal de proporcionar sempre un referent experimental als conceptes abstractes i, alhora, un referent abstracte als fets experimentals. El MTE es genera a partir del treball sobre alguns episodis que els alumnes ja coneixen poc o molt i en els quals puguin intervenir; aquests fenòmens, un cop interpretats, es transformen en *fets exemplars* que els alumnes poden comparar amb altres fenòmens utilitzant-los com a models.

Un dels principals problemes en ensenyar ciències és que, quan es presenten a classe els models teòrics de les ciències (en el nostre cas, el canvi químic i les seves regles), els alumnes ja interpreten a la seva manera els canvis químics del seu entorn que haurien de servir de referència. Els fenòmens químics s'expliquen espontàniament com si fossin un «canvi de propietats» que suposadament es produeix sense modificar-se la naturalesa del material, quan el consideren macroscòpicament (Sanmartí *et al.*, 1995), o com un «canvi d'estat d'agregació», quan es refereixen a les partícules que els formen. En l'ensenyament de la química a l'educació secundària obligatòria (ESO), s'hi ha d'introduir el canvi químic *en el qual les substàncies apareixen i desapareixen, tot i que es conserven els elements i, per tant, la massa*. Als alumnes els costa molt d'acceptar aquesta «desaparició» i es resisteixen a interpretar allò que es veu quan es produeix un canvi químic (els canvis de color, les efervescències, les olors, etc.) amb les noves entitats químiques (les substàncies simples i compostes, les lleis de conservació de la massa i l'energia, la interacció en proporcions fixes) necessàries per veure que, malgrat els canvis,

la matèria i l'energia es conserven.

Per això cal construir didàcticament un Model de Canvi Químic (MCQ, Izquierdo, 2006; Merino et al., 2008), que es pot definir com el conjunt de les «regles del joc» de la disciplina que utilitzaran a classe, les més bàsiques per interpretar els canvis específics dels quals s'ocupa; la «teoria química escolar» serà el conjunt d'aquestes regles amb tots els «casos químics» que s'hagin interpretat amb elles.

El llenguatge i l'experimentació, elements imprescindibles per a l'emergència del MCQ

La intervenció en l'episodi escol·lit, escalfar sucre fins que es carbonitzi, es dissenya com a «experimentació escolar» (Izquierdo, Sanmartí i Espinet, 1999): cal assegurar que els alumnes relacionen allò que fan amb els instruments de què disposen, amb el que pensen i amb tot allò que poden escriure. Considerem que la comunicació escrita és essencial per a la construcció del coneixement escolar i que aquesta es fonamenta en el diàleg i en la discussió a l'aula; i la condició per tal que els alumnes puguin discutir és que hagin intervingut en el fenomen i que sàpiguen de què parlen. La discussió permet identificar regularitats, aprendre a pensar a partir de mesures de massa (abans i després dels canvis) i en termes de conservació de la massa i de l'energia, identificar les proporcions fixes entre els materials que interaccionen. Però cal escriure les noves idees emergents i representar-les fent alguna referència a l'estructuració interna dels materials que permeti comprendre el fenomen que s'està estudiant de tal manera que es pugui relacionar amb tots els altres que s'estudiaran més endavant i que també seran canvis químics (Guidoni, 1985).

D'aquesta manera, els alumnes es comencen a referir als àtoms dels elements i a l'estructura de les substàncies. Finalment, els diferents textos que han escrit els alumnes permeten consolidar la interpretació del fenomen com a canvi químic. El nou llenguatge que han d'incorporar es considera científic si es refereix a aquestes regularitats i si s'ajuda d'una determinada representació de l'estructura dels materials que faci creïble la interacció que s'està estudiant: els alumnes es poden referir a allò que no veuen però que han de suposar per raonar adequadament; i poden dibuixar-ho i simbolitzar-ho encara que no tots ho facin, en aquesta etapa inicial, amb els símbols de la química.

Per tal que la reflexió a classe arribi a fer encaixar els fenòmens i el model teòric que la interpreta, aquesta ha de ser genuïna: tota l'activitat, a classe, ha de tenir una finalitat i un motiu que tiben de l'alumne per arribar a explicar per què ha passat el que ha passat. La principal dificultat a la classe de ciències és que les finalitats dels estudiants no sempre coincideixen amb les del professor, que és qui fa la funció del científic a l'aula.

Considerem que la comunicació escrita és essencial per a la construcció del coneixement escolar i que aquesta es fonamenta en el diàleg i en la discussió a l'aula

Plantejament de la investigació

Tal com hem dit, l'experiment consisteix a escalfar sucre fins que es carbonitzi. Ja s'havien fet

investigacions sobre les idees dels alumnes quan s'enfronten a un canvi químic (Estanya, 1996; Solsona, 1997), les quals ens han fet veure que aquest fenomen pot ser una bona manera d'iniciar l'estudi del canvi químic amb alumnes d'ESO, ja que es tracta d'un procés en el qual interveuen, relacionats, l'experimentació i el llenguatge (oral i escrit) i les representacions mentals dels estudiants. La reflexió a classe els mostra una nova vessant d'un fenomen que ja coneixien poc o molt, nous aspectes en els quals no havien pensat, i també aprenen a parlar-ne d'una manera també nova. Per exemple, han de modificar el «model de partícules» amb el qual podien interpretar els «canvis d'estat d'agregació», però que no serveix per explicar que una substància (el sucre) es transformi en unes altres (carbó, aigua, d'altres substàncies).

El procés és el següent:

1) Els alumnes disposen d'un tros de ceràmica en el qual escalfen una petita quantitat de sucre que han pesat prèviament. Abans d'escalfar-la, fan una previsió del que creuen que passarà i ho anoten. L'escalfen amb el cremador i observen els canvis que es produeixen; recullen els gasos que se'n desprenen i deixen d'escalfar quan el sucre s'ha carbonitzat totalment. (S'hauria d'explicar com recullen els gasos que se'n desprenen.)

2) Un cop refredada, la tornen a pesar. Constaten que la massa ha disminuït i que s'han mantingut les proporcions: els que tenien més sucre, també tenen ara més carbó.

3) Es discuteixen els resultats, tot representant a la pissarra les diferents propostes que es fan sobre el canvi de substància, la variació de massa, la constitució interna del sucre (representada amb dibuixos), a més de les dife-

rències entre el sucre i el carbó. Es relaciona aquest fenomen amb la carbonització de la fusta i d'alguns aliments quan els deixem massa temps al foc.

4) Es porta a terme un treball sistemàtic de llenguatge. Considerem que es poden potenciar les habilitats cognitives dels estudiants si se'ls ensenya a escriure textos de diferents superestructures: explicacions, definicions, justificacions, argumentacions i descripcions. Aquestes modalitats textuales, ben seqüenciades, sostenen el procés de modelització que té com a referent el fenomen i les manipulacions i mesures que s'hi fan (Jorba et al., 1998).

Finalment, els alumnes hauran d'explicar què ha passat (el canvi de substàncies, el canvi de massa), tot utilitzant les noves entitats (carbó i aigua), les quals ja han de ser considerades «substàncies» (compostes o simples), a més de modificar el «model de partícules» inicial per un altre de basat en la teoria atòmica química segons la qual hi ha tants àtoms indestructibles com elements (el carboni, en la substància simple carbó; l'hidrogen i l'oxigen, en la substància composta aigua).

S'ha documentat i s'ha estudiat la dinàmica de la classe i el discurs global que hi ha tingut lloc. També s'han analitzat els informes escrits dels estudiants i els dibuixos amb els quals representen la piròlisi del sucre. Ens referirem aquí als aprenentatges dels alumnes en un determinat moment, encara inicial, de la seqüència ensenyament-aprenentatge; volem destacar la dificultat del procés que sovint resta oculta quan els estudiants repeteixen el que vol el professor, sense que hi aflorin les pròpies interpretacions.

Els alumnes aprenen ahora a «fer de químics» i a «escriure química»

Els aprenentatges dels alumnes

Els alumnes aprenen ahora a «fer de químics» i a «escriure química»; els termes nous que aprenen a utilitzar i les representacions simbòliques que introdueixen formen part del procés de construir un model de canvi químic a partir d'un experiment. Per això és difícil d'interpretar els seus textos, els quals ens donen pistes referents al seu aprenentatge. No és fàcil fer-ho perquè sovint fan servir expressions ambigües i explicacions sorprenents.

1) Els textos i els dibuixos dels alumnes es poden relacionar amb les consignes i amb les explicacions que va donant el professor, però no les reproduïxen amb exactitud.

2) Els alumnes utilitzen expressions ambigües com ara «ha perdut una part de massa perquè s'ha convertit en vapor», «ha perdut les propietats», «el sucre té unes matèries que, en escalfar-les, primer produeix aigua, i al final, produeix carbó», «al final comença a sortir fum; això es diu vapor d'aigua».

3) Els alumnes utilitzen expressions incorrectes: «el gas que surt és el gust dolç del sucre»; troben explicacions sorprenents: «ha perdut massa [...] perquè el sucre té aigua perquè surt de les canyes que creixen en llocs humits», «pot ser una mateixa substància amb propietats diferents, com el sucre de canya». La diversitat i la riquesa de significats que s'hi troben mostren la capacitat de raonar dels alumnes i ens permeten comprendre una mica millor les dificultats de donar significat científic als can-

vis químics, els quals han de deixar de ser un canvi de propietats per esdevenir un canvi de substàncies.

Hem seleccionat alguns dels textos dels alumnes que ens permeten apropar-nos al procés de modelització del fenomen, encara no finalitzat. Volem destacar els diferents estils de progressió i els matisos que fan que, en general, tots els textos tinguin característiques pròpies, genuïnes: aquest és un dels resultats que volíem obtenir. Caldrà continuar la tasca a partir d'altres fenòmens, com ara la carbonització de la fusta o la combustió de la fusta i de la llana de ferro per tal de consolidar el model de canvi químic que comença a emergir però que encara resulta poc significatiu per als alumnes.

Cas 1

«El sucre estava sotmès al foc»

En aquest text, es descriu amb precisió el que es veu, fins a assolir un cert clímax que és, per a l'alumne, una explicació:

Surten gasos pel voltant; es torna líquid per la part inferior, amb un color grogós; cada vegada el líquid s'estén més. Aspecte gelatinós. El groc cada vegada es torna més fosc. La pudor cada vegada és més forta. Hi ha bombolles. Es produeix una condensació de l'aigua del sucre. Ha canviat el color molt ràpidament, ara és negre. S'ha format escuma i, quan hem apagat el foc, s'ha anat desinflant.

Aquests canvis s'han produït perquè el sucre estava sotmès al foc.

Podem veure clarament representades aquestes idees en el seu dibuix (fig. 1).

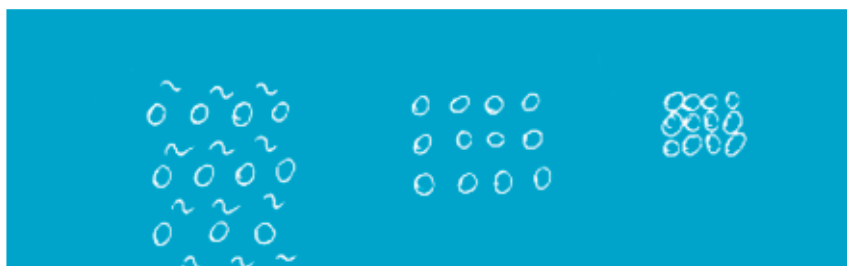


Figura 1. Il·lustració de les idees del cas 1.

A diferència dels altres alumnes, aquest interpreta la disminució de massa, però no ho fa gens bé.

Probablement s'ha perdut producte amb la vareta.

Cas 2 «L'aigua para el foc»

També, per a aquest alumne, el foc és important, tot i que l'aigua també hi té quelcom a veure: hi desenvolupa també un paper el seu antagonista, l'aigua.

La massa del sucre ha disminuït perquè una part del sucre, que té aigua, s'ha evaporat i per això ha disminuït.

El sucre, al final, s'inflama perquè no té aigua i l'aigua para el foc.

La massa final no és sucre perquè s'ha carbonitzat.

Cas 3. «Com que el sucre no té aigua al final del procés, és inflamable»

Troblem aquesta mateixa idea en el text següent, en el qual se'ns presenta una explicació ben articulada amb una interessant estructura argumentativa, malgrat que és un mostrar dels errors conceptuals més freqüents, ja que s'hi confonen mescla i compost, se substancialitzen les propietats (el fet de ser inflamable o no), s'interpreta l'aigua-gas com a «aire», etc.

El sucre ha canviat d'estat perquè les seves propietats també han canviat.

Si ens basem en el fet que el sucre té aigua perquè quan és sòlid en granets no és inflamable, en el procés d'escalfar elimina aigua, o sigui, que s'evapora en forma d'aire i se'n va. Per tant, aquí es produeix el primer canvi de propietat: com que el sucre no té aigua al final del procés, és inflamable. Si l'aigua s'evaporava i era aire, podria ser que l'aire només sortís quan n'hi havia molt d'acumulat, llavors era quan feia una bombolla. Si això és cert, podria ser que en algunes parts d'aquell líquid no hi hagués hagut prou aire per vèncer el pes del líquid i sortir fent una bombolla (barrejant-se amb l'aire) i que, quan haguéssim apagat el foc, hagués quedat aire atrapat dins del líquid, que aquest aire no pogués sortir sense l'aire que li proporcionava l'escalfor. Això explicaria com és que al final del procés la substància es pot trencar fàcilment, que és cruixent, diríem vulgarment.

El dibuix de la figura 3 il·lustra les seves idees.

El problema d'aquesta alumna és que no es fixa en el que s'hauria de fixar. Reproduïm textualment la seva nota final:

En acabar l'experiment, la substància restant era inflamable perquè l'aigua de les partícules s'ha evaporat i ja no pot neutralitzar les flames.

Cas 4 «Al final, encara és sucre... No pot deixar de ser sucre»

És interessant la manera de raonar en el text següent: a partir de les seves idees sobre la composició del sucre, nega l'evidència: allà no hi ha sucre. Tal com passa habitualment, es resisteix a acceptar que el sucre deixi de ser-ho. El que queda «ha de ser sucre», (només) ha marxat l'aigua!

El sucre té més d'una substància. L'una és l'aigua i l'altra és aquella que, quan s'escalfa el sucre, es queda de color negre. Quan s'escalfa, l'aigua s'evapora, però crec que continua sent sucre [...], només perquè s'hagi evaporat una de les seves substàncies no té per què deixar de ser sucre.



Figura 2. Il·lustració de les idees del cas 2.



Figura 3. Il·lustració de les idees del cas 3.

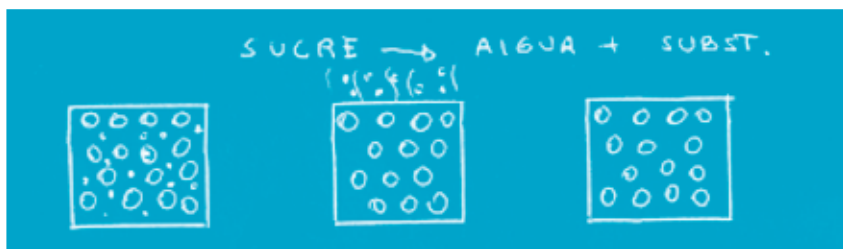


Figura 4. Il·lustració de les idees del cas 4.

Cas 5

D'«el sucre té aigua» a «al final, és només carbó»

Aquest alumne escriu poc, però ens ofereix una interessant sèrie de dibuixos:

El sucre està compactat i no es pot moure.

Aquí es reflecteix la mateixa idea: el sucre era una mescla de les substàncies finals, les quals tomen a ser només carbó i aigua. Però és interessant el fet de veure que modifica els símbols i que, en fer-ho, proporciona una explicació una mica millor.

Però el significat de l'afirmació «el sucre té aigua» és substancialitzadora, perquè atribueix a l'aigua la «propietat de liquar-se»:

El sucre té aigua i per això, quan l'escalfem, es fa líquid, però si seguim escalfant l'aigua, s'evaporarà i es formarà carbó, estarà compactat.



Figura 5. Il·lustració de les idees del cas 5.



Figura 6. Il·lustració de les idees del cas 6.

Cas 6

«Molt probablement pateixin una reacció»

Aquest alumne redacta bé, utilitzant connectors entre les frases i fent progressar el text d'una manera lògica. Ara ja es comença a intuir que potser el sucre no té aigua, sinó «els gasos que la formen».

Després de pensar una mica en les diverses possibilitats que vam parlar i de mirar les observacions anteriors, he reflexionat sobre tot plegat.

Com pot ser que en el sucre hi hagi aigua si pateix un dessecament? És una gran pregunta que es podria respondre amb el fet que alguna part del sucre podria arribar a tenir aigua o els dos gasos que la formen: oxigen i hidrogen; en aquest cas, molt probablement els dos gasos pateixin una reacció per tal d'unir-se i formar, així, aigua, ja que no es poden unir per màgia, lògicament.

Per què es diferencien tant el color i el sabor del sucre i del carbó final? Es pot respondre que ha perdut alguna cosa, algun element, que hi ha hagut una reacció.

La seva conclusió final és que en el procés hi ha hagut «una reacció»: aquesta és la idea que caldria consolidar, alhora que caldrà combatre, de nou, el punt de vista substancialitzador: les «propietats que ha perdut el sucre» les dona «algun element que ha marxat».

Cas 7

De «finalment, tenim sucre cremat sense aigua» a «al final tenim carbó»

En aquest text, es diferencia entre la teoria 1 (la inicial i a la qual correspon una primera representació), la teoria 2, ja modificada a partir de la discussió, i la teoria bona, formulada en la sessió final i a la qual correspon una nova representació.

Teoria 1

El sucre està format per més d'una substància, a banda del vapor d'aigua, que li dona el gust dolç. Quan s'escalfa, s'evapora, marxa com l'aigua; per això canvia de gust, el gust amarg és el veritable gust del sucre.

A partir d'aquesta primera teoria, que és substancialitzadora perquè atribueix una propietat (el fet de ser dolç) a un material específic que conté el sucre, se'n passa a una de segona, en la qual es reconeix que el sucre ha d'haver canviat.

Teoria 2

El sucre està format, a més de sucre, de vapor d'aigua. Quan s'escalfa, l'aigua s'evapora i el sucre es crema, per això canvia el gust de dolç a amarg.

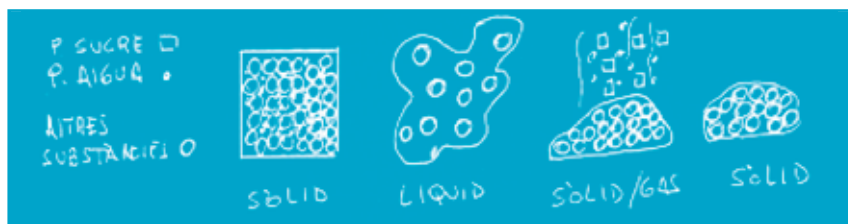


Figura 7. Il·lustració de les idees del cas 7 (teoria 1).

Teoria bona

Cada partícula de sucre està formada per tres àtoms: hidrogen (H), oxigen (O) i carboni (C). En escalfar-se l'hidrogen i l'oxigen, formen aigua i, en arribar als 100° C, s'evapora i els àtoms d'oxigen i d'hidrogen ja no hi són i la substància final és carbó.

Cas 8
«El sucre està format per més d'una substància... al final no hi ha sucre»

S'admet que al final ja no es té sucre, ja que cada substància té unes propietats determinades i, si aquestes canvien, la substància inicial ja no hi és i es tracta d'una de nova. Malgrat que considera que el canvi s'hi du a terme perquè «no està fet de la mateixa manera», no utilitza bé la paraula *substància*. Tot i així, la representació simbòlica mostra una interessant evolució en les idees d'aquest alumne:

El sucre està format per més d'una substància: una d'elles és l'aigua, una altra és la substància que quan s'escalfa es posa de color negre. Quan el sucre s'escalfa una estona, es torna de color negre, deixa de ser sucre, perquè el sucre té un gust dolç i després d'escalfar-lo és amarg, és a dir, canvia les propietats. També penso que no és sucre perquè el sucre està fet amb més d'una substància, però quan s'escalfa, algunes d'aquestes substàncies ja no hi són, per tant, ja no té les mateixes substàncies que té el sucre i és una altra cosa.

Cas 9
«Si el sucre és dolç, la substància restant (carbó), que és amarga, no pot ser sucre»

Aquí es comença per plantejar la pregunta següent: per què el sucre s'ha tornat negre, amarg i

combustible? La resposta, tal com veurem, es troba en la formació d'aigua. S'explica amb una gran precisió el procés i, al final, es proposa la «teoria» següent (entre cometes, per mostrar que tot el que explica és una «manera de dir» una cosa que probablement és molt més complicada). És un dels pocs textos que admeten la formació de diverses substàncies, i no només de carbó i d'aigua.

Les partícules que formen els grans o els cristalls de sucre estan formades de diversos «components» més petits. En el cas del sucre, hi ha dos components: un d'hidrogen i un d'oxigen, i també n'hi ha d'altres, dels quals no en sé els noms. Per tant, no només les partícules del sucre estan formades d'altres petits components, sinó totes les partícules. Bé, partint d'aquesta teoria, deduíem que, en anar escalfant sucre, l'hidrogen i l'oxigen de dintre de les partícules es transforma formant l'aigua en estat líquid, acompanyada, també, dels altres components que donen el color groc a la substància líquida (sucre líquid).



Figura 8. Il·lustració de les idees del cas 8.

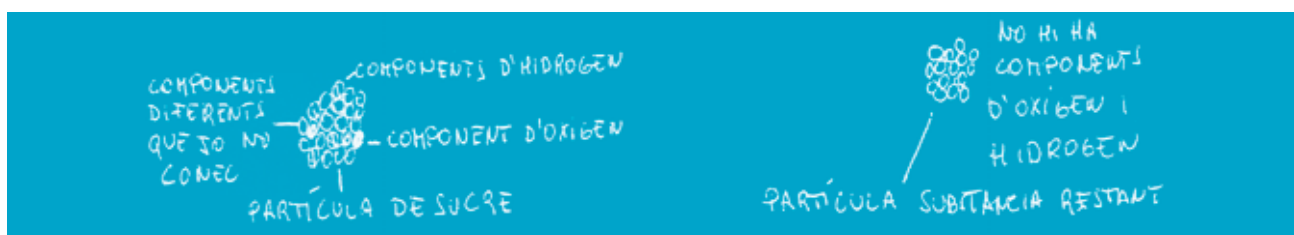


Figura 9. Il·lustració de les idees del cas 9.

Quan comença a passar l'aigua que hi ha al líquid groc a gas, les partícules d'aigua (formades per petits components d'oxigen i d'hidrogen) vibren més i acumulen energies per «desenganxar-se» de les altres. Quan això succeeix, el sucre comença a ser negre i amarg. És a dir, que les partícules de sucre estan formades per petits «components» d'aigua (hidrogen i oxigen) i per altres substàncies, perquè les partícules de sucre tenen components d'aigua i aquestes altres, no, per tant, canvien les propietats i la substància final ja no és sucre.

La formació d'aigua es relaciona amb l'estat líquid; de nou, apareix aquí la substancialització d'una propietat. El seu dibuix fonamenta i aclareix la seva conclusió.

Si el sucre és dolç, la substància restant (carbó), que és amarga, no pot ser sucre. Si les propietats canvien, també canvien les substàncies, cada substància té unes propietats característiques.

És molt interessant l'explicació que es proporciona al final, en la qual es va configurant el futur concepte de *molècula*.

Les partícules no són un embolcall; el que passa només és que aquestes estan formades per altres components més petits.

Reflexions finals

En la intervenció didàctica que hem presentat, s'ha intentat que un «experiment» fet amb una substància familiar, el sucre, es converteixi en un exemple de canvi químic que més endavant els alumnes podran contrastar amb uns altres per decidir si són, o no, químics.

El professor ha explicat que en els canvis químics es produeix un canvi en la composició de les substàncies, i en el diàleg i en la

discussió posteriors, els estudiants han començat a pensar des d'aquesta nova perspectiva; han utilitzat amb força autonomia el llenguatge per tal d'expressar les seves idees i proposar explicacions sobre allò que havia passat. Amb això, han representat i han comprès millor les seves accions «transformadores del sucre». En efecte, al llarg de la seqüència i en acabar-la, l'alumnat és capaç de formular diverses preguntes de manera autònoma, de representar les seves idees amb l'ajuda de dibuixos que es van convertint en símbols al llarg del debat i de justificar les conclusions finals a les quals arriben, tot i que no incorporen encara del tot els significats científics del canvi químic.

Els textos dels alumnes presenten algunes regularitats que considerem interessants:

1) En tots ells hi ha coherència entre la pregunta que es formula, la representació simbòlica que s'elabora i la conclusió final a la qual s'arriba. Els alumnes saben utilitzar els seus dibuixos per justificar l'experiment i per proposar una explicació del que està passant.

2) En general, les representacions simbòliques dels alumnes són intencionades: els alumnes intenten que els seus dibuixos representin exactament el que pensen sobre el fenomen que han provocat.

3) En gairebé totes les explicacions s'accepta la conservació de la matèria: la disminució de la massa del sòlid final es justifica sense dificultat pels «fums» que s'han produït, però en cap dels textos no s'ha fet esment de la proporcionalitat observada entre la massa inicial del sucre i la massa final del carbó.

4) Tots els alumnes accepten que s'ha produït un «canvi en la matèria» i que aquest canvi ha

requerit una temperatura elevada amb la qual s'han separat els constituents del sucre, tot i que donen significats molt diferents a aquestes paraules.

5) Els alumnes apliquen la teoria de partícules als canvis que estan estudiant, però no superen el model de «canvi d'estat» perquè no s'adonen que aquí s'està produint un canvi diferent.

Creiem que podem afirmar que hi va haver, a la classe, l'ambient comunicatiu necessari perquè es produís un procés de modelització i que els alumnes van ser capaços de fer, de pensar i d'escriure amb autonomia, gràcies al fet d'haver pogut intervenir en un canvi químic familiar i d'haver-lo situat en la perspectiva d'un model teòric, el canvi químic.

El resultat d'aquest procés ha estat la construcció, a classe, d'un fet paradigmàtic que podria funcionar, per als alumnes, com un model teòric en el sentit de Giere (1988). Malgrat que, finalment, no tots els alumnes es van apropiat dels conceptes de *substància simple* i *substància composta* ni varen intuir el significat específic de *canvi químic* en aquest primer experiment, han començat a

Creiem que podem afirmar que hi va haver, a la classe, l'ambient comunicatiu necessari perquè es produís un procés de modelització i que els alumnes van ser capaços de fer, de pensar i d'escriure amb autonomia, gràcies al fet d'haver pogut intervenir en un canvi químic familiar i d'haver-lo situat en la perspectiva d'un model teòric, el canvi químic

pensar en els canvis químics des d'una perspectiva científica.

Això ens anima a repetir l'experiència, tot ajustant millor algunes de les variables per tal d'incidir en les interpretacions errònies que s'han produït i d'intentar superar-les.

Esperem que aquesta recerca contribueixi al disseny d'activitats didàctiques per apropar el llenguatge quotidià, emprat de manera espontània pels alumnes, al llenguatge químic que aprenen a classe. D'aquesta manera, el treball experimental en química contribuirà de manera més eficaç a la comprensió teòrica del canvi químic.

Referències bibliogràfiques

ESTANYA, J. L. (1996). *La importància dels exemples en la ciència escolar*. Tesina de màster, Universitat Autònoma de Barcelona.

GIERE, R. (1988). *Explaining science*. Chicago: University of Chicago Press.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J., (1998). «Learning science through models and modeling». A: TOBIN, K.G.; FRASER, B. J. [Ed.] *International Handbook of Science Education*, Dordrecht: Kluwer, p. 53-66.

— (2000) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.

GUIDONI, P. (1985). «On natural thinking». *International Journal of Science Education*, núm. 7 (2), p. 133-140.

HART, C. [et al.] (2000). «What is the purpose of this experiment? Or can student learn something from doing experiments?». *Journal of Research in Science Teaching*, 37 núm. (7), p. 655-675.

HODSON, D. (1994). «Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio». *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3): 299-313.

IZQUIERDO, M. (1999). «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar».

Enseñanza de las Ciencias, s. núm, p. 79-92.

— (2006). «La enseñanza de la química frente a los retos del tercer milenio». *Educación Química*, núm. 17, p. 286-299.

IZQUIERDO, M.; ADÚRIZ, A. (2003). «The epistemological foundations of school science». *Science & Education*, núm. 12, p. 27-43.

IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N.; ESPINET, M. (1999). «Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 17 (1), p. 45-59.

JORBA, J.; PRAT, A.; GÓMEZ, I. [ed.] (1998). *Parlar i escriure per aprendre*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació.

JORBA, J.; SANMARTÍ, N. (1995). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*. Madrid: Publicaciones del Ministerio de Educación y Cultura.

MÁRQUEZ, C. (1993). «The use of theoretical models in science teaching. The paradigmatic fact». A: *Third International Seminar «Misconceptions and Science Education»*. Ithaca: Cornell University.

MÁRQUEZ, C. [et al.] (2006). «Multimodal science teachers' discourse in modelling the water cycle». *Science Education*, núm. 90, p. 202-226.

MERINO, C. [et al.] (2008). «Argumentation, an essential component of the modelling process in chemistry. An approach». *Journal of Educational Thought*, núm. 42 (2), p. 207-228.

SANMARTÍ, N. [et al.] (1995). «The substantialization of properties in pupils' thinking and in the history of science». *Science & Education*, núm. 4, p. 349-369.

SOLSONA, N. (1997). *L'emergència del concepte de canvi químic*. Tesi doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.



Josep Lluís Estanya Viver professor de ciències a 1r i 2n ESO a l'IES l'Estatut de Rubí. Professor d'EGB, llicenciat en Psicologia i master en didàctica de les ciències i les matemàtiques per la UAB (1997). Ha impartit cursos de formació de professorat relacionats amb la didàctica de les ciències.

A.e. jestana@xtec.cat



Mercè Izquierdo Aymerich és doctora en ciències (química). És catedràtica de didàctica de es ciències a la UAB, on ha fet classes de química, història de la química i didàctica de les ciències, amb especialització en química. La seva recerca es dedica al llenguatge i l'ensenyament de les ciències i s'interessa especialment pels aspectes històrics i epistemològics que tenen influència en l'ensenyament de la química. Ha dirigit tesis doctorals en didàctica de la ciència i ha participat en programes de formació de professors en actiu i en projectes de recerca en col·laboració amb universitats de l'Estat espanyol i de l'Amèrica Llatina. És codirectora de la revista *Enseñanza de las Ciencias*. A.e. merce.izquierdo@uab.es