

**L'EMERGÈNCIA DE LA INTERPRETACIÓ
DELS FENÒMENS QUÍMICS**

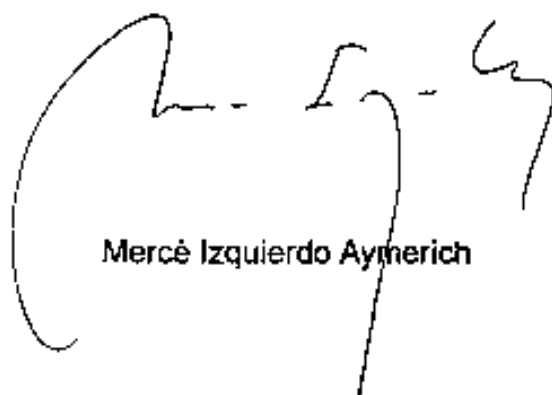
Núria Solsona Pairó
Facultat de Ciències de l'Educació
Universitat Autònoma de Barcelona

1997

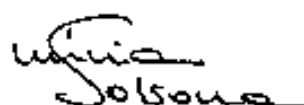
L'EMERGÈNCIA DE LA INTERPRETACIÓ
DELS FENÒMENS QUÍMICS

Aquesta Memòria correspon al treball de recerca de la Tesi de Didàctica de les Ciències Experimentals i les Matemàtiques, realitzada per la sotasignant, Núria Solsona i Pairó, sota la direcció de la Dra. Mercè Izquierdo i Aymerich.

Bellaterra, setembre de 1997

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long vertical stroke at the end.

Mercè Izquierdo Aymerich

A smaller, more compact handwritten signature in black ink, with the name 'Núria Solsona' clearly legible.

Núria Solsona Pairó

A la Gemma

AGRAÏMENTS

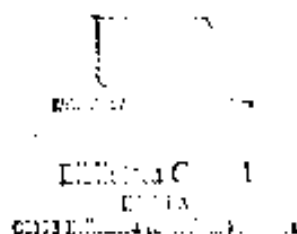
En primer lloc voldria expressar el meu agraïment de tot cor a Mercè Izquierdo, pel seu entusiasme, les seves orientacions i el seu suport en els moments de dubte que s'han produït al llarg de la recerca.

També voldria donar gràcies al Department of Chemical of Education de la Universitat d'Utrecht per les seves atencions i suggeriments al meu treball durant l'estada que hi vaig realitzar.

Igualment voldria reconèixer la bona disposició de Mariona Espinet, Rosa Martín i Rufina Gutiérrez que no han dubtat en ajudar-me sempre que les he consultat.

Per últim, voldria destacar que sense la col·laboració del professor Miquel Calvet i els alumnes de l'Institut Dr. Puigvert de Barcelona aquesta recerca no hauria pogut existir.

A tothom, moltes gràcies.



ÍNDIX

INTRODUCCIÓ	6
CAPÍTOL I. Antecedents de la recerca	11
1. Estudis dels punts de vista de l'alumnat en relació amb la matèria i els seus canvis	13
1.1 Estudis sobre les accepcions dels conceptes químics i la comprensió d'alguns fenòmens com la combustió	13
1.2 Estudis sobre el model discontinu de la matèria	32
1.3 Estudis sobre l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat ...	37
1.4 Estudis sobre l'ús del llenguatge	44
1.5 Xarxa sistèmica de resum de les recerques fetes	49
CAPÍTOL II. Marc teòric de la recerca	52
2. Orientacions bàsiques de la investigació en didàctica de les ciències	55
2.1 El model cognitiu de ciència	55
2.2 El constructivisme	75
3. L'anàlisi del discurs	79
3.1 El raonament analògic	86
3.2 El raonament causal	91
4. El procés d'adquisició del coneixement escolar	93
4.1 El coneixement escolar prescriptiu: el currículum	93
4.2 El coneixement escolar en els llibres de text	101
4.3 El referent empíric: l'experimentació escolar	103
CAPÍTOL III. Disseny de la recerca	108
5. Orientació general de la investigació	110
6. Metodologia de la recerca	116
6.1 Descripció de la mostra i del procés d'instrucció seguit	118
6.2 Instruments per a la obtenció de les dades	121
6.2 Tractament de les dades	129

CAPÍTOL IV. Anàlisi de dades	144
7. Anàlisi i caracterització de la proposta curricular	146
7.1 Els materials curriculars del primer any	146
7.2 Caracterització dels llibres de text utilitzats	150
8. Anàlisi de les dades obtingudes durant la recerca	159
8.1 Anàlisi dels resultats de cada un dels instruments el primer any de la recerca	159
8.2 Anàlisi dels resultats de cada un dels instruments el segon any de la recerca	188
8.3 Anàlisi de les entrevistes a la mostra reduïda	248
9. Estudi de la mostra reduïda	311
9.1 Anàlisi de l'evolució seguida per l'alumnat a nivell individual	311
9.2 Estudi de l'evolució de les explicacions de la mostra reduïda a nivell global	332
CAPÍTOL V. Conclusions i continuïtat de la recerca	338
10. Conclusions de la recerca	341
10.1 Sobre les dades obtingudes	341
10.2 Sobre la metodologia de la recerca	353
10.3 Sobre les dificultats derivades del marc teòric d'investigació en didàctica de les ciències	355
11. Implicacions per a l'ensenyament de la química	356
12. Consideracions finals i continuïtat de la recerca	362
VI. BIBLIOGRAFIA	372

INTRODUCCIÓ

El que presentem en aquesta Memòria és el resultat d'una investigació sobre l'ensenyament i l'aprenentatge de les Ciències Experimentals que coincideix amb la idea que recull Sanmartí (1997) quan diu que "una investigació és un tipus d'anàlisi i d'organització sistemàtica i reflexionada de les experiències humanes, de la seva descripció i estructuració, de la seva explicació teòrica i prediccions viables".

La recerca se situa en el marc de la didàctica de les ciències, una disciplina emergent ja que la seva fonamentació teòrica s'ha vist reforçada pel desenvolupament actual de les ciències cognitives, les ciències de la informació i la sociologia, entre d'altres (Aliberas, Gutiérrez, Izquierdo, 1990). La didàctica de les ciències és la ciència que estudia els fenòmens d'ensenyament, les condicions de transmissió d'una cultura que és pròpia d'una institució i les condicions d'adquisició de coneixement per part de la persona que aprèn (Izquierdo, 1995).

Una bona part de la investigació en didàctica de les Ciències, en els últims anys, ha estat dedicada a conèixer i aprofundir en les concepcions de l'alumnat sobre la matèria i les interpretacions que fan dels canvis físics i químics produïts al manipular-la (Brinkman, 1996). Fins ara però s'han dedicat menys esforços a analitzar les idees entorn dels fenòmens químics que no pas dels fenòmens físics. Alguns autors, (Pozo a Llorens, 1991) plantegen que potser sigui un error suposar que les idees de l'alumnat sobre el món químic, tenen la mateixa naturalesa i estan sotmeses als mateixos processos de canvi que les idees que tenen sobre mons tant tangibles com la flotació, el moviment o la caiguda dels cossos.

El nostre treball d'investigació recull problemes generats per la pròpia pràctica professional en l'ensenyament de la química, a nivell de Secundària i tot un món de preocupacions i desitjos que han estat presents en la seva realització. Un primer fet que va cridar la nostra atenció es que al finalitzar la Secundària, l'alumnat utilitza la terminologia química i realitza càlculs químics, però no està clar quin concepte de canvi químic ha construït més enllà d'algunes definicions memoritzades. Creiem que els problemes de l'ensenyament de qualsevol àrea estan relacionats amb els

que es presenten en el procés d'aprenentatge i, es per això que hem centrat la recerca en l'aprenentatge del concepte de canvi químic.

En general, la investigació educativa es relaciona poc amb la pràctica (Gimeno Sacristán, 1983) però la investigació que presentem sobre com construeix l'alumnat el concepte de canvi químic, en la mesura que parteix d'intuïcions que s'han donat en situació de classe, aspira a poder connectar amb les necessitats del professorat. En dos sentits, per poder entendre millor el significat d'algunes situacions que es donen durant la intervenció didàctica i, en segon lloc per millorar la pràctica educativa i, com a conseqüència, els aprenentatges entorn als conceptes bàsics de química, especialment el concepte de canvi químic.

El problema que ens hem plantejat és present en el dia a dia de les aules, però probablement no està entre els dubtes que el professorat es planteja regularment, perquè hi ha molts altres problemes d'aprenentatge per resoldre i, implícitament es dona per suposat que l'alumne adquireix i consolida el concepte de canvi químic entre les edats de 16 a 18 anys que són les que ha explorat la recerca. No obstant, una queixa habitual entre el professorat que realitza treball experimental és que els i les alumnes no són capaços de relacionar les classes teòriques amb les de laboratori i que, per aquest motiu, no són capaços d'aplicar els coneixements teòrics a la química en un context de treball pràctic.

Alguns autors (De Jong, O. 1996a) qualifiquen la situació actual de crisi que amenaça l'ensenyament de la química. Entre altres aspectes que poden influir en aquesta situació apunten l'estructura del temes de la química escolar. Aquesta estructura és el resultat dels conceptes i experiències de les persones expertes en química. El contingut de molts temes no encaixa suficientment amb les idees i les estructures d'una persona en situació d'aprenentatge (Van Keulen, 1995) que no sent cap insatisfacció ni necessitat d'adquirir determinats coneixements de química i tampoc facilita el seu desenvolupament.

Des de la nostra perspectiva el problema de l'ensenyament de la química s'hauria d'abordar analitzant com l'alumnat arriba a fer la interpretació d'uns signes i uns fenòmens químics. La nostra intenció és caracteritzar la realitat de la classe a partir dels resultats obtinguts a nivell de què saben i què expliquen dels fenòmens químics, és a dir com emergeix la interpretació química dels fenòmens. En concret volem especificar la naturalesa de les dificultats conceptuals que té l'alumnat a l'hora de connectar la interpretació dels fenòmens químics i les explicacions teòriques d'aquests fenòmens.

Com altres investigacions en didàctica, la nostra recerca pretén no solament descriure unes categories d'anàlisi adients per a les respostes que hem obtingut de l'alumnat sinó que vol donar una explicació de les dades obtingudes, de les respostes elaborades per l'alumnat i obrir nous camins per a la reflexió i per a la pràctica educativa.

Entre els objectius de la nostra recerca es vol analitzar quin ha estat el resultat que s'ha obtingut d'una determinada intervenció didàctica, és a dir quina "ciència escolar" s'ha construït a partir de la ciència química present en el currículum i, quina "ciència de l'alumnat" podem inferir que s'ha construït a partir de les respostes obtingudes amb els instruments d'investigació.

Per abordar el procés de construcció del concepte de canvi químic, la recerca ha seguit dues etapes: Una primera amb caràcter de fase d'exploració i que va servir per validar les preguntes i centrar el problema objecte d'investigació. Els resultats preliminars d'aquesta primera fase, on es va treballar amb diferents mostres d'alumnat, s'han presentat en forma de Memòria d'investigació i en algunes publicacions (Solsona, N. 1994, 1995a, 1995b, 1997a, 1997b).

En la segona fase de recerca s'ha estudiat l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat davant d'un fenomen químic concret i els possibles "models teòrics" de canvi químic que permeten entendre les diferents maneres en que l'alumnat estructura els elements del coneixement químic al finalitzar la Secundària

Obligatòria. S'ha realitzat el seguiment de la mostra que ha estat objecte d'investigació durant tres cursos escolars.

Aquest document està organitzat en cinc capítols. En el primer d'ells hem volgut fer una revisió de la literatura sobre les investigacions que s'han portat a terme durant la segona fase de la recerca en el camp de la didàctica de la química i que es poden considerar antecedents més propers de la mateixa. S'han recollit els estudis dels punts de vista de l'alumnat en relació amb la matèria i els seus canvis, com sobre les accepcions dels conceptes químics i la comprensió d'alguns fenòmens com la combustió. També hem inclòs els estudis sobre el model discontinu de la matèria, sobre l'ús del llenguatge i investigacions sobre l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat. Evidentment aquest últim nivell d'anàlisi, el d'intentar caracteritzar com raona i quins elements utilitza quan construeix el seu raonament és diferent dels anteriors, però ens ha semblat fonamental incloure'l ja que la nostra intenció es avançar en aquest sentit. És a dir, en el recull d'antecedents hem volgut deixar clara la orientació que tindrà la recerca, no tant d'analitzar la construcció d'un determinat concepte químic sinó d'analitzar com construeixen les explicacions entorn als fenòmens químics, com a resultat d'una determinada intervenció didàctica que ha tingut lloc a la classe.

En el segon capítol hem volgut situar el marc teòric en el qual s'ha portat a terme la investigació: el model cognitiu de ciència. En concret, es discuteixen les característiques i les repercussions que té per a la investigació didàctica el constructe de "model teòric". Aquest capítol inclou, a més d'una breu discussió sobre el constructivisme, les aportacions fetes des del camp de l'anàlisi del discurs a la didàctica de les Ciències. El segon capítol també conté una breu reflexió sobre el coneixement escolar que es concreta en el currículum i en els llibres de text, i el referent empíric d'aquest coneixement escolar, és a dir l'experimentació que es porta a terme a l'aula.

El tercer capítol descriu el disseny metodològic de la recerca tant pel que fa a la seva orientació general com a la descripció de la mostra i als instruments per a la

obtenció i anàlisi de les dades. Es fa especial atenció al fet que s'ha realitzat en context escolar i per tant es descriu el procés d'intervenció didàctica que ha seguit la mostra.

El quart capítol inclou l'anàlisi de les dades obtingudes amb les proves escrites amb tota amb la mostra, així com els resultats de les entrevistes fetes amb la mostra reduïda de la recerca. Aquest capítol és central en la recerca ja que les dades obtingudes permetran caracteritzar quatre models teòrics del canvi químic que ens permeten particularitzar les possibles vies de construcció del concepte de canvi químic que segueix l'alumnat.

Finalment, en el capítol cinquè es relacionen i discuteixen els resultats exposats en el capítol precedent i es presenten les conclusions de la recerca, a nivell metodològic, de les dades i pel que fa a l'evolució del pensament de l'alumnat. També s'apunta al final del capítol alguns elements per a la possible continuïtat de la recerca.

I. Antecedents de la recerca

- 1 Estudis dels punts de vista de l'alumnat en relació amb la matèria i els seus canvis**
 - 1.1 Estudis sobre les accepcions dels conceptes químics i la comprensió d'alguns fenòmens com la combustió**
 - 1.2 Estudis sobre el model discontinu de la matèria**
 - 1.3 Estudis sobre l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat**
 - 1.4 Estudis sobre l'ús del llenguatge**
 - 1.5 Xarxa sistèmica de resum de les recerques fetes**

Amb l'objectiu de conèixer l'estat de la qüestió dels estudis realitzats en didàctica de les ciències incloem en aquest capítol una relació dels antecedents que són d'utilitat per emmarcar aquesta recerca. A continuació s'han organitzat els estudis realitzats en funció d'uns criteris que intenten recollir les diferents temàtiques que han sigut objecte d'atenció des de la didàctica: els conceptes químics, el model discontinu de la matèria, l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat i l'ús del llenguatge.

En aquest memòria no es torna a fer esment de manera global als treballs que es van recollir en l'estudi d'exploració de la recerca (Solsona, 1994) i que indiquem a continuació, excepte aquells que són de referència obligada ja sigui perquè el seu sistema de categorització (Andersson, 1990, Brosnan, 1990) ha sigut objecte de treballs posteriors o perquè són dels primers en la línia d'investigació de l'ús de les analogies (Treagust, 1992). Els seus autors són: J.D. Herron (1977), Joan Solomon (1980), Helga Pfundt (1981), Martine Meheut (1982, 1989), Rosalind Driver (1985), Briggs i Holding (1986), Jean Louis Martinand (1986), Ruth Ben-Zvi (1986), Wobbe de Voss i Adri H. Verdonk (1987a,b), Dorothea Gabel i al. (1987), Lena Renström (1987), M.J. Vogelezang (1987), J. Antoni Llorens (1987, 1993), Neus Sanmartí (1989), Paul Thagard et al (1989), Heleni Stavridou (1989, 1990), Ruth Stavy (1989, 1991, 1993), Gentil i al. (1989), Bjorn Andersson (1990), M.C. Mariani i Jon Ogborn (1990), Tim Brosnan (1990), Claudine Larcher (1990), Gabriela Ribeiro i al (1990), Jean Pierre Astolfi (1991), Angela Ingham i al. (1991), Saouma B. Jaoude (1991), Marcia Linn (1991), Kracijk (1991), César Coll i al (1991), Michael Abraham (1992), David Treagust (1992), Rosa Martín (1992), Joseph J. Hesse (1992), Jon Ogborn (1993), Teresa Prieto i al (1993), Isabel P. Martins (1993), Roger Viovy (1993), M.A Gomez Crespo i al (1993).

Al final del capítol, hem resumit les idees més rellevants agrupades en una xarxa sistèmica resum dels antecedents de la recerca.

1 Estudis dels punts de vista de l'alumnat en relació amb la matèria i els seus canvis

1.1 Estudis sobre les accepcions dels conceptes químics i la comprensió d'alguns fenòmens com la combustió

Christine Solomonidou (1991) fa un estudi amb alumnat de 11 a 14 anys, on investiga la seva representació entorn a les substàncies, la seva interacció i, el canvi i la conservació de les substàncies i les seves propietats. El referent empíric de la recerca és un sèrie de substàncies de color blanc que es barregen de dos en dos, a les que s'afegeix aigua i, una segona sèrie de substàncies de color amb les que es fa unes manipulacions. Per a l'anàlisi lèxica de les substàncies, l'autora intenta detectar el sentit possible que hi ha darrera dels termes que utilitzen per definir les substàncies seguint les idees de Vygotski i de Wallon. Un sol terme com substància pot expressar un pensament "ric en unitats d'anàlisi no expressades o no exterioritzades", o bé el mateix terme per a l'alumne, pot significar un conjunt no diferenciat, és a dir un predicat de la substància i dels seus atributs.

Solomonidou detecta dos nivells de representació del terme substància. Un primer nivell reposa en les substàncies conegudes a la vida quotidiana i es caracteritza per la manca de diferenciació entre la substància descrita, la substància referida i els seus atributs.

Un segon nivell correspon a les respostes que parlen de substància indefinida amb dos o més atributs. En aquest cas la descripció o la definició de la substància comporta un conjunt d'atributs que s'expressen de manera clara, explícita, precisa i, el sentit dels termes no es concentra en poques paraules.

L'evolució dels alumnes des de la substància definida a la indefinida comporta un canvi d'actitud que és més clar quan descriuen les experiències d'interacció entre les

substàncies. L'ampliació del camp empíric de les substàncies i les seves interaccions i de la implicació activa en el procés experimental conceptual provoca una evolució no solament verbal, sinó una evolució que també és conceptual.

Núria Solsona (1991) en un estudi sobre la combustió realitzat amb alumnat de 17 a 20 anys que havia seguit una proposta concreta d'intervenció didàctica, va observar les dificultats de formalització que presentava el fenomen. En concret assenyala les dificultats derivades del referent empíric: les propietats dels gasos i de la no apropiació dels aspectes semàntics ni sintàctics del model atòmic. Aspectes que són necessaris per a una correcta interpretació del fenomen.

En quan al principi de conservació de la massa aplicat a la combustió va detectar l'existència d'un punt d'ancoratge: la consideració d'un sistema tancat ajuda a una correcta conceptualització del principi de conservació, que queda reflectida en la successió correlativa dels següents conceptes:

reacció —> sistema —> conservació —> sistema
química tancat massa obert

D'acord amb Andersson (1984) si l'alumnat utilitza un model de causalitat interna no se li planteja la necessitat de principis conservatius, com el de la massa, ja que explica l'augment de pes sense que s'afegeixi res de fora. En canvi, el model de raonament de causalitat externa comporta la necessitat de pensar en la interacció i el concepte de sistema, a través del qual es poden trobar les bases del raonament conservacionista.

De totes maneres, no és suficient utilitzar correctament aquests conceptes per arribar al principi de conservació de la massa. La discussió sobre la causalitat externa i interna intenta mostrar que no és suficient el coneixement dels conceptes processuals en general, sinó que es necessari tenir els coneixements adequats sobre els continguts científics als que cal aplicar-la.

Juan Ignacio Pozo et al. (1991) recull en el seu estudi moltes de les recerques que ja es van esmentar a l'estudi d'exploració de la recerca (Solsona, 1994). Basa el seu estudi en les tres estructures conceptuals més importants per a l'ensenyament de la química. En la seva opinió, aquestes són: la naturalesa discontinua de la matèria, la conservació de les propietats no observables de la matèria i la quantificació de les relacions. En quan al concepte de substància pura, apunta que les idees alternatives es refereixen al fet de donar a l'adjectiu "pura" un significat propi del llenguatge quotidià i no del llenguatge químic i, la identificació dels conceptes de substància pura i element. El concepte d'element s'utilitza de manera indistinta al de substància pura, compost o àtom. Anàlogament, el concepte de compost s'associa exclusivament al de molècula, i s'utilitza com equivalent al de mescla.

M. Àngel Gómez Crespo (1992) descriu tres nuclis conceptuals per estructurar els coneixements previs en química: la continuïtat/ discontinuïtat de la matèria, la conservació de les propietats no observables de la matèria i la quantificació de les relacions. Aquests nuclis, segons l'autor estan jerarquitzats i cadascun d'ells influeix en l'assimilació del següent.

Carles Furió et al (1993) destaquen que el professorat quan introdueix el concepte de substància i en concret, la seva unitat, el mol, barreja els dos sistemes de referència, el referent empíric i el referent atomista. L'estudi aborda el problema de si l'alumnat té una visió atomista o globalista, és a dir de concepció de les substàncies com un tot. Els resultats confirmen que els estudiants que acaben la Secundària, als 18 anys, no han canviat la concepció qualitativa globalista de la quantitat de substància. Per tant, no diferencien entre quantitat de substància, massa i volum. No obstant el professorat introdueix el concepte de mol com unitat de la quantitat de substància. Els autors consideren que el motiu perquè es produeixi això és la confusió entre quantitat de substància i quantitat de matèria expressada en termes de massa que està reforçada per l'ambigüïtat terminològica que existeix en el pensament ordinari entre aquestes dues expressions (Llorens, 1991).

Rosa Martín (1994a) analitza la formació inicial del professorat que realitzarà la introducció a la química per alumnes de 12 a 14 anys i suggereix que aquesta es caracteritza per la manca de professionalitat del contingut de les disciplines i la dissociació entre els continguts disciplinaris.

L'autora distingeix diferents períodes històrics que caracteritzen el camp conceptual associat al canvi químic. En els estudis de didàctica es distingeixen dos obstacles fonamentals que han coexistit durant segles en l'ensenyament de la química: la substancialització i el mecanicisme. La superació d'aquests obstacles s'ha fet mitjançant la incorporació d'una perspectiva quantitativa i el correcte establiment d'una relació entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, en el quadre de l'atomisme químic.

Rosa Martín proposa una sèrie de trames conceptuais per mostrar l'evolució del concepte de canvi químic a nivell macroscòpic, en base a la teoria atòmico- molecular i en base a la teoria quàntica. En quan a les concepcions de l'alumnat sobre el canvi químic assenyalava tres problemes: les concepcions sobre la composició i l'estructura de la matèria (substància, element, compost, àtom i molècula), els criteris de diferenciació dels canvis químics i els canvis físics i, la interpretació dels canvis químics. Caracteritza tres nivells de formulació del canvi químic segons el nivell de complexitat del coneixement i d'abstracció. Aquests tres nivells són la concreció en el camp de la química de les tres visions apuntades en un document anterior (Rosa Martín, 1992).

L'autora construeix una trama conceptual que en la seva opinió indica itineraris que permetran franquejar els obstacles que representen les concepcions de l'alumnat sobre el canvi químic. Finalitza amb l'anàlisi del saber escolar sobre el canvi químic, a nivell de currículum oficial, de llibres de text i altres documents pedagògics.

Núria Solsona (1994) en la memòria d'investigació que recull els resultats obtinguts en la primera fase d'aquesta recerca detecta l'existència de determinades característiques

en la redacció de les preguntes que les fan més aptes per recollir les representacions inicials de l'alumnat entorn al canvi químic. Entre les preguntes incloses en el qüestionari inicial passat als 17 anys, la pregunta del clau de ferro que es rovella s'ha mostrat adient per recollir les representacions més intuïtives de l'alumnat sobre el canvi químic. En canvi la pregunta referent a la poma o la patata pelada que al cap d'una estona s'enfosqueix, donada la confusió que provoca entre el procés d'oxidació de la poma que es demana explicar i la putrefacció de la majoria de les substàncies orgàniques, no s'ha mostrat adient per recollir les primeres explicacions de l'alumnat sobre el canvi químic.

En quan a les idees subjacents a l'ús d'un determinat concepte com el d'element, detecta que l'alumnat no es refereix a les entitats últimes dels materials quan parla d'element. Utilitza el concepte de substància pura com aquella que està constituïda per un sol tipus de partícules. En frases com "Les partícules d'oxigen entren a l'estructura de l'element que s'està formant", "L'oxigen entra en el ferro" és difícil esbrinar quin és el significat exacte del terme. Tant podria ser un nivell superior al de "les partícules d'oxigen" ja que forma part de la seva estructura, com potser es tracta d'una idea pròpia a la de "compost químic"

Pel que fa a l'anàlisi de la relació entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, de manera coincident amb altres recerques (Andersson, 1990 i Brosnan, 1990), les entitats macroscòpiques i les seves parts microscòpiques tenen per a l'alumnat la mateixa naturalesa, presenten només un problema de mida, tal com es pot veure en les següents frases: "L'oxigen fa rovellar les molècules", "Els àtoms es fonen i deixen marques".

L'estudi parteix d'un enfocament comunicatiu, és a dir s'interessa per veure com el format de la pregunta condiciona el tipus de resposta i vol tenir en compte la tipologia de preguntes com un instrument de canvi. De les diferents preguntes que han estat assajades en la primera fase de la investigació, algunes d'elles han arribat a la fase

final i, altres han hagut de ser desestimades. Entre les últimes ens referim a les preguntes del ciau que es rovella, la poma que es podreix (Solsona, 1993) i l'aspirina efervescent (Solsona, 1997b). Els avantatges, inconvenients, dificultats i resultats obtinguts amb cadascuna d'elles durant la investigació es resumeixen en la següent xarxa.

Una classificació de preguntes en funció del tipus de fenomen analitzat, del format lingüístic de la pregunta i del caràcter de la mateixa és la següent.

- tipus de fenomen analitzat
 - vida quotidiana
 - laboratori
- format lingüístic pregunta
 - tipus de llenguatge
 - nivell d'exigència conceptual
 - implícits aprenentatge
 - canvi/conservació
 - nous: substància pura element
- caràcter pregunta
 - conceptes teòrics
 - termes polisèmics
 - finalista
 - processual

Rosa Martín (1994b) porta a terme una investigació sobre el coneixement del canvi químic en un context d'especial interès per a la didàctica de les ciències: la formació inicial del professorat. L'autora se situa en un enfocament centrat en els problemes professionals del currículum escolar, dins d'una visió de la formació inicial com la primera fase del desenvolupament professional que implica una professionalització dels continguts formatius. En la investigació es recull com estudi teòric, la informació rellevant a nivell històric i epistemològic sobre el camp conceptual associat al canvi químic i sobre les idees de l'alumnat. També s'analitzen els diferents nivells de producció curricular amb l'objectiu de descriure el contingut i la organització del coneixement que es pretén ensenyar sobre el canvi químic, la metodologia didàctica per al seu aprenentatge i caracteritzar la transposició didàctica realitzada.

L'autora estudia, a nivell empíric, les concepcions disciplinàries i didàctiques dels futurs professors i professores que es caracteritzen majoritàriament per una visió no interactiva, acumulativa i fragmentària, molt influïda per la percepció de cada fenomen específic. Les concepcions sobre l'ensenyament del canvi químic es caracteritzen per traslladar l'empirisme científic al terreny didàctic mitjançant una seqüència tancada d'activitats: observació de fenòmens, inferència de conceptes, explicació com a reforç i aplicació a altres situacions. És a dir, la proposta dels futurs ensenyants consisteix en realitzar una transposició didàctica caracteritzada per la reproducció simplificada dels coneixements disciplinàris.

La investigació acaba fent una proposta fonamentada del coneixement professional que serveixi de referència per a facilitar l'evolució de les concepcions disciplinàries i didàctiques dels futurs professors i professores.

Josette Carretto i Roger Viovy (1994) recorden els problemes de definició de reacció química que no queden resolts amb la que dona la IUPAC: "el procés que té com a resultat la conversió d'una o diverses espècies químiques en una o unes altres espècies químiques". També assenyalen que la descripció habitual de reacció química presta atenció a l'estat inicial i final del sistema, donant una visió estàtica del fenomen, enlloc de reforçar la visió dinàmica de la reacció.

Els autors discuteixen la opinió que considera que per a l'aprenentatge del concepte de canvi químic cal esperar que l'alumnat hagi arribat a l'etapa de desenvolupament del pensament formal. Ells argumenten que es tracta d'un concepte central en les altres disciplines i consideren que és indispensable que formi part de la base del comportament dels ciutadans i ciutadanes, a la vista de la gran quantitat de substàncies que ens envolten.

En la introducció del concepte de reacció química, si no es vol que quedi únicament com un concepte teòric, els autors proposen donar preferència a una aproximació

macroscòpica que inclogui l'estudi monogràfic de les substàncies químiques. Stavridou et al (1993) i Solomonidou et al (1994) insisteixen en que el concepte de reacció química constitueix el punt central de la xarxa de conceptes químics i, reiteren la seva opinió de que depèn del concepte científic de substància.

Altres autors com Furió et al. (1994) insisteixen en que l'aprenentatge del concepte de reacció química és un problema d'orientació de l'aprenentatge com a activitat de recerca ja que seguint aquesta metodologia s'obtenen millors resultats. En la seva recerca a més, han observat que l'alumnat que seguia aquest mètode obtenia coneixements més significatius en relació al model atòmic.

Roger Barlet i Dominique Plouin (1994) creuen que l'equació química és un concepte integrador que fonamenta i al mateix temps és la font dels balanços de la reacció. Cal un procés de conceptualització relativament complex perquè l'equació química pugui explicar les observacions experimentals macroscòpiques. La transferència de l'observació a la modelització, del continu al discontinu implica un gran capacitat d'abstracció i, no es pot suposar que es faci espontàniament el pas de l'equació a la realització del balanç de massa o de volum. Només amb la identificació dels reactius i els productes i la mesura experimental de les masses i/o els volums es pot donar un sentit concret i complex a l'equació química.

Els autors assenyalen l'ambigüitat de l'expressió "equilibrar una equació" que a vegades s'utilitza desafortunadament per part del professorat. Els autors han comprovat la confusió que hi ha en estudiants de segon curs de la Universitat, entre equilibris químics i equacions de reacció equilibrades. Per tant, proposen parlar preferentment d'igualar una equació de reacció

Claudine Larcher (1994) examina a nivell conceptual les conseqüències de no fer distinció entre el registre dels fenòmens, la representació simbòlica i el model proposat per interpretar els equilibris químics.

Ezio Roletto i Bruno Piacenza (1994) es plantegen la necessitat de construir el concepte de substància pura ja que té un lloc central en l'aprenentatge de la química i al mateix temps s'utilitza en el llenguatge diari. Mitjançant un estudi empíric fet amb alumnat de secundària detecten l'existència de cinc nocions: no mescla, producte natural, producte no contaminat, substància simple i partícules del mateix tipus. Moltes poques respostes de l'alumnat feien referència al model de partícules. Per tant, sembla que per a l'alumnat només les substàncies simples són substàncies pures i els compostos químics es consideren habitualment agregats de substàncies.

Michael Abraham et al. (1994) fan un estudi longitudinal amb qüestionaris semioberts sobre cinc conceptes: canvi químic, dissolució d'un sòlid en aigua, conservació dels àtoms, periodicitat i canvi de fase amb estudiants de 1er. cicle de Secundària. Observen que pocs estudiants tenen una comprensió significativa de canvi químic, de la periodicitat o el canvi de fase, malgrat que l'ús de la terminologia química augmenta amb els anys d'instrucció. Aina Tulberg et al. (1994) exploren les dificultats de l'alumnat en relacionar el concepte de mol amb altres conceptes químics i creuen que és degut a la pròpia concepció dels ensenyants sobre el mol.

Garnett et al (1995) fan una revisió de les concepcions alternatives de l'alumnat en diferents temes com la naturalesa particulada de la matèria, l'enllaç covalent, les molècules i les forces intermoleculars, les equacions químiques, l'equilibri químic, àcids i bases, oxidació- reducció i electroquímica. Els autors assenyalen entre els principals factors que contribueixen a la manca de comprensió dels conceptes químics: l'ús de llenguatge quotidià en contextos científics; la supersimplificació de conceptes i l'ús d'afirmacions excessivament generalitzades en el cas de l'electroquímica; l'ús de diferents definicions i models al mateix temps; l'aplicació memorística de conceptes i algorismes, i l'encavalcament de conceptes similars, entre d'altres.

Neus Sanmartí, Mercè Izquierdo i Rod Watson (1995) apunten que per comprendre com els alumnes construeixen les seves idees, cal desenvolupar instruments que permetin la seva caracterització.

Les autores aborden l'estudi de les idees entorn a la substancialització de les propietats que ja han estat recollides en estudis anteriors. I fan un repàs de la importància que han tingut aquestes idees en el desenvolupament històric del coneixement químic.

L'article fa una reinterpretació de les dades obtingudes en un estudi fet per Sanmartí (1990) en el que mitjançant un qüestionari obert i entrevistes personals es volia esbrinar si els estudiants discriminaven els conceptes de "mescla" i "compost". A partir de les respostes van establir tres categories d'explicacions: Substancialitzadores (S), No Substancialitzadores (NS) i les que no fan referència a cap model (NEM). Les respostes (S) són aquelles que tracten la dolçor, el magnetisme i el color com substàncies materials que poden passar d'una substància a una altra, en lloc de considerar-les com propietats associades a les interaccions entre les substàncies i el món físic. Les (NS) no suposen la transferència de les propietats d'una substància a una altra. La presència de les propietats en la substància original és indicadora de la presència de la substància original.

En la categoria (NEM) estan agrupats els alumnes que no usen models explicatius però donen respostes que reproduïxen la pregunta o simplement donen respostes descriptives.

Les entrevistes han reforçat els resultats obtinguts en l'anàlisi dels qüestionaris. Amb els alumnes entrevistats es poden formar tres grups: els que utilitzen el model substancialitzador de manera consistent, no distingeixen entre canvi físic i químic, entre mescla i compost i, en el cas dels estudiants més joves, no distingeixen entre mescles i substàncies pures. El segon grup són aquells que són inconsistents o no

donen una explicació clara en termes del model de partícules. I el tercer grup està format per aquells que usen un model no substancialitzador i distingeixen entre canvi físic i químic i mescles i compostos.

Les relacions trobades entre explicacions S i NS i les definicions de mescla i compost, sembla que posen de manifest l'existència d'un esquema de pensament alternatiu que pot ser un dels principals obstacles perquè l'alumnat desenvolupi explicacions científiques dels canvis dels materials. El poder del model substancialitzador resideix en la seva flexibilitat per incorporar nous coneixements sense ser alterat. I l'adaptabilitat del model explica el fet de que es trobi fins i tot entre les explicacions dels estudiants universitaris. Les implicacions educatives de la recerca es concreten en el fet que l'ús dels experiments de laboratori facilita l'extensió del coneixement dels fenòmens per part de l'alumnat, encara que això no garanteixi la seva comprensió. També assenyalen les autores que probablement una de les causes de la manca de desenvolupament dels models explicatius de l'alumnat sigui l'escassetat de discussió dels models explicatius relacionats amb el treball experimental.

L'objectiu de la caracterització de les idees de l'alumnat feta per les autores ajudarà al professorat a triar els estils d'ensenyament que permetran a l'alumnat relacionar els nous ensenyaments amb les idees que tenen.

Rod Watson et al. (1995) descriuen un estudi fet amb estudiants de 14 i 15 anys d'Anglaterra i Espanya, sobre la comprensió de la combustió i exploren la influència de l'experiència del treball de laboratori en la comprensió del fenomen. Van prestar atenció a la implicació dels gasos en la combustió, i van trobar que la presència més gran del treball pràctic en les escoles angleses tenia poca influència en la comprensió de la combustió.

En el seu estudi no utilitzen les quatre categories d'Andersson (1990) ja que consideren que la Desaparició és un cas límit de la Transmutació. I finalment han

classificat els estudiants en les categories de Canvi químic (C), Transició (X), Transmutació (T) i altres (principalment descriptiu). En la categoria (X) han inclòs les respostes que són intermèdies entre Canvi químic (C) i Transmutació (T).

Les diferències d'estils d'ensenyament i aprenentatge a classe de ciències entre l'Anglaterra i Espanya van ser investigades mitjançant un qüestionari i entrevistes (Watson i Prieto, 1994). Les diferències es centren en la quantitat de pràctiques que és superior a l'Anglaterra i en el fet que els exemples de combustió proposats a l'Anglaterra havien estat estudiats experimentalment. També hi havia diferències en l'estudi de l'efecte del calor en les substàncies, la identificació dels gasos, els canvis de volum i de pes.

Els autors assenyalen que la visió prototípica de la combustió esmentada per Driver (1985) no és una explicació ja que és tracta d'una descripció. També creuen que l'alumnat desenvolupa dos esquemes d'explicació separats, el seu personal i l'escolar, sense integrar-los. Això permet que els sigui més fàcil escriure l'equació igualada d'una reacció que no pas explicar el procés i desenvolupar un model explicatiu semblant al científic. Els autors creuen que el coneixement adquirit mitjançant el treball pràctic ha de ser utilitzat explícitament per desenvolupar conceptes i, en la seva investigació s'observa que aquest tipus de treball contribueix molt poc a la comprensió de la combustió.

Jeannine Acampo (1995) seguint el mètode cíclic d'investigació (Verdonk i Linjse, 1993) ha desenvolupat uns nous materials educatius per a l'estudi de les cèl·lules electroquímiques per a l'Ensenyament Secundari. D'acord amb el seu punt de vista, el professorat hauria de tenir en compte tres aspectes en el model de descripció del transport de càrrega: la transferència de càrrega, els electrons en els elèctrodes, en els cables, l'electrolit i el pont salí. El professorat, d'acord amb les seves observacions, posa gairebé tota l'atenció en els models de descripció del corrent a través de la cèl·lula electroquímica en les reaccions i en els elèctrodes. La connexió entre els

electrons i el transport de càrrega no s'emfasitza suficientment, com tampoc no es fa esment al transport de ions en l'electrolit ni en el pont salí. El propòsit de la seva investigació es que el professorat tingui clar que aquestes mancances causen problemes als seus estudiants i buscar vies de millora de l'ensenyament.

Onno de Jong et al. (1995) suggereixen que malgrat el creixent interès en els concepcions i les accions del professorat es tenen pocs coneixements sobre l'ensenyament dels continguts a classe. Ells han abordat l'estudi dels problemes que sorgeixen a classe quan s'ensenyen les reaccions redox, un dels temes que tant els estudiants com els professors holandesos de Secundària consideren dels més difícils, una opinió coincident amb la d'altres països. La recerca s'ha portat a terme mitjançant l'estudi de dues classes, una amb un professor novell i una altra amb un professor amb experiència. Les dades s'han obtingut amb l'enregistrament de les sessions de classe i dues entrevistes fetes a cadascun dels professors. Entre els resultats, van observar estratègies d'ensenyament semblants en els dos professors. Els autors detecten el que anomenen problemes d'ensenyament (*teaching problems*) que són accions que porta a terme el professorat que causen dificultats de comprensió i aprenentatge en l'alumnat. Entre elles destaquen les que estan relacionades amb la introducció de nous conceptes, com per exemple el de nombre d'oxidació, que després no han de fer servir els estudiants. Un segon tipus de problemes d'ensenyament és l'explicació supèrflua d'alguns conceptes com la transferència d'electrons.

En la recerca també detecten problemes d'ensenyament relacionats amb la intel·ligibilitat de nous conceptes, com per exemple quan es presenten experiments relacionats amb quins són els millors oxidants i reductors. Altres problemes d'ensenyament estan relacionats amb la plausibilitat de les noves concepcions que ho són pel professor però no per als alumnes. D'altra banda, els professors tendeixen a tenir en compte algunes respostes sense prestar atenció a d'altres. Els autors arriben a la conclusió que els professors objecte de la seva recerca no consideren que els problemes d'ensenyament indicats siguin problemes del professor, addueixen manca

de temps i dificultats per ajudar als estudiants a arribar a un cert nivell de perspiciàcia. Per contra, diuen que les seves estratègies capten l'atenció de l'alumnat i clarifiquen les seves idees.

Els autors opinen que els professors basant-se en la seva experiència química tendeixen a ensenyar el tema de les reaccions redox al més alt nivell possible. És a dir, l'experiència científica dels professors és una font de dificultats en l'ensenyament de les reaccions redox a la Secundària.

Joke van Aalsvoort (1995) basant-se en la manca de rellevància que té actualment l'ensenyament de la química pels alumnes, està dissenyant una nova introducció a l'educació química, que no es basi en la concepció de la química escolar, com una ciència pura. Vol tenir en compte els fets, teories i mètodes químics actuals, més en la línia d'un plantejament STS, on la producció social de bens i de mercaderies sigui el centre de l'educació química. Considera necessari ajustar alguns del continguts tradicionals, com material o propietat i, per això proposa utilitzar la teoria de l'activitat de Leontiev per dissenyar els nous materials educatius.

A. H. Johnstones i F.F. Al-Naeme (1995) opinen que en la majoria de cursos de ciències, i en especial de química, els mètodes d'ensenyament no estan adaptats a les diferències individuals en estils d'aprenentatge o motivació que presenta l'alumnat. Uns objectius molt especificats, uns quaderns de treball molt detallats atrauen a l'alumnat més estudiós i poden allunyar als sectors més creatius i curiosos. Un programa de recerca a Escòcia intenta analitzar els resultats obtinguts amb programes de resolució de problemes sobre casos pràctics per a alumnes de 14 a 16 anys. Els autors mostren la correlació que es pot establir entre factors com convergent/divergent, dependent/independent de camp i aspectes motivadors, amb l'èxit del projectes.

Els autors seguint a Witkin (1978) suggereixen que en funció de la informació que tenen en la memòria a llarg terme, els alumnes arriben a saber a nivell perceptible que és important tenir en compte davant d'una tasca determinada. Els alumnes independents de camp són capaços de separar de manera eficaç la senyal del soroll; llavors el processament i la presa de decisions no està interferit per idees que creen confusió. Els autors presenten evidències que mostren que els alumnes curiosos, amb pensament divergent i independents de camp són els que obtenen millors resultats en la resolució de problemes i de projectes d'investigació. Creuen que el buit que hi havia en el currículum de química s'ha cobert i això permet considerar més àmpliament la naturalesa d'altres aspectes del currículum a tots els nivells.

J. Quilez i V. Sanjosé (1995) resumeixen les idees alternatives de l'alumnat entorn al concepte d'equilibri químic i aborden l'estudi de si hi ha una comprensió correcta del principi de Le Chatelier i si l'alumnat en fa una utilització adequada. Malgrat l'abundant bibliografia que discuteix la suposada validesa del principi de Le Chatelier, es segueix presentant al professorat i en els llibres de text d'un forma simplificada, sense fer referència explícita a les seves limitacions, de manera que es formula com un principi infal·lible. Els resultats obtinguts en la resposta a qüestionaris amb alumnat de COU es detecten errors en la utilització del concepte de concentració, de la relació massa-concentració, del reactiu limitant en l'equilibri químic, al maneig correcte de les lleis del gasos ideals i a la dificultat de realitzar un estricte control de variables, entre d'altres.

M. Angel Gómez et al (1995) utilitzant les categories d'Andersson (1990) van fer un estudi sobre la comprensió per part de l'alumnat de 12 a 17 anys i d'estudiants universitaris d'últim curs sobre la conservació qualitativa de la matèria (substància). La recerca té 5 objectius: comparar les representacions de la conservació de la matèria entre subjectes de diferent edat i nivell d'instrucció, fer una anàlisi del context en que es presenten les tasques, comparar les concepcions dels mateixos subjectes enfront a canvis químics i físics, estudiar la importància relativa de les categories d'Andersson per cada subjecte i cada tasca realitzada i finalment, analitzar el nivell de consistència

de les concepcions alternatives dels subjectes en funció del nivell d'instrucció i la tasca proposada.

Per a la consistència en l'ús de les categories s'ha utilitzat el criteri de considerar que un subjecte és consistent si utilitza la mateixa categoria en un 75% o més de les preguntes d'un determinat contingut, independentment de la correcció de les respostes.

L'instrument de recollida de dades ha estat un test d'opció múltiple. A nivell estadístic, la recerca utilitza l'anàlisi de varianza (ANOVA). En les conclusions assenyalen que l'edat i el nivell d'instrucció són variables que tenen un efecte important en la comprensió de la conservació de la matèria, però no tant com s'hauria pogut predir per als alumnes de 17 anys. Els alumnes més joves de l'estudi, de 12 anys comprenen més fàcilment la conservació de la matèria en els canvis d'estats d'agregació que no pas en els canvis químics. En quan a les categories d'Andersson coincideixen amb els resultats de Wattson (1996) en el sentit que les categories Transmutació i Desplaçament recullen poques respostes. En quan a la consistència s'observen diferències importants entre els grups amb instrucció química d'aquells que no en tenen.

Onno de Jong (1996a) analitza l'interès d'un nou instrument d'investigació, els protocols de discussió durant les classes i les sessions de laboratori, per abordar l'estudi de temes concrets de l'ensenyament i aprenentatge de la química, com són els càlculs estequiomètrics i les cèl·lules electroquímiques. Respecte al primer problema, la investigació realitzada amb alumnat de 15-16 anys va mostrar que el concepte de mol en un context microquímic no té significat clar, una situació que és ignorada pel professorat. Els resultats en la resolució de problemes estequiomètrics mostren que l'alumnat elegeix un tipus de proporció que varia i depèn de la manera en que s'ha expressat la quantitat de substància donada (grams o mols). La recerca sobre les cèl·lules electroquímiques amb alumnat de 16 - 17 anys, assenyalava que el mètode del

professorat de raonar a partir d'un context amb significat diferent del dels alumnes no és de gran ajuda perquè compreguin els conceptes i les regles electromecàniques.

Onno de Jong (1996b) fa una anàlisi dels experiments que plantegen problemes a la classe de química. Diu d'entrada que la majoria d'experiments són per confirmar allò que s'ha vist a classe de teoria, d'acord amb el que anomena perspectiva transmissora i, per tant, la demanda cognitiva en el laboratori tendeix a ser baixa. L'autor defensa l'ús d'experiments de laboratori plantejats com a petites investigacions i utilitza el model cíclic de Kempa (1986) que proposa una cadena d'activitats pràctiques per a la resolució de problemes. I creu que poden funcionar en totes les fases del cicle d'aprenentatge.

El professorat hauria d'ampliar les seves habilitat en l'ús d'experiments entesos com a petites investigacions per tal de facilitar que siguin els alumnes que es plantegin problemes ells sols. També hauria de conèixer els mètodes que utilitza l'alumnat per solucionar un experiment plantejat així ja que moltes vegades la visió del problema no és compartida entre el professor i l'alumne.

Landau, L. Lastres L. (1996) fan un estudi descriptiu de les idees de l'alumnat que inicia estudis universitaris a Buenos Aires (Argentina) sobre el concepte de canvi químic i la llei de la conservació de la massa. Cal assenyalar que aquests estudiants no han de tenir necessàriament un formació important en química. El seus resultats confirmen que un canvi químic com l'oxidació del ferro no és clarament interpretat pels estudiants. Tampoc no comprenen clarament la conservació de la massa. Els autors coincideixen amb les explicacions donades anteriorment en el sentit que l'ensenyament de la química emfasitza el nivell simbòlic i la resolució de problemes a expenses del nivell fenomenològic i de partícules.

Àngel Blanco i Teresa Prieto (1996) volen posar de manifest alguns aspectes comuns que troben a les diferents investigacions sobre idees de l'alumnat en química que

s'han fet fins ara. Distingeixen entre les dificultats derivades de la percepció dels fets experimentals, la confusió entre els nivells utilitzats a la química, el llenguatge de l'alumnat i els problemes atribuïbles a l'ensenyament.

Entre els problemes derivats de la percepció dels fenòmens senyalen el problema que presenta allò que és no observable, el problema derivats de la percepció dels sentits que els porta a substancialitzar les propietats i les dificultats que suposa acceptar la discontinuïtat de la matèria.

Pel que fa a la confusió dels nivells en que es treballa a química, segueixen la proposta de Johnstone (1982) que parla de tres nivells: el descriptiu i funcional (substàncies i fenòmens), el representacional i l'explicatiu (teories i models).

En quan als problemes atribuïbles a l'ensenyament indiquen que aquest pot ser una font d'obstacles per a la comprensió de la química. Les objeccions que es plantegen a com es presenta la química s'agrupen en dos apartats: el paper dels models i les seves representacions i, l'ús poc precis del llenguatge. En quan al primer punt, assenyalen la introducció dels conceptes d'àtoms i molècules com si es referissin a fets, l'ús de manera simultània de models atòmics diferents amb una presentació no adequada i, la representació de les reaccions utilitzant cercles de diferents colors que ajuden a mantenir una concepció additiva.

M. Àngel Gómez Crespo (1996) en una revisió sobre les idees alternatives de l'alumnat en química apunta que la necessitat d'un llenguatge altament simbòlic i de models analògics en aquesta disciplina, resulten perillosos per l'alumnat. Així distingeix entre tres tipus d'idees i dificultats: les espontànies, les idees induïdes pels medis de comunicació i l'ensenyament, i les idees analògiques. Aquestes últimes també estan generades per l'ensenyament.

Salcedo Torres i García García (1997) han fet un estudi sobre l'ensenyament de les teories àcid-base en base a una estratègia didàctica d'aprenentatge per investigació. Els autors exploren el coneixement de l'alumnat sobre la naturalesa elèctrica de la matèria, després s'estableix la diferenciació entre conducció elèctrica i electroquímica i els conceptes àcid-base i es fa l'estudi del sòl com a fenomen natural.

En resum, podem dir que el conjunt de recerques portades a terme fins el 1990 focalitzen la seva atenció en l'adquisició d'alguns conceptes de forma aïllada per part de l'alumnat. Des del nostre punt de vista, per a adquirir la capacitat d'interpretació dels fenòmens químics cal aprendre a mirar els esdeveniments, els fenòmens d'una altra manera. L'alumnat de 16 - 17 anys està acostumat a interpretar els fenòmens físics, però no els fenòmens químics, que per defecte els interpreta com a físics.

Algunes investigacions han centrat els esforços en establir una jerarquia entre diferents nivells d'explicació del canvi químic que sembla que seria necessari superar-los progressivament per tal d'avançar en la interpretació dels canvis químics. Avui, però, no podem afirmar que hi hagi un únic itinerari per arribar a la interpretació dels canvis en temes d'interacció entre les substàncies. Sembla que aquests tipus de conclusions només es poden sustentar si en la investigació es posa l'accent de manera prioritària en la complexitat dels continguts des del punt de vista de la disciplina, sense tenir en compte els lligams que espontàniament l'alumnat fa entre els conceptes i com els usa.

Els estudis portats a terme per Andersson (1990) que han estat seguits per Rod Wattson i Teresa Prieto (1994) en el nostre país, han establert uns criteris de classificació de les explicacions de l'alumnat sobre el canvi químic que han demostrat ser molt útils, però es restringeixen únicament a aquest concepte. Hélène Stavridou (1990) ha fixat unes etapes en l'evolució del contingut semàntic del concepte de reacció química que va des de les manifestacions fenomenològiques fins als canvis en la matèria.

D'altra banda la línia d'investigació entorn el binomi canvi /conservació explotada per molts autors, de moment, ha obtingut només resultats parcials per tal descriure l'estat conceptual del procés de construcció del concepte de canvi químic.

1.2 Sobre el model discontinu de la matèria

El model corpuscular és central en la química, com a ciència, i la seva fecunditat explicativa deriva de la seva complexitat. La comprensió i l'ús dels conceptes atòmics i moleculars ha estat objecte de moltes recerques.

Aureli Caamaño (1993) en la seva recerca sobre la composició i estructura de la matèria i el canvi químic, a nivell de Secundària, detecta una manca de connexió entre els diferents nivells de representació, les substàncies, les fórmules i els models. En les seves conclusions remarca la importància que el professorat faci un esment especial a la relació entre les diferents formes de representació utilitzades en química per tal d'afavorir l'aprenentatge per part de l'alumnat.

Alguns autors, com Josette Carretto i Roger Viovy (1994) recorden que diversos treballs d'investigació sobre la introducció dels models de partícules, en l'ensenyament de les ciències físiques, focalitzen l'atenció en els problemes que hi ha perquè l'alumnat faci el pas de l'estructura molecular a les propietats macroscòpiques.

D'altres, com Claudine Larcher et al (1994), a partir dels estudis fets prèviament sobre les transformacions físiques de la matèria (Barboux et al, 1987) es centren en analitzar com un treball de simbolització amb un model de partícules divisible permet avançar en la conceptualització de les substàncies.

Encara d'altres, com Lola Rivera (1994) a partir de l'estudi de diferents textos històrics, diu que pel que fa al canvi químic, de l'estudi de la història de l'atomisme es dedueix

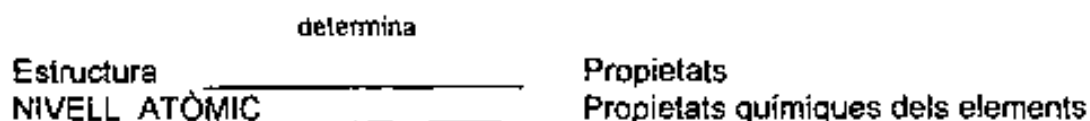
que no es pot confiar excessivament en el valor explicatiu del model atòmic, ja que allò que millor explica és precisament allò que no canvia: els àtoms.

Ferro Fernández, V.R. (1995) reflexiona sobre l'ensenyament de la Química a les aules universitàries i esmenta un estudi que li permet dir que l'alumna no diferencia, en essència, un enfocament clàssic i quàntic en l'estudi de l'estructura de la substància, ja que té una comprensió no diferenciada on es barregen els dos tipus d'explicacions. No distingeix les causes de l'enllaç covalent en un enfocament clàssic i quàntic. Ferro Fernández proposa abordar l'aspecte estructural de la reacció a nivell clàssic, des de l'àtom fins a la interacció entre molècules i renunciar a la aproximació quàntica, que normalment els llibres de text presenten incompleta i sense suport metodològic.

De manera contradictòria, l'estructura de la substància i la reacció química semblen ser dos problemes diferents, relacionats, el primer amb la inèrcia i el segon, amb el canvi, amb el moviment i la dinàmica, en la substància. La solució d'aquesta aparent contradicció pot estar en presentar la interacció a nivells atòmic, molecular i intermolecular com una forma específica de moviment, en estreta relació amb la substància.

L'estructura és l'aspecte formal del moviment químic de la matèria, i la seva expressió espacial és la geometria molecular. Per superar aquesta complexitat cal relacionar l'estudi de la reacció amb el seu aspecte estructural i acompanyar la descripció de l'estat estructural amb l'avaluació de la transformació que potencialment el pot modificar. El reconeixement de la determinació de l'estructura sobre les propietats de la substància té caràcter rector en l'estudi de la Química.

La relació entre els tres nivells de complexitat en la organització estructural de la substància i les propietats és la següent:



NIVELL MOLECULAR _____
NIVELL INTERMOLECULAR _____

Propietats químiques de la substància
Propietats físiques i químico-físiques
de la substància

Marjolein Vollebregt (1995) seguint les orientacions del mètode d'investigació evolutiva (Verdonk i Linjse, 1993) ha dissenyat una seqüència d'activitats o estructura didàctica per a la introducció del concepte de partícules. Entre els seus primers resultats destaca que en una seqüència seguida en un centre educatiu holandès amb alumnat de 15 - 16 anys, l'alumnat inventa espontàniament qualsevol tipus de model que lògicament només és útil per explicar determinats fenòmens. En aquest cas és més difícil que el professor o professora pugui introduir canvis en el model, a diferència del que es fa en les seqüències del CLIS Project. Un altre aspecte important és que per a l'alumnat els esdeveniments a nivell macroscòpic i l'evolució del sistema microscòpic de partícules són la mateixa cosa, és a dir no hi ha influència de l'un sobre l'altre.

L'autora creu que a l'educació bàsica és necessari que l'alumnat tingui un gran quantitat de coneixement sobre els esdeveniments macroscòpics prèviament a poder explicar-lo en termes de partícules.

Joan Antoni Llorens (1996) senyala que la principal dificultat per a la construcció escolar d'una concepció corpuscular de la matèria prové de la contradicció que hi ha entre les idees corpusculars i la percepció continua de la matèria. Proposa distingir tres etapes successives: un primer model de partícules- buit que sigui primer estàtic i després dinàmic; un segon model de Dalton per explicar les lleis ponderals i la conservació de l'element i els diferents models d'estructura atòmica i enllaç de complexitat progressiva.

A partir d'activitats amb gasos proposa introduir un primer model de partícules que incorpora la idea de proximitat i llunyania de les partícules. En aquesta primera etapa el que sembla més difícil és la transició entre la concepció estàtica i la cinètica del model de partícules. Les raons podrien ser la capacitat explicativa que té el model

estàtic, la dificultat per expressar gràficament el model cinètic i de disposar d'exemples audiovisuals clars que mostrin l'explicació cinètico-copular dels fenòmens.

Allan Harrison i David Treagust (1996) en un estudi basat en entrevistes amb estudiants dels graus 8-10 explora els models mentals dels estudiants de Secundària sobre els àtoms i les molècules, els quals prefereixen els que els representen com entitats discretes i concretes. Els autors parteixen del concepte de model mental de Vosniadou entès com "un tipus de representació mental, una representació analògica que les persones generen durant el seu funcionament cognitiu", però ells utilitzen el terme "model mental" per descriure les seves interpretacions de les concepcions individuals dels estudiants sobre els àtoms i les molècules, en el seu estudi.

Els autors tenen en compte la dificultat dels estudiants en separar el model de la realitat i, el fet que el llenguatge que és comú a la química i la biologia es una font de confusió, ja que en els dos casos es parla de nuclis i de capes. Alguns estudiants creuen que els àtoms es poden reproduir i créixer i que el nucli atòmic es pot dividir. Les capes electròniques s'imaginen com capes que protegeixen els àtoms i que els núvols d'electrons són estructures en les quals els electrons estan encastats.

Els autors consideren que els estudiants no interpreten les metàfores i les analogies amb la intenció que se'ls proposa, sinó que transfereixen atributs de l'analogia del professor al problema que s'analitza, de manera literal i sense fer diferències. En aquest cas, els àtoms i les molècules són boles, prunes o elements del sistema solar, tal com ja va assenyalar Duit (1991) en la revisió que esmentem a l'apartat 3.2 El raonament analògic.

L'article també esmenta el treball d'altres autors que van explorar les metàfores "un àtom és un núvol d'electrons" i "un àtom és un conjunt de capes electròniques" i mostren que molts estudiants no són capaços de distingir quin és el camp d'aplicació de la metàfora o l'analogia. Els autors recorden els diferents tipus de models que

s'utilitzen en ciències. A la classificació establerta per Àngela Ingham i al. (1991) entre models maqueta, analògics, matemàtics, teòrics i arquetip, n'afegeixen dos més: les fórmules químiques i els mapes i diagrames, com per exemple, els diagrames de flux de les síntesis químiques.

Seguint a Grosslight (1991) distingeixen entre els estudiants els mateixos tres nivells generals de pensar sobre els models que ja va esmentar Marcia Linn (1991). Aquests corresponen a tres visions epistemològiques. Un primer nivell pensa que els models són simples còpies de la realitat i, imaginem una correspondència 1:1 entre el model i la realitat. El segon nivell considera que hi ha una intenció específica en la manera que el model s'ha construït; els estudiants en aquest nivell continuen donant més importància al model i a la realitat que vol representar que no pas a les idees que representa. Un tercer nivell verifica que el model serveix per desenvolupar i comprovar les idees més que per representar la realitat.

En resum, els estudiants s'identifiquen total o parcialment amb les explicacions dels models que dona el professor o el llibre de text, ja que moltes de les seves concepcions alternatives tenen el seu origen en la instrucció. No es tracta tant de models mentals clarament formulats ni ben articulats, sinó més aviat de simples reconciliacions entre la imatge quotidiana de un núvol amb el que han sentit en el llenguatge científic i, en el discurs del professor.

A tall de síntesi, podem dir que malgrat que moltes recerques de didàctica de la química han intentat esbrinar les idees de l'alumnat sobre la naturalesa particulada dels materials, s'han dedicat pocs esforços als problemes relacionats als aspectes conservatius de la reacció química que connecten amb la naturalesa particulada dels materials. Hi ha pocs estudis referents a la conservació qualitativa de la matèria, és a dir a la conservació de la substància o a la conservació de l'element químic. Indiquem aquest aspecte perquè ens sembla central la comprensió del binomi conservació / canvi per a interioritzar el concepte de canvi químic.

A més, coincidim amb l'opinió de Roger Viovy (1993) en el sentit que no està clara la contribució de les explicacions en termes del model atòmic en el procés d'aprenentatge del concepte de canvi químic, especialment en les edats de 16 a 18 que són objecte d'aquesta recerca. Molt pocs alumnes dominen el model corpuscular (teoria atòmica i teoria cinètico - molecular) quan acaben l'escolaritat i presenten una barreja dels nous temes apresos amb significats de les teories ingènues inicials (Sanmartí, 1990).

I també coincidim amb altres autors en la idea que els actuals propostes d'intervenció didàctica a nivell de Secundària precisament carreguen les tintes en les descripcions a nivell microscòpic, en detriment de les explicacions en termes de les substàncies. És per tot això que aquest no serà un element important en la recerca.

1.3 Estudis sobre l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat

En els darrers anys s'han començat a plantejar recerques que en lloc d'abordar l'estudi entorn a un o a diversos conceptes químics, han intentat iniciar l'anàlisi de l'elaboració per part de l'alumnat d'explicacions dels fenòmens químics. I si s'escau, veure si hi ha alguna relació en l'aprenentatge simultani de diferents conceptes que formen part d'un mateix domini conceptual. Una de les vies per iniciar aquests estudis ha estat la de veure com s'utilitzen les analogies o la causalitat a l'hora de construir aquestes explicacions. Una altra via ha estat la d'explorar la utilitat de nous constructes com els models mentals o els perfils conceptuals per descriure el procés de creació de significats científics en un context escolar.

Juan I. Pozo et al. (1991) estableixen una relació entre el rendiment en l'aprenentatge de la química i certes variables. Entre les variables esmenta el concepte de capacitat mental que sorgeix de la teoria neopiagetiana i que es basa en la noció de camp d'activació, entre d'altres nocions. El camp d'activació es refereix al conjunt

d'esquemes que són activats davant d'un fenomen concret. Una altre variable a la que fan referència els autors és la dependència/ independència de camp.

Eduardo Mortimer (1993) desenvolupa la idea de perfil conceptual (CP) per analitzar l'ensenyament de la teoria de la matèria, en concret de l'atomisme. L'atomisme és una idea central en la química, un concepte amb un CP ampli i clar. Hi ha diferents models atòmics que són útils per explicar fenòmens específics i per tant, es poden utilitzar en diferents contextos.

La manca d'evidència definitiva de l'existència dels àtoms durant el segle XIX va fer que les anomalies, els conflictes i els experiments crítics no tinguessin efectivitat com a alternativa a la continuïtat de la matèria i altres idees alternatives. Per contra, les altres idees alternatives semblen ser més coherents i plausibles per a l'alumnat, amb l'inconvenient que aquestes idees presenten alguns obstacles epistemològics i ontològics per al desenvolupament de l'atomisme científic, fins i tot a nivell elemental.

La primera zona del perfil conceptual de l'atomisme és realista i es caracteritza per l'absència de discontinuïtat en la noció de matèria. Aquesta zona inclou la negació de l'atomisme i el principal obstacle és la negació del buit. Relacionada amb aquest concepte de la matèria, hi ha la noció d'estats físics de la matèria, estretament lligada a les característiques externes i sensibles dels materials.

Mortimer anomena la segona zona del perfil: atomisme substancialista. La característica de la zona és utilitzar les partícules en les representacions del fenomen però pensar-hi com si fossin grans de matèria que es dilaten, contrauen i canvien d'estat. Aquesta analogia entre el món macroscòpic i el microscòpic és el principal obstacle epistemològic per al desenvolupament conceptual posterior. El fet d'estar en la segona zona del CP no significa haver superat l'obstacle epistemològic de l'anterior, de manera que alguns estudiants parlen de partícules però no accepten l'existència del buit.

La tercera zona del CP atòmic correspon a la clàssica noció d'àtom com a partícula material i unitat bàsica de la matèria que es conserva durant la reaccions químiques. L'obstacle epistemològic en aquesta zona és la manca d'ús del raonament conservatiu en qualsevol context.

Mortimer indica que les tres categories (continuitat/ discontinuïtat, substancialisme/ no substancialisme, absència/ presència de la conservació de la massa) són suficients per a l'anàlisi de les idees atomístiques abans de la instrucció. Com s'ha mostrat en moltes recerques, l'alumnat no utilitza les altres categories característiques de l'atomisme clàssic: moviment- energia; interacció- ordenació.

Malgrat la diferència epistemològica entre l'atomisme clàssic i les altres dues zones del perfil, totes les concepcions consideren l'àtom quelcom material. En aquest sentit tots els àtoms pertanyen a la mateixa categoria ontològica. La principal diferència està en que en la visió clàssica no podem atribuir tot el comportament als àtoms, perquè algunes formes de comportament (bullir, fondre, dilatar-se) són conseqüència del moviment dels àtoms, molècules o ions en el buit, i de la interacció entre ells que pot variar a mesura que l'energia del sistema es modifica. La concepció d'àtom només passa a un altra categoria ontològica amb la mecànica quàntica que veu els àtoms no com partícules materials sinó com objectes quàntics.

Rodney Thiele i David Treagust (1994) seguint el recent interès existent a nivell internacional per l'ús d'analogies en l'educació científica, fan un examen interpretatiu de com el professorat de química utilitza les analogies en tres aspectes: perquè decideixen fer-les servir, quines característiques destaquen i d'on provenen les analogies plantejades a classe.

En l'estudi es van gravar en vídeo els temes d'efectes de l'energia, la velocitat de reacció i l'equilibri químic. Es van detectar unes 45 analogies, de les quals es va fer

una classificació del tipus d'analogia i un anàlisi en funció dels tres aspectes que volia esbrinar la recerca i que ja hem esmentat.

Les analogies s'utilitzen quan els professors consideren que els estudiants no han entès una explicació inicial, i ho fan, tant espontàniament com de manera planificada. La font de les analogies per als professors és la seva pròpia experiència o les lectures dels llibres de text. S'utilitzen tant analogies que són simples, com les enriquides o les extenses però, a vegades, són més del camp de referència dels professors que dels estudiants. Els professors observats són conscients de la necessitat de l'ús d'analogies per l'alumnat, però no són conscients de la efectivitat que tenen en l'aprenentatge.

Entre les analogies que es presenten a classe, les que són simplement de comparació sembla que tenen un impacte emocional. El professorat considera que tenen molt poder explicatiu aquelles que serveixen per remarcar alguns atributs seleccionats. Les analogies gràfiques s'utilitzen fonamentalment per augmentar la familiaritat del pensament analògic, però es remarcable la dificultat del professorat en assenyalar les limitacions de les analogies. Només dos dels professors observats ho fan.

Núria Solsona (1994) va utilitzar una part de la xarxa sistèmica de Brosnan (1990) per analitzar les respostes de l'alumnat a la primera fase d'aquesta recerca. Per això, va afegir una nova categoria per analitzar el què canvia durant un canvi químic, l'ús d'analogies. La nova categoria va permetre recollir respostes del tipus "La poma s'ha podrit perquè l'aire rovell fa les seves partícules i es moren". En aquest cas, el rovell del clau funciona com un model analògic, però no està clar que sigui per interpretar el fenomen com un canvi químic ja que només es parla de la semblança entre els fenòmens, sense fer referència a l'estructura. Els avantatges que presenta l'ús del "clau que es rovell" com a analogia es que es tracta d'un fenomen conegut, proper, fàcilment reproduïble i en el que no s'obtenen gasos com a producte de la reacció. És a dir, és un bon referent per a estimular el pensament analògic sobre el canvi químic a partir del qual,

si s'aconsegueix l'estadi de transferència permetria entendre millor el concepte a l'alumnat.

Rufina Gutiérrez (1994) reconeix que hi ha molts modes de raonar i s'interessa pel causal. Investiga les característiques del pensament causal en la física de sentit comú restringida a l'àmbit de la dinàmica elemental, en el marc de referència dels models mentals, particularment el model mental de De Kleer i Brown i utilitzant les entrevistes *teachback*. L'autora planteja que és inútil buscar coherència en l'àmbit semàntic (continguts) del pensament de l'alumnat, ja que la majoria d'investigacions afirmen que el pensament espontani de les persones sempre és incoherent. La coherència cal buscar-la en l'àmbit sintàctic, és a dir, en la manera de raonar les persones, en els principis que articulen, com un engranatge de suport de la dinàmica dels continguts mentals.

En les seves conclusions Gutiérrez conclou que tots els subjectes del seu estudi mostren una concepció causal espontània que implica un compromís ontològic amb la realitat que examinen. Això vol dir que utilitzen la causalitat no de forma legal, ni associativa, sinó que ho fan de manera productiva. En la construcció dels models causals explicatius els alumnes es veuen restringits per la salvaguarda del principi causal, per les condicions de coherència, correspondència i robustesa. Si alguna d'aquestes condicions falla, es posa en marxa un procés de reconstrucció dels models causals fins que es compleixen les condicions. Per a que això es produeixi a vegades, els alumnes introdueixen candidats causals mítics i temps mítics.

Durant el procés de *teachback* tots els alumnes construeixen models causals explicatius amb estructures complexes encara que el grup de COU ho fa més freqüentment que el d'EGB i, amb més candidats causals. Les dades donen diferències qualitatives, encara que no quantitatives en el grup de COU respecte al d'EGB.

Mariani i Ogborn (1995) han portat a terme una recerca sobre la ontologia del sentit comú que els ha permès explorar les estructures profundes del pensament, no directament en les respostes a les preguntes plantejades, sinó en el models consistents utilitzats a l'hora d'elaborar respostes als esdeveniments físics.

Josep Lluís Estaña (1996) en la seva recerca sobre la importància dels exemples en les explicacions dels estudiants de química analitza tres situacions experimentals: l'escalfament del sucre, del S i el Fe i del Fe i el HCl. En l'estudi de les seves dades, observa una funcionalitat dels conceptes lligada al llenguatge col·loquial i, intenta identificar si entre les possibles situacions experimentals n'hi ha alguna que pugui servir d'activitat d'ancoratge per a l'aprenentatge del concepte de canvi químic.

Indica que una possible categorització de les respostes en base a les definicions no funciona ni discrimina. Després de seguir diferents itineraris intel·lectuals, mitjançant categories estructurants i generalitzadores, categoritza les respostes en base a la xarxa de Brosnan (1990) afegint-hi les categories "analogia" i "substancialitzadors". Observa que l'alumnat mostra una major tendència a la substancialització en l'experiment del sucre que en els altres, probablement degut al format o al contingut que implica l'experiment.

Finalment identifica quatre unitats de significat bàsiques per a la comprensió dels canvis químics: la diferenciació dels conceptes objecte/ substància, l'estructura de la matèria, la conservació de la massa i la idea de canvi. En base a aquestes categories, agrupa les respostes de l'alumnat en cinc grups diferenciats, on observa una certa interrelació entre les explicacions a cada un dels fenòmens i, el conceptes de mescla i compost que utilitzen. I construeix una xarxa patró amb l'objectiu que el professorat pugui recollir fàcilment les respostes de l'alumnat en base a les quatre categories esmentades.

A.H. Johnstone et al (1997) han portat a terme un estudi sobre el raonament de l'alumnat de 8 a 14 anys mitjançant entrevistes sobre fenòmens que es consideraven especialment suggerents. En primer lloc van observar que el que les persones adultes considerem grans preguntes com el perquè del dia i la nit, el perquè la Coca Cola puja per una canya o la condensació en una finestra, l'alumnat no hi dóna més importància. Això els porta a plantejar-se de manera global l'ensenyament formal de la ciència.

Una anàlisi de les respostes a la primera pregunta: Què veus, què passa? mostra que els alumnes de totes les edats observen i descriuen de manera competent el que veuen. L'ús d'un vocabulari cada vegada més ric sembla arribar a un punt màxim a l'edat de 11 anys. Les respostes a la segona pregunta: Per què creus què passa? suggereixen informació de molt interès. Les explicacions de 100 estudiants de 8 a 11 anys sovint són científicament inacceptables, però tenen consistència lògica en elles mateixes. Un segon aspecte és que són incompletes i es concentren entre l'inici i el final d'una cadena causa-efecte. En molts casos, es diu el començament i el final de la cadena sense res entremig, per exemple "La màquina de vapor funciona perquè poses foc a sota". En els alumnes més grans, de 12 a 14 anys, les cadenes causa -efecte són més completes només en el cas d'aquelles fenòmens que ja han sigut estudiats formalment.

Els autors afirmen que la vertadera essència de la ciència està en el raonament de causa -efecte com a resposta a les preguntes que es fa sobre el món natural. I que cal oferir coneixements a l'alumnat sobre aquest raonament en les propostes curriculars que es facin a la Secundària.

En resum, creiem que en didàctica de les ciències cada vegada va prenent més importància, juntament amb la investigació sobre l'aprenentatge dels continguts científics tots aquells aspectes que tenen relació amb els objectius generals de l'educació científica. En aquest cas hem volgut recollir aquells estudis, avui encara

esparsos, que fan referència a l'aprenentatge de l'elaboració d'explicacions als fenòmens químics.

Un últim camp d'investigació cada vegada més present en la didàctica de les ciències és el de l'estudi de les actituds i idees del professorat. No en farem un recull en aquesta recerca, perquè creiem que excedeix els seus límits però si volem esmentar un sol exemple per il·lustrar com pot influir en l'aprenentatge de l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat. Tullberg, Strömdahl i Lybeck (1994) investiguen la concepció de mol que tenen un grup de professors de química suecs i troben que la concepció del mol que tenen els professors és un factor decisiu a l'hora d'instrumentar una estratègia d'ensenyament específica.

1.4 Estudis sobre l'ús del llenguatge

Diferents estudis han assignat al llenguatge el caràcter d'observable dels processos cognitius, i això permet usar el propi llenguatge de l'alumnat com un valuós instrument per diagnosticar aquest processos i la seva evolució conceptual.

Alguns autors (Aureli Caamaño, 1997) opinen que existeix una àrea fronterera entre la ciència i el llenguatge des de la perspectiva de l'ensenyament de les ciències i que està plena de problemes conflictius. En la nostra recerca, si volem investigar quina "ciència" està construint l'alumnat, ens interessa remarcar la idea del text com a expressió de la ciència escrita a la qual està donant significat l'alumnat. Mitjançant aquest instrument podrem investigar la coherència del conjunt, de la ciència escolar que es dona en el context de l'aula i de la seva manifestació escrita.

Per tant, tal com hem dit a la introducció del capítol, a continuació ressenyem algunes investigacions que de manera central o parcialment han inclòs entre les seves dades o resultats les dificultats derivades de l'ús del llenguatge en les classes de ciències

experimentals. Tal com explicarem en el proper capítol, amb més detall, no es tracta d'analitzar únicament les dificultats derivades de l'ús d'un llenguatge específic en ciències. Ens interessa prestar atenció a la funció del llenguatge en tant que element de transmissió i contrastació de les idees atès que una activitat d'aprenentatge és també una activitat de comunicació.

A més, els llibres de text no utilitzen sempre llenguatges similars i els professors i les professores de ciències, a l'aula, estableixen connexions entre els conceptes i els fenòmens que a vegades resulten implícites i són comprensibles per a les persones expertes però no per als aprenents. Tot això influeix en els resultats de la intervenció didàctica que volem analitzar en aquesta recerca.

Autors com Ten Voorde, H.H. (1979) han estudiat el desenvolupament del llenguatge químic i l'educació químic. L'autor assenyala el diferent significat de la paraula "coure" pel professor o professora, una substància simple, mentre que per l'alumnat, és una mescla o una substància composta. En la formació del llenguatge científic d'una disciplina, certs camps semàntics tenen una estructura semàntica, en la qual paraules fora del llenguatge quotidià continuen essent importants. Per exemple: "*starts glowing*", "comença a encendre" arrossega l'ús de paraules com "la calor és necessària". El professor o professora ha de ser capaç de diferenciar entre camps semàntics correctes i erronis per tal d'oferir un llenguatge científic que pugui ser construït en un context determinat. Amb la recerca didàctica dels camps semàntics podem seguir-la pista al significat de les paraules a partir del seu context.

Quan un alumne parla d'un concepte, d'un fenomen, és capaç d'explicar el tema amb les paraules que té a la seva disposició, que normalment no són del llenguatge científic, i que provenen de la seva pròpia experiència. L'alumnat veu el paper de la calor en una reacció, mitjançant expressions com "s'ha produït calor" i "a través del contacte" que nomena termes descriptius permet parlar del tema en un nou context.

Aquest canvi de context l'autor l'anomena canvi de nivell (pas d'un llenguatge conversacional de nivell bàsic a un altre que prepara per passar a un nivell teòric).

Ten Voorde esbrina l'origen d'una xarxa descriptiva de relacions i indica que el primer canvi de nivell està caracteritzat per tres aspectes: 1) L'anàlisi del què succeeix 2) El canvi de tema, és a dir el canvi de la relació tema-llenguatge o canvi en la percepció a favor d'un nivell descriptiu, i 3) la formalització disciplinar.

Vogezelang (1987) va assenyalar els problemes lingüístics que hi ha en l'ús del terme "cours", que tant es pot referir a l'objecte com a la substància i creu que quan l'alumnat diu "aquest cours", reconeix la relació que hi ha entre l'objecte concret demostrable i el concepte abstracte de "substància". L'autor fa un estudi dels camps lingüístics associats a la conservació de la substància en els llibres de text que són dos: els que s'estructuren entorn als verbs "esdevé", "es torna" i "canvia" i els que fan referència a l'aparició de noves substàncies amb l'ús dels termes "apareix", "desapareix" i "nova substància".

Josette Carretto i Roger Viovy (1994) distingeix tres tipus de llenguatge en la construcció del concepte de reacció química: la interferència del llenguatge quotidià que els autors anomenem natural, el llenguatge simbòlic i el llenguatge experimental. En quan al llenguatge simbòlic, els autors assenyalen dues dificultats: la confusió que es pot crear quan es parla d'equació química amb l'equació matemàtica; i les dificultats que planteja la necessitat de donar a l'escriptura simbòlica significat a nivell macroscòpic i microscòpic, al mateix temps. Està clar que l'equivalència estrictament matemàtica no té significat físic ja que en la reacció de síntesi $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$, el mig mol de la molècula d'oxigen es convertirà en un mol d'àtoms d'oxigen presents en el mol d' H_2O que s'ha format.

Onno de Jong et al (1995) suggereixen una categoria de problemes d'ensenyament relacionats amb l'ús d'una terminologia imprecisa per part del professorat que causa moltes confusions entre els estudiants.

Han observat que els professors en alguns casos parlen de substàncies quan en realitat estan parlant de partícules. Per exemple quan en una reacció redox diuen "el coure és l'oxidant" o "el coure es dedica a guanyar electrons" implícitament estan parlant del catió. Com que no queda clara la diferència entre l'element i el catió, això no ajuda a identificar el reactiu com un agent oxidant. De manera semblant, quan els professors utilitzen expressions com "l'oxidant es redueix" o "el reductor s'oxida", la complexitat lingüística de les frases és un motiu de confusió pels estudiants per identificar el significat dels dos tipus de reactius.

Nathalie Évrard et al (1995) estudien la introducció del concepte d'equilibri químic per part de tres professors que donen classes a alumnes de 16-17 anys, de diferents tipus d'Ensenyament Secundari. Per això han utilitzat dos instruments: la comptabilització de termes utilitzats en els discurs i una representació esquemàtica de les associacions de termes fetes per cada professor mitjançant trames conceptuals. El treball parteix de la hipòtesi que la estructura del discurs oral de l'ensenyant influeix en l'estructuració del coneixement de l'alumne.

Els autors opinen que en un discurs pedagògic, cal proposar equivalències semàntiques entre un terme científic i la seva reformulació com a conseqüència de la transposició didàctica. A diferència del que succeeix en un discurs entre científics, és a dir entre iguals, on cada concepte es designa per un sol nom.

A nivell metodològic quan identifiquen un terme l'examinen en el seu context lèxic que queda definit, arbitràriament per un interval de dues línies. Si identifiquen un segon terme en el mateix interval, analitzen els lligams entre els dos termes, i així successivament. Per abordar les xarxes terminològiques relacionals estableixen les

"diades" que són estructures en els que dos termes estan relacionats entre ells una o varies vegades. Anàlogament estableixen les triades que creuen és una mesura de l'estructuració complexa del discurs.

Entre els resultats observen que en els tres tipus de discurs construïts pels professors predominen les diades, on els termes només s'han relacionat una sola vegada. Els autors creuen que aquest tipus d'anàlisi pot ser útil en la formació inicial dels ensenyants.

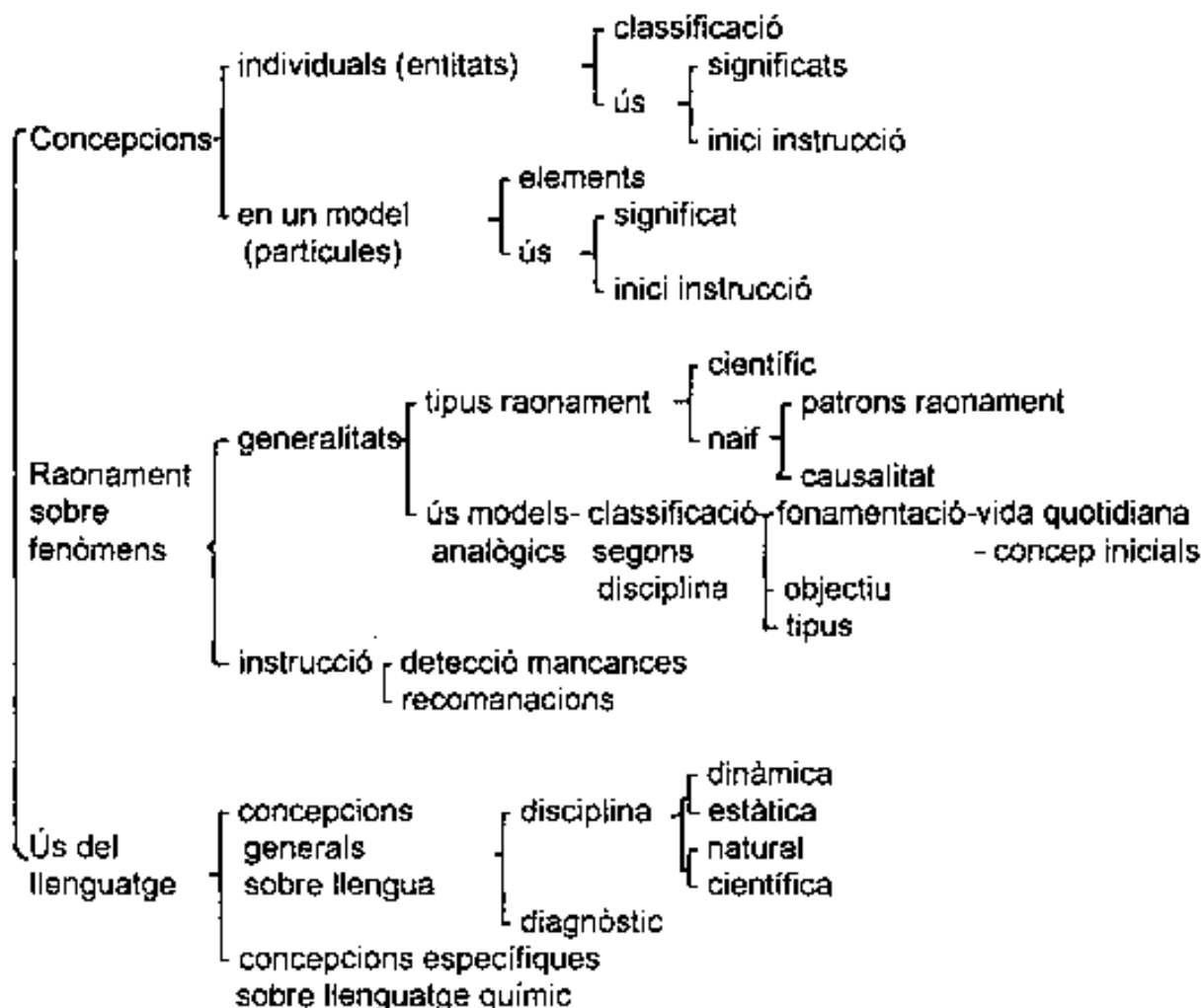
Neus Sanmartí (1997) ha portat a terme un conjunt de treballs amb l'objectiu que els estudiants prenguin consciència d'algunes diferències entre diverses formes textuais. En concret en relació a la descripció intenta que els alumnes sàpiguen valorar si inclouen les característiques significatives en relació al tema objecte d'estudi. S'observa que en relació a l'estudi del canvi químic entre el S i el Fe, els estudiants descriuen la forma de les llimadures de Fe, un aspecte que no és significatiu. Per altra banda, l'autora assenyala que habitualment s'identifica "observar" a "mirar sense manipular", és a dir l'alumnat no té en compte la funció mediatora de l'instrument o l'acció.

En quan a les definicions, l'autora constata les dificultats per identificar el concepte supraordinat dels altres, és a dir de distingir entre els conceptes-substantius "mescla" o "compost" i l'acció-verb "mesclar" o "compondre". Un tercer tipus de problemes es relaciona amb la necessitat de seleccionar els atributs necessaris i suficients que caracteritzen un concepte. Crida l'atenció la gran varietat d'atributs utilitzats en la definició d'un mateix concepte.

En quan als textos justificatius, l'autora observa problemes derivats de la no identificació del marc teòric de referència que permet extreure raons o arguments.

1.5 Xarxa sistèmica de resum de les recerques fetes

La següent xarxa sistèmica resumeix els diferents estudis que es consideren antecedents de la nostra recerca. La xarxa vol classificar les recerques en funció de si fan referència a conceptes químics, a l'estudi dels raonament sobre fenòmens i a l'ús del llenguatge.



En resum, podem dir que la majoria de les investigacions portades a terme fins ara, en el món de la didàctica són descripcions de les idees de l'alumnat. Probablement, com indica Duschl (1994) ha arribat el moment d'admetre que algunes temàtiques,

problemes o preguntes poden ser substituïdes per d'altres. Després d'un llarg període de desenvolupament d'investigacions bàsicament descriptives, ens interessa avançar en la línia dels treballs interpretatius per poder comprendre els problemes més significatius relacionats amb l'aprenentatge científic.

Per això està prenent tanta importància l'estudi de l'elaboració d'explicacions per part de l'alumnat, l'anàlisi de l'ús de les analogies, la investigació de com construeix el discurs explicatiu dels fenòmens químics, si utilitza la causalitat, etc.

Un altre camp també de molta actualitat en les línies d'investigació didàctica és el de l'estudi de les idees i accions del professorat durant el procés d'ensenyament i aprenentatge, però aquest quedarà fora d'aquesta recerca per tal com ha estat definida.

En la relació feta d'antecedents de la recerca s'observa que a algunes àrees, de moment s'ha dedicat poca atenció. Ens referim a l'elaboració d'explicacions dels fenòmens químics per part de l'alumnat, és a dir de la relació entre els diferents conceptes químics necessaris per explicar-los. Aquest serà un dels objectius de la nostra recerca. En l'elaboració d'explicacions, l'alumnat no parteix d'un fet químic, d'un referent empíric que explica amb paraules. Per a les persones expertes, el text és un instrument transformador de les idees. Però, en el cas de l'alumnat, en realitat, s'interioritzen, es memoritzen, es copien unes paraules que s'han presentat a l'aula mitjançant els textos escrits i reforçades pel discurs del professor o professora. Aquestes paraules s'utilitzen amb un valor dubtós per part de l'alumnat que parla amb un llenguatge que reconeix la comunitat científica però que de moment no és significatiu.

En el nostre cas pretenem abordar els problemes que es presenten en l'aprenentatge del concepte de canvi químic. Analitzar la manca de connexió entre les explicacions macroscòpiques i les microscòpiques i, entre la interpretació dels fenòmens químics i

l'explicació teòrica d'aquests. Volem també fer una proposta de modelització de les diverses vies que segueix l'alumnat en el procés d'aprenentatge i suggerir vies d'actuació per tal de millorar el model de canvi químic que ha construït cada noia o cada noi, abans d'iniciar els estudis universitaris.

II. Marc teòric de la recerca

2. Orientacions bàsiques de la investigació en didàctica de les ciències

2.1 El model cognitiu de ciència

2.1.1 Els perfils conceptuals

2.1.2 La ciència escolar

2.2 El constructivisme

3. L'anàlisi del discurs

3.1 El raonament analògic

3.2 El raonament causal

4. El procés d'adquisició del coneixement escolar

4.1 El coneixement escolar prescriptiu: el currículum

4.2 El coneixement escolar en els llibres de text

4.3 El referent empíric: l'experimentació escolar

En el capítol anterior hem analitzat els antecedents de la recerca i en aquest capítol ens proposem caracteritzar el marc teòric que emmarca la recerca.

Volem explicitar un marc teòric que defineixi unes regles de joc que ens permetin investigar en la línia de les mancances que hem detectat en els antecedents de la recerca, és a dir en com l'alumnat construeix les explicacions dels fenòmens químics. Els diferents apartats del marc teòric estan en clara relació amb els aspectes investigats en la recerca. En el primer apartat, entre les orientacions bàsiques de la investigació en didàctica de les ciències i, coherentment amb el que plantejarem en l'apartat 6. Metodologia de la recerca, on indiquem que qualsevol recerca ha d'explicitar el marc teòric del seu treball, ens proposem exposar el referent epistemològic del nostre treball. Des de la perspectiva de les ciències cognitives, intentarem caracteritzar els "models teòrics" que seran un dels instruments centrals de la recerca (Izquierdo, 1996). També farem un breu repàs de les diferents accions del terme model i els seus usos en la investigació didàctica.

En el mateix apartat hem inclòs les reflexions de Mortimer (1993) sobre els perfils conceptuals, un instrument per categoritzar els resultats de la investigació. Nosaltres no els utilitzem en la mateixa perspectiva que ell els va establir. L'ús que en farem serà lleugerament diferent ja que ens seran útils per caracteritzar els diversos models teòrics de canvi químic de l'alumnat.

El següent apartat desenvolupa el concepte de ciència escolar, un concepte que vertebrava el conjunt de la recerca. Creiem indispensable establir aquest concepte en el marc teòric, malgrat que també formarà part de les conclusions de la nostra recerca, en la mesura que s'intentarà caracteritzar quins han sigut els resultats d'un procés d'ensenyament i aprenentatge d'una determinada ciència escolar (Izquierdo et al, 1997). En el nostre cas, si se'ns permet l'ús extensiu del terme, d'una química escolar.

Entre les orientacions bàsiques de la investigació en didàctica també es fa un repàs crític de les orientacions aplegades sota els plantejaments constructivistes.

En el segon apartat d'aquest capítol es fa referència a la teoria de l'anàlisi dels discurs (Van Dijk, 1989), un camp d'investigació que prové de la lingüística però que cada vegada té un àmbit més interdisciplinari. En els darrers anys, en concret, en el terreny de l'ensenyament i aprenentatge de les ciències experimentals, l'anàlisi del discurs escrit, és a dir, dels textos està adquirint cada vegada més importància. Dins d'aquest apartat hem inclòs l'ús d'analogies, ja que és un dels recursos habituals de l'alumnat en la redacció de textos. També volem emmarcar l'ús de la causalitat en aquest apartat, ja que és un dels mecanismes que permet progressar el discurs que construeix l'alumnat amb les respostes a un fenomen. Considerem d'interès fer atenció a l'anàlisi del discurs ja que la nostra recerca utilitza com a instrument per a la obtenció de dades, la "ciència escrita" pels alumnes i entre les categories per a l'anàlisi de les dades inclourem l'ús d'analogies i l'ús de la causalitat.

En el tercer apartat del capítol, en la mesura que la recerca s'ha portat a terme en un context escolar, plantejem aquelles aspectes que des del nostre punt de vista poden haver influït en el procés d'adquisició del coneixement. Entre ells recollim les reflexions fetes des de la didàctica sobre el currículum, els llibres de text i l'experimentació escolar. Aquest últim aspecte mereix la nostra consideració en la mesura que un dels instruments per a la obtenció de dades ha estat un experiment de laboratori, un dels elements del referent empíric de la intervenció didàctica que ha seguit la mostra que ha estat objecte d'investigació.

Per poder reconèixer les possibles aplicacions d'aquesta recerca a nivell de la pràctica a l'aula en el sentit de millorar els resultats de l'aprenentatge, caldrà coincidir amb el model didàctic teòric que s'exposa en aquest capítol (Sanmartí i Azcárate, 1997).

2. Orientacions bàsiques de la investigació en didàctica de les ciències

2.1 Un model cognitiu de ciència

El somni que podríem establir una "ciència primera", un esquema que ens asseguraria la racionalitat del mètode científic i la certesa dels resultats científics està cada vegada més lluny. Malgrat la mort del somni racionalista, la ciència i la tecnologia continuen igual i la gent continua creient en els resultats de la ciència, però això fa que algunes persones dedicades a l'educació científica es posin nervioses, com si això suposés la devaluació de l'ensenyament de la ciència (Jon Ogborn, 1995). Coincidim amb aquest autor en el sentit que cal construir una visió realista i modesta de les ciències naturals.

La ciència és un producte humà i el coneixement científic s'ha construït mitjançant processos socials. Els canvis que s'han anat produint des dels corrents crítics de la filosofia de la ciència fan que avui ningú s'atreveix a dir si els judicis científics són racionals, per tant la identificació de la lògica amb la racionalitat ha esdevingut problemàtica. La racionalitat ha deixat de ser categòrica i ha passat a ser hipotètica (Izquierdo, 1995). Les relacions entre el coneixement científic i les altres representacions del món no han de ser de superioritat sinó de jerarquia del primer sobre els altres. Si en lloc de considerar el coneixement científic com la representació més vàlida des del punt de vista de l'aprenentatge, se li concedeix un status relatiu en relació amb altres tipus de saber, les relacions entre les representacions quotidianes i les representacions científiques guanyen importància.

Habitualment es pensa que la ciència consisteix en buscar lleis que siguin generalitzacions universals. Giere (1988) creu que si aquestes lleis han de ser generalitzacions universals es mouen entre la falsedat i la vacuitat, ja que o no són informatives o tenen excepcions. Per tant, no poden ser considerades com una teoria de la ciència. No podem subministrar vertaderes explicacions de la ciència en tant que activitat humana. En el millor dels casos, descriuen certs fenòmens empírics.

El resultat de la reflexió des de la filosofia de la ciència ha acabat amb el model empíric de ciència (Izquierdo, 1995). Avui està clar que la metodologia científica no consisteix en seleccionar fets, buscar regularitats i establir teories, sinó que es considera que entre el coneixement observacional i el coneixement teòric hi ha una relació tant estreta que es fa difícil de destriar.

Mercè Izquierdo et al. (1995) indiquen que la justificació experimental de la ciència ha deixat de ser una frase òbvia i que, des de la filosofia de la ciència, per explicar l'emergència de les teories s'utilitza conjuntament el model del descobriment amb el model d'invenció. Al mateix temps, la història i la filosofia de la ciència mostren la complexitat de la construcció del coneixement, tant pel que fa als fets experiments com al llenguatge i subministren nous recursos per a la construcció del coneixement científic a classe.

Avui, un dels recursos potencialment més poderosos per estudiar qualsevol activitat cognitiva és el conglomerat de disciplines que de manera laxa s'agrupa sota el nom de ciència cognitiva, un nou camp de recerca de considerable interès en els estudis de didàctica. Ens proposem treballar amb una perspectiva àmplia del que es considera ciència cognitiva que inclou parts de la lògica i la filosofia, la psicologia cognitiva, la intel·ligència artificial, fins a la lingüística i la sociologia (Giere, 1988, Thagard, 1992a).

La idea central de les ciències cognitives és probablement que les persones ens fem representacions internes o mentals del nostre entorn. Però la representació ens la fem mitjançant un processament o una interpretació interna considerable. És a dir, la ment no és un mirall de la naturalesa. En funció del camp particular de les ciències cognitives on treballen, diferents autors han proposat diverses denominacions per a parlar de les representacions; així es parla d'esquemes (Rumelhart, 1977), marcs o models mentals (Haynes a Sanmartí, 1989, Gentner i Stevens, 1983).

Les ciències cognitives no proporcionen respostes immediates i directes a la qüestió de la naturalesa de les teories científiques i als processos mitjançant els quals les teories arriben a ser acceptades per la comunitat científica. Aquest nou enfocament permet l'elaboració de models per a la construcció del coneixement científic tenint en compte els diferents contextos.

En el context de les ciències cognitives, les teories són representacions mentals i l'elecció d'una certa teoria com la millor disponible és un assumpte de criteri de la comunitat científica. Giere (1988) considera que les ciències han tingut molt èxit des d'un punt de vista empíric i que històricament aquesta ha estat la norma. Per exemple, en la seva opinió la nova física del segle XVII va triomfar sobre l'escolàstica no perquè hagués refutat els seus arguments sinó perquè els seus èxits empírics van tornar insubstancials els arguments de l'escolàstica.

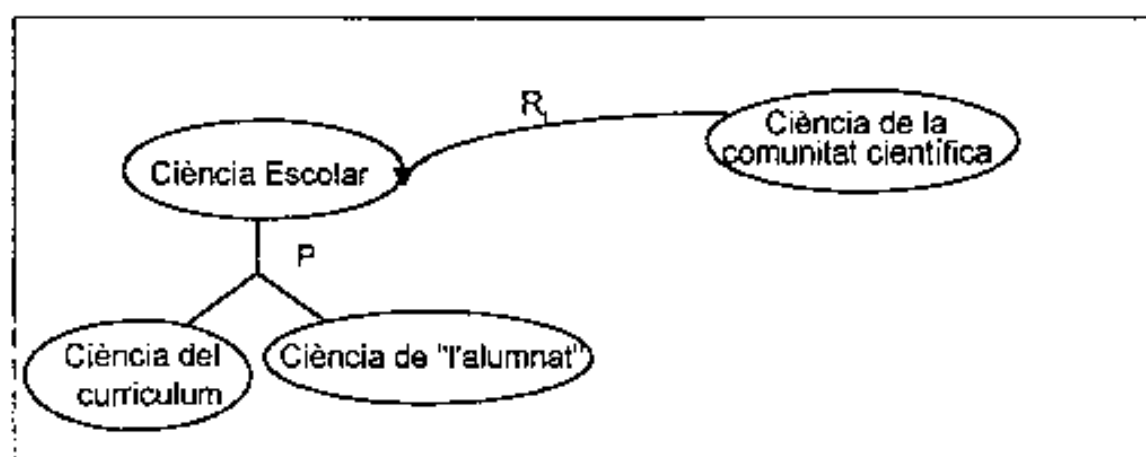
El concepte que predominava de teoria científica està format per un conjunt d'axiomes bàsics vinculats amb les lleis i els fenòmens, que es relacionaven amb regles de correspondència, i per tant l'ensenyament de les ciències es centrava en els axiomes. Però des de la perspectiva de les ciències cognitives passa a tenir més importància l'ensenyament de la construcció i desenvolupament de models que permetin donar explicació a conjunts de fenòmens. Per tant el model cognitiu de ciència està molt a prop del fet que vol explicar, i no tant del que es considerava el nucli dur de la ciència. No existeix un corpus de coneixements que s'hagi d'explicar a tothom. Els continguts de l'ensenyament de les ciències són el resultat de la transposició didàctica (Dupin i Joshua, 1993) amb l'objectiu que el professor i els alumnes es puguin comunicar amb eficàcia quan parlen de ciències (Sanmartí, 1992, Izquierdo, 1994b).

El model cognitiu de ciència és un model de coneixement que es fa tenint en compte el que diu la ciència cognitiva. És necessari un model de coneixement que sigui adequat per la ciència universitària, els llibres de text, la indústria i la ciència escolar. El model cognitiu de ciència compleix aquesta característica i permet oferir objectius científics a classe.

El model cognitiu de ciència permet veure com a ciència tant la "Ciència dels científics" com la "ciència escolar" (Izquierdo et al, 1995) que volem construir com a resultat de la transposició didàctica, a la que dedicarem l'apartat 2.1.2 d'aquest capítol. Entenem el procés d'ensenyament i aprenentatge segons un model cognitiu de ciència com un procés de creació de significats científics a l'aula.

El següent esquema intenta recollir les relacions entre els diferents conceptes que acabem d'esmentar, on R_t expressa la relació establerta entre la "ciència escolar" i la ciència de la comunitat científica mitjançant la transposició didàctica.

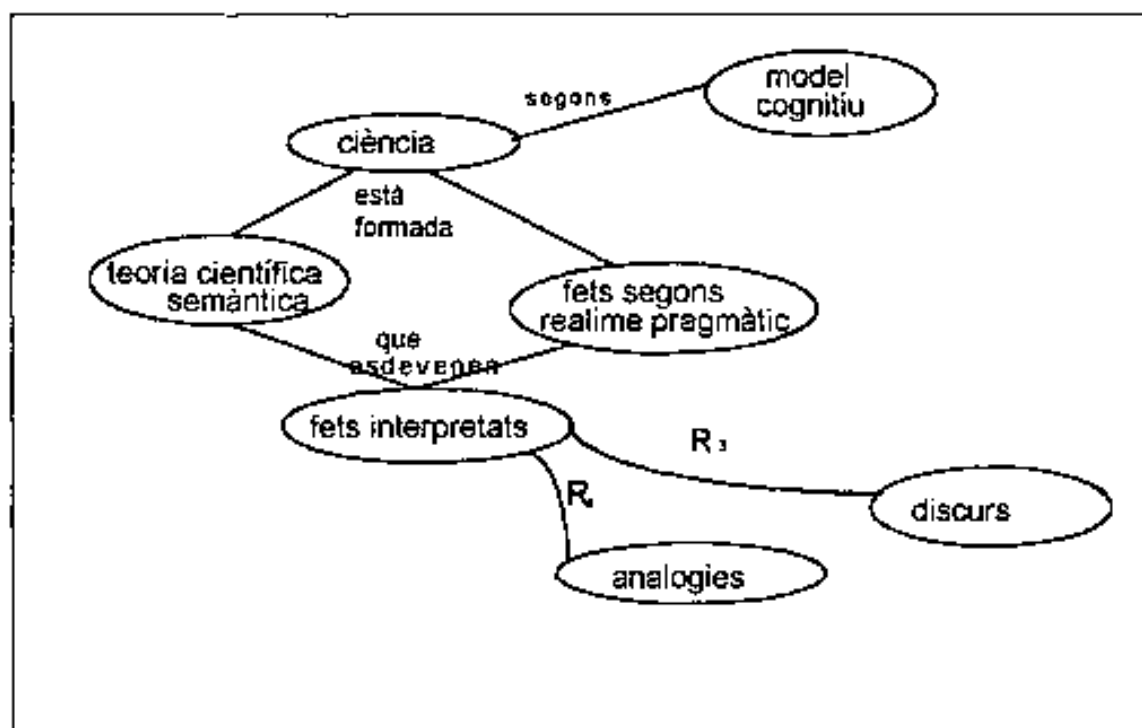
La ciència escolar té dos components, la ciència del currículum i la ciència de "l'alumnat" que és el resultat d'un procés d'ensenyament i aprenentatge



Qualsevol ciència està formada per un conjunt de fets que es pretenen explicar segons una o varies teories. Segons el model cognitiu, la ciència és considerada un "coneixement humà" ja que la comunitat científica està formada per persones humanes. Les teories són recursos per donar significat als fenòmens i a les relacions entre ells, i per això es tant important el seu aspecte semàntic, perquè ha de tenir significat en el món. Les teories són famílies de models, cada un d'ells amb un conjunt de fets interpretats i, per tant ja transformats en fets del model (Mercè Izquierdo, 1994).

El model cognitiu de ciència permet donar importància a l'aspecte semàntic de la teoria, és a dir al seu significat sobre el món, més que a la formalització matemàtica. A més proposa un realisme pragmàtic, no ingenu, és a dir s'accepta que els fets es reconstrueixen en el marc de les teories científiques per a convertir-los en fets científics.

El següent mapa vol esquematitzar la relació entre la ciència, la teoria i els fets segons el model cognitiu de ciència.



Els fets interpretats poden funcionar com analogies en el discurs científic que construeix l'alumnat, tal com s'indica a R_1 . Les analogies i les metàfores permeten connectar els models amb la realitat de manera convincent i es construeixen mitjançant el discurs oral i escrit (el text) tal com s'indica a R_2 del quadre anterior.

Hi ha una relació de similitud entre un fet i el model que l'interpreta de manera que arriben a contenir-se mútuament. En el moment que el fet es converteix en un "fet interpretat" pot funcionar com a model teòric. Entenem el model teòric no com una representació mental, sinó com el conjunt d'explicacions que cada alumne es capaç d'elaborar sobre un o diversos fets interpretats. El model teòric és més lingüístic

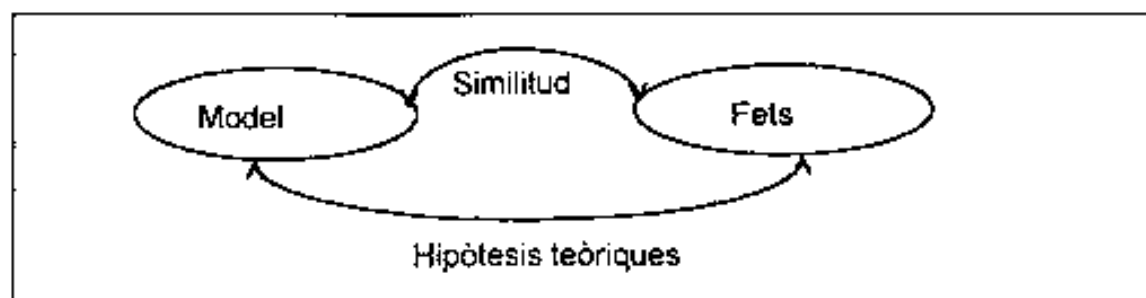
que mental i, està relacionat amb l'experimentació. Per això, es diu que el més important dels models teòrics són els fets interpretats.

Els models teòrics són convencionals i poden canviar, però no són arbitraris, connecten significativament amb el món real, i el "modelen". Els models teòrics no estan obligats a tenir un nucli axiomàtic o formulat matemàticament (tot i que poden tenir-lo).

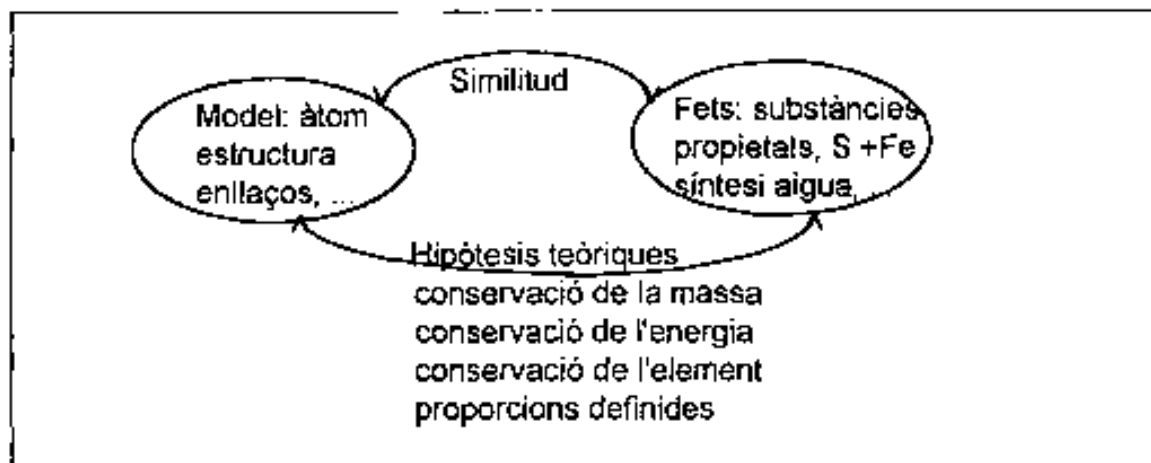
Per entendre la importància que té la mediació teòrica en química, el tema de la nostra recerca, cal recordar el procés històric que va permetre la química de dissociar-se de la filosofia natural, d'una explicació general d'àtoms i forces, i de la història natural (llistes de propietats i relacions genètiques entre substàncies registrades amb el nom que se'ls donava) per esdevenir durant el segle XIX una ciència convencional, que va crear el seu propi objecte d'estudi en el laboratori, en el qual les metàfores s'utilitzaven com definicions (mitjançant convencions i taules com per exemple la Taula Periòdica) i com a models explicatius.

El model teòric es relaciona amb el fet mitjançant les hipòtesis teòriques i serà vàlid sempre que es pugui relacionar amb el fet. Els conceptes i els fets són coherents des d'un perspectiva de model cognitiu de ciència, ja que els fets en la mesura que s'usen de manera coherent es converteixen en idees que poden esdevenir conceptes, segons una relació anomenada de similitud que no és lògica. Per tant, es diu que sense els fets interpretats no tenen sentit les idees.

Així, un model teòric queda resumit en el següent esquema:



El model teòric del canvi químic pot tenir el següent contingut:



En el cas del model teòric de canvi químic, la gestió correcta de les hipòtesis teòriques implica saber barrejar els principis teòrics i els diferents nivells d'explicació macroscòpica i microscòpica del canvi químic, a l'hora d'elaborar explicacions dels fenòmens químics.

El fet que parlem de "models teòrics" en lloc d'utilitzar el terme "teories científiques" té implicacions en tres àrees: en el disseny del currículum, en la concepció de l'experimentació i en el terreny del llenguatge (Mercè Izquierdo, 1994).

A nivell del currículum, el model cognitiu de ciència aplicat a la ciència escolar permet seqüenciar els continguts en funció del sentit que tenen per a l'alumnat. La selecció de continguts a nivell conceptual si es fa tenint en compte la integració dels mateixos pren sentit en funció dels models teòrics. Els models teòrics presenta en el currículum han de ser pocs per poder complir la funció integradora. I els submodels han de connectar amb el model troncal mitjançant les argumentacions necessàries que el desenvolupin i facin prendre-li sentit.

Des de la perspectiva del model cognitiu de ciència, una bona explicació científica és aquella que utilitza un model teòric i és compresa per l'alumne. El nivell de comprensió ve mesurat per la seva capacitat d'actuar experimentalment. Perquè tot això funcioni el model teòric ha d'incloure l'experiment interpretat. Per això és necessari l'establiment d'una relació coherent entre els tres models que cal activar:

el del fenomen, el de l'acció que cal portar a terme i el de l'instrument que s'utilitza en l'experiment.

Els models teòrics, segons l'autora esmentada, permeten escurçar la distància entre la ciència del professorat i la de l'alumnat, però sense confondre-la. El disseny del currículum ha de permetre que l'alumnat vagi progressivament construint el seu model teòric de canvi químic. Així hauria de ser capaç d'activar determinades afirmacions sobre la naturalesa de la matèria, el paper de l'energia, etc. en relació als canvis químics, de manera que pugui elaborar explicacions que siguin significatives sobre els fets interpretats. A més, els models teòrics han de connectar amb l'experimentació, una activitat crucial perquè els fets teòrics incipients incloguin els fets paradigmàtics. En el procés de construcció de la ciència escolar, cal prestar atenció a la creació d'un llenguatge teòric simultàniament a la vertebració del coneixement entorn de les idees clau dels models teòrics.

Des del marc de la ciència cognitiva, s'introdueix el concepte de model teòric per recollir la idea que quan analitzem un fenomen ens en fem una representació mental, busquem relacions amb altres fenòmens, fins arribar a formar un model que reuneixi i doni explicació a un conjunt de fenòmens. Per tant no té sentit introduir un model teòric si l'alumnat no té el coneixement fenomenològic que li permet construir-se el seu propi model.

La construcció de significats dels fenòmens durant el procés d'aprenentatge es fa mitjançant una ciència escolar que és el resultat de la transposició didàctica. El concepte de transposició didàctica és central en la recerca en didàctica de les ciències ja que recull el conjunt de mecanismes que permeten el pas d'un objecte de coneixement a un objecte d'ensenyament. Es tracta d'avançar, doncs, en el sentit que l'alumnat construeixi a classe el seu model dels fenòmens més apropiat a les seves possibilitats i, que mitjançant l'aprenentatge vagi acostant-se als models teòrics de la ciència. Per tant, caldrà acceptar l'existència de models teòrics propis de l'escola encara que no coincideixen totalment amb els models científics.

Però no tots els autors utilitzen el terme "model" amb el mateix significat. Per exemple, Geneviève Séré (1990) dóna dues definicions de "model". Una d'elles és la transposició didàctica d'un model científic, però també és un model algunes de les interpretacions de l'alumnat als experiments, a nivell macroscòpic. Tiberghien (1994) planteja que la seva concepció de "model" o de "modelitzar" li permet tenir en compte la coherència de la persona que aprèn *per se*, encara que sigui incompatible amb el coneixement disciplinar.

Martinand (1992) suggereix la necessitat de plantejar activitats de modelització a classe. Per això, cal fer l'anàlisi del domini de coneixements que es vol modelitzar i dels problemes que suposa la seva apropiació. Segons ell, l'anàlisi cal situar-lo a tres nivells: en el pla epistemològic, amb una construcció detallada i argumentada dels elements del model proposat per a l'aprenentatge, així com algunes característiques significatives del procés de modelització.

En el pla psicològic, amb l'observació de les conductes de l'alumnat i la seva evolució i la interpretació de les operacions intel·lectuals en joc. En el pla pedagògic, la selecció de situacions, de preguntes, d'ajudes, d'orientacions a classe i d'instruments d'avaluació. En el cas del model de canvi químic, en el pla epistemològic cal tenir en compte que els conceptes d'aquest domini són teòrics i no se'n pot tenir evidència experimental i que els principis implicats inclouen la conservació de la massa i de l'element. En el pla psicològic, cal assenyalar que en quan al principi de conservació de la massa, encara que és un principi conegut no s'utilitza espontàniament, però no presenta problemes d'interpretació. En canvi, el principi de conservació de l'element no és necessari per al nivell d'explicacions que elabora l'alumnat fins a l'últim curs de la Secundària. Per alguns alumnes, en la mesura que no és operativa la conservació de l'element químic, és com si, raonen casi bé com si qualsevol substància pogués donar un ampli ventall de substàncies. En quan al pla pedagògic, Martinand assenyala la importància de poder construir experimentalment conceptes químics, com per exemple el de ió i, de seleccionar aquelles activitats experimentals que poden constituir fets paradigmàtics.

Una altra perspectiva d'investigació és la dels models mentals. Quan interaccionem amb altres persones, amb instruments o amb el medi, ens formem "models mentals" interns sobre les persones o les coses amb les que interaccionem. Aquests models tenen suficient poder explicatiu i predictiu com perquè els subjectes puguin comprendre aquesta interacció. El propòsit d'un model mental és facilitar a una persona la comprensió de un sistema (físic o social) i anticipar el seu comportament. Rufina Gutiérrez (1994) indica que "el constructe *model mental* ens proporciona una conceptualització dinàmica de la manera de veure el món que tenen les persones".

Joan Bliss (1995) parla de l'ús dels models mentals per reflexionar sobre el pensament i el raonament humà com una manipulació d'entitats imaginades. A partir d'aquest constructe s'han desenvolupat dues línies de treball. Una, coneguda com física *naive*, on els models mentals s'utilitzen per descriure el contingut del pensament, i una segona, la del pensament de sentit comú, on els models mentals són instruments generals per pensar.

Johnson-Laird segons Bliss estaria en la segona línia de treball ja que desenvolupa el concepte de model mental amb la intenció de modelitzar un sistema de raonament alternatiu a les regles lògiques dels sistemes de producció del coneixement.

L'existència de diferents tradicions didàctiques amb la seva terminologia pròpia ha fet que el concepte de "model teòric" que prové de la tradició anglosaxona presenti punts de coincidència amb el de "camp conceptual" de la tradició didàctica francesa. Vergnaud (1981) quan defineix el camp conceptual insisteix en el fet que el coneixement no s'ha de compartimentar en dominis focalitzats sinó que aquests han de ser prou amplis perquè corresponguin a "situacions - problema", el tractament dels quals implica conceptes i procediments en estreta connexió. Aquest concepte, segons l'autor és prou útil en ciències experimentals ja que els conceptes s'han d'integrar en relació amb el referent empíric.

En resum, amb la intenció d'aclarir possibles confusions volem dir que en la nostra recerca utilitzarem el terme model en dues accepcions. En primer lloc, parlarem del model de canvi químic quan ens referim al model acceptat per la química escolar, en tant que resultat de la transposició didàctica a partir de la disciplina establerta per la comunitat científica. I en segon lloc, parlarem dels models teòrics de canvi químic construïts a partir de les respostes de l'alumnat i que ens permeten particularitzar les vies de construcció del concepte de canvi químic que segueix l'alumnat.

A vegades, per l'economia del llenguatge podrà ser que parlem de model sense especificar si es tracta del model de la química escolar, o bé del model teòric construït a partir de les respostes de l'alumnat. Esperem però que el context permeti entendre quina és l'accepció correcta.

2.1.1 Els perfils conceptuals

En una línia de treball propera a l'evolució conceptual, Eduardo Mortimer (1993) en l'anàlisi dels obstacles epistemològics i ontològics que es donen en l'aprenentatge de la teoria de la matèria, intenta donar una perspectiva social conjunta per descriure l'evolució de les idees. Es basa tan en les característiques històriques i conceptuals del concepte d'àtom com en els estudis de les idees de l'alumnat sobre l'atomisme. El lligam entre aquests dos punts és el paper que els obstacles epistemològics i ontològics juguen en la construcció del coneixement a l'aula i, com poden ser superats amb l'ensenyament.

Dir que la gent tenim diferents maneres de veure la realitat i de representar-nos el món no és una idea nova. S'emfatitza que entre les múltiples realitats n'hi ha una que es presenta com la realitat per excel·lència que és la de la vida quotidiana. Les altres realitats apareixen com àmbits finits de significats enclavats en una realitat superior marcada per modes d'experiència i significats restringits. Quan una persona passa de prestar atenció a la realitat de la vida quotidiana a un àmbit finit de significats com per exemple, el coneixement químic, canvia radicalment la manera de conceptualitzar la realitat, tot i que la realitat quotidiana continua estant present.

Els conceptes i les categories disponibles en totes les esferes del món tenen el seu suport en un nombre d'entitats individuals per tal de permetre la comunicació efectiva. Aquestes representacions col·lectives tenen una característica supra-individual que s'imposa sobre el procés de cognició individual. A partir d'aquesta posició, Vygotski assenyalava la dimensió social dels processos mentals humans.

A partir de la mateixa idea de les "representacions col·lectives", es distingeix entre realitat i percepció de la realitat i, es parla de les vies qualitativament diferents en què la gent percep i compren la seva realitat. Aquestes vies de comprensió no són qualitats individuals sinó categories de descripció, el conjunt de les quals indica un

tipus d'intel·ligència col·lectiva. Podem usar aquest sistema superindividual de formes de pensament com un instrument per a la descripció de la manera de pensar en situacions concretes i, des d'una perspectiva col·lectiva, com una descripció del pensament.

Per això, Mortimer aplica la noció de perfil epistemològic de Bachelard a l'ensenyament de la teoria de la matèria. Segons Bachelard, més enllà de les característiques individuals del perfil de cada persona, obtingudes com a resultat de l'anàlisi psicològica d'un cert concepte, les categories que constitueixen les diferents divisions d'un perfil són formes superindividuals de pensament ja que pertanyen a la intel·ligència col·lectiva. El perfil epistemològic de cada concepte difereix d'una persona a una altra. Està fortament influït per les diferents experiències que té cada persona i per les seves arrels culturals. En una representació gràfica, en un diagrama de barres, l'alçada de cada barra en el perfil correspon a l'extensió en que aquesta "manera de mirar" pesa en el pensament individual que es defineix per les oportunitats en que les persones tenen d'usar cada divisió del perfil en la seva vida. Cada persona té el seu perfil. El que permet distingir una persona experta d'una novella és que la primera és conscient del seu perfil i pot utilitzar cada noció en un context adequat a diferència del que succeeix amb les persones novelles.

Mortimer proposa utilitzar la noció de "perfil conceptual" en lloc de perfil epistemològic" per tal d'introduir alguns aspectes diferents dels que proposa Bachelard. Té l'objectiu de trobar un model que descriu els canvis en el pensament individual com a resultat del procés d'ensenyament. Els perfils conceptuals tenen semblances amb els perfils epistemològics pel que fa a les jerarquies entre les diferents zones però es caracteritzen perquè cada zona successiva inclou categories amb més poder explicatiu que les anteriors.

Les diferències entre cada zona són conseqüència de la distinció entre els aspectes epistemològics i ontològics de cada concepte. En comptes de tractar sempre amb el mateix concepte, cada zona pot ser epistemològicament i ontològica diferent de les

altres, a mesura que es produeixen canvis en els conceptes quan es va avançant en el perfil. Per exemple, l'àtom en tant que objecte quàntic no pertany a la mateixa categoria ontològica que l'àtom clàssic que era un tipus de bloc bàsic per formar la matèria. Aquests aspectes tenen una importància especial en la mesura que moltes dificultats en l'aprenentatge dels conceptes científics tenen relació amb les dificultats per canviar les categories ontològiques dels conceptes.

Una altra característica important dels perfils conceptuals es que les divisions precientífiques no estan limitades per escoles filosòfiques de pensament, sinó pels compromisos epistemològics i ontològics de cada persona. Malgrat les diferències entre perfils individuals, les categories per construir cada perfil conceptual són les mateixes.

Segons Mortimer, en el món occidental, les divisions científiques del perfil estan clarament definides per la història de les idees científiques. Les zones que es consideren precientífiques de la majoria dels conceptes estan clarament definides pels resultats de les dues últimes dècades de recerca intensiva en les concepcions alternatives de l'alumnat.

Quan un concepte alternatiu crea un obstacle epistemològic o ontològic al desenvolupament d'un concepte a un nivell més complex, es necessari enfrontar-se amb aquesta contradicció. Per superar aquesta contradicció cal trobar una manera d'explicar-la, però això no significa abandonar la vella manera de representar-se el concepte ja que continua formant part del perfil individual. Per exemple, en el cas dels estats físics de la matèria, Mortimer distingeix tres zones i, la transició entre la segona zona del perfil conceptual caracteritzada pel pas de les propietats externes i sensibles a les propietats internes relacionades només amb models imaginaris és un gran obstacle epistemològic difícil de superar.

Mortimer proposa pensar en l'ensenyament com un canvi en el perfil conceptual i no com una substitució de les nocions quotidianes per conceptes científics, els qual seran substituïts al seu torn per conceptes més avançats. L'atomisme és una idea

central en la química, un concepte amb un CP ampli i clar. Hi ha diferents models atòmics que són útils per explicar fenòmens específics i per tant, es poden utilitzar en diferents contextos. L'atomisme és un model, i en aquest sentit és un constructe sense connexió directa amb les observacions. En canvi, el concepte d'estats físic de la matèria té unes arrels molt fortes en els experiments i en les operacions empíriques de cada dia.

La manca d'evidència definitiva de l'existència dels àtoms durant el segle XIX va fer que les anomalies, els conflictes i els experiments crítics no tinguessin efectivitat com a alternativa a la continuïtat de la matèria i altres idees alternatives. Per contra, les altres idees alternatives semblen ser més coherents i plausibles per a l'alumnat, amb l'inconvenient que aquestes idees presenten alguns obstacles epistemològics i ontològics per al desenvolupament de l'atomisme científic fins i tot a nivell elemental.

Per a Mortimer (1993) la primera idea del concepte de massa és la realista, fortament arrelada en el raonament de sentit comú. El segon nivell del perfil, l'empiricista correspon a una determinació precisa i objectiva fruit de l'ús empíric d'instruments de mesura. Aquesta visió del concepte substitueix l'experiència primària encara que la teoria de l'instrument de mesura sigui desconeguda. El següent nivell, el concepte clàssic racional de massa està relacionat amb el seu ús amb un conjunt de conceptes com la Força i l'acceleració en el cas de Newton. Finalment amb la relativitat, el concepte de massa es converteix en una noció complexa depenent d'un complicat conjunt de conceptes. Abans la noció de massa absoluta no havia tingut mai significat.

Per determinar si un estudiant ha adquirit una nova zona en el seu perfil conceptual cal analitzar si utilitza les categories que caracteritzen aquesta zona en l'explicació d'alguns fenòmens. Per verificar si utilitzen diferents elements estables del CP en diverses ocasions s'hauria de proposar l'ús d'un conjunt de problemes d'acord amb cada context identificat en l'anàlisi teòrica del perfil. La capacitat d'identificar el context i la resposta utilitzant la zona adequada del perfil pot ser una indicació no

solament de que l'estudiant té el perfil sinó que n'és conscient. Obtenir diferents tipus de dades mitjançant entrevistes i tests és important per verificar la operativitat de la noció de CP i investigar com aquest perfil pot variar com a conseqüència de l'ensenyament.

Laurence Viennot (1994) se situa en un marc de recerca que pretén avaluar el desenvolupament d'estratègies d'ensenyament que l'autora suggereix que va més enllà de la recerca sobre idees de l'alumnat. I es planteja la pregunta de com caracteritzar l'estat conceptual d'un alumne que ella identifica amb les idees i les eines conceptuais disponibles en un moment determinat. Analitza el paper que juguen les preguntes en una recerca, en el sentit que la resposta depèn de la pregunta plantejada; i per això, proposa caracteritzar l'estat conceptual d'un alumne no solament amb el contingut de la resposta sinó tenint en compte les parelles pregunta/ aspecte de la resposta.

Les preguntes formulades en aquest tipus de recerca juguen un paper important, a diferència d'altres propostes com per exemple la d'intentar confeccionar un mapa conceptual on les preguntes concretes que han provocat la resposta han desaparegut.

2.1.2 La ciència escolar

La perspectiva filosòfica actual permet entendre les grans diferències entre les dues ciències, la Ciència dels laboratoris d'investigació i la ciència escolar, pel que fa als seus objectius i les seves coincidències, ja que les dues treballen en l'explicació dels fenòmens mitjançant teories. El que donarà sentit a la ciència escolar és tenir un objectiu que l'alumnat pugui fer seu i que li permeti aprendre a explicar-se el que succeeix al seu voltant. Encara que això no es pot aconseguir sense experimentació didàctica, tampoc no és suficient realitzar experiments científics a classe sense elaborar un procés previ de transposició didàctica (Joshua i Dupin, 1993). En qualsevol cas, una cosa és la transposició didàctica, amb les seves dues fases de planificació i realització, que són el resultat de la decisió i la voluntat del professor o professora i una altra cosa és el que es capaç d'interpretar l'alumnat.

En les investigacions en didàctica de la ciència, en general no s'ha qüestionat el contingut científic que ve establert des de la disciplina, s'analitzen les dificultats d'aprenentatge dels conceptes, sense donar importància al contingut. White (1994) creu que cal distingir entre els diferents tipus de contingut científic perquè s'aprenen i s'ensenyen de manera diferent. Per això cal una teoria que representi les propietats del contingut. Gagné ja en el 1972 distingia entre coneixement verbal, habilitats intel·lectuals, estratègies cognitives i actituds, però no feia cap recomanació en funció de l'agrupament que havia fet de cara al seu aprenentatge. El mateix es pot dir sobre les quatre formes significatives d'associació de les proposicions d'Ausubel i altres autors com Bruner, Skinner i Bloom.

En general, la recerca no ha fet atenció al contingut. En les investigacions sobre l'aprenentatge per descobriment, el contingut ha sigut només un vehicle per al mètode que es volia avaluar. Fins i tot quan aquests estudis es van fer significatius, poques vegades el contingut era una variable. Cap a la meitat dels 1970, la recerca sobre les concepcions alternatives va suposar un canvi sobre el paper del contingut en l'aprenentatge. Com que no s'ha aprofundit sobre l'origen de les concepcions

alternatives, aquestes recerques encara que han senyalat l'interès del contingut no han pogut aconsellar sobre com ensenyar-lo.

De moment, una teoria del contingut no pot ser massa comprensiva perquè està en els seus passos inicials intentant identificar les propietats del contingut que influeixen en els procediments d'ensenyament independentment de les característiques dels ensenyants o dels aprenents.

S'ha observat que l'ensenyament de temes amb o sense experiència directa presenta reptes diferents tant per l'ensenyant com per l'aprenent. Quan l'alumnat en té experiència directa com és el cas del moviment, o bé accepta els nous principis de manera que coexisteixen amb els primers, o bé lluita per integrar-los. Quan no hi ha experiència directa, com amb la teoria atòmica, no es tracta de resoldre el conflicte sinó de donar sentit a la nova informació. En el cas de la teoria atòmica això pot succeir mitjançant l'adquisició de proposicions i imatges que facin possible a l'aprenent concebre l'àtom amb una analogia macroscòpica. Al no tenir experiència directa de l'estructura atòmica, no hi ha pensament en competència i pot ser fàcil absorbir l'analogia. El principal punt feble que pot sorgir és el de saber apreciar que aquesta representació és només una analogia, encara que la part macroscòpica coneguda de l'analogia sigui un element del coneixement format per l'experiència i del que l'alumnat n'hagi construït el seu propi significat. Si l'analogia no és molt senzilla, es poden produir concepcions alternatives que donin diferents interpretacions de l'objectiu de la mateixa.

Una segona propietat important del contingut és el nivell d'abstracció que encara que hi està relacionat no té les mateixes dimensions que la relació amb l'experiència quotidiana. L'abstracció no és fàcil de definir. Els conceptes encara que diguem que són el resultat de l'experiència universal, en realitat podrien ser inventats. És millor pensar en els diferents graus d'abstracció dels conceptes més que en una dicotomia entre l'abstracte i el concret. Per exemple en el tema del moviment, el concepte de canvi de posició és més fàcil de percebre que el d'acceleració. Stavy indica que el concepte de "ser líquid" és més fàcil de percebre

que el de "ser sòlid" per les criatures ja que els líquids són més similars entre ells que els sòlids. El major grau d'abstracció d'un concepte o la dificultat de percebre'l està relacionat amb la menor possibilitat d'experiència directa i, és menys fàcil que els aprenents en tinguin idees alternatives, però és més probable que no tinguin significat.

Entre les dimensions del contingut White (1994) assenyala la coherència. Alguns conceptes, com la densitat són relativament coherents i inclouen un petit nombre d'elements. Altres inclouen molts conceptes i molts principis, com el so. Com més complex sigui un contingut més gran serà la necessitat de fer atenció a la integració, a mostrar i percebre la unitat. L'ús de mapes conceptuals pot ser molt útil en aquest cas.

Una altra dimensió del contingut, segons White (1994) és l'existència de models alternatius. Un contingut presenta diferències en el cas que tingui models alternatius amb molt poder explicatiu com és amb la calor. Però no passa el mateix amb tot tipus de models. Per exemple el calòric és un model que es manté durant l'aprenentatge però no es pot dir el mateix de la teoria dels quatre elements, tot i que històricament han estat relacionats. La raó podria ser que l'experiència directa dels fenòmens permet la repetició de la història.

Si entenem la ciència com el desenvolupament de models que cada vegada tenen més poder explicatiu, moltes de les idees que es van descartant són efectives per explicar un bon interval d'observacions i útils i satisfactòries mentre es continuï en aquest interval. Els models més elaborats són més sofisticats ja que volen explicar un ampli ventall de fenòmens i són menys fàcils de relacionar amb analogies quotidianes.

White (1994) indica com una altra dimensió del contingut el llenguatge. A la classe de ciències es presenta una barreja de diferents tipus de coneixement i una propietat important del contingut serà l'èmfasi que es posi en cadascun d'ells. Els elements del coneixement són de diferents classes: proposicions, imatges, episodis,

procediments i habilitats motores. Hi ha temes que són àmpliament proposicionals com per exemple les propietats dels elements de la Taula periòdica. Altres com la força i el moviment provenen de diferents episodis. L'estructura atòmica i el camp magnètic inclouen una gran proporció d'imatges que sovint són analogies.

El treball de camp i el treball de laboratori seran més útils o més importants en alguns temes mentre els diagrames i les habilitats de l'alumnat per entendre'ls seran crucials en altres. White va mostrar en un treball anterior (1982) que quan els estudiants lliguen la memòria dels esdeveniments amb la informació factual és més fàcil la recuperació de la informació.

Una altra propietat del contingut és la possibilitat de ser demostrable versus arbitrari. Les proposicions que es presenten a classe poden ser demostrables o arbitràries. L'acció dels àcids sobre els metalls és demostrable, en canvi que el corrent elèctric surt del pol positiu de la pila és un criteri totalment arbitrari. Que siguin arbitraris no vol dir que siguin irracionals sinó que de les diferents possibilitats se n'ha escollit una.

Conèixer millor la ciència escolar, en el nostre cas la química escolar, per tal de poder caracteritzar-la, a partir del que passa a l'aula, és precisament l'objectiu d'aquesta recerca. La nostra intenció és establir, mitjançant les dades del treball a classe, quina és la ciència escolar que es va construir amb la mostra d'alumnat que ha sigut objecte d'estudi al llarg de la investigació.

2.2 El constructivisme

Les diferents teories de l'aprenentatge que han tingut influència en els projectes d'ensenyament de les ciències: R. Gagné (1970) Inhelder i Piaget (1985) Ausubel (1976) i la psicologia del processament de la informació (Gutiérrez, R. 1985) proposen que el coneixement es construeix activament per part de la persona que aprèn, que ha de modificar els seus esquemes interpretatius previs (Izquierdo, 1995). El constructivisme assumeix la funció de síntesi entre les diferents tendències (Aliberas, 1987). Sota el paraigua del constructivisme s'han aplegat diferents propostes que coincideixen en postular com a model d'ensenyament, el del canvi conceptual. Malgrat les poques dades que poden avalar-lo, pocs autors han reconegut la impossibilitat del canvi conceptual.

La teoria del canvi conceptual és avui motiu de discussió entre diferents autors, com Michelene Chi (1994), Hans Spada (1994), Stella Vosniadou (1994a, 1994b) i Andrée Tiberghien (1994). Chi diferencia entre diversos tipus o categories de canvi, els uns més difícils que les altres. En funció de la categoria ontològica a la que pertanyen, com la matèria (coses) i els processos. La diferència de categoria ontològica entre les concepcions inicials de l'alumne i el concepte científic que cal aprendre és la que determina la dificultat de canvi.

La nostra recerca s'emmarca en l'àmbit dels estudis "constructivistes". Avui no podem dir que el constructivisme sigui una teoria psicopedagògica que ens proporcioni una explicació completa, precisa i contrastada empíricament de com aprèn l'alumnat.

Les darreres investigacions en didàctica estan adreçades a intentar explicar perquè les idees espontànies són tant àmpliament compartides per l'alumnat de diferents edats i cultures d'origen, i quins són els mecanismes que fan que sigui tant difícil l'evolució conceptual de l'alumnat. Algunes d'elles han estat recollides en la Memòria d'investigació corresponent a la primera fase de la recerca (Solsona, N. 1994).

En un camp de coneixement com la didàctica de les ciències que està en un procés evolutiu molt accelerat, els marcs de referència cal reformular-los. Així, parlar actualment de paradigma constructivista no és compatible amb moltes formes diferents de modelitzar-lo (Sanmartí i Azcárate, 1997).

Les principals crítiques al constructivisme (Good, 1993) apunten que és problemàtic perquè ignora la subjectivitat de la persona que aprèn i la naturalesa històrica i social del coneixement, i perquè prioritza una forma de coneixement anomenada la racionalitat tècnica (O'Loughlin, 1992). En els plantejaments constructivistes es mantenen algunes afirmacions que provenen de la psicologia del desenvolupament sense qüestionar-les, com per exemple la problemàtica noció que diu que l'alumnat aprèn manipulant i construint ell sol les seves pròpies interpretacions.

Fensham (1994) suggereix parlar d'addició conceptual o d'addició de significat en un context determinat més que no pas de canvi conceptual. Aquest concepte vol indicar que l'alumne es capaç de reconèixer els lligams que hi ha entre els conceptes, quina importància tenen i els busca activament entre les matèries i a través dels temes, és a dir arriba a adquirir un comportament característic de la metacognició. Una proposta d'ensenyament que reculli l'addició conceptual mostra la importància que el professor reconegui els sistemes de construcció del pensament dels demés abans d'intentar que tothom segueixi el mateix sistema de construcció del pensament.

Garnett et al. (1995) recorden que diferents autors han qüestionat que hi hagi una relació apropiada entre qualsevol proposta particular d'ensenyament i el que ell anomena la teoria constructivista d'aprenentatge. Així cita a Matthews que diu que les autodenominades tècniques constructivistes d'aprenentatge no són úniques i critica l'extrapolació de la teoria de l'aprenentatge constructivista al currículum i als resultats pedagògics. També Millar havia insistit en la mateixa idea. Ell creu que el constructivisme té un paper important però limitat en establir un mapa dels trets generals que segueixen els camins individuals que es segueixen cap a una

comprensió més productiva i que això podria ajudar en el procés de selecció i seqüenciació del currículum. Garnett et al (1995) opinen que malgrat la manca d'informació disponible sobre les concepcions alternatives dels estudiants en diferents temes de química, excepte en el cas de dos autors que citen que han treballat sobre l'equilibri químic, creuen que aquestes no es tenen en compte a l'hora de desenvolupar els materials curriculars.

La preocupació per anar més enllà dels plantejaments constructivistes sembla general en la comunitat didàctica. Joan Bliss (1995) assenyala que el constructivisme és un moviment heterogeni i fa un repàs dels diferents tendències que hi ha. Molts constructivistes deriven les seves posicions de Piaget i Kelly que creien que el coneixement és construït individualment i amb significat individual, altres parteixen de posicions vygotskianes, on és tant important la interacció entre iguals, però aquests tampoc poden resoldre la dificultat de com es construïx el coneixement ja que consideren que el desenvolupament psicològic depèn de la instrucció.

Garnett et al. (1995) citen a Osborne i Wittrock que van assenyalar les dificultats que per a un professor presenta l'aproximació constructivista ja que ha de diagnosticar els conjunt de concepcions que té cada alumne.

André Giordan (1996) parla dels límits dels models psicològics constructivistes, on l'aprenentatge no ha estat objecte d'estudi. Segons ell, l'atenció s'ha centrat en aspectes generals de la construcció del saber (teories epistemològiques), en la interacció entre grups (teories psicosocials) o en la comprensió dels processos de desenvolupament (teories genètiques) que eludeixen el contingut o objecte de coneixement i el context. Giordan també parla dels límits del model de canvi conceptual i proposa com alternativa un model alostèric que inclou un sistema de paràmetres facilitadors del conflicte cognitiu.

Una contradicció habitual entre el professorat és la de pensar que és important que l'estudiant tingui un paper actiu en l'aprenentatge, però al mateix temps pensen que

un aprenentatge eficient només es produeix quan el professorat transmet directament el coneixement als alumnes.

A tall de conclusió, volem dir que coincidim amb algunes autores (M. Izquierdo et al., s/d) que creuen que les crítiques al constructivisme provenen del camp de l'epistemologia, la sociologia i la psicologia ja que no és una teoria acabada des d'aquestes perspectives. Però que el constructivisme didàctic és una "manera de fer" que ha determinat un tipus d'intervenció didàctica a l'aula que ha generat una pràctica útil. Les autores creuen en la necessitat de caracteritzar el constructivisme didàctic que en la seva opinió passa per la consideració de les idees alternatives de l'alumnat, la transposició didàctica i l'autoregulació dels aprenentatges.

3. L'anàlisi del discurs

El llenguatge actua com a constitutiu de la realitat culturalment determinada de les persones, és a dir el llenguatge no representa la realitat, sinó el coneixement humà sobre la realitat. En l'evolució de la cultura incideixen les experiències, el llenguatge i el coneixement que es condicionen mútuament (Arcá et al, 1990). En els darrers anys, des d'una perspectiva vygotskiana de l'aprenentatge s'ha posat en dubte la tradicional separació entre pensament i llenguatge, entre saber i saber explicar. El llenguatge té un origen social i es pot transformar en pensament verbalitzat que adquireix propietats autoreguladores, mitjançant les instruccions que una persona es dona a ella mateixa (Gutiérrez, 1994).

Tal com indica Neus Sanmartí (1995) si es concep l'aprenentatge com un llarg procés de construcció del coneixement que cada individu realitza interaccionant amb els demés, per a que aquest procés sigui efectiu és fonamental que els instruments de comunicació entre els individus, en especial el llenguatge, s'utilitzi de forma significativa. Diferents estudis (Van Dijk, 1978; Solomon, 1980) han assignat al llenguatge el caràcter d'observable dels processos cognitius. Això permet usar el propi llenguatge de l'alumnat com un valuós instrument per a intervenir en aquests processos i orientar adequadament la construcció de models teòrics dels conceptes.

No podrem afavorir una evolució conceptual i metodològica de l'alumnat si no ens plantejem simultàniament l'evolució del llenguatge que utilitzen (Paton, 1993a, 1993b).

La diferència més important entre el llenguatge natural i el llenguatge científic ve donada per les teories sobre el funcionament del món en que es fonamenten (Izquierdo, 1995). Clive Sutton (1996) critica la concepció que atribueix al llenguatge científic una funció fonamentalment descriptiva, neutre i independent de les persones que l'utilitzen i és partidari d'una visió com instrument per contrastar idees, imaginar models i interpretar teories, és a dir una visió del llenguatge que

destaqui la seva funció formadora de teoria. Distingeix entre el llenguatge com a sistema d'interpretació quan s'utilitza per generar una nova comprensió dels fets, i el llenguatge com a sistema d'etiquetatge quan es fa servir per transmetre informació coneguda.

Aldo Borsese (1997) subratlla la importància de l'element lingüístic en l'aprenentatge d'una disciplina que no es pot imposar superestructuralment sinó que cal desenvolupar i definir paral·lelament amb els coneixements als que dóna accés. L'autor assenyala la forta interacció entre el llenguatge natural i el llenguatge científic i afirma la necessitat d'un ús adequat del llenguatge natural per ensenyar el científic, i com per altra banda hi cal recórrer per fer establir diferències o analogies.

Una proposta que amplia el camp de treball de la recerca lingüística és l'anàlisi del discurs. El terme "discurs" es pot definir com el conjunt d'unitats lingüístiques iguals o superiors a la frase produïdes per una persona o un mateix grup social i que presenten característiques lingüístiques comunes. L'anàlisi del discurs tracta els processos que tenen lloc en la comprensió i producció de determinades formes lingüístiques. És important obtenir una explicació de com les persones extrauen certes informacions, les emmagatzemen i tornen a activar-les en funció de les tasques o els problemes concrets que es plantegen. Per aprendre no és suficient amb llegir, escoltar i discutir, sinó que cada estudiant necessita interioritzar el seu propi discurs, és a dir, parlar-se a si mateix sobre les seves idees i les seves formes d'actuar. Mentre no s'arriba a aquest nivell de construcció personal no es pot afirmar que s'hagi après un concepte o un procediment.

La semàntica té per objectiu l'anàlisi de les relacions entre els signes, els significats i la realitat. La pragmàtica es dedica a l'anàlisi dels actes de parla, de les funcions dels enunciatls lingüístics i de les seves característiques en els processos de comunicació. És a dir estudia les relacions entre el text i el context en el qual ha estat produït. El context és una abstracció del que anomenaríem situació comunicativa. Per poder discutir de manera sistemàtica les relacions entre text i

context cal conèixer l'estructura contextual, la classe i l'estructura textual, o sigui el text produït.

Ludvig Wittgenstein (1961) en qui es pot situar l'origen de la pragmàtica, deia que no tenim altra via d'accés per a pensar l'estructura lògica del món que no sigui la del llenguatge. No podem investigar el món sense investigar el llenguatge, i per tant establí una connexió essencial dient que el llenguatge és la imatge de la realitat. Més tard, va introduir el concepte de joc lingüístic, del qual la ciència n'és plena, en què mostra que el significat de les paraules és l'ús que se'n fa. Per tant és encertat buscar el significat del llenguatge en el seu ús. Dit d'una altra manera (Apple, 1992) les paraules tenen un significat determinat segons el seu ús en escenaris i períodes històrics concrets.

Derek Edwards (1988) diu "quan un estudiant verbalitza un punt de vista, no està manifestant el seu propi pensament, sinó que les seves paraules o escrits s'han d'analitzar en funció de les interaccions amb els altres". En conseqüència amb això, s'ha desenvolupat una línia de recerca que analitza les situacions de "*thinking-aloud*", pensant en veu alta.

El llenguatge és el mediador principal entre l'objecte i el subjecte. Mortimer (1995a) considera l'aula com un espai en el que com a mínim hi ha dos llenguatges socials diferents, el científic i el quotidià que estan en contacte i generen nous significats. Per tant el caràcter dialògic i la multiplicitat de les veus són categories fonamentals per comprendre el procés. Recupera el concepte de veu de Bakhtin en el sentit de senyal auditiva i inclou en el fenomen la perspectiva en què parlen les persones en relació amb el seu món. Cita a Voloshinov quan diu "Comprendre el discurs d'un altra persona significa orientar-se respecte a ell, trobar un lloc propi en el context corresponent. Per cada paraula del discurs que estem en procés de comprensió, posem damunt la taula un conjunt de les nostres paraules de resposta. El nombre més gran i de pes, el més profund i el que serà substancial per a la nostra comprensió".

És important tenir clar que la reconstrucció del coneixement es realitza mitjançant el llenguatge que caracteritza la ciència i és per tant, un estadi indispensable en la construcció dels models teòrics de l'alumnat. Aquí és on guanya importància la vertebració del coneixement al voltant de idees clau o fets paradigmàtics.

Per afrontar el discurs que es construeix a l'aula Mortimer assenyala que pot ser molt útil, en relació al caràcter dialògic i la multiplicitat de les veus, la relació de Lotman sobre el dualisme funcional dels textos en un sistema cultural. Segons Lotman els textos compleixen dues funcions bàsiques "comunicar significats de manera adequada i generar nous significats". La primera funció, l'anomena unívoca del text, i la segona l'anomena la funció dialògica. En qualsevol text hi ha una tensió entre les dues funcions i, per tant tots els discursos tenen característiques autoritàries i persuasives de caràcter intern.

L'estil discursiu de l'alumnat és una via per apropar-nos a la seva estructura cognitiva i conèixer els punts d'ancoratge que poden donar més possibilitats d'èxit a una intervenció didàctica. Una hipòtesi de treball d'aquest estudi és que moltes de les dificultats d'aprenentatge poden procedir d'un desconeixement dels elements del discurs que se'ls proposa a la classe de ciències, o que posteriorment s'utilitzen fora del seu context. Tot això es manifesta en l'estil dels textos dels alumnes, com veurem més endavant.

Vygostki (1978) assenyala que l'alumnat troba més dificultats en el discurs escrit de les que troba en el discurs oral, perquè el primer està subjecte a unes lleis reguladores que no es donen en el segon.

Les propietats textuais són el conjunt de regles que ha de complir un text perquè sigui correcte, entre elles l'adequació, la coherència, la cohesió, la gramàtica, la presentació i l'estilística (Núria Vilà, 1990). L'adequació del text es dona quan assoleix el propòsit comunicatiu per al qual està escrit. La coherència estableix quina és la informació pertinent que s'ha de comunicar i com s'ha de fer. Els aspectes més importants que inclou la coherència textual són: la quantitat, la

qualitat i l'estructura de la informació. Alguns conceptes importants per a analitzar l'estructura de la informació són la macroestructura i la superestructura del text.

La presentació s'encarrega de l'execució del text i l'estilística dels recursos retòrics o literaris utilitzats. La cohesió d'un text és el resultat d'una convergència d'aspectes sintàctics i lèxics que caracteritzen el fet de ser text: la progressió temàtica, els connectors, la substitució i la inferència entre d'altres. Òbviament, la frontera entre les propietats és difusa i, en part, enganyosa, perquè totes es refereixen a la mateixa realitat, el text, i només tenen sentit en el conjunt global.

Segons Van Dijk (1989) cal distingir en els textos tres estructures fonamentals: la microestructura i la macroestructura semàntiques i la superestructura. Anomenem macroestructura a les connexions entre oracions que donen al text una unitat textual global, és un resum de l'estructura global del text. La hipòtesi en que es basa l'anàlisi del discurs es que únicament les seqüències d'oracions que tenen una macroestructura s'anomenen (teòricament) textos. La microestructura és l'estructura de les idees, oracions i les seves relacions. Aquestes relacions es poden plasmar en un mapa conceptual. Les seqüències han de complir les condicions de coherència lineal, mentre que els textos han de complir aquestes condicions i les de coherència global.

La macroestructura procedeix i deriva de la microestructura. Si no es pot construir la macroestructura d'un text és perquè resulta incompreensible, i si se'n pot construir més d'una és perquè es tracta d'un text ambigu (Izquierdo i Rivera, 1997).

L'estructura global anomenada superestructura o estructura esquemàtica global del text és la forma com es presenta en un text determinat aquesta informació. Van Dijk (1978) diu metafòricament que una superestructura és un tipus de forma del text, l'objecte del qual, la macroestructura és el contingut del text. Es pot comunicar el mateix fenomen amb diferents "formes textuais" segons el context comunicatiu.

La classificació de les superestructures basada en els processos cognitius característics o dominants en cada una d'elles es pot realitzar de diferents maneres, una d'elles és la proposada per Adam (1987) que distingeix:

1. Superestructures descriptives són aquelles en les quals es produeixen proposicions o enuncisats que enumeren qualitats, propietats, característiques, etc. del fenomen que es descriu. En la nostra recerca, la dificultat de l'alumnat a l'hora de fer una descripció relacionada amb el canvi químic és la de seleccionar les característiques més significatives. És a dir, no es tracta que facin una descripció exhaustiva del canvi químic, sinó que sigui significativa.

2. Superestructures narratives són aquelles que inscriuen uns fets en una successió, a la vegada, temporal i causal. La primera característica fonamental d'un text narratiu consisteix en que es refereix accions de persones, de manera que les descripcions de circumstàncies, objectes o altres successos queden clarament subordinades. Una de les seves característiques és la presència de trets que pertanyen a altres tipologies textuais, com la descripció que ens portarien cap al text retòric, o fins i tot la possibilitat de trobar fragments explicatius.

3. Superestructures explicatives - expositives són aquelles en les quals s'estableixen raons o arguments de manera ordenada, amb l'objectiu de modificar un estat de coneixement, incloent explícitament raons causals. Les tècniques lingüístiques que utilitza són l'anàlisi, la classificació i la definició. Els recursos lingüístics poden ser els tecnicismes i els nexes del tipus "perquè, ja que, de manera que".

La superestructura explicativa és la més pròpia del discurs científic o didàctic, que té com a funció explicar i fer entendre alguna cosa. L'ordre d'exposició acostuma a ser piramidal, és a dir va d'allò que és més general a allò que és més específic. Inclou una presentació genèrica del tema, el desenvolupament lineal dels diversos subtemes que configuren el tema principal i unes consideracions o conclusions finals.

4. Superestructures argumentatives són aquelles que inclouen un judici o una presa de posició. Els recursos lingüístics acostumen a ser nexes o connectors lògics del tipus "així doncs, però".

5. Superestructures instructives són les que comporten una incitació a l'acció o una previsió del comportament en el futur. Els recursos lingüístics que s'usa són els verbs d'acció i els imperatius i els infinitius com a temps verbals.

6. Superestructura magistral, és aquella on es vol mostrar el món d'una determinada manera i es presenten d'entrada totes les coses que després es volen justificar. És el que permet una major expressivitat i el que sovint presenta una ruptura més radical amb el llenguatge quotidià i contempla la vessant estètica de la llengua.

Izquierdo i Rivera (1997) proposen una subclassificació de la superestructura expositiva segons la manera com es connecten els fets i les teories. Per això distingeixen entre textos afirmatius, de dubte retòric, de dubte real i d'afirmació retòrica. Les autores citen a Meyer que proposa un altre tipus de classificació i suggereix que qualsevol text expositiu presenta un tema, el desenvolupa i arriba a una conclusió i això s'aconsegueix organitzant-lo mitjançant una de les cinc formes bàsiques següents: una descripció, una pregunta o problema / resposta, una comparació, utilitzant la causalitat o mitjançant una col·lecció.

3.1 El raonament analògic

S'ha posat a discussió si les persones en general disposen de concepcions prèvies sobre qualsevol fenomen o si, al contrari, hi ha alguns camps en els que les persones no tenim idees prèvies. Des de la psicologia cognitiva s'assenyala que és impossible comprendre quelcom sense activar alguna idea o esquema en el que es pugui assimilar la nova informació, però això no vol dir que tinguem idees específiques per a tots els dominis. En un camp nou activem, per analogia o

similitud un esquema corresponent a un altre camp que ens serveix per comprendre una nova situació.

En química, el raonament analògic és important perquè el resultat de qualsevol transposició didàctica no pot treballar tots els fenòmens químics. Cal fer-ne una selecció, agrupar-los i treballar-ne a fons alguns per estimular el raonament analògic en relació amb aquests. Sense l'ús dels models analògics l'ensenyament de la química és reduït a una simple descripció de les propietats macroscòpiques i els canvis. Els models analògics són una part intrínseca de la comprensió de la química: per explicar la teoria atòmica, les fórmules i les equacions químiques, la teoria cinètica, les reaccions àcid-base i les redox cal relacionar-les amb els models (Harrison i Treagust, 1996).

Donati i Andrade (1990) proposen una classificació de les analogies en funció de la relació existent entre el fet real i el fet analògic. Més endavant comentarem la proposada per Thagard (1992).

Reinders Duit (1991) fa un repàs de les darreres investigacions entorn el rol de les analogies i les metàfores en l'aprenentatge científic. Indica que en els darrers 15 anys s'han portat a terme recerques tant empíriques com analítiques sobre l'ús d'analogies. Duit fa una revisió del tema ja que creu que les analogies i metàfores són instruments útils en l'aprenentatge del canvi conceptual si els seus aspectes metafòrics són considerats. Defineix analogia com la comparació explícita de les estructures entre dos camps de referència. En canvi, la metàfora compara implícitament, subratlla fets o relacions qualitatives que no coincideixen en els dos camps. Les analogies tenen més poder explicatiu i predictiu que les metàfores, metre que aquestes són més expressives; no obstant, no és fàcil diferenciar-les en el llenguatge quotidià (Flick, 1991).

La relació analògica és simètrica perquè es basa en les identitats de les parts de les estructures. El terme analogia i problema no indiquen cap mena de jerarquia

lògica. El domini de l'analogia correspon a allò que es explicat o après aprofitant l'analogia amb un problema.

Una metàfora compara sense fer-ho explícitament. És una comparació, la base de la qual està revelada o creada pel destinatari de la metàfora. El terme model s'usa en diferents sentits. Duit usa el terme "model" com a subministrador d'analogies. És la relació analògica que fa que un model sigui un model. A vegades, es confonen els exemples amb les analogies, però quan un alumne associa diferents exemples amb un concepte donat, està fent afirmacions que inclouen comparacions.

Segons la perspectiva dels esquemes de Rumelhart en l'aprenentatge per reestructuració o creació d'esquemes, les analogies juguen un paper important en la generació de nous esquemes. Segons Shapiro hi ha un altre paper per a les analogies en el procés d'aprenentatge: fer la nova informació més concreta i fàcil d'imaginar. Aquesta funció de les analogies coincideix amb la perspectiva constructivista segons la qual l'aprenentatge és un procés d'utilització activa del que ja és familiar per comprendre el que no ho és.

Els estudis empírics sobre l'ús del raonament analògic donen resultats una mica ambigus, però subministren indicacions per saber en quines condicions es dona realment un raonament analògic. Duit cita els estudis de Black i Solomon (1987) i Gentner i Gentner (1983) que conclouen que l'ús d'analogies té una influència significativa en el procés d'aprenentatge. Clement (1987) informa que les analogies no funcionen quan el professorat no és capaç de "veure" l'analogia. Altres estudis assenyalen que les analogies no funcionen perquè no es fa el raonament analògic.

Tant aquestes recerques com les J.J. Dupin i S. Joshua (1987), assenyalen que no hi ha una única analogia que permeti explicar els diferents fenomen d'un mateix camp, sinó que cada analogia facilita només l'aprenentatge d'un àrea específica del domini del problema. Per tant, és necessari l'ús de múltiples analogies per ajudar a l'aprenentatge d'un domini ample. Shapiro opina que això serveix d'antídot per les possibles idees alternatives induïdes per l'analogia.

Una de les condicions per l'èxit en el raonament analògic és que el domini de l'analogia sigui familiar a l'alumnat. Però aquest és un concepte molt ambigu, encara que sembla un prerrequisit necessari, no és suficient. Dorothy Gabel i al (1980) indiquen que l'alumnat ha de poder veure la connexió entre el problema i l'analogia en el cas de problemes químics.

L'accés a l'analogia està regit, segons l'estudi citat de Tenney i Gentner (1985) per les semblances literals o exteriors però no per les semblances en les estructures d'alt nivell. Gabel i al. (1980) van trobar que l'ús d'analogies era més efectiu en alumnat amb poca habilitat en el raonament formal i no especialment útil en l'alumnat més capaç. Duit cita també a Curtis i Reigeluth (1984) que conclouen que les analogies més simples, basades principalment en les semblances superficials són adequades només pel temes més concrets i fàcils. Mentre que els temes més abstractes requereixen analogies funcionals, és a dir, analogies basades en les semblances en l'estructura interna o profunda.

Paul Thagard (1992) aplica una teoria del pensament analògic, desenvolupada per Keith Holyoak i ell mateix, per explicar les múltiples limitacions en l'ús d'analogies en la instrucció. Mostra com la potència d'algunes bones analogies i els inconvenients d'algunes dolentes, s'ha d'entendre en termes de les limitacions pragmàtiques, semàntiques i estructurals. Aquestes limitacions proporcionen ensenyances sobre com poden ser utilitzades de manera més efectiva en la instrucció.

La importància de les limitacions semàntiques, estructurals i pragmàtiques segons a quin aspecte del pensament analògic ens referim: en la recuperació d'una possible analogia-font que ajudi al problema objecte d'estudi, en l'establiment de connexions entre la font i el problema, i en la transferència dels components importants de la font al problema.

Una limitació pragmàtica en el cas de l'aprenentatge és quan es tracta d'ajudar la comprensió de materials desconeguts per part de l'alumnat ja que el pensament analògic és sensible al propòsit amb que s'usa l'analogia. El tipus d'analogies utilitzades en la resolució de problemes per part de l'alumnat, són analogies dins d'un mateix camp (*within-domain*). Però les explicacions analògiques sovint inclouen analogies entre diferents camps (*cross-domain*).

Però hi ha altres aspectes a més dels de tipus pragmàtic. La nostra habilitat en utilitzar una analogia depèn de les correspondències que es puguin establir entre els dos termes de la relació analògica. Aquestes correspondències són de dos tipus: les semàntiques, que inclouen l'ús de termes amb significats afins en els dos termes de l'analogia, i les estructurals, que es refereixen a una configuració similar dels objectes.

A nivell ideal, l'analogia-font hauria de tenir una gran semblança semàntica, correspondència estructural i rellevància pragmàtica amb el problema. L'experimentació psicològica i la simulació computacional suggereixen que la semblança semàntica és la més important per recuperar la font potencial de la memòria. En canvi la correspondència estructural és la limitació més important, si l'alumnat ha de determinar les connexions entre el problema i la font. Thagard conclou que fent atenció als problemes semàntics, estructurals i pragmàtics pot millorar l'ús de les analogies educatives.

Finalment quan s'ha aconseguit l'estadi de transferència, quan l'analogia font pot ser utilitzada per entendre o resoldre el problema és quan els problemes pragmàtics passen a ser importants. Thagard creu que fent atenció als problemes semàntics, estructurals i pragmàtics pot millorar l'ús de les analogies a l'ensenyament.

Entre les recomanacions per a l'ús de les analogies a l'ensenyament, Thagard recorda que per complir el seu propòsit es requereix que la font de l'analogia sigui més familiar que el problema. El professorat de química sembla particularment entrenat a fer analogies amb la vida quotidiana de l'alumnat; en canvi, sembla més

inclinat a explicar els fenòmens químics en termes d'altres fenòmens físics. Les dues estratègies tenen avantatges i inconvenients: fer comparacions amb aspectes de la vida quotidiana té l'avantatge que assegura el coneixement de la font de l'analogia, però es corre el risc que semàntica i estructuralment no siguin molt similars. Cal buscar un equilibri entre els dos aspectes.

Les limitacions semàntiques i estructurals permeten cridar l'atenció sobre la importància que té el fet que el professorat tingui clares les correspondències en l'analogia. En l'analogia entre l'enllaç químic i el joc d'estirar la corda, hi ha com a mínim alguna semblança semàntica entre fer enllaços i estirar la corda, però no és evident que n'hi hagi entre la gent i els àtoms. Per tant, el professor o professora ha de prestar atenció a remarcar quines entitats i conceptes de la font es corresponen amb les entitats i els conceptes del problema.

Les correspondències estructurals són també importants a nivell proposicional, perquè les relacions causals que hi ha en l'analogia poden ser crucials per a l'explicació. En el cas de l'enllaç químic, la competició dels àtoms pels electrons es el que els permet mantenir junts, així com la competició per la corda permet mantenir a la gent junta. Si les dues parts de l'analogia es presenten críticament les correspondències poden no ser evidents, però també poden quedar amagades per detalls irrelevantes.

Com que el professorat normalment presenta els dos termes de l'analogia directament, podria semblar que el procés més important en la instrucció per analogies és dibuixar el mapa, fent de la correspondència estructural la limitació més important. Però una bona analogia pot ser més important després de la instrucció. Això requereix poder recuperar o recordar l'analogia. Aquesta recuperació pot ser diferent en el cas de l'alumnat que en el cas del professorat, que té una base de coneixement més detallada i un altre sistema conceptual.

Pel que fa a la superació dels impediments que fan efectiu l'ús de les analogies, cal saber en primer lloc que l'alumnat genera les seves analogies. Sovint si

l'alumnat té un baix nivell de coneixement del domini d'instrucció, pot proposar analogies que siguin dolentes, però remarcar les incomprendions pot ser una via útil per corregir les seves idees alternatives. Fent una espècie de teràpia de l'analogia es pot guiar l'alumnat cap a analogies més efectives, i les analogies dolentes poden servir de pont cap a altres més aclaridores.

Gerard Fourez (1993) reflexiona sobre l'ús de metàfores en els cursos de ciències. Diu que sovint s'oblida que molts conceptes científics tenen el seu origen en comparacions. En química, les nocions de "reacció" o d'"afinitat" són clarament metàfores que han tingut èxit. En aquest sentit, es pot dir que bastant sovint els conceptes científics són metàfores que s'han "endurit" fins al punt que se n'ha oblidat l'origen, tal com ja vam suggerir Dupin i Joshua (1991).

Fourez creu que els conceptes científics són metàfores estandarditzades creades en els textos. Per tant, quan es vol ensenyar les explicacions científiques a determinat fenòmens, utilitzar metàfores pot ser excel·lent. No sols com a simples comparacions o artificis pedagògics, sinó per fer comprendre a l'alumnat com funciona la creativitat científica: s'inventen models en un context precís i en relació amb projectes específics. Quan el professorat inventa metàfores mostra a l'alumnat que no solament es pot construir un discurs normatiu sobre la ciència, sinó que pot ser creatiu.

Alguns autors (Clement, 1988, 1993) també han reflexionat sobre l'ús de les analogies en l'aprenentatge de les ciències. I d'altres han iniciat recerques per tal d'esbrinar l'ontologia bàsica dels termes de les metàfores i les analogies perquè aquestes siguin efectives (Ogborn i Martins, 1996).

3.2 El raonament causal

El causalisme (Bunge M, 1959 a Gutierrez R, 1994) es caracteritza pel raonament on les causes generen uns efectes corresponents. Aquesta concepció causal espontània sembla respondre a una determinada visió del món, en relació a com es

desenvolupen els esdeveniments i està present en la manera d'expressar-se de les persones, el tipus d'expressions que subministren i els mecanismes d'acció que descriuen.

Rufina Gutiérrez (1994) senyala que en moltes ocasions, les persones que realitzem recerca didàctica, davant d'una explicació CE (Coneixement explícit) per part d'un alumne, interpretem que el CE prové d'un determinat CI (Coneixement implícit) de l'alumne. I que abans de fer aquesta interpretació caldria preguntar a l'alumne d'on prové la seva explicació, és a dir, donar-li la oportunitat que expliciti el seu CI. D'aquesta manera podria aprofundir-se en el pensament implícit de l'alumne i intentar acostar-se més al que ell o ella realment pensen.

L'esforç per explicitar el pensament implícit sempre és considerable i les entrevistes poden ser un instrument adient. L'ambient que proporcionen les tècniques (orals o escrites) que proposen l'ús de parelles pregunta-resposta no afavoreix l'explicació, cal una tècnica més propera a la conversació.

G. Pask (Gutiérrez, 1994) introdueix el següent supòsit teòric: la supervivència d'un sistema cognitiu implica la seva autoreproducció. És a dir un sistema P o M que emmagatzema coneixement ha d'estar equipat contra accidents que puguin perjudicar aquest "magatzem". Per exemple, és difícil explicar com les persones recuperen la informació després d'un accident en que s'ha danyat el cervell. Pask diu que en aquest cas la metàfora del magatzem és errònia: el problema no està en com s'emmagatzema la informació sinó en com la informació es transmet, a mesura que el sistema cognitiu canvia i evoluciona. És el mateix problema que planteja un organisme viu que creix, les cèl·lules del qual són reemplaçades per d'altres de semblants, de manera que l'organisme sempre és el mateix, però s'està renovant constantment.

En el cas de les reaccions químiques, per les característiques dels elements que intervenen ens interessa considerar la causalitat com a procés per fer progressar el discurs que construeix l'alumnat a l'hora d'elaborar les explicacions dels fenòmens.

4. El procés d'adquisició del coneixement

Una vegada explicitats el referent epistemològic i el marc teòric que guiaran la nostra investigació volem referir-nos al procés d'adquisició del coneixement escolar. En la mesura que l'estudi està plantejat en un context escolar ens interessa conèixer quines reflexions s'han fet des de la didàctica sobre el coneixement escolar generat per l'ensenyament, en tant que pràctica social institucionalitzada (Martín, 1994). Aquest coneixements estan dispersos en fonts diverses entre les que podem destacar els currículum prescriptiu i els llibres de text. Cadascuna d'aquestes fonts és el resultat de la transposició didàctica que s'ha realitzat en els diferents nivells de concreció del currículum.

4.1 El coneixement escolar prescriptiu: el currículum

El currículum està format per un conjunt de pràctiques, hàbits, creences, metàfores i valors tant del professorat, de l'alumnat com de l'administració educativa que estan directa o indirectament implicats en l'educació científica. El professor és un dissenyador de currículum. Per això ha de conèixer les característiques de l'alumnat, seleccionar i seqüenciar els continguts, conèixer els mètodes a utilitzar i les seves condicions d'aplicació i avaluar el progrés de l'alumnat (Campbell i Robbie, 1991; Sample, 1994).

Els estudis sobre la funció del currículum en l'ensenyament de les ciències experimentals han estat normalment associats als moments en què s'han portat a terme reformes educatives en els diferents països. La quantitat d'informació relativa a la ciència, les matemàtiques i la tecnologia ha crescut de tal manera que fa difícil que l'alumnat i el professorat puguin identificar allò que és vertaderament essencial. Això planteja la necessitat de reconèixer que el currículum no pot continuar creixent sense límits, que cal ensenyar menys per aprofundir més i que les rígides fronteres entre disciplines han de desaparèixer per tal que l'alumnat pugui establir connexions entre les diferents experiències.

Shymansky, J.A, i Kyle, W.C. (1992) creuen que l'educació científica escolar hauria d'assegurar, segons aquests autors, que tot l'alumnat construeixi resultats similars en la interpretació del món per tal de permetre la igualtat d'oportunitats en l'aprenentatge i evitar la creació d'una élite científica. En concret indiquen que la ciència ha de ser accessible a la nova generació d'estudiants, en particular les dones i les minories ètniques.

La perspectiva d'orientació cultural del currículum planteja nous problemes i fa referència a molts interrogants als què s'havien enfrontat els ensenyants, com són els valors, imatges, costums i pràctiques associades a l'aproximació tradicional de l'ensenyament i l'aprenentatge científic. Quines són les epistemologies personals del professorat i de l'alumnat i com es poden comparar amb les epistemologies implicades en la pràctica rutinària. I quins factors influeixen en la selecció del contingut i de les activitats utilitzades per promocionar l'aprenentatge científic.

Per millorar la qualitat dels programes d'aprenentatge científic cal fer recerca entorn al currículum. La metodologia de recerca ha de substituir els simples programes de comparació amb un grup de referència per investigacions interpretatives o per les de recerca - acció.

Curiosament, la ciència moderna i la tecnologia han transformat més el món en què vivim que la manera de pensar que tenim sobre ell. L'escola és el segment de la nostra cultura que s'ha quedat més enrera respecte a la societat de cada dia. La joventut del segle XIX es sentiria més còmode en els centres escolars actuals que en les nostres cases, indústries o ciutats. Els canvis en la societat, la ciència i la tecnologia fan necessari que ens qüestionem els objectius de la tradició escolar. I la recerca ens hauria d'indicar si els estudiants han adquirit les habilitats i el coneixement associats amb la ciutadania i la responsabilitat social.

L'objectiu de l'educació no hauria de ser simplement ajudar a l'alumnat a aprovar exàmens. La veritable manifestació de l'èxit escolar no hauria de ser quins resultats obtenen els que són bons estudiants en els exàmens escolars sinó que s'hauria de

mesurar per la capacitat de fer persones que pensen, quins són els seus valors, per la seva capacitat analítica, crítica o de reflexió. L'efectivitat dels canvis que provoca la ciència escolar no es podran mesurar fins d'aquí a vint anys.

És evident que els rituals arcaics de transmissió i adquisició del coneixement no són capaços de subministrar a l'alumnat l'educació científica i tecnològica per les futures necessitats humanes. Sortosament avui hi ha un consens sobre el fet que l'aprenentatge científic és quelcom més que l'absorció d'informació. La pregunta clau que caldria plantejar-se seria que hauria d'ofereir l'educació científica a l'alumnat i a la societat.

El professorat i les instàncies implicades en prendre decisions sobre el currículum s'haurien de plantejar quins tipus de coneixements han de ser considerats educació científica legitimada i com s'haurien d'organitzar aquests coneixements de cara a la instrucció. Quan els educadors fan recerca en didàctica de la ciència les seves investigacions estan en funció de com obtenir millors resultats en l'ensenyament de les ciències. L'efectivitat es mesura per l'augment de determinats resultats en unes variables predeterminades.

La majoria de països del món ha portat a terme reformes o revisions dels currículums de ciències des dels anys 1960. La influència d'aquests esforços ha sigut variada, amb menys èxits dels que s'hauria desitjat. Avui es reprèn una revisió del currículum en què els punts centrals són una nova visió del currículum, un consens emergent sobre la naturalesa de l'aprenentatge i del procés d'ensenyament, i una nova imatge de la funció de l'ensenyant, encara que moltes vegades la inèrcia present en el sistema educatiu a tots els nivells fa difícil avançar pràcticament en aquests temes.

Apple (1992) diu que el principi segons el qual no val la pena preguntar-nos pel significat d'un mot en general sinó per com és usat per diferents grups, té una importància especial per entendre les successives reformes en el terreny del currículum. L'autor indica que en els cas dels USA, el fet de parlar de la necessitat

de modificar el currículum donada la situació de crisi en l'ensenyament és una maniobra de distracció. No es poden atribuir situacions d'empobriment i canvis socials de sectors importants de la població al sistema educatiu quan es tracta de crisis econòmiques i ideològiques generals.

En el moment actual, en els canvis curriculars que van acompanyats d'un procés de reducció de la utilitat econòmica de l'educació, s'observa que els currículums han sofert un procés de estandardització i racionalització acompanyat d'un canvi d'objectius que col·loca la industrialització en el nivell central. Al mateix temps el currículum passa a ser legislat pels Departaments d'Educació, les legislatures estatals i altres autoritats centrals. La pèrdua per part del professorat del control del seu treball i per tant del currículum ha provocat una atrofia de les habilitats que havia adquirit al llarg dels anys de professió

Linn (1992) afirma que no hi ha d'haver fronteres entre la recerca i les iniciatives de reforma del currículum i que aquest camp d'investigació s'està ampliant molt. L'autor reflexiona sobre les característiques de dos projectes de reforma americans. Un d'ells basat en que les grans idees que sostenen la ciència son senzilles i per tant proposa un currículum que inclogui l'aprenentatge de "20 grans idees". L'altre *Computer as Lab Partner (CLP)* que planteja la necessitat d'explicacions integrades que l'alumnat pugui aplicar a la seva vida diària més que no pas idees aïllades que es puguin memoritzar.

El *CLP* s'identifica amb el que el que anomena els principis pragmàtics que tenen els propis estudiants de l'ensenyament secundari. Aquests principis proporcionen un nivell d'abstracció més aviat macroscòpica que no pas microscòpica i qualitativa més que no pas quantitativa. Linn opina que no és suficient identificar les idees que poden donar un coneixement científic integrat sinó que és necessari que la instrucció relacioni els principis amb les observacions. Per aconseguir aquest objectiu Linn recull la idea de Clement (1989) de les analogies pont que poden ser útils o dels esdeveniments prototípics (Linn & Songer 1991). El *CLP* proposa buscar situacions en què l'alumnat tingui intuïcions encertades i connectar aquestes

intuïcions amb explicacions més potents. I en els cursos d'introducció a les ciències ensenyar idees que siguin més útils que no pas senzilles. Per exemple, a nivell de l'ESO veuen útil treballar amb el model de la calor entesa com a flux per a explicar els fenòmens tèrmics més que utilitzar un model cinètic molecular simple.

Segons Linn el currículum de les "20 grans idees" presenta problemes ja que en lloc de construir coneixements a partir de les idees intuïtives de l'alumnat, per exemple sobre el moviment, reforça la situació dels moviments amb fricció. Acaba convencent als estudiants de la idea que hi ha dos tipus de ciència: la de la classe i la de la vida diària.

En resum, un ampli ventall de persones implicades en la reforma del currículum estan d'acord que millorar la instrucció científica implica identificar els principis apropiats que són accessibles a un ampli grup d'estudiants si a més, se'ls ajuda aplicar-los a la vida diària. La recerca entorn el *CLP* sustenta la idea que l'alumnat amb visions estàtiques de l'empresa científica són menys capaços de comprendre la ciència que els que tenen una visió dinàmica. També hi ha un consens creixent que l'efectivitat del currículum va lligada als principis pragmàtics que assenyalen el *CLP*. I que "menys és més" en el sentit que és millor que l'alumnat construeixi alguns significats concrets més que examinar superficialment les idees científiques. La breu cobertura dels termes científics característica dels cursos d'introducció normalment reforça les estratègies de memorització. En canvi, un tractament profund i sistemàtic ajuda a un gran nombre d'estudiants a aconseguir una comprensió integrada de les idees científiques complexes que requereixen molt temps d'instrucció.

Fensham (1994) assenyalava que el currículum de química es desenvolupa com un camp particular de la ciència a nivell de l'escola secundària, en la majoria de països. En alguns es distribueix al llarg de diferents anys i en altres, s'estudia més intensament en els últims anys de la Secundària. Els dos possible models de distribució del currículum presenten problemes pel que fa a l'aprenentatge.

Respecte a l'ensenyament de la química hi ha tres possible maneres de començar l'ensenyament de la química: A) per les substàncies i intentant diferenciar els processos físics dels químics, B) per la descripció dels àtoms i l'estructura atòmica i, C) per la realització i observació de reaccions químiques. Els tres possibles inicis han sigut objecte d'un llarg debat acadèmic i encara són els que s'utilitzen en la majoria de textos i currículums de molts països.

Un exemple del tipus A) seria *Introduction Approach to Chemistry* (1970), del tipus B seria el *CHEM* i la majoria de llibres de text del nostre país previs a la Reforma i del tipus C el *Nuffield 'O' level* dels primers anys 1960. A la base del desenvolupament dels tres tipus de currículum hi ha la mateixa idea: l'aprenentatge cognitiu es produirà de manera heurística a partir d'exercicis de laboratori que estiguin ben dissenyats. Com que la quantitat de coneixement químic existent actualment és gran, es considera que la unificació de principis juga un paper poderós i útil per a l'aprenentatge. Sembla com si es partís de la idea que l'alumnat no té concepcions sobre una ciència com la química. S'espera que sigui capaç de donar resposta fàcilment i, de manera raonable, a l'especificitat dels fenòmens químics i, després connectar sense problemes amb les explicacions conceptuals i els principis més abstractes.

Les recerques fetes amb estudiants que han finalitzat la Secundària, amb graduats universitaris i professorat permeten afirmar que es tenen les mateixes concepcions a diferents edats. L'ensenyament i l'avaluació tradicional en química no té en compte aquestes concepcions i, per tant l'alumnat les pot mantenir tot i aprovar els exàmens.

Pel que fa als resultats de la recerca didàctica, l'aproximació curricular que hem identificat com B és desaconsellable com a via d'introducció a la química. Entorn a la concepció de les substàncies, en diferents estudis s'ha observat que l'alumnat pot mantenir la idea d'un àtom elemental en la formació dels compostos i d'una partícula de la substància en relació a la seva subdivisió. Llavors quan l'aigua macroscòpica i el rovell se subdivideixen, les partícules últimes són partícules o

àtoms d'"aigua" o "rovel". En el cas invers, l'afirmació que "l'aigua és H i O" significa per alguns estudiants que una molècula d'aigua està formada per una reordenació del nucli i els e⁻ de dos àtoms d'H i un àtom d'O.

Fensham, Gunstone i White (1994) esmenten que Roberts va identificar set orientacions del currículum cadascuna de les quals portava un missatge diferent sobre la naturalesa de la ciència. Una d'elles posa l'èmfasi en els processos de la ciència que contrasta amb una altra que remarca el resultat d'aquests processos, és a dir la descripció dels fenòmens naturals. Els diferents grups afavoreixen diverses orientacions. Així els líders del moviment STS afavoreixen tres tipus de les set orientacions: plantejar-se el temes ambientals, aplicar la ciència i la tecnologia als problemes socials i donar una base sòlida a l'aprenentatge posterior. Altres grups preocupats per la perspectiva de gènere proposen que la ciència escolar sigui més sensible als interessos de les noies.

Aquesta reconceptualització de les orientacions i els continguts de la ciència escolar no és el resultat únicament de debats i discussions acadèmiques.

Gairebé tots els desenvolupaments curriculars de l'última dècada es refereixen a "conceptes en un determinat context". Per exemple el projecte Salters proposa com a context de partida aplicacions de la ciència, en concret del concepte que es vol ensenyar. El PLON, un projecte de física holandès destaca la "Ciència com una manera de conèixer i prendre decisions STS. L'australià Mc Clintock Collective (1987) ha produït uns materials curriculars que incorporen la perspectiva de gènere com a tret fonamental.

La diferenciació entre substàncies pures i mescles és confusa tant en les descripcions que fan de les substàncies es la química escolar com en els materials de cada dia. Aquests darrers, en la majoria de casos se'ls tracta com si fossin substàncies pures encara que siguin mescles.

Tal com havien assenyalat altres autors, Fensham insisteix en que la diferència entre canvis físics i químics no és tant fàcil d'assolir com voldriem. En primer lloc "dissoldre" i "fondre" s'usen de manera indistinta; la presència de calor en els dos processos quan es vol accelerar la dissolució augmenta la confusió. En segon lloc, de fet els fenòmens no són clarament diferents. Quan la sal es dissolt en aigua, l'anió i el catió hidratats que hi ha a la dissolució no són l'anió i el catió que hi havia a la sal sòlida. Quan el HCl gas reacciona amb l'aigua com si es dissolgués forma espècies iòniques que no eren presents en el gas original. El CO₂ es dissolt i reacciona amb l'aigua. Quan s'escalfa sulfat de sodi no té lloc una fusió però ho sembla en el moment que els ions SO₄²⁻ i els Na⁺ es dissolen en l'aigua sòlida de cristal·lització. Els metalls com el Mg es dissolen en els àcids encara que en aquest cas és clarament una reacció perquè es forma una nova substància, H₂ gas.

Com les altres categoritzacions de la naturalesa utilitzades en ciències, els canvis físics i químics són les situacions límit d'un *continuum* de canvis i, sovint són percebuts de manera alternativa pels principiants.

Entorn a les concepcions sobre l'estructura atòmica relacionades amb el tipus d'aproximació curricular B, l'alumnat a qualsevol edat utilitza el vocabulari d'àtoms i molècules amb relativa facilitat però amb significats diferents dels avui acceptats científicament. La raó subjacent tal com han mostrat els estudis inicials per Nussbaum (1985), Renstrom et al (1990) que cita Fensham (1994) és la de no tenir una visió discontinua de la matèria. Un altre problema és la transposició de les propietats macroscòpiques de la substància a nivell d'àtoms o molècules. Per això la majoria d'estudis recomanen reconèixer explícitament la diferència entre el nivell macroscòpic i el microscòpic d'un mateix fenomen. Ten Voorde (1990) suggereix ser molt selectiu a l'hora de triar els fenòmens que cal explicar als dos nivells ja que únicament el context empíric de la ciència no fa necessari parlar de l'estructura particulada.

La igualació de les reaccions químiques es presenta com l'aprenentatge d'un conjunt de normes de manera que no suposa una conceptualització simultània de la

conservació de la massa o de la matèria en termes atòmics que es converteixen en axiomes buits de contingut per a molts estudiants.

Fensham cita els treballs de De Vos i Verdonk (1985) reconeixien el paper de l'energia en els sistemes químics com una font de concepcions alternatives. Les manifestacions fenomenològiques de l'energia ajuden que l'alumnat raoni més en termes de conversió de l'energia més que no pas en la conservació de la matèria.

Fensham, Gunstone i White (1994) creuen que la classificació habitual del currículum en coneixements, processos i actituds és al mateix temps massa simple i massa abstracta per recollir tota la riquesa de la ciència. La simplicitat de la classificació obliga a posar en tres categories aspectes de l'exploració humana de la naturalesa que són epistemològicament diferents. El nivell d'abstracció de la classificació separa el contingut científic de les situacions humanes i dinàmiques dels seus orígens i del seu aprenentatge. Cal substituir aquesta simplificada trilogia per la del contingut objecte d'aprenentatge. Cal buscar noves tipologies per descriure el contingut científic encara que per la seva complexitat sabem que no n'hi ha una que sigui la ideal o que pragmàticament sigui la més clara.

4.2 El coneixement escolar en els llibres de text

En els estudis sobre la transposició didàctica del coneixement, els llibres de text són una referència obligada. La ciència estereotipada que es presenta en els llibres de text contrasta fortament amb les consideracions exposades a l'apartat anterior sobre el currículum. En general, no respecta les concepcions actuals sobre el procés d'ensenyament i aprenentatge, va en contra dels resultats obtinguts sobre la manca de comprensió i d'interpretació dels fenòmens científics per part de l'alumnat i afavoreix un paper passiu per part del professorat en el procés d'aprenentatge. El contingut dels llibres de text no es deriva linealment dels currículums ni dels resultats de la investigació didàctica i, és el fruit de les decisions preses pels propis autors sobre el coneixement escolar que cal ensenyar.

Malgrat que els textos de ciències haurien de representar una ajuda per a l'aprenentatge dels i les alumnes, en realitat presenten molts obstacles. Qualsevol text ens ofereix una imatge del món elaborada mitjançant estructures de paraules i frases; no ens poden oferir directament la vivència dels fets i els fenòmens, només la interpretació dels mateixos que l'autor ens vol donar a conèixer.

Per a comprendre un text escrit té molt interès identificar les seves estructures i analitzar la seva coherència. El problema de la lectura i la comprensió dels textos de ciències se centra en l'anàlisi dels experiments i els fets del món. Distingim entre els fets del món que són els fenòmens, les propietats, ... i els fets científics que són les seves elaboracions literàries, és a dir les reconstruccions escrites dels mateixos (Izquierdo, M 1996). Els textos de ciències presenten una peculiaritat: tracten sobre el món real i, la relació entre aquest i el text té lloc mitjançant els fenòmens i l'experimentació. Per tant, a l'estudi de la coherència habitual en un text que inclou les repeticions, la presència de connectors i els implícits, cal afegir la connexió, habitualment problemàtica entre el món experimental i el text.

El text ens ofereix un "món de paper" que és un signe del món real i que permet noves "accions", noves maneres d'actuar que són actes lingüístics conseqüència directa del text escrit: classificar, definir, anomenar, No obstant, pot passar que aquest món de paper no connecti adequadament amb els fenòmens. Això succeeix quan s'introdueixen nous llenguatges (fórmules, nova terminologia, esquemes, gràfics) sense que l'alumne conegui exactament com s'arriba a ells, quina utilitat tenen per interpretar els fenòmens o el que és pitjor quan el text no indica quins són aquests fenòmens (Izquierdo i Rivera, 1997).

En els textos científics es poden identificar quatre tipus de narratives experimentals (Izquierdo, M. 1996) les quals determinen diferents tipus de discurs. En un text afirmatiu els experiments es presenten interpretats en el marc teòric implícit en el text. És el tipus de narrativa predominant en els llibres de text més clàssics i en ells es codifica, defineix i facilita l'aprenentatge memorístic.

En un text de dubte retòric els experiments es presenten de manera intrigant: succeeix alguna cosa que té una explicació desconeguda per al lector i que l'autor coneix i vol comunicar. Un text de dubte real no és freqüent trobar-lo entre els llibres de text, en ells es presenta la ciència com una indagació d'allò desconegut. En un text magistral els experiments es presenten a tall d'epítom. Es seleccionen de manera que presentin una visió àmplia d'un gran grup de fenòmens i, per això l'autor destaca els aspectes que més li convenen, ja que a continuació desenvoluparà el text en funció d'ells. Així s'introdueix un marc teòric sense dir-ho i s'aconsegueix fer raonable l'estructuració del coneixement.

Un dels aspectes que sovint es passen per alt en l'anàlisi dels llibres de text és el manteniment d'estereotips jerarquitats que discriminen a les persones per diverses causes: el gènere, la cultura i la condició social, entre altres. En el cas dels textos de ciències s'observen reticències a l'eliminació dels estereotips sexistes (Solsona i al, 1995). Aquests estereotips han sigut assumits en el sistema educatiu de manera que han arribat a normalitzar-se. Els agents de transmissió dels estereotips són diversos: el propi professorat, el model de ciència que es transmet i els llibres de text. En un estudi recent (Nuño i Ruiperez, 1997) de llibres de text de l'ESO s'observa que malgrat que el model de ciència que es presenta vol ser més contextualitzat i proper a la vida quotidiana, en ells llibres que corresponen al 2on. cicle de l'ESO es converteix en més abstracte. L'anàlisi de la presència de dones en les il·lustracions i el llenguatge que s'utilitza és superior al d'estudis anteriors (Proyecto IDEA, 1991), però l'absència de l'aportació i les cites de les científiques potencia una identificació de la ciència amb el món masculí.

En resum, podem dir que un llibre de text de ciències ha de complir els requisits de comunicació de qualsevol text: estar estructurat segons la seva finalitat, progressar sense perdre la connexió amb els seus referents externs i ser coherent. I finalment ha de ser convincent.

4.3 El referent empíric: l'experimentació escolar

Entenem per experimentació escolar aquelles activitats d'ensenyament en les quals l'alumnat interacciona amb materials per a observar fenòmens (Izquierdo, 1995). Si acceptem que la naturalesa no s'explica per ella mateixa, hem d'admetre que la mediació teòrica i instrumental adquireix importància en la construcció del coneixement científic, com també els signes que s'utilitzen la comunicació d'aquest coneixement. No existeix un mètode fàcil de descriure la producció del coneixement científic i en qualsevol cas el mètode no consisteix a experimentar, buscar lleis, formular hipòtesis i finalment arribar a teories generals. Les persones que treballen en ciències ja tenen un principi de resposta quan dissenyen un experiment, és a dir formulen les lleis en el marc d'una teoria i, per tant els resultats que obtenen són interpretats en aquest marc conceptual previ. Això ens fa pensar que la introducció de l'experimentació a l'aula cal fer-la d'una manera flexible, en funció de les preguntes que l'alumnat sigui capaç de formular-se i en seqüència del seu marc teòric.

Alguns autors (Hodson, 1992; Osborne, 1993) assenyalen que l'aprenentatge de l'alumnat en ciències és de nocions sense referents, el que obliga a considerar de nou la relació entre les pràctiques i l'aprenentatge teòric. La interrelació entre la teoria científica i la pràctica experimental configuren els continguts del nou ensenyament de les ciències (Márquez i Solsona, 1993, Izquierdo, 1994a). L'experiment és un aspecte central de l'educació científica sempre que es tingui en compte el nou enfocament de la importància de la mediació teòrica. Segons Izquierdo (1995), les pràctiques de laboratori són imprescindibles per a la construcció del coneixement teòric i, no solament per al coneixement procedimental o actitudinal. Però alguns autors com Hodson (1990) fan una crítica molt dura a les expectatives de formació intel·lectual a partir de les pràctiques i opinen que desconeixem el que l'alumnat fa en realitat al laboratori. Woolnought (1991) i Hodson (1992) qüestionen la manera en que s'utilitza el treball pràctic, encara que fa palesa la importància del coneixement factual i de l'experimentació escolar per a l'aprenentatge científic.

Un problema d'un altre ordre és el que assenyalen altres autors (Duschl, 1988, Hodson, 1988 i Duveen et al, 1993 a Sutton, 1996) quan afirmen que els experiments i les teories estan bastant desconnectats en la ment de l'alumnat, amb el que això suposa d'incomprensió del que és un experiment. Dit d'una altra manera: no hi ha un camí lògic simple de l'experiment a la teoria.

Sutton (1996) cita a Gunstone que suggereix que perquè el treball pràctic tingui efectes seriosos en la reconstrucció de la teoria dels estudiants i en l'establiment de lligams entre els conceptes, s'hauria de dedicar més temps a interaccionar amb les idees i menys temps interaccionant amb els aparells. White (1996) proposa realitzar investigacions en el sentit d'esbrinar perquè es realitzen tant poques pràctiques imaginatives i segueixen essent habituals les pràctiques rutinàries en els laboratoris escolars.

En la nostra recerca, es volen avaluar elements del referent empíric utilitzat en la intervenció didàctica que ha seguit la mostra objecte d'estudi. Entenem per referent empíric les manipulacions i la seva descripció, l'exploració dels problemes derivats dels experiments o la modelització en funció dels raonaments accessibles i dels medis de simbolització disponibles per a representar els fenòmens.

Això fa que tingui molta importància el coneixement factual en l'aprenentatge de la química. Aquest queda justificat des de la perspectiva de ciència escolar, perquè creiem que l'alumne ha de raonar en el terreny dels fets i no sols en el dels conceptes, per poder-ho utilitzar després en l'elaboració d'explicacions. Creiem que el domini del coneixement factual pot ser la millor expressió de que el noi o la noia no tenen solament un referent teòric del canvi químic, insuficient per a la construcció d'un model teòric coherent del canvi químic. També podria ser la manifestació que disposen d'un fenomen paradigmàtic del canvi químic que els facilitarà posteriorment el raonament analògic per interpretar altres canvis químics.

Els fets paradigmàtics (Izquierdo, 1995) són aquells experiments o fets que es proposen a l'alumnat per a interpretar-los i que ajuden a vertebrar el coneixement

entorn d'ells mateixos. Han de reunir algunes característiques com ser coneguts o resultar significatius per l'alumnat, han d'implicar manipulació però sense que les dificultats experimentals arribin a interferir la representació que se'n faci l'alumnat i han de servir d'exemple per a d'altres fenòmens.

L'experimentació no pot ocupar el mateix lloc en la ciència escolar que en el procés de construcció de la ciència per part de la comunitat científica. El paper de l'experimentació escolar, tant en el sentit de l'acció en el laboratori, com en la construcció dels fets experimentals, ha de servir per construir un model teòric dels fenòmens observats, sinó no és útil a l'alumnat.

Des del nostre punt de vista, per situar correctament l'experimentació escolar en el procés d'aprenentatge cal tenir en compte que les ciències han estat naturalistes al llarg de la història, però actualment són teòriques (Izquierdo, M. 1996). Els models teòrics només són vàlids si finalment són útils per interpretar un fet del món real (un fenomen o relacions entre fenòmens); però aquest fet està incrustat en una teoria, mediatitzat per experiments (per l'acció de la persona que fa recerca i per l'instrument que usa) i pel llenguatge relacionat amb el fet científic.

Des de la perspectiva de les ciències cognitives, l'elaboració dels models teòrics permet tenir en compte de manera seriosa els models teòrics parcials que va construint l'alumnat posant l'accent en les relacions de similitud amb els fenòmens que desitja explicar. Al mateix temps detecta les analogies i les metàfores que utilitzem per a connectar els models amb la realitat de manera convincent; d'altra banda cal admetre que els models elaborats a partir dels fets són convencionals i poden canviar, no són arbitraris, connecten de manera significativa amb el món i el "modelen".

En resum, volem dir que el nostre marc teòric de referència d'acord amb un model cognitiu de ciència vol ser, en primer lloc una aportació que permeti investigar quins models teòrics construeix l'alumnat sobre el canvi químic durant el procés

d'aprenentatge. I per tant els resultats de la recerca seran una forma de fer operatiu el concepte de model teòric, aplicat en concret al model teòric de canvi químic.

En segon lloc, com que coincidim amb un plantejament d'evolució de les idees, tractarem de definir uns perfils conceptuals que descriguin l'estat conceptual de l'alumnat i els models teòrics es caracteritzaran en funció dels perfils conceptuals. No seguirem la proposta de Mortimer (1995b) en el sentit de basar-nos en les característiques històriques i conceptuals del concepte de canvi químic sinó, que farem atenció a les característiques importants des de la perspectiva dels model teòrics a construir. Això és tot el que fa referència al concepte de canvi químic, als altres conceptes que el caracteritzen i als fenòmens suggeridors del concepte.

D'acord amb un plantejament interdisciplinari, el nostre marc teòric inclou un important referent a l'anàlisi del discurs, en la mesura que això ens permetrà analitzar alguns dels elements que són presents en el discurs que construeix l'alumnat: les analogies, la causalitat i la polisèmia.

Coincidim amb Sutton (1996) quan diu que necessitem saber més sobre com utilitza el llenguatge l'alumnat, és a dir, sobre com elabora explicacions a un fenomen determinat o com expressa les seves idees sobre el que és un canvi químic. Ens interessa explorar a fons la relació entre els fets i la teoria, i les vies de connexió que estableix l'alumnat entre el coneixement factual i el teòric.

Per últim i ja que es tracta d'una recerca en context escolar, hem volgut donar-li categoria de marc teòric a aquells aspectes relacionats amb la proposta curricular que ha rebut la mostra. La recerca vol explorar els resultats d'una determinada intervenció didàctica, és a dir caracteritzar quina ciència escolar està construint l'alumnat. Per això hem fet un repàs de les diferents perspectives que hi ha sobre les característiques, la funció i els diferents tipus de currículums en ciències, l'anàlisi dels llibres de text i la seva narrativa experimental i la funció de l'experimentació escolar.

III. Disseny de la recerca

5. Orientació general de la investigació

6. Metodologia de la recerca

6.1 Descripció de la mostra i del procés d'instrucció seguit

6.2 Instruments per a la obtenció de les dades

6.2.1 El qüestionari de l'experiment del cicle del Cu

6.2.2 La redacció

6.2.3 L'entrevista

6.3 Tractament de les dades

6.3.1 Les xarxes sistèmiques

6.3.2 La microestructura i la macroestructura de les reaccions

6.3.3 Organització de les dades a les entrevistes

En el primer capítol, hem ofert una panoràmica general dels antecedents de la nostra recerca i, en el segon capítol, hem intentat descriure el marc teòric que l'emmarca. Com indica Llorens (1987) la relació entre el marc teòric i l'estudi empíric que es realitza delimita i clarifica el problema a investigar, dóna sentit a les hipòtesis de treball, serveix de guia per a la recollida i anàlisi de les dades, atorga validesa als instruments i dóna significat als resultats acotant el seu abast i la seva aplicabilitat.

En aquest capítol exposarem el disseny metodològic de la recerca. En primer lloc, volam explicitar la orientació general de la nostra investigació en el marc de la didàctica de les ciències, portada a terme en context escolar. Per això, definim l'objectiu de la recerca, és a dir, el problema que volam analitzar i, que en el nostre cas es caracteritza per la naturalesa de les dificultats conceptuals de l'alumnat entorn de l'aprenentatge del canvi químic.

A continuació fem una reflexió sobre la metodologia qualitativa de la recerca. Creiem que la qualitat d'un estudi no ha d'associar-se necessàriament a estudis quantitius, ja que molts d'aquests treballs condueixen a fragmentar artificialment la realitat, a tenir en compte poques variables o a plantejar hipòtesis poc rellevants. En aquest capítol també fem una descripció detallada de la mostra, un grup classe d'un Institut de Batxillerat de Barcelona i, discutim les dificultats que sorgeixen al realitzar la recerca en un context escolar. També descrivim el procés d'instrucció seguit per l'alumnat durant els tres anys que ha durat la investigació.

En el següent apartat, expliquem els instruments utilitzats per a la interpretació de les dades: les xarxes sistèmiques en el cas de l'experiment del cicle del Cu i els mapes de Thagard (1990a) que hem fet servir en l'anàlisi del contingut de les redaccions. L'anàlisi de les entrevistes s'ha fet estudiant el contingut categorial de les mateixes i l'ús del raonament causal a l'hora d'elaborar les explicacions. S'intenta justificar en cada cas el perquè dels instruments escollits, distingint sempre que és possible entre diferents possibilitats.

5. Orientació general de la investigació

La nostra recerca s'insereix en el marc de la investigació en didàctica de les ciències experimentals, una disciplina emergent que s'inclou en el camp més ampli de les Ciències de l'Educació. La investigació didàctica presenta una considerable complexitat derivada del seu objecte d'estudi: els sistemes d'ensenyament i aprenentatge. La complexitat dels problemes que ha de resoldre la didàctica de les ciències requereixen un estil d'investigació que sigui capaç de captar tots els detalls en les diferents situacions d'ensenyament (Izquierdo, 1995).

En la dècada de 1980 es va iniciar el debat teòric entorn a les metodologies de recerca qualitativa (Goetz i Lecompte, 1988) però es van fer poques realitzacions pràctiques. Les recerques en didàctica de les ciències pertanyen al camp de les ciències humanes i, per tant les metodologies qualitatives que s'utilitzen s'han d'adaptar a aquesta situació (J.P. Astolfi, 1993). No és tracta de complementar les dades qualitatives amb dades quantitatives o d'utilitzar una mescla de les dues metodologies o de fer recerca qualitativa com un preludi d'estudis quantitius més representatius. D'acord amb els nous objectius de l'educació científica (Yager et al, 1982, Fensham, 1983) s'ha vist la necessitat d'un canvi en els mètodes d'investigació didàctica: cal "comprendre" el que succeeix a l'aula (Izquierdo, 1995) i per això, els mètodes quantitius de recerca són inadequats. Una aproximació interpretativa conjuntament amb una visió constructivista permetrà formular-se diferents preguntes i obtenir diferents solucions de manera que la recerca en didàctica tingui força per intervenir en la pràctica.

El principal obstacle per a la incorporació d'aquesta alternativa teòrica i metodològica de caràcter qualitatiu ve de la forta tradició que té encara avui el positivisme. El paradigma positivista proposa un model d'investigació conductista i quantitatiu amb l'acceptació d'una sèrie de supòsits mecanicistes, estàtics i ahistòrics. I que la interpretació de dades es pot fer aïllant-la del context social i cultural en que es produeixen.

Els paradigmes alternatius a la tradició positivista s'identifiquen amb l'escola interpretativa on el que preocupa es indagar com les persones construeixen i reconstrueixen els significats científics. A nivell de l'àmbit escolar es tracta de recollir dades significatives, per poder interpretar-les i després poder comprendre i intervenir més adequadament en el nínxol ecològic que són les aules. Per això ja hem dit que cal recórrer a dissenys metodològics de caràcter qualitatiu.

No podem fer una transposició acrítica dels paradigmes i mètodes d'investigació que serveixen per establir regularitats i lleis a les Ciències Experimentals per als estudis de les ciències humanes i socials. Les recerques en didàctica pertanyen al camp de les ciències humanes, per tant les metodologies que utilitzen han de ser adaptades a aquesta situació. La metodologia pròpia del moment actual de Didàctica de les Ciències és qualitativa i, sovint és considerada una fenomenologia.

Creiem que qualsevol investigació ha d'explicitar el marc teòric del seu treball, com hem intentat fer en el capítol II, de manera que es puguin conèixer els biaixos i les suposicions que afecten al fenomen que està estudiant, les limitacions que imposen els paradigmes i les teories que emmarquen la seva feina.

Aquesta és una recerca qualitativa, on la fiabilitat de les dades es substitueix per la confiança en les dades empíriques (Gutiérrez, 1996b), tal com es podrà observar al llarg de la descripció de la mateixa. Avui, en didàctica les investigacions més interessants són aquelles que exploren un problema des d'una diversitat de perspectives, utilitzen diferents metodologies tan en l'anàlisi com en la recollida de dades (Sanmartí i Azcárate, 1997), és a dir, s'emmarquen en el pluralisme metodològic.

Com assenyala Llorens (1987) en qualsevol investigació sempre hi ha un problema que es vol resoldre per millorar una situació deficitària. En el nostre cas, la problemàtica que es pretén abordar està estretament relacionada amb l'aprenentatge. La recerca vol aprofundir en el procés de construcció de significats

dels fenòmens químics en un context escolar mitjançant l'anàlisi del discurs científic que va construint l'alumnat al llarg de l'ensenyament secundari.

En la nostra recerca s'ha realitzat el seguiment de l'alumnat d'una classe durant tres cursos escolars. L'origen de la recerca es troba en la pròpia pràctica docent, en la reflexió sorgida a partir de les dificultats observades a l'aula i en l'intent d'elaborar materials curriculars que afavoreixin l'aprenentatge dels conceptes químics. Tot això, en un moment en que la Reforma educativa podria afavorir la possibilitat de fer un balanç dels resultats d'aprenentatge obtinguts amb la proposta que es feia des del sistema educatiu anterior, per tal d'innovar en les pràctiques educatives.

La majoria d'estudis en didàctica de la química que hem recollit en el capítol I, s'han centrat en l'anàlisi de les idees de l'alumnat sobre conceptes químics com el mol, els conceptes d'àcid i base, l'electroquímica i d'altres que pressuposen l'existència del concepte de canvi químic. Una altra part de les recerques s'ha centrat en l'anàlisi de les dificultats per part de l'alumnat en utilitzar el nivell microscòpic per elaborar explicacions als fenòmens químics. També en altres estudis (Llorens, 1987, Andersson, 1990, Solsona, 1994, Morató, 1991, Hesse, 1992, Carreto i Viovy, 1994, Landau, 1996) s'ha posat de manifest les dificultats de comprensió d'un concepte central en l'aprenentatge de la química com és el de canvi químic.

La problemàtica que s'aborda en aquesta investigació és la de conèixer quin concepte de canvi químic ha construït l'alumnat que segueix l'ensenyament reglat de BUP abans d'entrar a la Universitat. El problema, en concret, que volem estudiar és quina relació estableix l'alumnat entre els fenòmens químics que es posen al seu abast durant el procés d'aprenentatge i, les explicacions, en termes teòrics, macroscòpics i microscòpics que va construint dels mateixos. Ens interessa esbrinar quin grau de contribució significativa tenen aquests dos tipus de coneixement, el factual i el teòric, en la construcció del model de canvi químic de l'alumnat.

El primer objectiu de la recerca és posar de manifest la naturalesa de les dificultats de l'aprenentatge del concepte de canvi químic, és a dir, de les dificultats derivades de la manca de connexió entre la descripció dels fenòmens químics i l'elaboració d'explicacions equilibrades entre el nivell macroscòpic i microscòpic dels mateixos.

Paral·lelament amb això, el segon objectiu de la recerca és el de detectar els "models teòrics" de l'alumnat i d'aquesta manera fer operatiu aquest concepte. Els models teòrics han de permetre descriure quins conceptes químics incorpora l'alumnat i com els relaciona. Aquests models pretenen dibuixar les diferents vies que segueix l'alumnat en el procés de construcció de significat del concepte de canvi químic i esbrinar i, posar de manifest, si s'escau com es produeix la desconexió entre el món dels fenòmens químics i les explicacions teòriques elaborades pels estudiants.

Aquest segon objectiu de la recerca és al mateix temps un objectiu metodològic ja que es tracta de buscar un nou instrument que ens permeti fer un diagnòstic que vagi més enllà de les afirmacions de si l'alumne té o no el concepte de canvi químic i, descriure possibles vies de construcció del procés d'interpretació química dels fenòmens.

El tercer objectiu de la recerca serà el d'intentar definir el model de canvi químic desitjable que l'alumnat hauria de construir com a resultat de l'aprenentatge al finalitzar la Secundària Obligatòria, abans d'entrar a la Universitat.

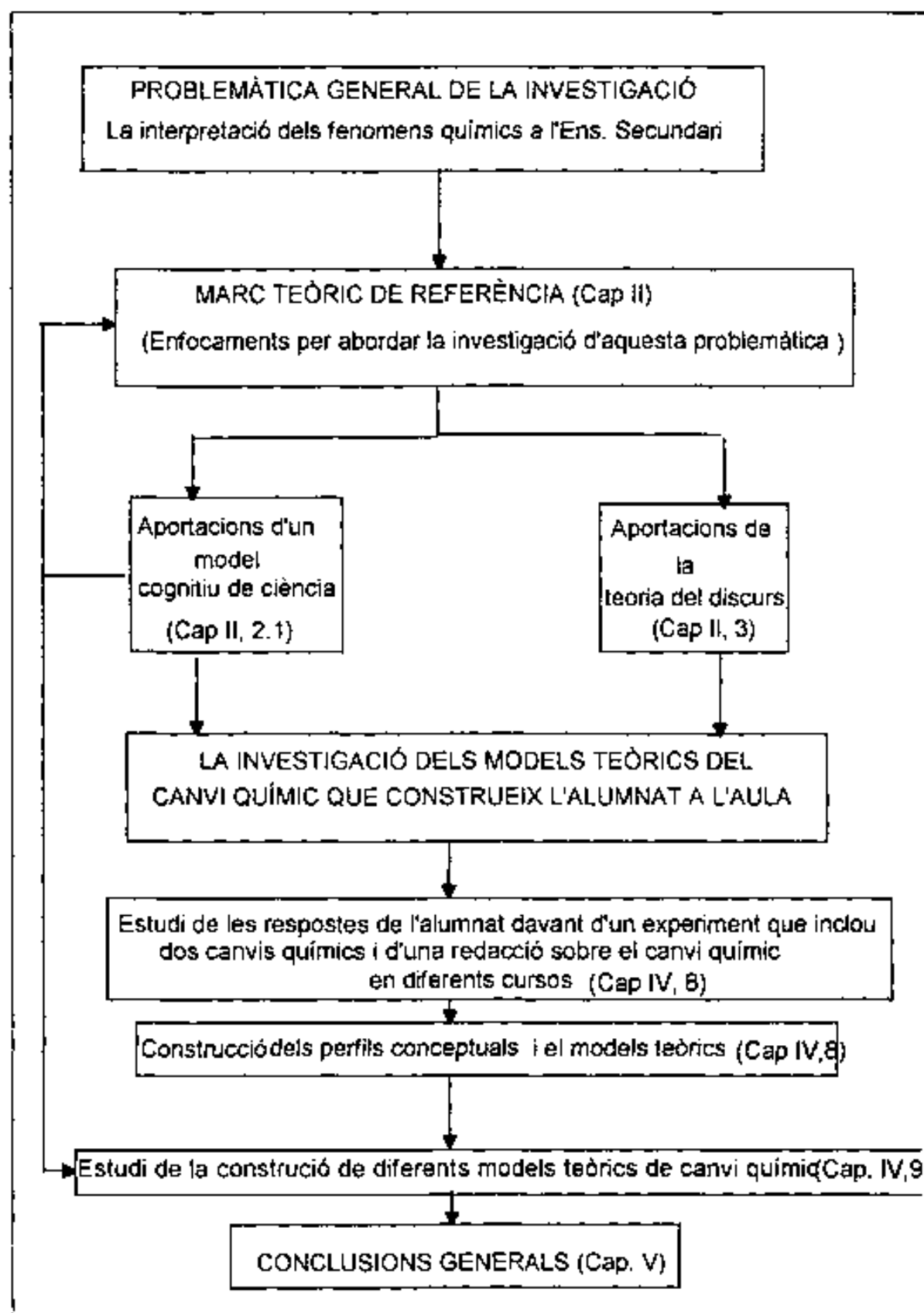
La recerca en Didàctica de les Ciències ha permès elaborar diferents instruments per conèixer el pensament dels estudiants en relació a la química. La majoria d'aquests instruments han resultat molt eficaços i han permès posar en evidència la complexitat de l'ensenyament de les ciències. S'ha posat de manifest que cal tenir en compte la reflexió espontània de l'alumnat i utilitzar estratègies d'ensenyament que permetin donar valor a tota la riquesa d'aquesta reflexió, per tal de poder-la guiar cap als esquemes quantitativs i teòrics de les ciències. Els instruments que

s'han anat elaborant en Didàctica de les Ciències pretenen diagnosticar i, al mateix temps, fer el seguiment de l'alumnat durant el període d'aprenentatge.

L'enfocament de la nostra recerca és interdisciplinari i plurimetodològic. Interdisciplinari en la mesura que recull reflexions i aportacions que tenen el seu origen en la psicologia i la filosofia de la ciència, pel que fa als models teòrics, i s'inspira en els treballs que provenen de la lingüística. En concret, de l'anàlisi del discurs en la mesura que s'utilitzen instruments d'interpretació de les dades com la macroestructura, la microestructura i es té en compte la importància de la coherència d'un text escrit i l'ús d'analogies en l'elaboració d'explicacions als fenòmens.

La majoria de la investigació didàctica actual es caracteritza pel pluralisme metodològic. Es tracta d'acomodar els mètodes i els instruments que s'investiguen, fent una utilització complementària dels tractaments qualitatiu i quantitatiu i una utilització sempre hipotètica i contextual dels resultats de la investigació. El sistema de categories que s'utilitza es el resultat de la interacció de les dades amb el criteris que regeixen la investigació en funció del marc teòric.

El següent quadre presenta una descripció general de la investigació:



Descripció general de la investigació

6. Metodologia de la recerca

Les investigacions es poden classificar segons De Groot (1969) en cinc tipus diferents: 1) Estudis de comprovació que són els que es produeixen en la ciència normal segons la terminologia kuhniana. En ells s'elabora una hipòtesi que es sotmet a verificació, 2) Estudis descriptius en els que com el seu nom indica l'objectiu és recollir una sèrie de dades que permeten descriure una situació sense fer-ne interpretacions, 3) Estudis d'exploració que tenen l'objectiu d'establir relacions entre les dades que s'obtenen, 4) Estudis instrumental - nomològics que tenen per objectiu validar i estudiar la fiabilitat d'un instrument de recerca com per exemple, els qüestionaris i 5) Estudis teòric - interpretatius que verifiquen la validesa dels seus resultats amb una gran mostra i utilitzen diferents poblacions, països o mostres.

La nostra recerca forma part dels estudis d'exploració, en la mesura que a partir de les dades obtingudes, és a dir, de les explicacions elaborades per l'alumnat s'intenta establir relacions entre ells, per tal de definir els possibles models teòrics del canvi químic.

En el nostre cas no hi ha hagut una rigidesa en la direcció de la investigació. L'objectiu inicial d'identificar què sap l'alumnat sobre els canvis químics i com els interpreta, a mesura que la investigació ha anat avançant s'ha anat ampliant o redefinint en funció de les categories d'anàlisi que han anat apareixent i les darreres aportacions teòriques en el camp de la recerca didàctica. En concret, la proposta de construcció de perfils conceptuals i la possible existència de models teòrics, com a forma de representació dels fenòmens químics han sigut un gran ajut per a la orientació definitiva de la recerca.

Les dades de la nostra recerca han estat proporcionades per les produccions de l'alumnat: els qüestionaris que acompanyen la realització de les dues reaccions que componen l'experiment del cicle del Cu, una redacció sobre el canvi químic,

realitzades a classe de química, i les entrevistes sobre la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, la segona reacció inclosa en l'experiment del cicle del Cu.

Els instruments per a la interpretació de les dades obtingudes són les xarxes sistèmiques en l'experiment del cicle del Cu i els mapes de Thagard (1990b) per a l'anàlisi del contingut de les redaccions. Els mapes s'han utilitzat per detallar la microestructura i la macroestructura semàntica, a partir dels quals s'ha fet l'anàlisi categorial. Aquest anàlisi ens ha permès establir uns perfils conceptuals i construir els "models teòrics" del canvi químic. Finalment, l'anàlisi de les entrevistes s'ha fet estudiant el contingut categorial de les mateixes i la construcció de raonament causal per part de l'alumnat a l'hora d'elaborar les explicacions.

Com en qualsevol recerca, hem d'interrogar-nos sobre el tipus de resultats que pot aconseguir i la naturalesa dels resultats fiables que produeix. En la nostra recerca, les dades obtingudes són el resultat d'un estudi de naturalesa qualitativa i numèricament restringit. El tractament de dades que aplicarem per analitzar-les queda justificat, com en altres estudis (Annick Weil- Barais, 1989) per l'objectiu didàctic que té per nosaltres. A més, en la mesura que hem analitzat una situació d'aula no fictícia presenta un valor afegit que és la seva validesa ecològica (Bracht & Glass, 1968). S'entén per validesa ecològica, un tipus de validesa externa que es refereix a que cal esperar els mateixos resultats, si es manté un entorn similar de l'experiment, és a dir de les condicions en que es porta a terme: l'escenari, les proves, els experimentadors, les variables que es consideren, etc.

En la recerca didàctica tenim dues possibles estratègies per fer la lectura de dades: una lectura guiada per les hipòtesis i la categorització a priori de les persones i de les situacions, o bé una lectura guiada per l'estructuració a posteriori de les dades. Aquesta última posició s'anomena "lectura guiada per les dades" (Annick Weill - Barrais, 1987). Aquests dos tipus de lectura són en realitat dos pols entre els quals oscil·len la majoria de mètodes. En la pràctica, la nostra recerca ha sigut un anar i venir entre els dos pols, on ha predominat la segona estratègia.

La recerca que hem portat a terme segueix les pautes de l'experimentació seriada, si tenim en compte els resultats de la primera fase (Solsona, 1994) i l'estudi definitiu de la recerca que ara presentem. En aquest sentit un cop seleccionat un fenomen central com el cicle del Cu, a la formulació concreta de les preguntes realitzada el primer any s'han anat suprimint, afegint, substituint i redefinint algun apartat fins arribar a les entrevistes.

La recerca realitza un estudi diacrònic en la mesura que està interessada en estimar la variació de la interpretació del fenomen químic al llarg del temps, concretament en els tres últims anys d'escolarització no universitària.

6.1 Descripció de la mostra i del procés d'instrucció seguit

El criteri de selecció de la mostra per a la fase definitiva de la recerca ha estat el de disposar d'un parell de grups classe que fossin representatius de la població escolar mitja que finalitza els estudis de Secundària. En aquest sentit, hem procurat que corresponguessin a un nivell social que no fos privilegiat ni especialment baix i, que hi hagués una representació de diferents orígens socials i tradicions familiars. Donada l'estructura social de la ciutat de Barcelona ens va semblar que l'Institut de Batxillerat Barri de St. Andreu reunia aquestes característiques.

La mostra escollida per a realitzar la fase definitiva de la recerca és un grup de 51 estudiants, de l'actual Institut d'Ensenyament Secundari Dr. Puigvert, abans I.B. St. Andreu de Barcelona. El seguiment dels dos grups classe es va realitzar durant tres cursos escolars, del curs 1992/ 1993 fins al 1994/1995. Per tal de preservar la seva identitat, al llarg de la recerca, ens referirem als nois i a les noies amb un número d'ordre que va de 1 a 60. La diferència entre el total de 60 alumnes que van ser objecte de recerca i els 51 que formen part de la mostra seleccionada, ve donada pel fet que alguns del total dels 60 van haver de ser exclosos perquè no havien contestat totes les preguntes i impedièen la homogeneïtat de la mostra. Això queda reflectit en la numeració que hem fet servir per identificar a cada noia i cada noi, ja que encara que la mostra és de 51 estudiants, la numeració arriba fins a 60.

El fet que totes les preguntes s'hagin realitzat en horari escolar té l'avantatge de no crear situacions excepcionals que podrien distorsionar la recerca, en la mesura que no permetrien captar un context escolar real. Però presenta alguns inconvenients ja que la realització d'un experiment suposa algunes dificultats: cal organitzar el laboratori, realitzar la sessió amb la meitat del grup classe, entremig de les altres sessions de classe que va seguint el seu desenvolupament amb tot el grup classe i, amb la possibilitat de que algun alumne no realitzi l'experiment o presenti el qüestionari que acompanya la realització de l'experiment incomplet. Aquesta ha sigut la nostra experiència, per exemple, alguns alumnes no van lliurar el qüestionari que van omplir en fer per primera vegada l'experiment del cicle del Cu, que anomenarem Cu 1, però després l'esmenten en la redacció R1. Aquest és el cas de com a mínim 6 alumnes que s'identifiquen amb els números 4,11,18,26,51 i 52.

Això ha comportat la necessitat d'homogeneïtzar la mostra ja que tenia diferent nombre d'estudiants per cadascuna de les preguntes. Les dues vegades que han realitzat l'experiment del cicle del coure hem seleccionat les respostes corresponents a 25 estudiants, 12 noies i 13 nois. En el cas de les redaccions hem treballat amb una mostra de 51 estudiants, 22 noies i 29 nois. La necessitat d'una mostra més gran, en les redaccions, queda justificada per la necessitat de disposar d'una base més àmplia de dades que permetés establir els models de canvi químic que està construint l'alumnat durant l'aprenentatge.

L'últim any de la recerca es van realitzar entrevistes a un grup de 12 estudiants, 7 noies i 5 nois que s'identifiquen amb els números 1,2,8,16,23,29,36,41,44,48,54 i 59. El criteri de selecció seguit va ser el d'incloure persones que presentessin la diversitat de models de canvi químic, en la redacció feta a l'inici de COU.

Totes les produccions de l'alumnat, malgrat que es realitzessin dins l'estructura i l'horari escolar, van ser realitzades com a activitat complementàries de classe, han estat fora de qualificació i, així es va comunicar a l'alumnat en el moment de

realitzar-les. Creiem que escriure sobre temes de ciències permet a l'alumnat modificar els seus patrons de raonament i requereix un procés de metacognició amb el que "s'aprèn a aprendre" (Otero, 1990).

La mostra havia seguit prèviament el procés d'instrucció habitual en el nostre país. Als 14 anys, al finalitzar l'antiga Educació Primària, l'alumnat rebia algunes nocions de química. Aquestes habitualment incloïen la definició de canvi químic per comparació amb el canvi físic, algunes exemples de canvi químic, la classificació de les substàncies en mescles, dissolucions i substàncies pures i algunes nocions sobre els elements i la Taula Periòdica.

El procés d'instrucció seguit per la mostra durant la recerca, és a dir el marc social en el que s'ha desenvolupat la química escolar ha sigut diferent el primer any de la recerca i els dos darrers. El primer any, corresponent a 2on. de BUP, el professor va seguir uns materials curriculars elaborats en la línia d'afavorir la construcció de significats a l'aula i l'autoregulació dels aprenentatges. Aquests materials van ser treballats durant un període de tres mesos, de maig a juny i van incloure la realització d'alguns experiments de separació de mescles, i reaccions com la del S i el Fe, l'electròlisi i la síntesi de l'aigua. Al final dels tres mesos de classe de química van realitzar, en una hora B, per primera vegada l'experiment del cicle del coure.

El fet que els experiments es realitzin en l'horari escolar habitual té l'avantatge de no crear situacions excepcionals que podrien distorsionar els resultats de la recerca, en la mesura que no permetrien captar un context escolar real. Però té l'inconvenient que en les hores B, en que el professor treballa amb la meitat del grup classe, a vegades alguns alumnes no assisteixen a classe o simplement deixen algunes preguntes del qüestionari sense contestar.

A 3er. de B.U.P., el mateix professor que el curs anterior va utilitzar el llibre de Física i Química de 3er. dels autors Dou, Masjuan, Pfeiffer i Febrer, de l'editorial Casals. Les lliçons van ser desenvolupades durant un període de 5 mesos, de febrer a juny, al final del qual van realitzar l'experiment de l'aspirina efervescent que

no s'ha inclòs en aquesta recerca (Solsona, 1997b) i l'experiment del cicle del coure, per segona vegada.

I finalment, a COU, la professora seguia el llibre de Química, *Reacción*, de Del Barrio i Belmonte de l'editorial S.M. Durant el mes de novembre es van realitzar les entrevistes a la mostra reduïda de 12 alumnes.

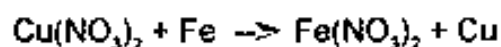
A la vista del procés d'instrucció seguit, queda clar que l'objectiu de la nostra recerca no pot ser l'avaluació d'una seqüència d'aprenentatge, per tal de veure si es modifica la capacitat d'interpretació de l'alumnat, ni tampoc podíem seguir la metodologia test-retest que s'havia iniciat en la primera fase de la recerca. L'objectiu de la recerca, tal com hem dit serà el d'esbrinar quines representacions del canvi químic i quins models teòrics podem dir que construeix l'alumnat durant l'Ensenyament Secundari.

6.2 Instruments per a la obtenció de dades

L'estratègia de recollida de dades ha combinat tècniques anomenades no intrusives, és a dir que exigeixen escassa interacció, com són la resposta a qüestionaris i la redacció de textos. I una tècnica de les anomenades interactives perquè poden produir reaccions en la població investigada, com és la realització d'entrevistes a grups de persones seleccionades.

6.2.1 El qüestionari de l'experiment del cicle del Cu

Per a cobrir els objectius esmentats a l'apartat 5, Orientació general de la investigació s'han escollit dues preguntes. La primera d'elles és l'experiment del cicle del Cu que inclou les dues reaccions següents:



Com que l'objectiu central de la recerca gira entorn al concepte de canvi químic, calia buscar fenòmens que incloguessin canvis químics per tal de veure quina

interpretació en fa l'alumnat. Per això, es podien seleccionar diferents reaccions i posar-les a consideració de l'alumnat, o bé escollir un experiment que d'entrada inclogués dues reaccions. Vam seleccionar l'experiment del cicle del Cu amb la intenció de verificar si els coneixements que tenen sobre el canvi químic els activen a l'hora d'interpretar un fenomen químic.

L'experiment del cicle del Cu, encara que no amb la mateixa orientació que en aquesta recerca ha estat utilitzat en altres investigacions (De Voss, 1987, Llorens, 1987).

L'altra pregunta seleccionada és una redacció oberta sobre el canvi químic que es va triar per tal de conèixer el tipus d'explicacions que els estudiants elaboren sobre el canvi químic sense tenir davant un fenomen concret. L'avantatge d'utilitzar les redaccions és que permeten que l'alumnat s'expressi de manera més oberta i més rica, si s'escau, que en les preguntes que fan referència a un experiment concret. L'ús de redaccions com a instrument de recollida de dades en les investigacions en didàctica de les ciències, malgrat que no ha sigut molt habitual, la podem trobar en altres recerques (Llorens, 1987).

La combinació de les dues preguntes facilita el prestar atenció a les dues vessants necessàries per construir el concepte de canvi químic, la factual i la teòrica. La redacció recull les explicacions teòriques que va elaborant l'alumnat durant els tres cursos escolars que ha durat la recerca, mentre que la interpretació de l'experiment del cicle del Cu ens permetrà saber si utilitzen els coneixements teòrics que van adquirint per elaborar les explicacions a un fenomen.

En la primera pregunta corresponent a l'experiment conegut amb el nom de cicle del Coure, el qüestionari que havia de contestar l'alumnat incloïa les següents preguntes:

1. Observa el fil de coure. Fes la reacció del coure amb l'àcid nítric durant uns 10 minuts. Extreu el fil de coure, renta'l i observa si hi ha hagut algun canvi en les seves

dimensions. Descriu el que observes. Què li ha passat al coure? On ha anat a parar? Què tenies al començament i ara què tens? Què ha canviat? Per què? Què es conserva? Amb què s'assembla aquest canvi?

2. Afegeix una mica d'aigua destil·lada al tub d'assaig i introdueix un clau de ferro sec i net. Observa el què ha succeït i contesta les següents preguntes: Què tenies al començament i ara què tens? Què ha canviat? Per què? Què es conserva? Amb què s'assembla aquest canvi?

3. Quina explicació pots donar al fet que tornis a obtenir el coure?

La primera pregunta ja s'havia utilitzat en la primera fase de la recerca (Solsona, 1994), i a la mostra definitiva de la recerca s'ha passat a un total de 25 estudiants, 12 noies i 13 nois, dues vegades: a 2on. de BUP que identifiquem amb el nom Cu1; i un any després, a 3er. de BUP que identifiquem com Cu2. Malgrat que només hàgim pogut recollir les respostes de 25 estudiants, es manté la homogeneïtat de la mostra perquè després en la primera redacció, només 11 estudiants esmenten l'exemple del cicle del Cu i, alguns no coincideixen amb els que van lliurar les respostes. I en la segona redacció només és esmentada per 4 estudiants.

6.2.2 La redacció

Les instruccions per a la realització de la redacció es van formular de la següent manera: "Escriu una redacció sobre tot el que saps sobre el canvi químic, amb l'objectiu de fer una conferència a una classe de 2on. de BUP per tal d'explicar el que estudiaran sobre aquest tema. fes referència als conceptes que intervenen i als fenòmens que s'estudien de tal manera que sigui entenedor per als companys i companyes". Aquestes redaccions les identifiquem com R₁. A l'inici del curs de COU es va fer el mateix tipus de demanda

fent referència a tot el que recordaven de 3er. de BUP. Aquestes redaccions les identifiquem com R_2 .

El conjunt de redaccions fetes a l'inici de 3er. de BUP, R_1 , van ser realitzades a classe de Física i Química en presència del professor de l'assignatura, encara que l'alumnat sabia que anaven destinades a l'estudi que s'estava fent sobre el seu procés d'aprenentatge. Les redaccions fetes a l'inici de COU, R_2 són més lliures, més espontànies, ja que al ser fetes fora de classe, sense la presència del professor de l'assignatura, amb l'autora de la recerca, l'ambient era més relaxat i l'alumnat podia passar més de la demanda.

La redacció pretén conèixer quins conceptes relacionats amb el canvi químic i quines relacions entre conceptes era capaç d'activar cada noia i cada noi, en general, sense posar-lo davant d'un fenomen concret. En els dos casos que hem analitzat la redacció la població va ser de 51 estudiants, 29 nois i 22 noies.

Les dues reaccions incloses en el cicle del Coure presenten dificultats d'interpretació, tant pel que fa als aspecte fenomenològics com des del punt de vista dels coneixements teòrics que cal activar per elaborar una explicació. A la vista de les respostes obtingudes al qüestionari que s'havia plantejat, al llarg de la recerca, es va veure la necessitat d'aprofundir en algunes d'elles ja que no quedaven clares des del punt de vista de la recerca. Per això, finalment es va decidir utilitzar les entrevistes amb una mostra reduïda de l'alumnat amb l'objectiu d'indagar directament en les seves explicacions, i tractar de clarificar alguns dels resultats .

6.2.3 L'entrevista

Els models teòrics del canvi químic construïts a partir del contingut de les redaccions són en realitat fotografies estàtiques d'un pensament dinàmic. Degut fonamentalment a la naturalesa dinàmica de les dades, els resultats obtinguts en les proves anteriors, indicaven que les categories d'anàlisi extreïdes de les proves

escrites tradicionals no acaben d'explicar les mateixes dades. Això va plantejar la necessitat d'assajar si es podrien explicar millor amb una entrevista.

Les entrevistes han estat pensades per acostar-se per aproximacions successives a les explicacions de l'alumnat, i per evitar al màxim una interpretació prematura o precipitada de les dades que ens havia subministrat. Volíem afavorir que l'entrevista pogués discórrer en un to de conversació que permetés la lliure expressió de la persona entrevistada i li facilités l'explicitació del seu pensament espontani, sense restriccions, ja que el control del diàleg s'intenta que el portin tant la persona entrevistada com l'entrevistadora. Aquest últim aspecte queda reforçat perquè no es vol arribar a que la persona entrevistada ens digui l'explicació científica "vertadera", sinó que ens doni la seva explicació.

La primera part de l'entrevista es va utilitzar per conèixer quins exemples de canvi químic considerava crucials l'alumnat de la mostra, després de 3 cursos d'instrucció química. En la segona part de l'entrevista, centrada en la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, volíem afavorir l'explicitació per part de l'alumnat de la interpretació del cicle del coure. Tant la primera com la segona reacció del cicle del Cu tenen problemes, tant en els aspectes fenomenològics com de la interpretació teòrica, però hi ha algunes respostes de l'alumnat a la segona reacció que no queden clares des del punt de vista de la recerca. Es per això que hem centrat l'entrevista en la segona reacció del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe.

Per tal d'aprofundir en les dades obtingudes en la reconstrucció escrita de l'alumnat de l'experiment, no podíem utilitzar un tipus d'entrevista vygotskiana o piagetiana. Va semblar més adequada l'entrevista *feedback* que afavoreix la reconstrucció oral de l'experiment. En aquest cas mediada per la realització *in situ* de la segona part de l'experiment del cicle del coure, en el moment de l'entrevista.

En la redacció del model d'entrevista, és a dir d'una pauta orientativa per realitzar l'entrevista, d'acord amb Goetz i Lecompte (1988), les regles d'or són no parlar més que les persones entrevistades, no fer preguntes inductores, plantejar preguntes

obertes, no dicotòmiques, simples i que impliquin una sola idea. No introduir nous conceptes i no afegir informació, a la que dóna el noi o la noia entrevistats. Alguns autors senyalen la ineficàcia de les preguntes precedides per un per què, però Goetz i Lecompte ho discuteixen.

En la confecció de les preguntes, s'han seguit dos criteris. El primer consisteix en utilitzar al màxim possible les paraules de l'alumnat i demanar que ho expliquin més i millor: Què vols dir quan dius ...? Ho podries explicar amb unes altres paraules? A partir de la nostra experiència podem dir que això només funciona quan la conversació va molt enganxada al que està dient l'alumne en aquell moment. En un primer intent, vam voler recuperar les explicacions donades a l'experiment del cicle del coure, el curs anterior, però va resultar un petit fracàs. Es van donar dos tipus de situacions: o no es reconeixien tot i llegint la seva pròpia lletra, ja que sembla que els resulta molt difícil recuperar el model teòric en que se situaven el curs passat, o totes les respostes els semblaven bé.

El segon criteri per a la confecció de les preguntes de l'entrevista ha estat el d'utilitzar preguntes el màxim d'obertes, que intentaven no condicionar la seva resposta, però fer-los reflexionar. Aquí és difícil trobar un punt d'equilibri, perquè les preguntes resulten inductores de resposta les unes respecte les altres.

Hem intentat combinar preguntes de definició: Què és per a tu un ió? amb preguntes de comparació: Quina relació de semblança o de diferència hi ha entre un ió i un àtom? Però en les últimes entrevistes, a mesura que com a entrevistadora anava adquirint competència en l'administració de l'entrevista, aquestes preguntes ja ni es van plantejar, perquè afavorien les respostes memorístiques o de llibre, cosa que no ens permetia apropar-nos al model d'explicació de l'experiment construït per l'alumne.

Pauta orientadora de l'entrevista: Part 1

1. Dels diferents experiments que has anat veient, des que vas començar a estudiar química, els fenòmens químics, n'hi ha

hagut algun que t'hagi semblat crucial, definitiu, que t'hagi ajudat molt a l'hora d'entendre el canvi químic, la reacció química. Quin?

2. Per què et va ajudar molt a entendre el canvi químic? Quina característica especial tenia?
3. Quan t'imagines en un canvi químic, en quina reacció penses més fàcilment?
4. Què és el que fa més difícil saber si una reacció és una reacció química o no? Què és el que més et despista a l'hora d'identificar-lo?

Part 2. Segona reacció del cicle del coure: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe}$

1. En la reacció que acabem de fer què es el que canvia durant la reacció? El ferro es queda igual? Si rasquéssim el coure, què podríem veure? Si la reacció durés molta estona, que li passaria al clau? Quina diferència hi ha entre el coure que forma part del compost, el nitrat de coure (I) i el coure que recobreix el ferro al final? Quina diferència hi ha entre el ferro del clau i el ferro del nitrat del ferro (I)?
2. En la reacció que acabem de fer què es conserva durant la reacció? Com ho saps què això és un ió? Què vol dir que la massa es conserva?
3. Amb què s'assembla aquesta reacció?
4. Quina explicació pots donar al fet que tornem a obtenir Cu després de les dues reaccions?

Pel que fa a l'administració de l'entrevista, el primer punt per l'establiment de la conversa, seguint el procés de *teachback* és establir el domini de l'entrevista. L'alumnat sabia perfectament que la entrevistadora, l'autora de la recerca era la mateixa persona que en cursos anteriors els havia proposat diferents proves per esbrinar les seves idees sobre el canvi químic, i la coneixien personalment perquè a principi del curs els havia demanat que escrivissin una redacció sobre tot el que

recordaven i havien estudiat sobre el canvi químic, a R2. De manera que després d'una breu salutació, l'entrevistadora concertava els termes i el tema de l'entrevista, aproximadament amb les paraules següents.

"Ja saps que estic fent un seguiment de les vostres idees en química des de fa tres cursos. Ara et faré algunes preguntes. Les teves respostes em poden ajudar a entendre millor les explicacions que m'has anat donant en els qüestionaris escrits que us he fet anteriorment. Si et sembla gravaré la nostra conversa, perquè sinó després em resulta molt difícil recordar tot el que m'has dit.

Probablement tardarem uns 20 minuts, però el teu professor ha dit que podem disposar del temps que vulguem. Vols preguntar-me alguna cosa abans de començar?"

Les entrevistes es realitzaven en el recinte escolar, però fora de l'aula on normalment l'alumnat rebia classe, en el Seminari de Física i Química, al costat del laboratori. En primer lloc es realitzava la primera part de l'entrevista, referent als exemples de canvi químic. A continuació es feia *in situ* la segona part del cicle del coure, és a dir, la reacció entre una dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, i es plantejaven les preguntes de la segona part de l'entrevista.

Pel que fa al format de l'entrevista, durant l'administració de l'entrevista s'ha anat modificant l'ordre de presentació de les preguntes. Es va observar que l'ordre en plantejar les preguntes no és indiferent, a l'hora de generar explicacions sobre el canvi químic. Per exemple, si es pregunta primer què es conserva, la cara de l'alumne manifesta sorpresa i no se situa, no sap ben bé que se li demana. En canvi, si se li pregunta primer el què canvia, després, sembla que té més sentit parlar del què es conserva en una reacció química. Per tant, així es fa en les últimes entrevistes.

Cal tenir en compte que la interacció que té lloc durant l'administració de l'entrevista també modifica i potencia l'aprofundiment d'algun tipus d'explicacions. Per exemple en quin tema insisteix la persona entrevistadora, quan fa els *teachback* (TB).

Pel que fa a l'anàlisi de les entrevistes, a mesura que l'entrevistadora va anar adquirint competència en l'administració de l'entrevista i va anar aprenent a demanar aclariments i repetir les paraules que ja s'havien dit, aquest tipus d'entrevistes va resultar molt eficaç per aprofundir en les dades anteriors.

En general, els nois i les noies, superat un primer moment de desconfiança, que en algunes noies es va perllongar com a manifestació explícita d'inseguretat en les seves pròpies idees fins al final, contestaven sense massa timidesa i amb un cert orgull d'haver estat escollit ells o elles per a l'entrevista. Només en el cas de l'última noia entrevistada, l'alumna 44, es va plantejar la necessitat de realitzar un dibuix per expressar una idea que li costava molt d'explicitar.

En resum, els instruments que s'han utilitzat durant la recerca són:

1. Qüestionari sobre l'experiment del cicle del Cu (2on. i 3er. de BUP)
2. Redacció sobre tot el que recorden sobre el canvi químic (inici 3er BUP i COU)
3. Entrevista entorn al cicle del Cu

Per tal de sintetitzar, l'ús dels instruments durant els tres anys de la recerca incloem el següent quadre:

Curs	Pregunta	
2on. BUP (16 anys)		Cicle del Coure (Cu1)
3er. BUP (17 anys)	Redacció (R1)	Cicle del Coure (Cu2)
COU (18 anys)	Redacció (R2)	Entrevista

La recerca consta d'una primera part de proves escrites (redaccions i qüestionaris escrits referits a experiments) que volen codificar el coneixement explícit i una segona part, d'entrevistes on es vol afavorir l'explicitació del coneixement implícit.

6.3 Tractament de les dades

6.3.1 Les xarxes sistèmiques

Per a l'anàlisi de les respostes a l'experiment del cicle del coure hem utilitzat les xarxes sistèmiques seguint el mètode proposat per Joan Bliss i altres (1979) i que ha estat utilitzat en moltes investigacions (Sánchez, M. 1991, Solsona, N 1991, Morató, T. 1991, Martín, R, 1994, Estanya, J.LI. 1996). Aquest mètode i la terminologia que utilitza deriven de la lingüística sistèmica que està interessada en la descripció i la representació del significat, dels recursos semàntics del llenguatge. El mètode és basa en la organització de les respostes a preguntes obertes, dibuixant xarxes estructurals que recullen i organitzen les unitats de significat en les frases de l'alumnat. Les regularitats observades en les respostes de l'alumnat ens han permès classificar-les en categories que permetin establir correlacions entre elles mateixes, de manera que posin de manifest la presència de possibles interconnexions.

Tal com indiquen Bliss i Ogborn (1979), darrera de cada paraula escrita en el context d'una frase hi ha un significat no directament expressat per les paraules. L'anàlisi sistèmica pretén representar aquest significat dels sistemes de paraules, a través de les xarxes i ha desenvolupat un poderós formalisme per representar-ho.

Les xarxes són estructures de possibilitats de significat a partir de la dependència i independència entre les idees, sentiments i valors que s'expressen (Jorba, J. Sanmartí, 1994). La xarxa vol descriure no tant les dades objectives, les frases de l'alumnat, sinó més aviat la seva interpretació amb l'objectiu de comprendre el significat que tenen per als alumnes.

Com en tot sistema d'anàlisi, no es pot prescindir del fet que la relació entre la percepció de les dades i l'anàlisi és problemàtica. Però aquest sistema té l'avantatge, respecte altres sistemes de categorització, que permet fer explícites aquestes relacions intuïtives, i per tant, fer més accessible la discussió.

Partim d'un punt de vista "accional" de la naturalesa dels conceptes, és a dir, de considerar la conceptualització com un procés actiu, constructiu i intencional, on els conceptes són instruments per organitzar les nostres experiències. Per tant, les idees manifestades per l'alumnat representen fases o etapes del desenvolupament cognitiu. En el disseny de la xarxa sistèmica, establim categories o models de respostes que ens permetran fer una anàlisi més acurada de les idees que expressa l'alumnat.

6.3.2 La microestructura i la macroestructura de les redaccions

Des de la perspectiva de la teoria sociocultural de l'aprenentatge es considera que aquell que aprèn es capaç d'explicar el que aprèn. En la pregunta de la redacció, l'alumnat ha de desenvolupar l'habilitat cognitivolingüística d'explicar, és a dir, produir raons o arguments de manera ordenada i establir relacions entre les raons o arguments. Aquesta pregunta està adreçada a valorar la capacitat de verbalització dels coneixements que l'alumnat va adquirint durant l'aprenentatge mitjançant l'anàlisi de les produccions escrites.

En l'anàlisi de la redacció ens movem en el camp de la semàntica. És una producció escrita molt concreta on es barregen les paraules dels alumnes amb un conjunt de termes i signes que provenen d'una proposta curricular per a l'aprenentatge del canvi químic.

Com a tècnica de comparació de les produccions escrites hem assajat diferents sistemes de categorització. Entre elles, les taules de doble entrada que recullen el contingut de les redaccions: nivell de formulació del conceptes, verbs que s'utilitzen, criteris per a la definició del canvi químic, sistemes de raonament (per oposició o per paral·lelisme) a l'hora d'articular el concepte de canvi químic, entre d'altres.

També hem intentar utilitzar altres sistemes de categorització basats en classificacions ja existents (Brosnan, T. 1990, Martín, R. 1994) com es pot comprovar en la publicació dels resultats preliminars obtinguts (Solsona, N. 1995). Però en tractar-se d'una redacció, un instrument poc utilitzat fins ara en recerca didàctica encara que el trobem en altres investigacions (Llorens, 1987) creiem que els sistemes de categorització esmentats no recullen prou significativament la idea vertebradora de cada redacció. Per això finalment hem utilitzat un altre instrument que prové del camp de l'anàlisi del discurs: la representació de la macroestructura i la microestructura dels conceptes i les proposicions incloses en les redaccions (Van Dijk, 1989). Per això hem escollit la confecció de mapes conceptuals (Novak i Gowin, 1988) que permeten posar en evidència les relacions entre conceptes indicades en les regles, i dels conceptes amb els referents (Thagard, 1990b). Aquest instrument ha estat utilitzat en altres recerques per analitzar l'estructura semàntica de textos històrics i l'anàlisi del tipus d'enllaços predominants en ells (Grapí i Izquierdo, 1989; Rivera, 1994).

El mapa reflexa la microestructura semàntica del text, és a dir com es desenvolupa la idea principal i les regles o principis incloses en el text. L'anàlisi de la microestructura del text inclou el desenvolupament de la informació relacionada amb el canvi químic, la progressió temàtica, és a dir la facilitat per connectar les diferents parts del text i la utilització correcta del lèxic.

Com que estem analitzant l'apropiació per part de l'alumnat del model de canvi químic com a resultat d'una intervenció didàctica, ens interessa analitzar fonamentalment dos aspectes. El primer són les regles que utilitza per connectar el concepte de canvi químic amb les explicacions que elabora d'aquest concepte. Habitualment es diu que les regles connecten el concepte amb la realitat, però en el nivell d'abstracció que suposa parlar de canvi químic ja que no sempre hi ha "realitat".

El segon aspecte que ens interessa analitzar està constituït pels exemples o fets interpretats que l'alumnat esmenta de canvi químic. Aquests dos elements ens

permetran definir el model de canvi químic presenta en cada redacció ja que el model no té sentit sense les aplicacions.

La construcció dels mapes s'ha basat en els utilitzats per Thagard (1990a). Els conceptes són abstraccions i en química, com que parlem habitualment a nivell conceptual, es confonen les paraules amb el món real. Per analitzar la complexitat del concepte de canvi químic volem analitzar l'estructura lògica dels conceptes i de les relacions entre ells. Thagard a partir de la revisió feta per Smith (1989) que cita ell mateix, sobre la naturalesa dels conceptes, proposa una classificació de les connexions o relacions entre conceptes en cinc tipus:

1. Relació de part (P) que s'indica amb una línia recta. Aquesta relació indica que un concepte és una classe d'una altra, com estan fetes les coses.
2. Relació de part-tot o de tipus (T) que s'indica amb línies rectes acabades amb fletxa. Aquesta relació indica que un tot posseeix una part.
3. Relació de propietat (Pr) que s'indica amb línies corbes acabades en fletxa. Aquesta relació indica una característica d'un canvi químic concret
4. Relació d'exemple (E) que s'indica amb una línia recta. Aquesta relació indica que un fenomen o concepte particular, indicat amb un rectangle enlloc d'una el·lipse, és l'exemple d'un altre. És a dir, assenyala els referents empírics del concepte ja que l'exemple és la realitat concreta
5. Relació de regia (R) s'indica amb línies corbes acabades en fletxes.

Les regles recullen les relacions que el concepte estableix amb els fenòmens que donen capacitat d'interpretar, fonamenten el significat del concepte i li donen valor epistemològic en general. Les regles expressen informació factual sobre com poden ser utilitzats els conceptes per definir, deduir, explicar o resoldre problemes (Thagard, 1992). Per tant poden ser regles de definició, d'explicació, de resolució

de problemes o de causalitat. En química, les regles ens indiquen les propietats del canvi químic en general, és a dir identifiquen les relacions pragmàtiques del model teòric del canvi químic que té l'alumne. En els textos memorístics les relacions entre conceptes són de part o de tipus, no hi ha relacions de regla.

Als cinc enllaços entre conceptes usats per Thagard n'hem afegit un més, el de contraexemple per tal de recollir les relacions que hi ha entre el concepte de canvi físic i el de canvi químic. En aquest treball l'enllaç de contraexemple s'indica amb una línia recta, es designa amb les lletres CE i s'utilitza per designar el raonament fet explícitament per diferenciació entre el canvi químic i el canvi físic.

En l'organització espacial per a la representació dels mapes s'ha intentat seguir uns criteris que hem establert de la següent manera: el concepte de "canvi químic" és el concepte central, a la dreta d'ell es situen els exemples de canvi químic i el canvi físic, en la mesura que és un contraexemple. A sota de "canvi químic" s'escriuen les relacions de part, de propietat, les regles de definició i explicació del mateix. A l'esquerra, a la part superior es situa, si s'escau, la relació amb l'energia i el valor o utilitat del canvi químic.

En la redacció, en primer lloc se'ns demana implícitament una definició. Per tant, a l'hora de definir un concepte, en aquest cas reacció química, l'alumnat hauria d'expressar les característiques essencials, suficients (indispensables) i necessàries (les que no poden faltar) per tal que el canvi químic sigui el que és i no una altra cosa.

Ja hem dit que entenem el procés d'aprenentatge com un procés d'elaboració de models teòrics en el que juga un paper important la construcció dels fets paradigmàtics. Un fet paradigmàtic comença per ser un exemple ben construït i que té un bon poder d'explicació per cada noi o cada noia. És per això que una de les categories d'anàlisi de les redaccions és l'exemple o exemples que s'expliquen a la redacció. L'estudi dels exemples utilitzats en l'explicació d'un fenomen científic (la combustió, la reacció química,...) té molt interès ja que ens permet conèixer si algun

d'aquests exemples té possibilitats de funcionar com a model teòric en un primer nivell d'elaboració de la interpretació del fenomen.

Com que qualsevol explicació racional dels canvis es basa en un esquema conservatiu, hem intentat veure si una visió quantitativa del canvi químic és una de les garanties per construir-ne un model teòric consistent. Per això la hem utilitzat com a categoria de classificació.

Les categories i subcategories corresponents que sorgeixen de l'anàlisi dels mapes i que permeten fer un diagnòstic del grau de construcció del concepte de canvi químic són les següents:

1. Què canvia en el canvi químic

- * no interpreten el canvi químic
- * ho interpreten com un **canvi físic**
- * ho interpreten com a canvi de **propietats** intrínseques dels elements
- * ho interpreten com a canvi a nivell d'**estructura**: enllaços, àtoms, distribució e'
- * ho interpreten com a canvi de **substàncies**, on una substància desapareix i se'n forma una de nova amb propietats diferents

2. Què es conserva en el canvi químic

- * No
- * **Cons 1**: conserven massa
- * **Cons 2**: conserven l'àtom de l'element

3. Nivell d'explicació del canvi químic

- * **Macroscòpica**: Donen una explicació en termes macroscòpics. S'inclou en aquesta categoria fins i tot aquelles redaccions que inclouen els termes element i enllaç a títol d'etiquetes, sense explicar-los en funció dels àtoms, molècules o partícules.
- * **Microscòpica**: Donen una explicació en termes d'àtoms, molècules, partícules o ions.

* **Relació macro/micro:** Donen una explicació coherent i equilibrada entre els dos nivells, és a dir hi ha connexió i absència de contradicció entre les explicacions a nivell macroscòpic i microscòpic.

4. Exemple de canvi químic

* **No n'esmenta**

* **Empíric,** quan es tracta d'un canvi realitzat en el laboratori o habitual en la vida quotidiana, com per exemple cremar paper

* **Teòric,** quan és un exemple de llibre, en el que no s'activa el referent empíric o, es representa només per l'equació química o el model de boles

5. Coherència global del text

* **Si:** el conjunt de conceptes estan relacionats i presenten una estructura connectada entre ells mateixos.

* **Feble:** alguns conceptes estan relacionats entre ells però d'altres no

* **No:** no té macroestructura el text

6. Visió quantitativa del canvi químic

* **No la tenen o parlen d'un referent empíric sense ordre,** per exemple quan diuen que la valència H: 4

* **Q 1:** parlen de quantitat exacta, massa atòmica, massa partícules

* **Q 2:** inclouen les equacions igualades, una analogia amb el model de boles i/o el concepte de mol

Una categoria que s'ha utilitzat en l'anàlisi del contingut de les redaccions però que no s'ha fet servir per construir els perfils conceptuals i els models teòrics de canvi químic ja que no era discriminatòria, encara que podia haver-ho sigut, és:

7. Tipus de regles presents en el mapa

Les regles que s'estableixen entre els conceptes es poden classificar de diferents maneres segons quina sigui la funció que exerceixen a l'hora de donar significat al mapa. En aquest treball hem distingit quatre tipus de regles:

* Regles de definició: aquelles regles que diuen, defineixen què és un concepte.

* Regles d'explicació: aquelles regles que expliquen les relacions entre els conceptes i descriuen en quines condicions es produeixen els fenòmens.

* Regles analògiques: regles que indiquen la relació entre un concepte i algun tipus de representació icònica del mateix. En química hem considerat que les fórmules, les equacions químiques i les imatges fetes amb el model de boles són representacions analògiques.

* Regles de causalitat: regles que estableixen una relació causa / efecte entre els conceptes. S'utilitzen normalment els verbs "això fa", "produeix que".

La categoria que fa referència a la coherència global del text podria semblar que no és crucial per a l'anàlisi del contingut de la redacció, però és important perquè ens permet conèixer si l'alumne construeix el discurs sobre el canvi químic establint illes de coneixement aïllades (De Voss, 1997), o si es capaç d'establir relacions entre els conceptes que conformen el camp conceptual del canvi químic.

A partir de la microestructura de la redacció, determinem els elements centrals que caracteritzen el discurs de l'alumnat, els que tenen en comú i que ens permeten comparar-los. Per això construïm els mapes corresponents a la macroestructura.

Per a la confecció de la macroestructura a partir de la microestructura hem fet en primer lloc una selecció dels conceptes que considerem importants per a la comprensió del canvi químic per a l'alumnat que finalitza l'Ensenyament Secundari. I a continuació hem seguit les regles proposades per Van Dijk (1989) per a la organització i la reducció informativa que són:

1. Omissió: s'ometen totes les proposicions que no es consideren importants, per exemple, les pressuposicions que es fan per a la interpretació de les proposicions següents.

2. Generalització: qualsevol seqüència de proposicions en la que apareixen conceptes que estan inclosos per un superconcepte comú es substitueixen per una proposició amb aquest superconcepte.

3. Construcció: qualsevol seqüència de proposicions que indiqui requisits normals, components, conseqüències, propietats, etc., d'una circumstància més global, es substitueix per una proposició que designi aquesta circumstància global.

Per completar les dades obtingudes en els dos cursos anteriors, amb tècniques obertes com la redacció i tècniques més tradicionals de pregunta-resposta, ens calia un últim instrument: l'entrevista.

6.3.3 Organització de les dades a les entrevistes

En les proves anteriors ja havíem observat la facilitat de l'alumnat en utilitzar simultàniament diferents tipus d'explicacions d'un mateix fenomen. Així per exemple si es comparen les respostes donades al qüestionari que acompanyava a la realització experimental del cicle del coure, s'observa la facilitat amb que una mateixa persona pot canviar d'explicació, posant o traient elements que tant aviat són centrals en el fenomen, com més secundaris.

Les categories d'anàlisi que hem utilitzat en l'anàlisi de les entrevistes coincideixen amb algunes de les categories utilitzades en les proves anteriors. Ja hem dit que les entrevistes realitzades inclouen dos fets: l'exemple crucial de canvi químic i l'experiment del cicle del coure, i això quedarà reflectit en les unitats d'anàlisi. A continuació incloem la relació de les unitats d'anàlisi seleccionades que fan referència a les categories incloses en el quadre que hi ha al final d'aquest capítol:

- U0 exemple crucial de canvi químic
- U1 què canvia durant el canvi, a nivell macroscòpic
- U2 què canvia durant el canvi, a nivell microscòpic
- U3 què es conserva durant el canvi
- U4 nivell d'explicació del canvi
- U5 ús del raonament analògic
- U6 ús de la causalitat

Evidentment no podem aplicar totes les unitats d'anàlisi per analitzar una entrevista perquè en alguns casos no hi ha hagut respostes corresponents a aquella unitat. El model teòric de canvi químic de l'alumne condiciona el tipus d'unitat d'anàlisi que podem aplicar en cada entrevista. Per exemple, en el cas de l'alumne 59 casi no fa referència a la U1, és a dir no parla del que ha canviat durant el canvi, a nivell macroscòpic, sinó que raona directament a nivell microscòpic, U2, en temes iònics.

No abordem l'anàlisi de la causalitat, un element que permet progressar el discurs, fins a les entrevistes perquè no és fins aquest moment que es preguntarà l'alumne sobre les seves accions sobre el fenomen. Abans no tenim informació sobre l'actuació de l'alumne sobre el sistema.

En la unitat d'anàlisi U9, d'acord amb Rufina Gutiérrez (1996b) hem analitzat l'ús del raonament causal per part de l'alumnat durant l'entrevista. Per fer-ho hem identificat aquelles frases o parts del text que constitueixen unitats explicatives en elles mateixes i que inclouen un raonament causal. En elles s'identifiquen:

1. Els elements explícits del sistema en cada unitat d'anàlisi que són significatius per entendre com funciona. Per identificar els elements que descriuen la topologia del sistema hem establert d'acord amb Rufina Gutiérrez (1996b) els següents símbols que s'utilitzen a l'apartat 8.3 d'aquesta memòria:

- materials inicials del sistema: constituents amb atributs que poden canviar per l'acció d'un agent causal.

- materials finals que s'obtenen com a resultat d'un agent causal o un procés causal
- acció portada a terme per un material o un agent causal
- * propietat física d'un material o canvi físic que té lloc en el sistema
- # procés que té lloc en el sistema
- + indica elements descriptius no relacionats amb el subjecte de l'acció

2. La descripció funcional de les accions que constitueixen cada unitat d'anàlisi, tenint en compte les convencions àmplies i els elements implícits que després s'indiquen. En primer lloc s'indica l'agent causal, en segon lloc sobre que actua i finalment l'efecte que produeix.

3. La representació estructural de les relacions dels agents causals amb l'efecte, que s'indica: → * quan una causa produeix un efecte, i, s'indica * ← quan un l'alumne diu que l'efecte → causa.

4. La reconstrucció o aprenentatge (AP) de l'explicació del canvi químic que es detecta durant l'entrevista. També es destaquen les convencions implícites (I) i explícites (E) i les ambigüitats (A) presents en les explicacions elaborades durant l'entrevista o que queden sense resoldre.

Cal recordar que una cosa és ambigua quan ofereix diferents sentits o admet diferents explicacions. En el cas de l'alumnat poden ser ambigüitats des del punt de vista científic o afirmacions poc explicades. Alguns exemples del que podem dir són:

(I) El canvi químic ha de ser interactiu: "El ferro sol no pot".

(E) El clau s'ha rovellat.

(AP) En un primer moment l'alumna 44 no es capaç d'explicar això que ella qualifica de rovell del Fe, simplement el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ha bullit i l'ha fet rovellar. Després incorpora la paraula "reaccionar" i finalment acaba parlant d'intercanvi i reordenació d'àtoms.

Quan l'entrevistadora aconsegueix recuperar una explicació de la persona entrevistada que no és coherent o no coincideix amb una altra explicació de la mateixa persona, s'indica amb TB.

En quan als signes utilitzats per a la identificació de les persones, es manté la numeració de l'alumnat utilitzada en els preguntes anteriors i que hem indicat a l'apartat 6.1 Descripció de la mostra i del procés d'instrucció seguit.

En la transcripció de les entrevistes s'indica entre parèntesis el número de l'explicació, i la unitat d'anàlisi, segons l'ordre que acabem d'indicar, per tal de poder després fer-hi referència. Així per exemple, la transcripció del protocol de l'alumna 44, que es refereix a la part 1 de l'entrevista, els experiments crucials de canvi químic queda de la següent manera:

P: Hi hauria algun experiment que hagi sigut crucial per tu, molt important, és a dir, que diguessis a partir d'aquell moment ja vas entendre que era una reacció química, que era un canvi químic.

R: U0 Doncs, quan (00) encens un paper i el cremes, al principi tens el paper i després els vertis són les cendres. És que aquesta és la sempre m'ha quedat.

P: Molt bé, molt bé, i que hi trobes d'especial que t'ajudi a entendre que això és una reacció química.

R: Home, doncs, que tens, suposo (01) els mateixos compostos, l'únic que no sé, el cremat, com si abans ho tenies..., és que no sé com explicar-lo. Al paper tenies el que és el paper, i (02) després al cremar-lo, doncs, tens el mateix paper però, no sé, això ho veig també, no sé. Per exemple (03) l'aigua, si l'escalfem s'evapora. És el mateix component més aigua, l'únic que en gas. (04) Les partícules estan més disperses.

Durant les entrevistes l'alumnat construeix diferents estructures causals. Anomenem estructures causals simples a les que posen en relació una sola causa amb un sol efecte, encara que aquesta relació es presenti en forma de cadena. Anomenem estructures causals complexes a les que posen en relació diverses causes amb un o diferents efectes. Cal advertir que en relació a les estructures

causals complexes, només es representaran aquelles en que actuen conjuntament més d'una causa per a produir un efecte, quan els alumnes expliciten amb claredat aquestes estructures quan les utilitzen.

A continuació incloem un quadre que resumeix els aspectes més importants del disseny de la recerca.

Període curs	final 2on. BUP 1992/93	final 3er. BUP 1993/94	final 3er. BUP 1993/94	inici COU 1994/95	COU 1994/95
Context curricular	materials química 2º BUP	llibre Ed. Casals 3er. BUP	llibre Ed. Casals 3er. BUP	llibre Ed. SM COU	
mostra	25	51	25	51	12
instrument	qüestionari experiment cicle del Cu: Cu1	redacció sobre canvi químic: R1	qüestionari experiment cicle del Cu: Cu2	redacció sobre canvi químic: R2	entrevista entorn reacció Cu(NO ₃) ₂ +Fe
anàlisi	*xarxes sistèmiques (J. Bliss, 1979)	*macroestructura i micro-estructura del contingut (P. Thagard, 1990)	*xarxes sistèmiques (J. Bliss, 1979) *comparatiu respecte Cu1	*macroestructura i microestructura del contingut (P. Thagard, 1990) *comparatiu respecte R1	*contingut categorial *construcció del raonament causal
categorització	què canvia què es conserva ús analogia	què canvia què es conserva nivell explicatiu exemples coherència global asp. quantitativus	què canvia què es conserva ús analogia	què canvia nivell explicatiu exemples coherència global	què canvia què es conserva nivell explicatiu exemples coherència de l'explicació amb el model ús analogia ús casuïtat
objectius particulars	*identificar explicacions del fenomen	*identificar les categories clau per definir el model de canvi químic * caracteritzar els models incipients de canvi químic que construeix l'alumnat Cu1	*identificar explicacions del fenomen * caracteritzar les semblances i diferències respecte a les explicacions de Cu1	* caracteritzar els diferents models de canvi químic construïts per l'alumnat * caracteritzar les diferències de contingut de R2 respecte a R1	*identificar si el model de cq. funciona com a causa per a l'elaboració d'explicacions
objectiu principal					
	MODELS TEÒRICS DE CANVI QUÍMIC				

IV. Anàlisi de dades

7. Anàlisi i caracterització de la proposta curricular

7.1 Els materials curriculars del primer any

7.2 Caracterització dels llibres text utilitzats

8. Anàlisi de les dades obtingudes durant la recerca

8.1 Anàlisi dels resultats de cada un dels instruments el primer any de la recerca

8.1.1 Explicacions de l'alumnat de 2on. de BUP a l'experiment del cicle del Cu

8.1.2 Redacció sobre el canvi químic feta a l'inici de 3er BUP

8.2 Anàlisi dels resultats de cada un dels instruments el segon any de la recerca

8.2.1 Explicacions de l'alumnat de 3er. de BUP a l'experiment del cicle del Cu

8.2.2 Redacció sobre el canvi químic feta a l'inici de COU

8.3 Anàlisi de les entrevistes a la mostra reduïda

8.3.1 Alguns aspectes rellevants en les entrevistes: l'ús de la causalitat, les analogies i els aspectes conservatius del canvi

9. Estudi de l'evolució de la mostra reduïda

9.1 Anàlisi de l'evolució seguida a nivell individual

9.2 Estudi de l'evolució de les explicacions de la mostra a nivell global

En els tres capítols anteriors hem inclòs els antecedents de la recerca, el marc teòric al qual ens hem acollit per portar-la a terme i el disseny de la mateixa, respectivament.

En el primer apartat d'aquest capítol, presentem una anàlisi dels materials curriculars utilitzats a 2on. de BUP i, els llibres de text utilitzats durant la intervenció didàctica, en concret dels dos llibres utilitzats a 3er. de BUP i COU. Per això, s'analitza la tipologia textual i es classifiquen segons els criteris proposats per Fensham (1994) que hem referenciat en el capítol II, en el sentit de si es prioritza l'estudi de les substàncies o la descripció de l'estructura atòmica.

També analitzem l'ús d'analogies, la funció que tenen els exemples de canvi químic que s'esmenten i els experiments que es proposen. Hem volgut incloure en aquest capítol aquestes dades perquè ens sembla que emmarcar la proposta curricular seguida per l'alumnat ajudarà a comprendre la resta de l'anàlisi del resultat obtinguts.

La resta del capítol està dedicat íntegrament a l'anàlisi de les dades obtingudes a partir dels instruments que hem descrit i de les quals hem justificat el seu ús en el capítol anterior.

Per tal d'indicar com està organitzat aquest capítol hem de dir que en la presentació de les dades hem seguit el criteri cronològic de tal com s'han obtingut. Així creiem que seran de més fàcil comprensió i, en la mesura que la recerca ha estat feta en context escolar, al mateix temps, permetran conèixer quina ha sigut l'evolució de l'alumnat durant els tres cursos que ha sigut objecte d'investigació.

A l'apartat B, hem inclòs les dades pròpiament dites obtingudes a partir de les preguntes plantejades. En primer lloc, presentem i analitzem les respostes obtingudes en dues proves escrites: el qüestionari que acompanyava l'experiment del cicle del Cu fet a final del curs de 2on. de BUP (Cu1) i, els resultats de l'anàlisi de les redaccions fetes a l'inici de 3er. BUP (R1). Hem inclòs aquests dos grups de dades en el mateix grup, tal com hem indicat en el capítol III, perquè han sigut

obtingudes en una situació en que l'alumnat tenia el mateix nivell d'informació química; i per tant, té sentit presentar les dades correlativament.

El segon grup de dades està format per les respostes obtingudes la segona vegada que s'han passat les dues preguntes que acabem d'esmentar respectivament a final de 3er. de BUP que indiquem amb les lletres (Cu2) i a l'inici de COU (R2). Aquest segon grup de dades també s'ha obtingut amb el mateix nivell d'informació química per part de l'alumnat.

El tercer grup de dades està format per les respostes a les entrevistes realitzades a una mostra reduïda de l'alumnat, feta a meitat del curs de COU.

Finalment hem inclòs en aquest capítol un últim apartat per tal de recollir l'anàlisi de l'evolució seguida per la mostra reduïda de l'alumnat que ha realitzat els experiments del cicle del Cu, les redaccions i ha estat entrevistat. L'anàlisi de l'evolució s'ha realitzat tant a nivell individual com del conjunt de la mostra.

7. Anàlisi i caracterització de la proposta curricular

Hem cregut d'interès incloure l'anàlisi de la proposta curricular que ha rebut l'alumnat de la mostra, en primer lloc, perquè ens sembla que tal com hem dit ajudarà a comprendre l'anàlisi de resultats. En segon lloc, perquè creiem que és un dels elements importants en qualsevol procés d'aprenentatge, i més en aquesta ocasió en que no té unes característiques homogènies.

7.1 Els materials curriculars del primer any

El material curricular utilitzat el primer any de la recerca, a 2on. de BUP, portava per títol "La interpretació química dels fenòmens" (Solsona, N. 1992) . Es tracta d'una proposta per a la iniciació de l'estudi de la química i va ser elaborada per portar-la a terme a l'aula amb els alumnes de la recerca. En les indicacions per al professorat, es diu que el títol no és banal, tot volent assenyalar que per comprendre els fenòmens químics, o ser capaç d'interpretar què és un canvi químic, cal aprendre a mirar els esdeveniments, els fenòmens d'una altra manera, cal canviar la manera de mirar, la mirada, en el sentit que diuen Arcà i Guidoni (1990).

L'alumnat de 15-16 anys està acostumat a interpretar els fenòmens físics, com el canvi d'estat i, la majoria quan acaba la Secundària Obligatòria continua interpretant els fenòmens químics, per defecte, com a físics. El repte és intentar que hi hagi un aprenentatge significatiu del concepte de canvi químic. Per aconseguir-ho vam seleccionar els conceptes de "substància pura", " propietat", "element químic", "canvi químic", una visió elemental de "teoria atòmica-molecular", l'energia, i alguns aspectes quantitius relacionats amb la conservació de la massa, i la "lleis de les proporcions constants", que juntament amb una sèrie de fets experimentals haurien de ser els integrants del model teòric de canvi químic.

Els conceptes de canvi químic, substància pura i element químic, presenten una dificultat específica. A diferència d'alguns conceptes físics, dels conceptes químics no se'n pot tenir evidència perceptiva directa. Són conceptes que no estan centrats

en un referent (com és el cas del gat, l'ocell, ...) sinó que formen part d'un context, d'un problema. Són entenedors en la mesura que s'entén el conjunt de conceptes químics, de manera que són poc operatius cadascun d'ells per separat. I no cal dir que de poca utilitat per la vida quotidiana.

La química, a vegades, en els estudis de B.U.P. tenia una disponibilitat horària molt limitada. Per tant, de la proposta es van treballar a l'aula les següents activitats:

1. Mapa conceptual del canvi químic
2. Qüestionari inicial
3. Què li passa a la bombeta?
4. Què és una substància pura?
5. Com pots fabricar una substància pura?
6. La Taula Periòdica
7. Lectura: Els elements químics i la vida
8. Què es conserva en una reacció química?
9. Lectura: El concepte d'element a través de la història
10. Qüestionari sobre el vídeo "El comportament de la matèria"
11. Com ens podem explicar el què passa en un canvi químic?
12. Poden reaccionar les substàncies pures en qualsevol proporció?
13. Càlculs en les reaccions químiques

Les activitats 1 i 2 del material curricular corresponen a la fase d'exploració dels conceptes implicats en la interpretació química dels fenòmens. Són un mapa conceptual i un qüestionari inicial que inclou la pregunta Què li passa al clau de ferro quan es rovella?, que permeten conèixer la situació inicial de la classe.

L'activitat 3 Què li passa a la bombeta? consisteix en escalfar amb un soplet una bombeta endollada. L'activitat 4 Què és una substància pura? correspon a la fase d'exploració i introducció del concepte de substància pura a partir de les idees de l'alumnat degut a la importància de diferenciar entre el llenguatge quotidià i el llenguatge químic. En l'activitat 5, Com pots fabricar una nova substància? es fa la reacció entre el S i el Fe. L'objectiu d'aquesta activitat és el de donar una primera aproximació a nivell macroscòpic per a la interpretació del canvi químic.

L'activitat 6, La Taula Periòdica és d'exploració i d'introducció dels conceptes d'element i compost químic, i d'ordenació dels elements. L'activitat 7, Lectura "Els elements químics i la vida" es pot utilitzar com fase d'aplicació del concepte d'element químic. Té l'objectiu de combatre la idea que els elements químics són només al laboratori.

L'activitat 8 és central en el crèdit. Correspon a la fase d'introducció de la conservació de l'element en un canvi químic mitjançant la realització de l'experiment del cicle del Cu. El títol de l'activitat és: Què és conserva en una reacció química. Les reaccions que tenen lloc durant l'experiment són:



L'activitat 9, Lectura "El concepte d'element a través de la història" correspon a la fase d'estructuració del concepte d'element químic. En l'activitat 10 s'utilitza el vídeo "El comportament de la matèria" com a fase d'introducció del model atòmic-molecular. Es treballa amb la idea que un model atòmic simple serà útil en la mesura que les propietats internes del model, i les propietats dels fenòmens que es volen explicar es relacionin correctament i, les segones siguin ben explicitades per les relacions amb les primeres. No sembla convenient introduir els àtoms com la part més petita de la matèria, com l'últim estadi en el procés de divisió, tal com es fa en molts textos escolars, ja que això afavoreix posteriorment la projecció de les propietats macroscòpiques de les substàncies en les partícules, o en els àtoms i molècules. Es tracta d'evitar al màxim que després d'haver-ho discutit i treballat a classe diguin, per exemple, que els àtoms tenen color, s'inflen, etc. (Claudine Larcher, 1990).

Vam presentar als nois i a les noies un model atòmic preelaborat que dóna bons resultats, ja que permet explicar diferents fenòmens, i al mateix temps proposarem dur a terme activitats de modelització. És important insistir en la dificultat de trobar una evidència directa de l'existència dels àtoms. Podem utilitzar com analogia, el fet que la construcció d'un model científic per l'estructura interna dels materials, com el

que ens estem referint, s'assembla a l'elaboració d'un retrat robot fet per identificar un lladre. En etapes successives es van perfilant els trets de la persona buscada fins que se'l pot identificar.

L'activitat 10, Com ens podem explicar el que passa en un canvi químic? és una activitat d'aplicació de la representació amb un model de boles el model atòmic-molecular. Les activitats 12 i 13 corresponen a la fase d'introducció de la llei de les proporcions constants i a la realització d'exercicis d'aplicació de la llei.

La proposta de material curricular tenia previstes unes activitats sobre la conservació de la massa en un sistema obert i en un sistema tancat que no es van realitzar per manca de temps.

7.2 Caracterització dels llibres text utilitzats

El segon any de la recerca, el professor va treballar a classe d'acord amb les orientacions que es poden consultar en el llibre "Física i Química 3er". (J.M. Dou, 1989), les següents lliçons:

- 13. Estructura atòmica
 - 13.1 Ampliació de la teoria de Bohr
 - 13.2 Teoria mecànico quàntica de l'àtom
 - 13.3 Orbitals atòmics
 - 13.4 Equació d'ona i nombres quàntics
 - 13.5 Nombres quàntics i orbitals
 - 13.6 La mecànica quàntica en els àtoms polieletrònics
 - 13.7 Nivells d'energia en els orbitals
 - 13.8 Configuracions electròniques
- 14. Sistema periòdic
 - 14.1 Descobriments dels electrons i de llurs propietats
 - 14.2 La classificació periòdica de Mendeleiev
 - 14.3 Taula Periòdica moderna
 - 14.4 Propietats periòdiques
 - 14.5 Radi atòmic
 - 14.6 Energia d'ionització
 - 14.7 Afinitat electrònica
 - 14.8 Electronegativitat
- 15. Enllaç químic
 - 15.1 Enllaç químic
 - 15.2 Enllaç covalent
 - 15.3 Exemples de molècules amb enllaços covalents
 - 15.4 Polaritat dels enllaços
 - 15.5 Propietats generals de les substàncies covalents
 - 15.6 Enllaç covalent datiu
 - 15.7 Mesomeria o ressonància

- 15.8 Enllaç iònic
- 15.9 Propietats generals dels compostos iònics
- 15.10 Nombre d'oxidació
- 15.11 Enllaç metàl·lic
- 15.12 Enllaç d'hidrogen
- 16. Mol. Estequiometria
 - 16.1 Mol. Constant d'Avogadro
 - 16.2 Volum molar
 - 16.3 Massa molar
 - 16.4 Composició centesimal
 - 16.5 Llei general dels gasos ideals
 - 16.6 Llei d'Avogadro
 - 16.7 Massa molar d'un gas. Determinació a partir de $pV = n RT$
 - 16.8 Densitat d'un gas
 - 16.9 Solucions o dissolucions
 - 16.10 Reaccions químiques. Càlculs estequiomètrics

A més es va treballar la "Formulació orgànica" i unes idees bàsiques de "Reaccions àcid-base" i "Reaccions redox". Entre els experiments que va realitzar l'alumnat en horari de tipus B com l'any anterior, el professor va proposar fer l'experiment del cicle del Cu i el de l'aspirina efervescent.

Pel que fa a l'estructura del text "Física i Química 3er." volem destacar que no hi ha experiments. Les úniques situacions experimentals a les que es fa referència s'aprofiten per fer càlculs: preparar una dissolució diluïda a partir d'una concentrada, cremar benzè, propà, escalfar magnesita, el reconeixement de la composició d'un aliatge,... Com que el llibre no conté experiments, no el podem classificar en funció d'aquest criteri. L'únic experiment que s'explica i s'il·lustra amb una fotografia és la preparació d'una dissolució diluïda a partir d'una concentrada, sempre amb la finalitat de fer els càlculs pertinents de concentració, dilució i volum.

En diverses lliçons del llibre predomina un plantejament estrictament teòric, com es pot comprovar pels títols dels diferents apartats. Només hi ha una excepció, en la lliçó 14, la introducció es planteja a partir de fets experimentals. Es diu: "En l'antiguitat es coneixen metalls com ara el ferro, l'or, l'argent, el coure, el mercuri, l'estany i el plom i no-metalls com ara el sofre i el carboni. ... Quan es van estudiar les característiques físiques i químiques dels elements i els compostos es van descobrir propietats semblants entre alguns d'aquests, cosa que va permetre d'establir-ne grups. Així per exemple, el liti, el sodi i el potassi, anomenats metalls alcalins, tenen propietats similars: els tres són menys densos que l'aigua, són tous i s'oxiden fàcilment i reaccionen violentament amb l'aigua i amb el clor".

Els fets del món que s'analitzen, en el llibre de text de 3er. són generats per instruments o, són teòrics, com els espectres, nombres quàntics, orbitals, nivells d'energia, radi atòmic, o l'energia de ionització. Excepte a la lliçó 14. Sistema periòdic, on s'analitzen les substàncies i les seves propietats, i al final de la lliçó 16 que s'estudien les dissolucions i les reaccions químiques. El llibre té un enfocament clarament teòric ja que no hi ha gairebé exemples, excepte dos problemes de càlcul de l'energia d'ionització i setze problemes de càlculs estequiòmètrics en dissolucions i reaccions químiques.

En el llibre hi ha dibuixos realistes o fotografies de vasos, un erlenmeyer amb un líquid blau, una ampolla d'àcid abocant-se sobre un vas de precipitats, processos endotèrmics i exotèrmics, circuits amb piles, un matràs amb N_2O_4 i un tub d'assaig amb reacció del Zn i H_2SO_4 . Hi ha una referència històrica quan s'introdueix el concepte d'àtom, la teoria atòmica i quan comença la química orgànica i s'esmenten les figures històriques de Dalton, Bohr, Arrhenius, Faraday, Thomson, Rutherford, Geiger, Einstein i Mendeleiev.

El llibre presenta un problema, en la mesura que es mesclen els diferents nivells de descripció, quan diu a la pàg. 248 "Tanmateix, la realitat és diferent: cada àtom rep influències dels veïns i, al seu torn, influeix en els altres, i la norma general és que s'uneixin per formar agregats atòmics".

Pel que fa a la tipologia textual, el llibre és expositiu - descriptiu, segons la classificació de Meyer (citada per Izquierdo i Rivera, 1997), tal com podem comprovar en les diferents lliçons. Per il·lustrar aquesta afirmació hem analitzat una seqüència de les que predominen en el conjunt del text, la de l'apartat 16.10 Reaccions químiques. Càlculs estequiòmètrics. Es comença descrivint un fet experimental, una reacció química com si fos un fet teòric: "Si a partir d'una o de diverses espècies químiques s'obtenen una altra o d'altres espècies químiques de propietats característiques completament diferents de les inicials, diem que s'ha produït una reacció química". I a continuació es dona una llista de definicions: "En una reacció química, les substàncies inicials que reaccionen s'anomenen reactius i les substàncies obtingudes productes de reacció".
a) Equació química. És la mera simbòlica de representar una reacció química. ...

c) Càlculs estequiomètrics. Una equació química, una vegada igualada, ens permet de relacionar quantitats de reactius i de productes que intervenen en la reacció química corresponent i calcular la quantitat de reactiu o reactius necessària per obtenir una determinada quantitat de producte... Aquest càlculs s'anomenen càlculs estequiomètrics ...".

El tercer any de la recerca, en el moment que es van recollir les últimes dades de la recerca, la professora havia treballat a classe, d'acord amb les orientacions que es poden consultar en el llibre *Reacción* (J.I. del Barrio, 1992), els següents capítols:

1. Leyes fundamentales de la química

1. Sustancia pura. Elementos y compuestos
2. Ley de Lavoisier de la conservación de la masa
3. Ley de Proust o de las proporciones definidas
4. Hipótesis atómica de Dalton
5. Ley de Dalton de las proporciones múltiples
6. Ley de Richter o de las proporciones recíprocas
7. Ley de Gay-Lussac o de los volúmenes de combinación
8. Hipótesis de Avogadro

PROBLEMAS RESUELTOS. ACTIVIDADES. AUTOEVALUACIÓN. MURAL DE LAS CIENCIAS. PRÁCTICA DE LABORATORIO: Proporcionalidad en las cantidades

2. La masa química. Su medida

1. Masas atómicas y moleculares
2. Método de Cannizaro
3. Concepto de mol
4. Otros métodos aproximados para la determinación de las masas atómicas
5. Fórmulas químicas
6. Masas atómicas precisas
7. Determinación de las fórmulas químicas

3. Teoría cinética de la materia

1. Estados de agregación
2. Cambios en el estado de los cuerpos
3. Leyes de los gases
4. Teoría cinético-molecular
5. Distribución de las velocidades moleculares
6. Gases imperfectos
7. Disoluciones
8. Propiedades de las disoluciones

4. Reacciones químicas. Estequiometría

1. Concepto de reacción química
2. Ecuación química
3. Cálculos estequiométricos sencillos
4. Cálculos con reactivo limitante
5. Cálculos con disoluciones
6. Cálculos con mezclas

5. Estructura de la materia

1. Descubrimiento de la estructura atómica
 2. Cuantización de la energía
 3. Interacción entre la luz y los átomos
 4. Modelo de Bóhr
 5. Naturaleza ondulatoria de la materia
 6. Ecuación de onda
 7. Átomo de hidrógeno
 8. Espectros y orbitales
 9. Átomos polielectrónicos
- 6. Clasificación periódica de los elementos**

1. Necesidad de una clasificación
2. Primeras clasificaciones
3. Ley periódica
4. Tabla periódica y configuración electrónica
5. Propiedades físicas y tabla periódica
6. Propiedades químicas y configuración electrónica
- PRÁCTICA DE LABORATORIO: Regularidades en las propiedades de los elementos.
7. Estructura molecular
 1. Estructura de los sólidos
 2. Enlace químico
 3. Regla del octeto
 4. Parámetros moleculares
 5. Enlace iónico
 6. Enlace de hidrógeno
 7. Enlace covalente. Método de enlace de valencia
 8. Enlace covalente. Método del orbital molecular
 9. Enlace metálico
8. Energía en las reacciones químicas
 1. Finalidad de la termodinámica
 2. Sistemas, funciones de estado y procesos
 3. Primer principio de la termodinámica
 4. Ley de Hess
 5. Entalpías y energías de enlace
 6. Segundo principio de la termodinámica
- PRÁCTICA DE LABORATORIO: Reacciones endotérmicas y exotérmicas
9. Cinética química
 1. Velocidad de una reacción química
 2. Medida de la velocidad de reacción
 3. Factores que afectan a la velocidad de reacción
 4. Orden de una reacción
 5. Teoría de colisiones. Energía de activación
 6. Mecanismo de reacción
 7. Catálisis
- PRÁCTICAS DE LABORATORIO: Velocidad de difusión de gases
10. Equilibrio químico
 1. Equilibrio dinámico en sistemas químicos
 2. La ley del equilibrio químico
 3. Equilibrios gaseosos
 4. Interpretando el valor de la constante de equilibrio
 5. Principio de Le Chatelier
 6. Equilibrios heterogéneos
 7. Relación entre K_c y la energía libre de Gibbs
- PRÁCTICAS DE LABORATORIO: Desplazamiento de un equilibrio químico
11. Reacciones de transferencia de protones
 1. Dos grupos de sustancias opuestas: ácidos y bases
 2. Teoría de Brønsted y Lowry
 3. Cómo medir la fuerza de un ácido o de una base
 4. Disociación del agua. Escala de pH
 5. Predicción de reacciones ácido-base
 6. Hidrólisis de sales
 7. Controlando el pH: disoluciones reguladoras
 8. Valoraciones ácido-base
- PRÁCTICAS DE LABORATORIO: Determinación de la riqueza de un ácido
12. Reacciones de precipitación
 1. Solubilidad de una sustancia
 2. Factores que determinan la solubilidad
 3. Producto de solubilidad: K_s
 4. Relación entre la solubilidad y el K_s
 5. Cómo dilucidar si se formará un precipitado
 6. Disolución de precipitados

13. Oxidación y reducción

1. Conceptos de oxidación y reducción
2. Número de oxidación
3. Método del número de oxidación
4. Método del ion-electrón
5. Valoraciones redox

En quan a l'estructura del llibre de COU, hem d'assenyalar que el llibre proposa la realització de 7 experiments, però que aquests no es van portar a terme, com era pràctica habitual en la majoria d'Instituts. Des del punt de vista del tipus de treball experimental proposat, tal com es pot veure a l'índex del llibre, el text es pot classificar com "afirmatiu" segons Izquierdo i Rivera (1997). En un text afirmatiu, els experiments es presenten interpretats en el marc teòric implícit en tot el text que codifica, defineix i facilita l'aprenentatge memorístic. Si tenim en compte quin fet del món es selecciona, com es tracta en tant que fet científic i quin acte lingüístic es proposa a partir de l'experiment, en aquest cas, podem dir que es presenta una entitat del món que es converteix en un fet científic que dóna lloc a una definició. Els lectors als quals va adreçat el llibre són els estudiants als que s'ha d'examinar i, el concepte de ciència que es desprèn del text és el "d'un llibre per a estudiar".

La introducció de les lliçons recull alguna referència a la història de la ciència, com per exemple la mal atribuïda paternitat de l'àtom a Dalton o la dificultat de determinar les masses atòmiques sense conèixer les fórmules de les molècules. En altres lliçons, també s'utilitza com introducció el plantejament d'un problema com per exemple "¿Com es diferencien els sòlids, líquids i gasos?", o bé "Estem envoltats de reaccions químiques però és difícil identificar-les". En alguns casos es fa una comparació amb un símil no químic per introduir el problema, per exemple, en la pàg. 70 es diu "Puede parecer difícil encontrar y presenciar una reacción química en el entorno que nos rodea. Por ello, muchos alumnos se parecen a Diógenes, el filósofo griego, que buscaba, sin encontrarlo, un hombre, en el mercado de Atenas".

Pel que fa a la tipologia textual, el llibre és en conjunt expositiu i, presenta les afirmacions teòriques bàsiques de la química, com per exemple, a la pàg. 71 quan diu: "Un sistema químico está formado por una o más sustancias químicas, separadas del resto del universo por unos límites de separación o paredes, que pueden ser reales o imaginarias. Cada componente de un sistema tiene unas propiedades químicas y físicas características que lo

diferencian de los demás. Un sistema puede estar constituido inicialmente por una o más sustancias, que pueden ser a su vez elementos o compuestos”.

Però el llibre també presenta altres seqüències amb una tipologia textual diferent. Corresponen a la subcategoria expositiva: pregunta o problema / resposta (Meyer a Izquierdo i Rivera, 1997). Per exemple, diu a la pàg. 71 a continuació de l'anterior paràgraf que hem transcrit: “Dicho sistema puede sufrir cambios de varios tipos ¿Cómo se reconoce si estos cambios son reacciones químicas? Si las propiedades químicas de los componentes del sistema final son las mismas que las del inicial, habrá tenido lugar un proceso físico, por ejemplo, una vaporización. Si las propiedades químicas han variado, se dice que ha ocurrido una reacción química”. Finalment, es donen dues definicions: “Los componentes iniciales reciben el nombre de reactivos, y las sustancias resultantes, el de *productos*”. I s'acaba amb la definició important requadrada: “Una reacción química es aquel proceso en virtud del cual una o más sustancias se transforman en otras de propiedades completamente distintas”.

El llibre utilitza en alguns casos analogies. Com per exemple, per a introduir l'equació química diu: “Algunas de las características de las reacciones químicas se representan simbólicamente, sin que deba confundirse la reacción química con su representación. Del mismo modo que no puede confundirse a una persona con su retrato, que muestra algunas de sus características, pero no todas”. O bé, més endavant es diu: “La siguiente ecuación social hombre(s) + mujer(s) \rightarrow pareja(c) donde s y c representan los estados civiles soltero y casado, proporciona el mismo tipo de información que la ecuación química”.

El llibre presenta fotografies i dibuixos realistes d'aparells de laboratori i de tres científics. També hi ha fotografies d'objectes, materials i situacions de la vida quotidiana relacionades amb la química. Per exemple, ampolles, cubetes fetes amb compostos de coordinació; sal, sucre i sofre, o bé un home cuinant, ...

A vegades, es fa alguna referència històrica, com la de la pàg. 7 quan es diu: “Sin embargo, el progreso moderno de la Química no se inicia hasta que Bacon erige la observación en un sistema filosófico”. O es contextualitzen històricament les lleis, com per exemple quan es diu a la pàg. 8 “Muchos científicos de los siglos XVII y XVIII determinaron la masa en las combustiones y reducciones. Los resultados obtenidos les indujeron a intuir la idea que la masa no variaba. Lavoisier estaba convencido de que los cambios en las sustancias no producían la creación o destrucción de materia sino sólo su reordenamiento. Esta intuición le llevó ...”.

La tipologia expositiva dels dos llibres de text, utilitzats a 3er. de BUP i COU, que té la finalitat d'informar i ampliar els coneixements del lector, queda remarcada pel format del llibre. Els dos llibres utilitzen lletra negreta, que hem mantingut en la transcripció dels paràgrafs, per assenyalar allò que s'ha aprendre l'alumne. En el cas del de COU, això es reforça amb la lletra cursiva i els paràgrafs requadrats que compleixen la mateixa funció.

La connexió entre els fets que, a vegades només s'esmenten i, la seva interpretació, que es troba en els dos llibres de text que hem estudiat, es fa mitjançant unes línies d'argumentació que volen convèncer de la validesa dels coneixements científics. I que per això poden considerar-se retòriques (G. Gross, 1990).

En resum, podem dir que les propostes curriculars que va rebre l'alumnat aquests tres anys corresponen a diferents models curriculars. La del primer any, a 2on. de BUP correspon al model A, tal com el defineix Fensham (1994) i, que hem recollit a l'apartat 4.1 El coneixement escolar prescriptiu: el currículum, és a dir, dóna prioritat a l'estudi de les substàncies i intenta construir el concepte de canvi químic per diferenciació al de canvi físic i, fent inferència dels exemples de canvi que es treballen a l'aula.

El segon any, a 3er. de BUP, el llibre de text escollit correspon al model curricular B, segons la definició de Fensham (1994) recollida a l'apartat esmentat 4.1, ja que comença per la descripció de l'estructura atòmica. El fets que es presenten als estudiants són exemples il·lustratius.

El llibre que es va utilitzar a COU comença amb l'estudi teòric de les substàncies i les seves lleis, però a la lliçó 5 inicia l'estudi de l'estructura de la matèria que vertebrarà la resta de lliçons.

Per acabar de descriure la intervenció didàctica de que ha sigut objecte l'alumnat de la recerca, hem cregut d'interès recollir les notes de Química de COU i de la prova

prova de Selectivitat per entrar a la Universitat del grup d'estudiants entrevistats.

Les presentem a continuació:

Nº ordre noi o noia	Química COU	Química Selectivitat
1	Bé	Bé
2	Notable	Notable
8	Insufi	
16	Excel.lent	Excel.lent
23	Notable	Notable
29	Bé	Bé
36	Insufi	
41	Bé	Bé
44	Insufi	
48	Bé	Bé
54	Notable	Notable
59	Excel.lent	Excel.lent

8. Anàlisi de les dades obtingudes durant la recerca

8.1 Anàlisi dels resultats de cada un dels instruments el primer any de la recerca

8.1.1 Explicacions de l'alumnat de 2on. de BUP a l'experiment del cicle del Cu (Cu 1)

La xarxa sistèmica 1a recull les respostes a la primera pregunta: Què li ha passat al coure? Què ha canviat? Per què? del qüestionari que acompanya la realització de la primera reacció de l'experiment del cicle del Cu, és a dir, la reacció entre el Cu i el HNO_3 . Aquesta xarxa no està organitzada en funció de les categories habituals del contingut científic (canvi físic, canvi de propietats, reactius, productes, ...) sinó que s'ha organitzat en funció de l'estructura en que l'alumnat acostuma a elaborar les explicacions. En aquest cas hem prestat atenció a la diferenciació que fan, en la majoria de les respostes, entre l'àcid, l'agent actiu del canvi, i el coure, el subjecte passiu del canvi; i a les entitats sobre les que actua l'agent del canvi, és a dir, l'objecte, el fil de Cu, el material o la substància "coure" i el "coure dissolt".

El format de la pregunta inclosa en el qüestionari que acompanya la realització de la 1ª reacció de l'experiment quan diu Què li ha passat al coure?, condiciona les respostes en el sentit que parlen més del coure que de l'àcid. Però, molt probablement l'acció de tirar l'àcid sobre el coure condiciona el fet que l'àcid sigui l'agent actiu del canvi.

Dels 25 alumnes, n'hi ha 3 que no han contestat les preguntes relatives a què ha canviat en la reacció entre el Cu i el HNO_3 . Tal com es pot veure a la pàgina següent, la xarxa presenta agrupades les respostes escrites de l'alumnat. També s'indica el nº de l'alumne que ha contestat la resposta i el paradigma en que hem agrupat les diferents explicacions.

Cu 1. 1ª reacció. Què li ha passat al coure? Què ha canviat? Per què? xarxa 1a		nº alumne	paradigma
L'àcid	canvia de color, es converteix en blau	59	1
	fa que el líquid es torni blau	17	
No parlen de l'àcid	-és corrosiu	47	1
	s'ha combinat amb el coure	40	1
El coure	la vibració de les partícules de l'àcid nítric ha trencat l'enllaç del Cu	35	1
	es ref. a la part visible	3,34,36,41,58	1
No parlen del coure	s'ha desfet una mica	16,17,27,34,36,47,53,57	2
	es ref. a la part no visible	la consistència	16
Altres	el fil (objecte)	ha canviat	2
	el coure (material)	s'ha aprimat	1,16,23,42,43,47,49,53,57,58
No contesten	el coure dissolt: -s'ha alliberat del fil i estava suspès en l'àcid	el color	2
	parlen d'un gas	l'estat	2
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	s/e	2
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	degut a la corrosió	34
No contesten	no identificat que torna l'aigua color blau cel	ha canviat la composició	3
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	s'ha dissolt en l'àcid	1,8,16,23,43,49,57
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	se'n ha anat, es fon, desapareix	23,29,43,58
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	els seus àtoms estan per l'àcid nítric	41
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	el coure dissolt: -s'ha alliberat del fil i estava suspès en l'àcid	42
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	el coure dissolt: -s'ha alliberat del fil i estava suspès en l'àcid	59
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	que torna l'aigua color blau cel	59
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	surten bombolles cap a dalt	44
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	surten bombolles cap a dalt	17
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	que torna l'aigua color blau cel	23
No contesten	s'ha produït una reacció d'intercanvi	surten bombolles cap a dalt	23,41,44
	identificat: sale óxido de nítrógeno de color marrón	surten bombolles cap a dalt	2,48,54

En el primer paradigma es troben les respostes referents a l'àcid nítric. En el segon paradigma hem agrupat les respostes que parlen del que succeeix a la part visible del fil de coure i en el tercer paradigma les respostes que parlen del què passa a la part no visible del fil de Cu.

Un exemple del primer paradigma són les frases: "L'àcid es converteix en blau per l'acció del coure", o "L'àcid fa que el líquid es torni blau". Un exemple de respostes del segon paradigma és: "El fil de coure ha canviat d'estat degut a la corrosió". I del tercer paradigma: "El fil de coure s'ha dissolt en l'àcid".

En el paradigma 4 hem agrupat les dues respostes que parlen del coure com a material o substància. Diuen: "El coure s'ha rovellat" i "Els àtoms de coure estan per l'àcid nítric". En el paradigma 5 hi ha la única resposta que parla del "coure dissolt": "El coure s'ha alliberat del fil i estava suspès en l'àcid nítric".

En el paradigma 6 hem agrupat les 7 respostes que parlen de la presència d'un gas en la reacció, o d'una reacció d'intercanvi. Un exemple de les respostes agrupades en el paradigma 6 seria la de l'alumna 23: "sale óxido de nitrógeno porque se ha producido una reacción de intercambio".

La xarxa 1b agrupa les respostes a la pregunta: Què es conserva? a la reacció entre el Cu i HNO_3 . A Cu1, la pregunta: Què es conserva durant el canvi?, durant la reacció entre el Cu i el HNO_3 , ha estat contestada per la meitat dels alumnes, 13 de 25, a 2on. de BUP.

Les respostes relatives a la conservació les hem agrupat en tres paradigmes. El paradigma 7 inclou aquelles respostes en les que el noi o la noia diuen què es conserva allò que no reacciona. Dos d'ells ho diuen explícitament: "es conserva el que no reacciona". Altres parlen clarament d'aquella part d'una substància o d'un objecte que no reacciona: "el HNO_3 " o "el fil de coure".

Cu 1. 1ª reacció. Què es conserva? xarxa 1b		nº alumne	paradigma
El que no reacciona	<ul style="list-style-type: none"> ↑ s/e └ el fil de Fe └ HNO₃ 	40,49	7
		35,57	7
- Idea de proteïna	<ul style="list-style-type: none"> └ la massa i el número de partícules └ Cu en un altre estat 	27	7
		1	8
- No identifiquen la conservació	<ul style="list-style-type: none"> └ es conserva tot però de manera diferent └ propietats: la forma, la flexibilitat del còrrec └ hi ha hagut un canvi físic del còrrec, pas de sòlid a líquid └ no contesten 	16	8
		34,43	9
		3,8,23,47	9
		43	9
		2,17,29,36,41,42,44,48,53,54,58,59	9

Cu 1. 1ª reacció. A quin altre canvi s'assembla? xarxa 1c		nº alumne	
Canvi físic - dissolució	<ul style="list-style-type: none"> ↑ s/e └ d'aigua amb sal o sucre └ el sucre encara que no es veu sempre està present 	16,49	34
		1	
Canvi químic - exemple	<ul style="list-style-type: none"> └ general: descomposició └ Fe i el S └ un clau en un tub d'assaig amb àcid 	23	
		27	
No contesten		8	
		2,3,17,29,35,36,40,41,42,43,44,47,48,53,54,57,58,59	

El paradigma 8 inclou les dues respostes que fan referència a la idea de protoelement, és a dir, que tenen una primera idea que permet pensar que un cop desenvolupada pot portar a la conservació de l'element. L'alumne 1 que diu: "es conserva la massa i el número de partícules" i l'alumna 16 diu "es conserva el Cu en un altre estat". Finalment el paradigma 9 agrupa aquelles respostes que no identifiquen la conservació a nivell químic o no contesten la pregunta.

La taula 1 que hi ha a continuació de la xarxa mostra la relació entre les respostes dels alumnes i els paradigmes en que s'han agrupat les respostes. Aquest tipus de taula permeten tenir una visió de conjunt de les respostes de l'alumnat enfront de les preguntes: Què canvia? Per què? Què es conserva? referides a la 1ª reacció del cicle del Cu.

Taula 1. Relació dels paradigmes que agrupen les respostes de la xarxa sistèmica Cu1, 1^a reacció amb les alumnes que les contesten

Paradigma Alumne	Què ha canviat ?						Què conserva?		
	1 àcid	2 Cu obj visi	3 Cu obj no v	4 Cu mat	5 Cu diss	6 gas	7 no reac	8 proto elem	9 no cont
1	x	x	x					x	
2									x
3			x						x
8		x	x						x
16		x	x				x		
17	x	x				x			x
23		x	x			x			x
27		x					x		
29			x						x
34		x							x
35	x	x					x		
36		x							x
40	x						x		
41				x		x			x
42		x		x					x
43		x	x						x
44		x				x			x
47	x	x							x
48									x
49		x	x				x		
53		x							x
54									x
57		x	x				x		
58		x	x						x
59	x	x			x	x			x

A Cu1, pel que fa als reactius, dels 22 alumnes que han contestat la pregunta, tothom, excepte 5 alumnes, parlen de l'acció que fa l'àcid sobre el coure o en "el líquid", tal com diu algun alumne. Calia esperar, donat que estan en el primer any d'instrucció en química a la Secundària, que l'acció de l'àcid fos descrita en tots els

casos a nivell macroscòpic. Així ha estat excepte en l'alumne 1 que diu "la vibració de les partícules de l'àcid nítric ha trencat l'enllaç del coure".

L'alumnat té dificultats per reconèixer els productes de la reacció. Ningú identifica el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ com a producte de la reacció i només l'alumna 23 reconeix el NO_2 , malgrat que hi ha 3 alumnes més que indiquen la presència d'un gas. La manca d'informació a nivell factual per reconèixer les substàncies i les dificultats per fer inferències a partir d'un marc teòric més ampli, pot explicar les dificultats que presenta l'alumnat a l'hora de reconèixer les substàncies.

Pel que fa a la pregunta de què es conserva, ja hem dit que meitat de la mostra contesta. Sis alumnes consideren que es conserva allò que no reacciona i només l'alumne 1 diu que "es continua tenint tot massa i nombre de partícules". Podem dir que aquest alumne té una idea propera a la conservació del protoelement.

Si analitzem la pregunta Amb què s'assembla aquest canvi?, veiem que en quan a l'ús d'analogies, la majoria, 18 dels 25 alumnes, no contesta. Sembla que no tenen l'hàbit d'utilitzar el pensament analògic. Els alumnes 8 i 27 posen un exemple concret, un d'ells creu que s'assembla "Al del ferro i el sofre". La resta o no contesten o ho identifiquen amb una dissolució. L'alumne 1 diu "Amb aquest canvi químic el podem assimilar a la dissolució d'aigua amb sal o amb sucre". Es a dir, que ni tant sols l'ús en un primer moment del terme científic adient, del canvi químic implica una correcta conceptualització. Podem afirmar que l'alumnat no té el concepte de canvi químic.

Cu 1. 2ª reacció. Què ha canviat? Per què? xarxa 1b

A Cu1, a 2on. de BUP, en la 2ª reacció del cicle del Cu, entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, les preguntes incloses en el qüestionari han rebut menys respostes que la 1ª reacció. Dels 25 alumnes, n'hi ha 12 que no han contestat les preguntes Què canvia? Per què?, i només dos d'ells han contestat Què es conserva durant la reacció?.

Per a confeccionar la xarxa sistèmica que recull les respostes donades per l'alumnat, en la 2^a reacció hem prestat atenció a les diferents entitats dels reactius de que parla l'alumne. Quan parlen del ferro, fan referència a l'objecte, és a dir, al clau de ferro que s'introdueix en la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$; o bé, al ferro, entès com a material o substància. Pel que fa a l'altre reactiu, tothom l'anomena coure. Ningú parla del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. En aquest cas es refereixen a tres entitats diferents: l'objecte de coure, el Cu com a material i el Cu dissolt. Recordem que són les mateixes entitats a les quals feien referència en la 1^a reacció entre el Cu i el HNO_3 .

La xarxa 2a, anàlogament a les anteriors, inclou les respostes donades per l'alumnat, el número de l'alumne que l'ha donada i els paradigmes que ens permeten agrupar les respostes. Hem establert els paradigmes de manera paral·lela a com ho hem fet a la xarxa 1, és a dir, en funció dels dos reactius i de les entitats a que l'alumnat fa referència per cada substància.

Així, el paradigma 1 agrupa les respostes que fan referència al clau de ferro com a objecte. Un exemple podria ser: "El clau de ferro es rovella i deixa anar una substància de color verd", o "el clau de ferro es recobreix d'una capa de coure perquè té facilitat per reaccionar amb el ferro".

En el paradigma 2 hem agrupat les respostes que parlen del material o de la substància Fe. Per exemple "el ferro reacciona amb el coure, l'àcid i l'aigua". El paradigma 3 agrupa les respostes que parlen del Cu com a objecte, tot i que en aquesta reacció no és present el fil de Cu. Un exemple d'aquest tipus de respostes seria "el coure s'enganxa al ferro fins formar una fina i petita capa de coure".

El paradigma 4 agrupa les tres respostes que parlen del coure, com a material o substància. Algunes d'elles constaten una observació que suposa tenir el coneixement factual i teòric necessaris per fer la inferència correcta i reconèixer la formació del coure. Són aquelles que diuen: "el coure s'ha dipositat damunt el ferro" o

Cu 1. 2ª reacció. Què li ha passat al coure? Què ha canviat? Per què? xarxa 2a n° alumne

paradigma

El ferro	<ul style="list-style-type: none"> el clau (objecte) <ul style="list-style-type: none"> es desfà { s/e <ul style="list-style-type: none"> dins l'àcid dissolt ha desaparegut, es desintegra es rovella: deixa anar una substància de color verd reacciona agafa el color del coure té parts de coure <ul style="list-style-type: none"> d'una capa de coure perquè té facilitat per reaccionar amb el ferro es recobreix de <ul style="list-style-type: none"> coure i perd ferro coure diluït a l'aigua 	42 47 42,57 57 59 42 40	1 1 1 1 1 1 1
el ferro (material)	<ul style="list-style-type: none"> es converteix en coure reacciona amb el coure, l'àcid i l'aigua els seus àtoms estan en l'àcid nítric 	44 23 42 43 42	1 2 2 2
No parlen del ferro	<ul style="list-style-type: none"> ha canviat d'estat { s/e <ul style="list-style-type: none"> s'ha tomat a solidificar al clau 	43 16	3 3
El coure	<ul style="list-style-type: none"> el coure (objecte) <ul style="list-style-type: none"> s'ha desfet s'enganxa <ul style="list-style-type: none"> al clau de ferro al ferro fins formar una fina i petita capa de coure el coure (material) <ul style="list-style-type: none"> s'ha dipositat damunt el ferro és a les vores del ferro que es poden veure es pot veure perquè ha sigut atret pel ferro <ul style="list-style-type: none"> el coure sobrant quedava a l'aigua el coure dissolt <ul style="list-style-type: none"> s'ha adherit al clau de ferro es atret pel ferro 	47 43 35 59 47 29 16,57 8	3 3 3 4 4 4 5 5 5
No parlen del coure	<ul style="list-style-type: none"> surten bombolles i es toma el líquid verd 	57 23,57,59	6 6
Altres el tub que porta aigua fa una reacció	<ul style="list-style-type: none"> el tub que porta aigua fa una reacció 	57	6
No contesten	<ul style="list-style-type: none"> 1,2,3,17,27,34,36,41,48,49,53,54 	1,2,3,17,27,34,36,41,48,49,53,54	

"el coure és a les vores del ferro que es poden veure". Una altra resposta intenta donar una explicació més completa quan diu: "el coure es pot veure perquè ha sigut atret pel ferro".

El paradigma 5 inclou les quatre respostes que parlen del coure dissolt. Per exemple els dos alumnes que diuen: "el coure sobrant quedava en l'aigua", o "el coure dissolt s'ha adherit al clau de ferro", o "el coure dissolt és atret pel ferro". En el paradigma 6, com en la xarxa 1, hi ha les respostes que parlen de "que surten bombolles". Cal remarcar que en la reacció entre el Fe i la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ no es desprèn cap gas.

La xarxa 2b agrupa les respostes a la pregunta: Què es conserva? durant la reacció entre el Fe i la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Els paradigmes 7 al 9 que agrupen les respostes corresponents a la conservació són els mateixos que en la xarxa 1.

La Taula 2 que hi ha a continuació de la xarxa mostra la relació entre les respostes dels alumnes i els paradigmes en que s'han agrupat les respostes. Aquest tipus de taula permet veure com disminuït el nombre de les respostes respecte a la 1ª reacció i tenir una visió de conjunt de les respostes de l'alumnat enfront de les preguntes: Què canvia? Per què? Què es conserva? referides a la 2ª reacció del cicle del Cu.

Cu 1.2ª reacció. Què es conserva? xanxa 2b	nº alumne	paradigma
[Idea de protocolament	16	8
[el coure es conserva	47	8
[el ferro	1,2,3,8,17,23,27,29,34,35,36,40,41,42,43,44,48,49,53,54,57,58,59	8
[No contesta		8

Taula 2. Relació dels paradigmes que agrupen les respostes de la xarxa sistèmica de Cu1, 2ª reacció amb els alumnes que els responen

Alumne \ Paradigma	Què ha canviat ?						Què conserva?		
	1 Fe. obj.	2 Fe. mat.	3 Cu obj.	4 Cu mat.	5 Cu diss.	6 gas	7 no reac.	8 proto elem.	9 no cont.
1								X	
2								X	
3								X	
8		X			X			X	
16	X		X	X			X		
17								X	
23	X					X		X	
27								X	
29			X	X				X	
34								X	
35				X				X	
36								X	
40	X							X	
41								X	
42	X	X						X	
43		X	X					X	
44	X							X	
47	X		X	X			X		
48								X	
49								X	
53								X	
54								X	
57	X				X			X	
58			X					X	
59	X			X	X			X	

Sembla que la majoria de l'alumnat a 2on. de BUP no té la informació química suficient per a poder reconèixer les substàncies i distingir el que és la primera reacció del Cu amb el HNO₃, de la segona, del Cu(NO₃)₂, amb el Fe. Alguns identifiquen els canvis de propietats: de color, de mida, ... de les substàncies però no ho poden traduir al canvi de les substàncies, per tant, a canvi químic.

Pel que fa als reactius, tothom parla del ferro però ningú, excepte l'alumne 1 anomena el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Tot el grup parla del coure amb la dificultat afegida que això representa, ja que no permet diferenciar si parlen del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, el reactiu o del Cu, el producte de la reacció. En alguna resposta, com en l'alumna 16, és difícil saber que creu que hi ha a la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ perquè diu "el coure ha canviat d'estat, s'ha tornat a solidificar en el clau" i "el coure es conserva". Es podria pensar que s'apropa a la idea de conservació de l'element, encara que només sigui en el cas del Cu. Però també és molt probable que ho entengui com un canvi d'estat d'agregació i no hagi vist el canvi químic que ha tingut lloc.

Pel que fa als productes de la reacció, tothom parla del coure excepte l'alumne 57. Però persisteix la confusió que ja hem comentat perquè en alguns casos no es refereixen al Cu que s'ha obtingut com a producte de la reacció. Per exemple quan l'alumne 43 diu "el ferro reacciona amb el coure, l'àcid i l'aigua".

En quan a l'altre producte de la reacció: el $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ ningú l'esmenta. Ens tornem a trobar a davant de la mateixa situació que en la 1ª reacció es donava amb el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. És a dir, la manca d'informació a nivell factual i les dificultats per fer inferències a partir d'un marc teòric més ampli, expliquen les dificultats que presenta l'alumnat a l'hora de reconèixer les substàncies.

Si la majoria de l'alumnat té dificultats per reconèixer les substàncies que intervenen, lògicament, els aspectes conservatius del canvi, en la 2ª reacció del cicle del Cu són difícils de plantejar. Així, en la Taula 2, la columna corresponent al paradigma 8 ha quedat en blanc perquè no hi ha cap alumne que expressi cap idea pròpia al protoelement.

Una primera conclusió de caràcter general ens permet afirmar que tots els alumnes a 2on. de BUP fan un raonament macroscòpic, tal com era d'esperar per al nivell d'informació química que disposen. La majoria fan una descripció del canvi, dels aspectes fenomenològics: canvis de color i de mida. L'únic que té memoritzada una

definició de canvi químic és l'alumne 59, però amb un esquema que només es refereix al canvi de substàncies, sense incloure la conservació de l'element. Això fa que no pugui explicar-se el que observa i diu que "El Cu es conserva en les dues reaccions". Les respostes que parlen de conservació no tenen el concepte subjacent de canvi químic sinó que raonen en termes de dissolució, o de canvis de situació dels àtoms o de les substàncies.

En resum, podem dir que la primera vegada que es va realitzar l'experiment del cicle del Cu a 2on. de BUP, s'observen dificultats per reconèixer les substàncies i en alguns alumnes no podem assegurar que ho hagin entès com un canvi químic. L'estructura de les explicacions que va construir l'alumnat fa referència a diferents entitats per cadascuna de les substàncies. La nostra intenció és veure si a COU es manté l'estructura d'aquestes explicacions i la referència a diferents entitats.

8.1.2 Redacció sobre el canvi químic feta a l'inici de 3er. BUP

8.1.2.1 Anàlisi del contingut: la microestructura semàntica i els exemples del canvi químic.

8.1.2.2 Anàlisi de la tipologia textual de les redaccions

8.1.2 Redacció sobre el canvi químic feta a l'inici de 3er. BUP

A l'inici de 3er. de BUP es va demanar a l'alumnat que escrivís una redacció amb la que preteníem conèixer quin model del canvi químic tenia cada noia i cada noi i quins conceptes era capaç d'activar sense posar-lo davant d'un fenomen concret. En la redacció, el format de la pregunta condiciona el que es faci referència a més d'un fenomen, si el recorden, i a donar una visió de conjunt dels aspectes relacionats amb la interpretació química dels fenòmens.

Partim del supòsit que la tipologia de pregunta condiciona la resposta; per això les respostes són conseqüència del tipus de tasca proposada: una redacció. Una pregunta amb característiques ben diferents de les de les preguntes del cicle del Cu. El fet que es demani una redacció sobre un tema tant ampli com el canvi químic permet que l'alumne no es centri en l'explicació d'un episodi concret, d'un fenomen. I d'alguna manera mostri espontàniament quins conceptes activa entorn aquest tema i com els articula entre ells.

Com que la tasca s'ha realitzat tres mesos després d'haver treballat el tema a classe, permet que el text sigui més una elaboració pròpia de l'alumne, lògicament emmarcada en un context escolar, com ho és el conjunt de la recerca, però no estrictament lligada a l'aprenentatge ni al desig de *"faire plaisir au prof"*. Calia esperar que la selecció de la informació per part de l'alumnat probablement fos aquella que considera que explica de manera més significativa el canvi químic. Per tant podria ser que disminuís l'ús del termes científicament correctes sense comprendre'ls. Al mateix temps però, aquesta distància permet també que l'alumnat elabori un text més descriptiu que no pas explicatiu, ja que no hi ha la insistència del "per què" que incloem en les preguntes explicatives d'un fenomen.

Aquest últim aspecte és el que fa que tingui interès analitzar redaccions o textos lliures produïts per l'alumnat, a més de les preguntes tancades, on el format condiciona el tipus de resposta i no permet veure la complexitat o l'amplitud de les relacions conceptuals entorn a un tema.

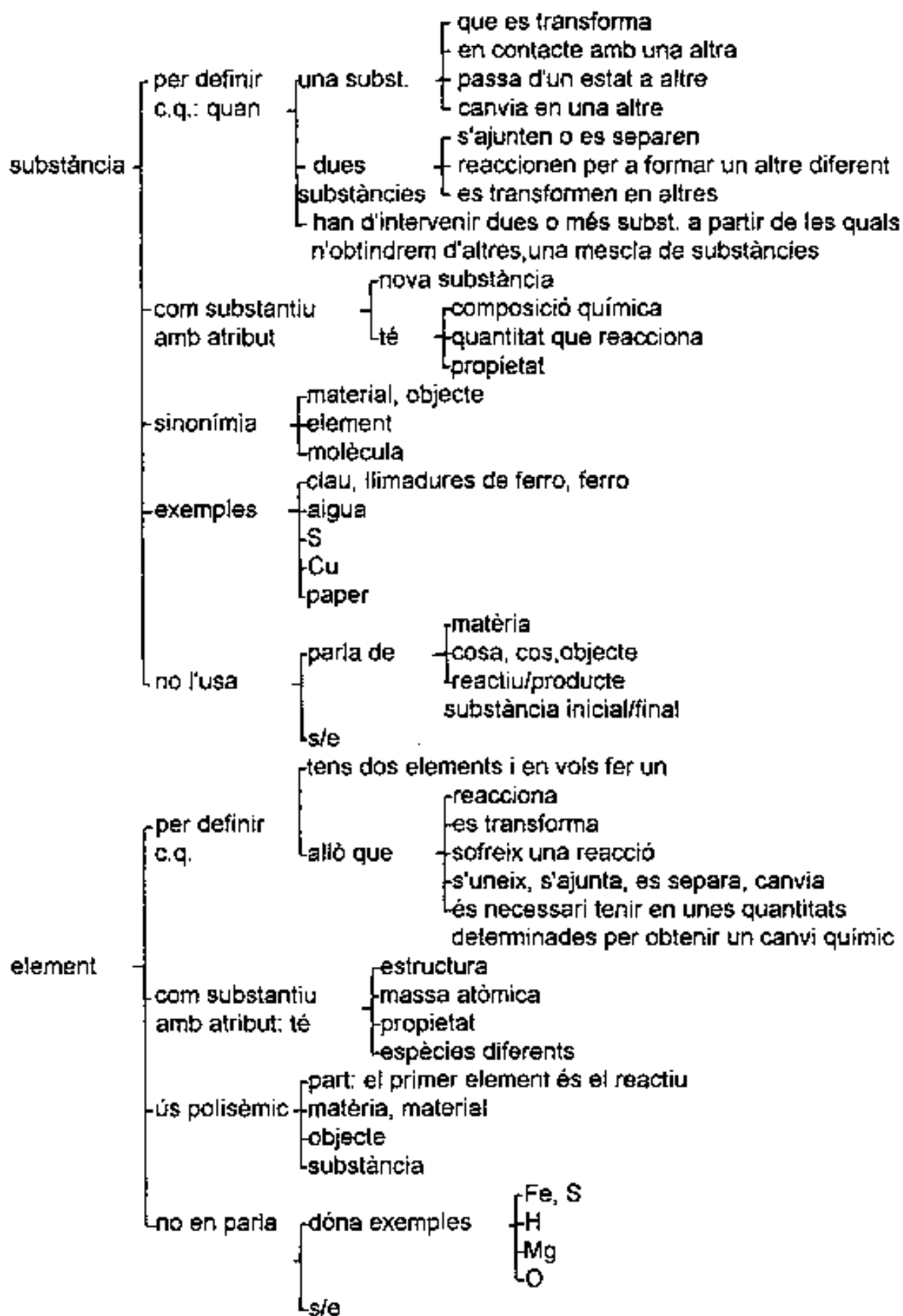
En l'elaboració d'explicacions durant la redacció, en la mesura que es parla de diferents canvis químics, s'observa l'existència de diferents categories explicatives del mateix, que coexisteixen en una mateixa redacció, segons el fenomen que expliquen o l'exemple que recorden de canvi químic.

8.1.2.1 Anàlisi del contingut de les redaccions

Per a l'anàlisi del contingut de les redaccions, en un primer intent, es va voler esbrinar el diferent grau d'utilització de diferents conceptes químics necessaris per a interpretar el canvi químic. Així en una primera aproximació es van analitzar els conceptes de propietat, element, substància, si utilitzaven l'esquema reactius/ productes, si diferenciaven la situació inicial/ final i si tenien en compte els aspectes conservatius del canvi.

Del conjunt de conceptes possibles per a l'anàlisi del contingut, es va detectar que alguns no són discriminatoris o que de la informació continguda en la redacció no es pot establir una gradació en l'ús del concepte. Per exemple, no es discriminatori la idea que tenen de substància pura tot i que en la redacció parlen de substàncies i esmenten exemples concrets de substàncies pures. El mateix succeeix amb el concepte d'element tal com es pot veure en les xarxes sistèmiques incloses tot seguit. Utilitzen els dos conceptes, tant el de substància pura com el d'element amb un ampli nivell de polisèmia. Tampoc no ha resultat discriminatori l'ús dels conceptes reactius/ productes ni el entendre el canvi químic com un procés diferenciant situació inicial i final.

Les xarxes sistèmiques que hi ha a continuació volen recollir el ventall en l'ús conceptes químics que s'utilitzen per interpretar el canvi químic a R1:



L'alumnat no té un concepte que es fonamenta en la teoria química del que és un element o una substància. Aquests conceptes s'usen amb dues funcions dins el text: per donar una definició de canvi químic, i com a substantiu al qual se li afegeix un atribut descriptiu d'alguna substància o element en concret. Ningú ho relaciona amb les "substàncies pures".

A R1, la idea d'element químic que predomina en totes les redaccions no arriba al que Martinand (1986) qualifica de visió elementarista de l'element. S'utilitza poc el concepte d'element, només és present en 2 redaccions, les de les alumnes 6 i el 8 que diuen que "Un canvi químic és quan uns elements o algunes partícules s'ajunten formant un de nou". És a dir, no es parla del concepte científic d'element químic, es parla de l'element com a sinònim de substància, material i fins i tot de partícula. No de la partícula que forma part del model teòric, sinó de la partícula com a part d'un material.

També vam intentar analitzar en les redaccions l'ús dels conceptes de propietat i d'energia. Aquests dos conceptes són prou importants en la mesura que el concepte de propietat és bàsic per poder realitzar una correcta identificació de les substàncies imprescindible per a la interpretació del canvi químic. El concepte d'energia, en concret de la calor és un dels components dels models alternatius del canvi químic, en concret de la confusió amb el canvi físic. Però tampoc van resultar discriminatòries.

Anàlisi de la microestructura semàntica

¹En l'anàlisi de les redaccions, tal com s'indica al capítol Disseny de la recerca, hem utilitzat els mapes de Thagard (1990b) per estudiar la microestructura del text. Hem intentat que l'organització espacial dels mapes reflexés clarament els nuclis de conceptes enllaçats lògicament, tal com es pot observar en els exemples de mapes que hem inclòs en l'apartat 8.2.2 Redacció sobre el canvi químic feta a l'inici de COU.

¹ Les redaccions escrites per l'alumnat es troben en l'annex a la Memòria que es pot consultar a la Biblioteca de la Facultat de Ciències de l'Educació de la Universitat Autònoma de Barcelona

A partir de l'anàlisi de la microestructura de les redaccions, han sorgit unes categories que permeten resumir la informació que contenen. Les categories utilitzades per analitzar la informació continguda en els mapes són aquelles que s'ha indicat en el capítol III Disseny de la recerca, apartat 6.3.2: el que canvia, el que es conserva, el nivell explicatiu del canvi químic, la visió quantitativa, els exemples de canvi químic i la coherència global del text.

Per a establir les subcategories de l'anàlisi del contingut de les redaccions, hem seguit el criteri indicat a l'apartat 6.3.2 La microestructura i la macroestructura de les redaccions. Com que una de les orientacions de la recerca és esbrinar que hi ha per sota de l'ús de frases estereotipades o definicions memoritzades per l'alumnat, hem procurat que les subcategories ens permetessin aprofundir en aquesta direcció. A continuació indiquem alguns exemples que permeten entendre millor les subcategories del què canvia.

Una redacció està inclosa en la subcategoria de canvi físic quan entén el canvi químic fonamentalment com un canvi físic. Per exemple, l'alumna 36 diu: "El canvi químic és un canvi que sofreix un producte o una substància, i que canvia els seus components i també pot canviar la seva forma externa o física, o canviar d'estat. Per exemple, el canvi que sofreix un paper al cremar-se. Canvia els seus components i la seva forma, o millor dit es converteix en un gas amb partícules de pols".

Diem que una redacció correspon a la subcategoria de canvi de propietats quan aquest és l'aspecte predominant en l'explicació del canvi. Per exemple, l'alumna 48 diu: "El canvi químic és un procés en el qual canvien les propietats d'una matèria. És a dir, si nosaltres cremem un tros de paper n'obtenim cendres. El paper és el reactiu, i les cendres són el producte. En aquest procés han intervingut elements, com per exemple l'oxigen, que han fet que el paper canviés les seves propietats".

Diem que una redacció correspon a la subcategoria de canvi d'estructura quan explica el canvi fonamentalment com un canvi que succeeix a nivell d'àtoms, molècules o enllaços. Per exemple, l'alumna 23 diu: "En un canvi químic les molècules

es desordenen i després es tomen a ordenar per formar una substància nova a la que teniem en principi”.

Diem que una redacció correspon a la subcategoria de canvi de substàncies quan parla clarament de la formació de una nova substància. Per exemple, l'alumne 59 diu: “Canvi químic és aquell canvi en el qual una substància química es transforma en una altra, a través d'un procés en el qual les partícules o àtoms d'aquella substància s'alliberen i es reorganitzen un altre cop, formant una nova substància, amb propietats totalment diferents als de la substància anterior”.

En quan als exemples de canvi químic, diem que un exemples empírics són aquells que corresponen a fenòmens de la vida real o a algun experiment realitzat al laboratori. Hem agrupat sota el nom d'exemples teòrics aquells en els que no s'activa el referent empíric i, només s'esmenten a nivell de nom de les substàncies, les fórmules o els mols que intervenen.

En quan a la coherència global del text, diem que el text és coherent quan tots els conceptes estan relacionats en el mapa de Thagard (1990b), com és el cas de la pràctica totalitat de mapes corresponents a les redaccions fetes a 3er. de BUP: s'esmenten pocs conceptes químics de manera coherent i ordenada. Diem que la coherència d'un text és feble quan en el mapa de Thagard (1990b) es pot observar que tots els conceptes estan connectats però hi ha molt pocs enllaços creuats.

A continuació, la Taula 3 mostra les diferents subcategories obtingudes en l'anàlisi de cadascuna de les redaccions escrites a R1. La primera columna indica el nº de l'alumne amb el que se l'identifica durant la recerca. En les columnes què canvia, què es conserva, aspectes quantitius i exemples s'indica de forma abreviada, a quina subcategoria correspon la redacció. La última columna: Regles indica el nombre de regles de definició, explicació, causalitat o analogia presents en la redacció, d'acord amb el que s'ha indicat en el capítol III. Disseny de la recerca.

Taula 3. Relació de les subcategories corresponents a l'anàlisi de cadascuna de les redaccions R1

Alumne	Què canvia R1	Nivell explicació R1	Què es conserva R1	Aspectes Quantitatius R1	Exemples R1	Regles
1	substàncies	Ma/mi	no	Q 1	no	2 definició, 2 explicació, 1 causal
2	propietats	Microscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació
3	propietats	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
4	canvi físic	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
5	estructura	Microscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació, 1 anàloga
7	estructura	Microscòpic	no	Q 1	empíric	3 definició
8	estructura	Microscòpic	C 2	Q 1	empíric	2 definició, 1 anàloga, 2 causal
9	propietats	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
10+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició, 1 explicació, 1 anàloga
11	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició
12+	estructura	Microscòpic	no	no	teòric	2 definició, 1 anàloga
13+	substàncies	Macroscòpic	no	no	no	1 definició
14+	substàncies	Microscòpic	no	Q 1	empíric	1 definició, 2 explicació
16+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric/ teòric	1 definició, 1 explicació, 2 anàloga
17+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació
18+	canvi físic	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició
19	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació, 1 anàloga
20	propietats	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
21	estructura	Microscòpic	C 2	Q 2	teòric	2 definició, 3 explicació, 1 anàloga

22+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació
23+	substàncies	Ma/mi	C 2	Q 1	teòric	3 definició, 1 explicació
24	propietats	Macroscòpic	no	no	no	2 definició
26	estructura	Microscòpic	no	Q 1	empíric	2 definició, 1 explicació
27	estructura	Microscòpic	C 2	Q 0	empíric	2 definició, 1 anàloga, 1 causal
28	estructura	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
29+	substàncies	Macroscòpic	C 2	Q 1	empíric	2 definició
33	substàncies	Ma/mi	no	no	empíric	2 definició, 1 causal
35	substàncies	Ma/mi	C 2	Q 2	empíric	3 definició, 1 anàloga
36+	canvi físic	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició, 2 explicació
37	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició
38	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	1 definició
39	estructura	Microscòpic	no	no	no	1 definició
40	estructura	Microscòpic	no	no	teòric	1 definició, 1 explicació, 1 anàloga
41+	canvi físic	Macroscòpic	no	no	no	2 definició, 1 explicació
42+	propietats	Macroscòpic	no	no	no	1 definició, 1 explicació
44+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició
45+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació
46+	substàncies	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació
47	substàncies	Ma/mi	no	Q 1	teòric	2 definició, 1 causal
48+	propietats	Macroscòpic	no	no	empíric	2 definició, 1 explicació, 1 causal
49+	no cq	no	no	no	no	1 definició, 1 anàloga
50+	propietats	Macroscòpic	no	Q 1	no	3 definició
51+	no cq	no	no	no	empíric	1 definició, 1 explicació

52	canvi físic	Macroscòpic	C 2	Q 2		empíric	1 definició, 1 explicació, 1 anàloga
53	substàncies	Macroscòpic	no	no		empíric	1 definició, 1 explicació
54	propietats	Macroscòpic	C 0	no		empíric	2 definició, 1 explicació, 1 causal
55	estructura	Microscòpic	C 2	no		teòric	2 definició, 1 causal, 1 anàloga
57+	no eq	no	no	no		empíric	2 definició, 1 causal
58+	substàncies	Macroscòpic	no	no		empíric	2 definició, 1 explicació
59	substàncies	Ma/mi	C 2	Q 2		empíric	2 definició, 1 explicació, 1 anàloga
60	propietats	Microscòpic	C 1	no		empíric	3 definició, 1 explicació

Els totals de les subcategories presents a R1 queden recollides a la Taula 4:

Categoria	Subcategories	nºres- postes	%
Què canvia	no	3	6
	canvi físic	5	10
	propietats	10	20
	estructura	11	21
	substàncies	22	43
Què es conserva	no	41	80
	sí	10	20
Nivell d'explicació	no	3	6
	Macroscòpica	29	57
	Microscòpica	13	26
	Macro/micro	6	11
Aspectes quantitius	no	38	75
	sí	13	25
exemples	no	8	16
	empírics	38	74
	teòrics	5	10
coherència global text	no	-	-
	feble	1	2
	sí	50	98

La majoria de les redaccions fetes a l'inici de 3er. de BUP, en la mesura que l'alumnat no té un nivell d'informació química molt elevat, són curtes, de mitja pàgina o una mica més. Es dona una explicació del canvi, es posen alguns exemples i no s'extenen en altres aspectes. En quan al què canvia durant el canvi químic, hem de senyalar que en aquesta primera redacció l'alumnat acostuma a repetir frases o definicions estereotipades. Com per exemple diu l'alumna 16: "Quan parlem de canvi químic, han d'intervenir dues o més substàncies, a partir de les quals n'obtidrem d'altres", o bé com diu l'alumna 29 "En un canvi químic, els components de la substància varien i aconseguim una nova substància". Això explica que hi hagi un nombre important de respostes que puguem classificar com a canvi de substàncies.

En quan al què és conserva, hi ha 3 alumnes que utilitzen una analogia amb el model de boles per representar el canvi químic, son els que hem classificat a la subcategoria Q2. I 7 alumnes els hem agrupat a la subcaregoria Q1 perquè parlen de la "massa relativa de les partícules i el nombre de partícules per molècula", o "si tenim 3 molècules d'hidrogen i les ajuntem amb una molècula de nitrogen obtenim una molècula d'amoníac", o "hem de barrejar la quantitat exacta de dos materials". Encara que a vegades confonguin els àtoms per molècules, parlant de la síntesi de l'aigua i diguin: "hi ha dues molècules d'oxigen i quatre d'hidrogen".

En quan al nivell d'explicació del canvi químic, una majoria de les redaccions són macroscòpiques i només 6 alumnes donen una explicació coherent i equilibrada entre els dos nivells, macroscòpic i microscòpic.

Exemples de canvi químic

Entre els exemples de canvi químic que esmenta l'alumnat, hem diferenciat entre exemples empírics i exemples teòrics, tal com hem establert a l'apartat 6.3 Tractament de les dades. Ja hem dit en el capítol III. Disseny de la recerca que a 2on. de BUP, l'alumnat de la mostra va realitzar al laboratori l'experiment del cicle del Cu i el del S i Fe, i el professor va realitzar l'electròlisi i la síntesi de l'aigua. Pel que fa a l'experiment del cicle del Coure, molt pocs alumnes recorden exactament el fenomen. A R, aquest exemple només es esmentat per 9 alumnes que no coincideixen amb aquells que van lliurar el qüestionari a Cu 1, i ho fan en els següents termes:

		nº ordre alumne	
oxidació	clau amb l'àcid	reaccionava i aconseguíem una substància: l'òxid	29
		s'oxidava ràpidament	11
		veiem com es deforma i s'oxida	52
	fil de coure	l'ataca ràpidament al fil de coure	17
		amb àcid nítric s'oxidava	18
		després d'uns processos determinats férem soluble el coure, el ferro es va convertir en coure	4
		un cargol en una proveta amb aigua destil·lada es desfeia i l'aigua destil·lada canviava de color, en el cargol, es separava el coure del ferro	57
altres - el clau	es separava el coure del ferro i l'aigua canviava de color		
	de blau a un verdós amarronat, el coure no es diluïa amb aigua	51	
	perdia el seu òxid en contacte amb l'àcid	23	

En una recerca anterior sobre la combustió (Solsona, 1991) vam observar que l'alumnat utilitzava exemples que no s'havien treballat durant la instrucció escolar en química. Això probablement succeeix perquè la combustió és un fenomen més proper a la realitat de l'alumnat ja que agrupa a un conjunt de fenòmens de la vida quotidiana que els que s'agrupen sota el concepte de canvi químic.

Però en la recerca actual, tots els exemples de canvi químic que l'alumnat esmenta en les redaccions, són els que s'han treballat durant el curs escolar i són exemples de química escolar. Només a R₁, una noia (17) parla de la fotosíntesi, sense utilitzar el terme, parlant de "quan les plantes agafen diòxid de carboni". L'alumnat de la mostra havia treballat els conceptes de fotosíntesi, respiració o fermentació, a classe de biologia. Els únics exemples que trenquen els exemples de química escolar són dues redaccions que parlen de la combustió de la gasolina. Hi ha exemples que s'utilitzen tant en les redaccions amb una explicació més elaborada del canvi com en les més simples del canvi químic; aquests són la formació d'aigua i el cremar paper.

Els exemple del clau de ferro que es rovella, o oxidació del ferro i, el S i el Fe, són presents en moltes redaccions de R₁. Podem dir que han esdevingut exemples paradigmàtics del canvi químic, reforçats probablement per la instrucció. L'oxidació del ferro va ser activada en una de les preguntes del qüestionari inicial de la proposta curricular utilitzada a 2on. de BUP. I això, tractant-se d'un fenomen proper a l'alumnat, probablement, li ha fet jugar el paper d'un primer model de referència per el canvi químic. El fet que altres preguntes incloses en el qüestionari inicial, com la poma que s'oxida que van rebre un ventall de respostes més divers que el clau que es rovella, no hagi estat ni tant sols esmentades com a exemples de canvi químic, dona més força, si cal a l'afirmació anterior. L'exemple del S i el Fe va ser utilitzat com activitat d'introducció per a la fase d'introducció del concepte de canvi químic en els materials curriculars utilitzats a 2on. de BUP.

Hi ha 8 alumnes que no esmenten cap exemple de canvi químic o que el seleccionen incorrectament ja que parlen de l'evaporació de l'aigua. Dels que posen

exemples, 38 alumnes donen una explicació que és coherent amb l'explicació de canvi químic que han donat en general. És a dir, si expliquen el canvi en termes de "formació d'una nova substància amb propietats diferents", si posen l'exemple del rovell del ferro, diuen que "s'ha format una nova substància, el rovell que té propietats diferents del ferro". Si raonen el canvi en termes de "canvi de la composició química" de la substància, fan el mateix raonament per a explicar l'exemple. Hi ha 3 alumnes que parlen de l'electròlisi de l'aigua.

Hi ha 14 alumnes que acompanyen l'exemple que esmenten amb una representació gràfica amb el model de boles o un altre tipus de representació.

A continuació, la Taula 5 recull els exemples esmentats a R1 i els alumnes que els esmenten.

exemples	alumnat	total
formació aigua	5,8,12,16,21,22,23,27,29,35,47,54,57	13
electròlisi	37,38,59	3
cremar paper, gas, gasolina	11,18,26,36,40,58,60	7
S + Fe	2,4,9,10,11,12,14,16,17,18,20,22,23,27,44,45,46,48,54	19
rovell Fe, oxidació	3,5,7,11,14,17,18,22,26,28,33,40,52,53	14
cicle del Cu	4,11,17,18,20,23,26,29,52,51,57	11
formació amoníac	7	1
combustió calci	19	1
formació O ₂	55	1
fotosíntesi	17	1
putrefacció poma	14,20	2
ebullició / destil·lació aigua	4,12,23,41	4
no exemples	1,13,24,39,41,42,49,50	8

Pel que fa a la coherència global del text, a R1 com que s'inclouen pocs conceptes, es fàcil establir coherència entre ells. Per tant, la quasi totalitat de les redaccions presenten coherència a nivell global del text.

8.1.2.2 Anàlisi de la tipologia textual de les redaccions

Tal com hem indicat en el capítol II, Marc teòric de la recerca ens interessa analitzar la forma en que es construeix un text escrit, per veure si podem establir alguna relació entre la tipologia textual i el contingut del mateix.

L'anàlisi de la tipologia textual es realitza amb els criteris establerts des de la lingüística per diferents autors (Van Dijk, 1983; Adam, J.M. 1992). Recordem tal com ja hem indicat a l'apartat 3. L'anàlisi del discurs que descriure és representar per mitjà de paraules un material o un fenomen i que els textos descriptius en ciències es relacionen amb les preguntes: com és? què passa? com passa?

A R₁, la majoria de les redaccions són expositives, organitzades sota la forma bàsica de descripcions. Únicament alguna redacció, com la de l'alumna 13 presenta una introducció retòrica que diu: "Tal com sona i per lo que recordo allò lleugerament es molt diferent un canvi químic d'un físic... Amb això, més o menys es pot deduir que el canvi químic consisteix en que a un element ...".

Hi ha 5 alumnes que inicien les redaccions de forma magistral. Diu l'alumne 1: "Un canvi químic no es produeix a la vista, tal i com és donat un canvi físic, aquest comporta un canvi en les propietats ...". I el 7: "Si tenim 3 molècules d'hidrogen i les ajuntem amb una molècula de nitrogen obtenim una molècula d'amoniac". El 20 diu "Vam fer una experiència al laboratori on es produïa un canvi químic; era ficar un clau de ferro ...". L'alumna 29 diu: "Per definir un canvi químic podem utilitzar l'exemple que vam veure en el qual ficàvem un clau en àcid que produïa l'oxidació, ...". I el 60: "Hoy hablaremos del cambio químico. El cambio químico es cuando una sustancia inicial, con unas determinadas propiedades ...".

En resum, podem dir que degut al baix nivell d'informació química que té l'alumnat després de 3 mesos d'instrucció química, la majoria de les redaccions a l'inici de 3er. de BUP són descriptives de les característiques del canvi químic, sense entrar en raons o arguments del perquè es produeix el fenomen.

8.2.1. Explicacions de l'alumnat de 3er. de BUP a l'experiment del cicle del Cu (Cu₂)

La xarxa sistèmica 3a recull les respostes a la primera pregunta del qüestionari que acompanya la realització de la primera reacció de l'experiment del cicle del Cu, és a dir, la reacció entre el Cu i el HNO₃. Aquesta xarxa no està organitzada en funció de les categories habituals del contingut científic (canvi físic, canvi de propietats, reactius, productes, ...) sinó que s'ha organitzat en funció de l'estructura en que l'alumnat acostuma a elaborar les explicacions, tal com hem fet a Cu1. En aquest cas hem prestat atenció a la diferenciació que fan, en la majoria de les respostes, entre l'àcid, l'agent actiu del canvi, i el coure, el subjecte passiu del canvi; i a les entitats sobre les que actua l'agent del canvi, és a dir, l'objecte, el fil de Cu, la substància "coure" i el "Coure dissolt".

El format de la pregunta inclosa en el qüestionari que acompanya la realització de l'experiment quan diu Què li ha passat al coure?, condiciona les respostes en el sentit que parlen més del coure que de l'àcid. Però l'acció de tirar l'àcid sobre el coure potser condiciona el fet que l'àcid sigui l'agent actiu del canvi.

La xarxa sistèmica 3a, tal com hem fet a Cu1 inclou les respostes, el numero dels alumnes que l'han contestat i el paradigma en que hem agrupat les diferents explicacions.

Cu 2. 1ª reacció. Què li ha passat al coure? Què ha canviat? Per què? xarxa 3a n° alumne paradigma

Parlen de l'àcid	es torna blavós canvia les propietats, es converteix en nítrat la composició perquè té partícules dissoltes de Cu, els Cu ²⁺ es troben dissociats 58	16,17,29,59	1		
		1	1		
No parlen de l'àcid		40,41,47	1		
Parlen del coure	es ref. part visible	analogia ha canviat d'estat barrejal en HNO ₃ , s'ha fos en el HNO ₃	27,34	2	
		el sòlid s'ha dissolt en àcid	23,49	2	
	el fil (objecte)	desapareix, s'ha desfet en l'àcid	29,49	2	
		canvia de color més vermellós, més negre	27,35,49,58	3	
	es ref. a la part no visible	s'aprima, es fa més petit, s'ha reduït	16,23,34,35,36,42,44,48,53,54,57,59	3	
		s'ha deformat, es degrada	23,29,49	3	
	coure (substància)	s'oxida, s'ha reduït	2,3,27,47,49,53,54,57	4	
		parla dels prod finals	ha reaccionat amb l'àcid i li ha cedit el coure 23 formant un nítrat 59	4 4	
	Parlen del coure	e's seus àtoms intercanvien ions Cu ²⁺ amb l'àcid nítric	ha anat a para a l'àcid s'è	16,23,29,53,54,57,58	4
			nítric en forma de ions fins a convertir-se en Cu(NO ₃) ₂	2,3,40,44,47	4
coure dissolt	s'è en l'àcid fa forma nítrat de coure dona color blavós a la dissolució	han desplaçat els àtoms d'hidrogen de l'àcid nítric	23,29	4	
		estàn dissolts en l'àcid nítric	42	4	
No parlen del coure		1	4		
Altres	parlen d'un gas	s'è	40,44,47	5	
		en l'àcid	1,29,34,48	5	
	no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	16,23,29,53,54,57,58	5	
			23	5	
	no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	17,41,43,59	6	
			17,41,43,59	6	
	no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	comencen a sortir bombolles, es desprenen vapors	17,49,53,54,57,58	6
			surt un gas	59	6
	no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	s'è	1,2,3,23,27,40,42,48	6
			un gas que s'escapa	23,36	6
no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	l'hidrogen ha passat a estat gasós	42	6	
		es formen vapors d'òxid nítric	49	6	
no parlen de gas	mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat i el nitrogen una part s'ha reduït	NO ₂	16	6	
		des gasos H i N	29	6	
Escriuen una representació simbòlica		8,34,35,41,43,44,47	7		
No escriuen representació simbòlica	3Cu + HNO ₃ → 3CuO + H ₂ + N ₂ Cu + HNO ₃ → CuNO ₃ + 1/2H ₂ Cu + 2HNO ₃ → Cu(NO ₃) ₂ + H ₂ 2Cu + 2HNO ₃ → 2CuNO + H ₂ 3Cu + 2HNO ₃ → 3CuO ₂ + H ₂ O + N ₂ Cu + 4HNO ₃ → Cu(NO ₃) ₂ + 2H ₂ O + 2NO ₂ Cu + HNO ₃ → CuO + HN	29	7		
		59	7		
No escriuen representació simbòlica		1,2,3,23,27,35,40	7		
No escriuen representació simbòlica		48	7		
No escriuen representació simbòlica		17	7		
No escriuen representació simbòlica		16	7		
No escriuen representació simbòlica		36,53,54,57	7		
No escriuen representació simbòlica		34,41,42,44,49,58	7		

Cu 2. 1ª reacció. Què es conserva? xarxa 3b n° alumne paradigma

El que no reacciona	a nivell macro	una petita part	29	8
		coure en dissolució aquosa	40	8
El que no reacciona	a nivell macro	però a s'è amb diferent grau	48	8
		l'excés de nítric, àcid nítric però ara amb coure	23,48	8
El que no reacciona	a nivell micro	l'hidrogen	16,57	8
		el nitrogen	36	8
El que no reacciona	a nivell micro	H ₂ O	53	8
		el NO ₃ , el grup nítrat	2,3,42,44	9
Idea de prototipament	el ió nítrat, s'ha intercanviat el catió H per el catió Cu	59	9	
		el coure perquè s'ha oxidat	17	9
No parlen de conservació	es conserva festal de's reactius sòlid i líquid	la massa, la massa del coure	1,16,27	9
		48	10	
No parlen de conservació	es conserva festal de's reactius sòlid i líquid	tot es conserva	34	10
		res	35	10
No parlen de conservació		no contesten	8,41,43,47,54,58	10

Els paradigmes 1 al 6 són els mateixos que hem establert per a agrupar les respostes donades a Cu1. Ara, però tenim un nou paradigma, el 7 per incloure les equacions químiques que de manera espontània escriu l'alumnat en la pregunta Què ha canviat? Per què?.

Els paradigmes 8 al 10, de manera paral·lela a com ho feien els paradigmes 7 al 9, agrupen les respostes a la pregunta Què es conserva? Per què? amb els mateixos criteris que hem utilitzat a Cu1. Cal remarcar que el paradigma 9 agrupa les respostes que inclouen una idea propera al element corresponents a aquesta categoria de la xarxa sistèmica 4a, més aquelles respostes que parlen del que no reacciona a nivell microscòpic. Ho hem fet així perquè creiem que encara que no tant clarament com les altres, aquestes darreres respostes també són properes a la idea d'element.

La Taula 6 mostra la relació entre les respostes dels alumnes i els paradigmes en que les hem agrupat. Si la comparem amb les taules 1 i 2, s'observa l'augment en el nombre de paradigmes als quals fa referència simultàniament l'alumne quan elabora la resposta respecte als que va utilitzar el curs anterior. Ara, a més tenim el nou paradigma 7 que inclou les equacions químiques.