

L'EMERGÈNCIA DE LA INTERPRETACIÓ
DELS FENÒMENS QUÍMICS

Taula 6. Relació dels paradigmes que agrupen les respostes a la xarxa sistèmica Cu 2, 1^a reacció amb els alumnes que les contesten

Paradigma Alumne	Què ha canviat ?							Què conserva?		
	1 àcid	2 Cu obj vis	3 Cu obj no v.	4 Cu subs	5 Cu diss	6 gas	7 equa	8 no reac	9 proto elem	10 no cons
1	x		x	x	x		x		x	
2			x	x			x		x	
3			x	x			x		x	
8										x
16	x		x	x			x		x	
17	x		x	x		x	x		x	
23		x	x	x	x	x	x	x		
27		x		x			x		x	
29	x	x	x	x	x		x		x	
34		x	x		x		x			x
35			x				x			x
36			x			x	x	x		
40					x		x	x		
41							x			x
42			x	x		x	x		x	
43										x
44			x	x	x		x		x	
47				x	x					x
48			x		x		x	x		x
49	x	x	x	x		x	x	x		
53			x	x		x	x	x		
54			x	x		x	x			x
57			x	x		x	x	x		
58	x		x	x		x	x			x
59	x		x	x	x	x	x		x	

A Cu2, ha augmentat l'ús d'una de terminologia més teòrica per explicar el canvi, com per exemple, dient "s'ha oxidat", "s'ha reduït", però no queda clar que això s'hagi fet incorporant el seu significat químic. Han augmentat lleugerament les explicacions referents al nivell microscòpic i, es presta més atenció als productes de la reacció: el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el gas, encara que no sempre s'identifiqui correctament.

Pel que fa als reactius, dels 25 alumnes de la mostra, hi ha 3 que no parlen de l'àcid en la seva resposta i quatre que no esmenten el coure. Pel que las productes, 5 alumnes identifiquen el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. La resta, tal com succeïa a Cu1 parla de les diferents entitats del coure: el fil de coure, el coure com a material o substància o el coure dissolt.

En quan al gas, ha augmentat el nombre d'alumnes que en parlen, de 4 que s'hi referien a Cu1 a 19 que en parlen a Cu2. Però no l'identifiquen correctament: El segon any ningú esmenta el color del gas i sols les alumnes 16 i 50 identifiquen respectivament el " NO_2 " i "vaporen de òxido nitroso". La resta parla de "bombolles" o "del gas H_2 que es desprèn". L'alumna 23 que l'havia identificat correctament el curs anterior, ara diu que obtenim "un gas que s'escapa, l'hidrogen". La raó d'aquest canvi quedarà explicada quan comentem el paradigma 7 que agrupa les equacions químiques escrites espontàniament per l'alumnat.

Pel que fa al nivell d'explicació, calia esperar que a 3er. de BUP hagués augmentat de manera molt clara el nombre de respostes que donessin una explicació en termes microscòpics del canvi. Però no ha estat així: només 6 alumnes del total de 25 hi fan referència. A 2on de BUP havien sigut 3 de 25. Tal com s'ha detectat en altres investigacions pocs estudiants utilitzen espontàniament el nivell d'explicació microscòpica del canvi. Les frases són les que s'indiquen a la xarxa que parlen d'"àtoms de Cu que han desplaçat els àtoms de H de l'àcid" i "d'intercanvi de ions". Pel que fa a les explicacions a nivell iònic no sembla que l'alumnat hagi incorporat el seu significat químic més enllà de l'ús de la terminologia. Un exemple il·lustratiu d'aquesta afirmació és el cas de l'alumne 1 que parla de ions Cu^{2+} enlloc de Cu^{2+} .

El paradigma 7 mereix un comentari especial. En la mesura que ha augmentat la informació química de l'alumnat, el que a 2on. de BUP s'identificava només com un gas, ara calia esperar que l'alumnat, a 3er. de BUP l'identifiqués com un gas concret. Però, no ha succeït exactament així. Ha augmentat el nombre d'alumnes que reconeixen el despreniment d'un gas respecte al curs anterior que eren 4 d'un

total de 25, ara són 19 de 25. Però això no vol dir que disposin del coneixement factual necessari per a reconèixer el gas correctament.

Les respostes que indiquen la presència d'un gas s'havia pensat, en un principi, que podien ser indicadores d'una correcta conceptualització del canvi químic, però no ho podem afirmar així en la majoria dels casos a la vista dels resultats obtingudes.

En la reacció entre el Cu i el HNO_3 , com en totes les que intervenen gasos, els alumnes acusen dificultats per reconèixer el NO_2 com un gas marronós. A més, l'equació química que hauria de ser un eina per interpretar el canvi químic, per a l'alumnat es converteix en l'explicació acabada del canvi químic, on el que és més important, el que predomina és l'estequiometria, fins i tot, per sobre del reconeixement de la substància (Claudi Mans, 1996). Així hi ha 7 alumnes de la mostra reduïda de 12 alumnes que després seran entrevistats (1,2,23,36,44,48 i 59) que combinen el Cu^{2+} i l'anió NO_3^- per formar el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, i després, per completar estequiomètricament l'equació, com només queda el protó H^+ , consideren que el més lògic és que el gas que es desprèn sigui H_2 . Així, no sobra cap element a l'equació i, fins i tot, es fàcil d'igualar.

L'alumna 13 no ho té tant clar quan formula el productes de la reacció com $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i H^+ , i l'alumne 41 ho formula com CuHNO_3 . L'alumna 29 que té com exemple paradigmàtic del canvi químic l'oxidació, un cop ha fet oxidar el Cu per formar "CuO dissolt en HNO_3 ", indica l'obtenció de dos gasos, que escriu $\text{H}_{(g)}$ i $\text{N}_{(g)}$. En el model de canvi químic que van construir aquests estudiants, sembla que predomina la química de les lletres per davant de la química de les substàncies.

Les respostes a la pregunta A quin altre canvi s'assembla? estan recollides a la xarxa 3c.

Cu2. 1ª reacció. Amb què s'assembla? xarxa 3c

nº alumne

- canvi físic - dissolució		34
		16
- canvi químic	corrosió	27
	oxidació	23
	de reducció	2
	de conducció: $\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CuO}_2$	3
	redox (canvi de nombre d'oxidació)	44,47
	[$\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CuO}_2$	1,35,49,58
	que es fan amb O_2	36,54,57
	d'intercanvi de protons	53
	intercanvi d'electrons	42
	neutralització	48
	29	
- No contesten		17,40,41,43,

Si analitzem les respostes de la xarxa 3c podem dir que en quan a l'ús d'analogies, es produeix el fenomen que anomenem de substitució d'analogies que consisteix en que enlloc de buscar la similitud amb un altre fenomen, com havien dit abans, per exemple, amb el S i el Fe. A mesura que augmenta la informació química, es parla directament de la semblança de la reacció amb un grup de redaccions. Així ningú va parlar d'oxidació a 2on. de BUP, lògicament perquè no les havien estudiat. A 3er., en la 2ª reacció del cicle del Cu, hi ha 13 alumnes que diuen que s'assembla a una redox.

L'alumne 34 continua dient que s'assembla a una dissolució, igual com havia dit amb la 1ª reacció del cicle del Cu.

Cu 2. 2ª reacció. Què ha canviat? Per què?

Per a construir la xarxa sistèmica 4a que recull les respostes a la segona reacció del cicle del Cu: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{Cu}$ obtingudes a nivell de 3er. de BUP, hem seguit el mateix criteri a l'hora d'organitzar les categories que havíem seguit amb les anteriors. No hem utilitzat les categories habituals del contingut científic del canvi químic (reactius, productes, ...) sinó que hem intentat reflectir l'estructura de les explicacions elaborades per l'alumnat. En aquest cas hem prestat atenció a quan parlen del ferro o del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ com a agents actius del canvi; i a les diferents entitats que fan referència: el clau ferro (objecte) i el ferro (substància). Cal tenir present que quan parlen del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ s'hi refereixen com a coure i que sota aquesta denominació hi ha tres entitats diferents: l'objecte, la substància i el Cu dissolt.

En la segona reacció a diferència de la primera on es deia Què li ha passat al coure?, en el qüestionari que acompanyava la seva realització no es pregunta específicament sobre cap substància. Això no condiciona les respostes en el sentit que parlin més d'una substància que de l'altra que intervé en la reacció. Però sembla que una vegada més, el fet de ser el Fe el que s'introdueix en la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ li fa tenir al Fe un paper més actiu en el canvi que el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

Aquesta vegada el criteri de classificació per decidir si una resposta pertanyia a la categoria del ferro com a objecte o com a substància, ha combinat la inferència feta a partir del contingut de la resposta o, a vegades, hem seguit les frases literals de l'alumnat. Per exemple l'alumne 17 diu: "El clau de ferro perquè s'ha oxidat". Com que parla de que "s'ha oxidat" podria semblar que s'està referint a la substància, però hem inclòs la resposta entre les del clau de ferro com a objecte perquè ho diu explícitament.

La xarxa 4a, 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 igual com ho hem

Cu 2. 2ª reacció. Què ha canviat? xarxa 4a

nº alumne

paradigma

Parlen del ferro	el clau (objecte)	es ref. a que no es veu	s'ha dissolt	35,49	1
			es desfà	40	
Parlen del ferro	el clau (objecte)	es ref. a la part que es veu	- canvia	s'ha oxidat, novellat, en oxidar-se ha guanyat electrons	17,41,58
				l'estat, queda envoltat d'una capa de coure	3,29,44
Parlen del ferro	ferro (material)	s'ha oxidat	parla dels prod. finals	de composició	41
				de color i forma perquè hem afegit aigua destil·lada	47
No parlen del ferro	ferro (material)	s'ha oxidat	parla dels prod. finals	ha reaccionat amb nitrat de coure i s'ha convertit en nitrat de ferro	42
				forma els nitrats	59
No parlen del ferro				2,27,34	2
				2,53	
Parlen del coure	objecte	- canvia	l'estat	la dissolució passa de blau a verdós per la reacció nítric+ ferro	23
				s'ha reduït, s'ha oxidat	49,53,54
Parlen del coure	substància	- canvia	s'ha dipositat, s/e	davant del clau i ja no forma part de la dissolució	38
				torna a aparèixer (canvi de lloc Fe-Cu)	40
Parlen del coure	substància	- canvia	s'ha dipositat, s/e	passa a unir-se amb oxigen	16
				a nitrat de Fe i Cu, ha reaccionat amb el Fe per formar un nou compost	35
Parlen del coure	substància	- canvia	s'ha dipositat, s/e	al començament tenim $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i Fe i després $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ i Cu	27
				es desplaçat pel ferro que queda en estat lliure	48
No parlen del coure	el coure dissolt	- canvia	s'ha dipositat, s/e	les partícules de Cu s'han dipositat al clau	58
				els ions són atrets cap al clau de ferro	29
No parlen del coure				3,17,27,29,34,41,44,47,48	6
				1	
Parlen d'intercanvi	rellevant	- canvia	el color de la dissolució	de ions Fe^{2+} per ions Cu^{2+}	59
				la unió de nitrat i ferro serà més estable que NO_3^- i Cu	57
Altres	no ha canviat res	- canvia	el color de la dissolució	de protons perquè es neutralitza	35
				els metalls s'han reduït	34
Escriuen representació simbòlica	representació simbòlica	- canvia	el color de la dissolució	els metalls s'han reduït	27
				Escriuen representació simbòlica	1,27
No escriuen representació simbòlica	representació simbòlica	- canvia	el color de la dissolució	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{Cu}$	16
				$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Fe} \rightarrow \text{CuO} + \text{Fe} + 2\text{HNO}_3$	46
No contesta	representació simbòlica	- canvia	el color de la dissolució	$\text{CuNO}_3 + \text{H}_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeNO}_3 + \text{Cu} + \text{H}_2$	2,3
				$\text{Cu}(\text{NO}_3)_{\text{total}} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeCu} + \text{NO}_3$	17,23,29,34,35,36,40,41,42,44,47,49,53,54,57,58,59
No contesta				43	

Cu2. 2ª reacció. Què es conserva? xarxa 4b

nº alumne

paradigma

El que no reacciona	a nivell macro	- es conserva	el centre de la lleve	l'Àcid nítric	36,58	8
				a nivell micro	el grup NO_3^-	
Idea de protoelement	a nivell micro	- es conserva	el centre de la lleve	el SO_4	57	9
				el àtom d'hidrogen de la dissolució, l'aigua	48,54	
Idea de protoelement	a nivell micro	- es conserva	el centre de la lleve	el Fe, s/e	2,3,29,41,44,47,53	9
				en dissolució	40	
Idea de protoelement	a nivell micro	- es conserva	el centre de la lleve	el Cu, tot i que en diferents estats: dissolució i recobrint	23	9
				el coure perdut en la dissolució anterior	40	
No parlen de conservació	a nivell micro	- es conserva	el centre de la lleve	totes les substàncies que només s'intercanvien formant substàncies noves	59	10
				massa	1,27	
No parlen de conservació	a nivell micro	- es conserva	el centre de la lleve	s/e	16	10
				del coure	34	
No parlen de conservació				res	35	10
No parlen de conservació				no contesten	17,43	

fet a les anteriors, 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 en oxidar-se ha guanyat electrons", o "el clau de ferro queda envoltat d'una capa de coure". En el primer exemple podem observar que l'alumne fa referència en la mateixa frase a l'objecte de ferro i a la substància Fe.

En el paradigma 2 hem agrupat les respostes que parlen de la substància Fe. Per exemple "el ferro ha reaccionat amb nitrat de coure i s'ha convertit en nitrat de ferro". 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 canvia el color de la dissolució".

El paradigma 4 agrupa les nou respostes que parlen del coure, com a 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 clau i ja no forma part de la dissolució".

El paradigma 5 inclou les tres respostes que parlen del coure dissolt. Per exemple l'alumne que diu: "el coure es desplaçat pel ferro que queda en estat lliure", o "les partícules de Cu s'han dipositat al clau de ferro", o "els ions són atrets cap al clau de ferro". Cal remarcar que a diferència de la primera vegada que van realitzar l'experiment del cicle del Cu, aquesta vegada cap alumne parla de la presència de gas en la reacció entre el Fe i la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

El paradigma 6, agrupa les respostes que parlen d'intercanvi, com per exemple de "ions Fe^{2+} per ions Cu^{2+} ". El paradigma 7 inclou, tal com hem fet a la xarxa 3b les equacions químiques que de manera espontània ha escrit l'alumnat en la pregunta Què ha canviat? Per què?

La xarxa 4b 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 8 al 10 agrupen les respostes corresponents a la conservació i són els mateixos que en la xarxa 2b. Cal recordar que en el paradigma 9, hem agrupat les respostes que inclouen una idea propera a l'element, més aquelles respostes que parlen del que no reacciona a nivell microscòpic, que estan agrupades com a tal a la mateixa xarxa sistèmica. 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 7 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 respostes respecte a la 1^a reacció i tenir una visió de conjunt de les tendències explicatives de l'alumnat enfront de les preguntes: Què canvia? Per què? Què es conserva? referides a la 2^a reacció del cicle del Cu.

Taula 7. Relació dels paradigmes que agrupen les respostes a la xarxa sistèmica Cu2, 2ª reacció amb els alumnes que les contesten

Paradigma Alumne	Què ha canviat?							Què conserva?		
	1 Fe obj	2 Fe subs	3 Cu obj	4 Cu subs	5 Cu diss	6 inter- canvi	7 aqua	8 no reac	9 preto- elem	10 no cons
1						X	X		X	
2			X	X			X		X	
3	X			X	X		X		X	
8										X
16			X	X	X		X		X	
17	X									X
23			X	X	X				X	
27		X	X	X			X		X	
29	X			X	X				X	
34										X
35				X						X
36	X			X	X			X		
40	X			X					X	
41	X								X	
42		X		X	X				X	
43										X
44	X			X	X				X	
47	X			X	X				X	
48					X		X		X	
49	X	X		X				X		
53			X	X					X	
54			X	X					X	
57						X			X	
58	X				X			X		
59		X				X			X	

Calia esperar que amb un any més d'instrucció química, l'alumnat augmentés de manera significativa el nombre de paradigmes als quals fa referència, a l'hora d'elaborar les respostes a la 2ª reacció del cicle del Cu, entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Tal com es pot veure en la taula 2 aquesta reacció havia rebut un nombre de respostes molt pobre el curs anterior.

Si comparem la Taula 7 amb la Taula 2, que recollia la relació entre les respostes de l'alumnat i el nombre de paradigmes per a la mateixa reacció feta l'any anterior, podem observar que no ha estat així. La riquesa de les respostes fent referència a diferents paradigmes no ha augmentat, excepte en la part del Què es conserva?. Això últim pot estar condicionat pel fet que en el qüestionari la següent pregunta és: Quina explicació pots donar al fet que tornis a obtenir coure?.

Les respostes a la 1ª reacció entre el Cu i el HNO_3 són més riques, en quan al nombre d'entitats que fan referència, que les respostes a la 2ª reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Molt probablement, influeix el nivell de coneixement factual que l'alumnat té dels reactius que intervenen. En la primera reacció, on el Cu i el HNO_3 (l'àcid que diuen tots els alumnes) són substàncies conegudes per l'alumnat i que per tant, pot reconèixer, les respostes que donen són més extenses que les que donen a la 2ª reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe.

En les respostes a la 1ª reacció, tal com es pot veure si comparem la Taula 6 amb la Taula 7, es fa referència a un nombre d'entitats diferents superior al que fan servir en la 2ª reacció. A la Taula 6, hi ha 20 alumnes que parlen de dues o tres entitats diferents del Cu, és a dir com a objecte, substància o Cu dissolt. En canvi, a la Taula 7, només 6 alumnes parlen de dues entitats diferents del Cu, com a objecte i/o com a substància i/o com a Cu dissolt.

En la 2ª reacció, l'alumnat té dificultats per reconèixer el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, un dels reactius. Entre els productes, la majoria no reconeix el $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ i alguns alumnes, fins i tot tenen dificultats per reconèixer el Cu que s'obté de nou, al final. És a dir, la dificultat per reconèixer les substàncies continua persistint, tal com havíem observat en la reacció anterior. En la 2ª reacció del cicle del Cu, entre el Fe i la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, aquesta última substància és esmentada per 10 alumnes. Les alumnes 23 i 44 s'hi refereixen com a "coure dissolt", les alumnes 29 i 58 parlen de " $\text{HNO}_3 + \text{H}_2$ " quan vol referir-se a la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, l'alumne 40 com CuNO_2 i els alumnes 36, 53, 54 i 57 com "coure oxidat en la dissolució". Els alumnes 17, 34, 41, 43 i 47 ni tant sols en parlen.

Per tal de sintetitzar les respostes de l'alumnat a les dues reaccions del cicle del Cu, volem establir algun tipus de regularitat. En concret, analitzarem el nombre d'entitats que fa referència l'alumnat quan explica el què canvia durant la reacció.

Una primera regularitat s'observa en aquells alumnes que estan presents en el paradigma 8, és a dir que conserven allò que no reacciona, tant en la 1^a com en la 2^a reacció del cicle del Cu. Quan parlen del coure acostumen a fer referència a una sola entitat. És a dir, parlen de l'objecte, o de la substància o el Cu dissolt.

Aquesta situació es dona en 3 alumnes que creuen que es conserven les substàncies que no reaccionen, excepte l'alumne 49 que mereix un comentari especial. L'alumne 49 malgrat que en la pregunta Què es conserva? diu "el centro de la llave", raona de manera correcta el que ha succeït en la reacció: "al principio tengo una solución con iones cobre y una llave de hierro. Después tengo una llave de hierro recubierto de cobre. Se ha depositado cobre y se ha disuelto algo de hierro. Debido a que el cobre se ha reducido y el hierro se ha oxidado". A continuació escriu les semiequacions iòniques. Es podria dir que ha memoritzat correctament el què canvia durant el canvi químic però, no el que es conserva.

La segona regularitat observada és la dels alumnes que estan agrupats en la categoria 9, és a dir que tenen una primera idea de protoelement, tant en la 1^a com en la 2^a reacció del cicle del Cu. Quan parlen del coure, fan referència a tres o dos tipus d'entitats, és a dir a l'objecte de Cu, a la substància coure i/o al Cu dissolt.

En la 2^a reacció hi ha 17 alumnes que tenen una idea propera a la d'element, però d'aquests només la meitat, 8 alumnes tenia aquesta idea de protoelement a la 1^a reacció entre el Cu i el HNO₃. Entre ells, alguns d'aquest alumnes, com el 2 i el 3 només veuen el canvi en el Cu i diuen: "ha canviat l'estat del Cu". Per tant, en la seva visió es conserva "el Fe". També hi ha alumnes que a més descriuen el canvi a

canvi a nivell de fórmules correctament escrites. Per exemple diu l'alumne 27: "Al començament tenim $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i Fe i després $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ i Cu. Els metalls s'ha reduït". Com que sembla que predomina la idea de canvi químic com un intercanvi de lletres, conseqüentment considera que es conserva "el grup NO_3^{2-} ".

En aquest grup l'alumna 16 que només parla de conservació de la massa, raona el canvi en funció del Cu, fins i tot en l'explicació global del cicle del coure. La resta d'alumnes identifiquen correctament les substàncies, els reactius i els productes i raonen la formació dels nous productes en termes d'enllaços, com fa l'alumna 29 o de més o menys estabilitat de la substància formada, com fa l'alumne 59.

L'alumne 53 presenta una perspectiva diferent ja que malgrat que parla de Cu material i del Cu com a objecte, només veu el canvi en el Cu, quan diu: "Al començament havia Cu oxidat en la dissolució. Ara el Cu es concentra damunt el clau. Ha canviat l'estat del Cu perquè s'ha oxidat". Per tant, en la seva visió del canvi es conserva "el Fe".

L'alumne 40 mereix també un comentari especial ja que és l'únic que fa referència al "clau de Fe que es desfà. El coure torna a aparèixer (canvi de lloc Fe Cu)". Pel que fa al que es conserva diu "el coure perdut en la dissolució anterior i el Fe que ara està en dissolució". Sembla que parla de la conservació de les substàncies Cu i Fe amb una idea molt propera a la de protoelement.

Un últim grup d'alumnes està format per qui ni tant sols contesta la pregunta relativa a què es conserva durant la reacció, ni en la 1^a ni en la 2^a reacció del coure. Aquesta situació es dona en 4 alumnes. En aquest cas, els alumnes tampoc no ha contestat el qüestionari que acompanya la realització de l'experiment.

En resum, podem dir que en l'experiment del cicle del Cu realitzat durant el curs de COU, s'observen algunes regularitats a l'hora d'elaborar les explicacions si es tenen en compte el nombre d'entitats a les que fan referència al descriure el què canvia. Les dues tendències són: primera, qui fa referència a una sola entitat del coure i

creu que es conserva en la reacció allò que no reacciona; i, segona, qui té una idea propera a la de protoelement i parla de dues o tres entitats al referir-se al coure.

17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

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

8.2.2.1 Anàlisi del contingut: la microestructura i la macroestructura semàntica i, els exemples de canvi químic a R2

Anàlisi comparativa del contingut de R_1 i R_2 i de les regles presents a R_1 i R_2

8.2.2.2 Els perfils conceptuals i els models teòrics presents a R2

8.2.2.3 Anàlisi de la tipologia textual present a R2

8.2.2 Redacció sobre el canvi químic (inici COU)

Les redaccions que escriu l'alumnat a l'inici de COU són més llargues que les que va escriure l'any anterior, d'una pàgina i mitja o dues. La majoria són molt més descriptives que l'any anterior ja que parlen de més aspectes de la química. L'estil de les redaccions ha canviat, ja no es parla amb tan detall dels fenòmens químics i es fa més referència a la teoria química.

8.2.2.1 Anàlisi del contingut: la microestructura i la macroestructura semàntica i, els exemples de canvi químic a R2

En l'anàlisi de les redaccions, tal com s'indica al capítol III Disseny de la recerca, hem utilitzat els mapes de Thagard (1990b) per recollir la microestructura del text. I hem intentat que l'organització espacial dels mapes reflexés clarament el nucli de conceptes enllaçats lògicament. Així, en els mapes de COU, en els casos que només hi ha enllaç lingüístic entre els conceptes hem volgut remarcar la discontinuïtat conceptual existent, de manera que es pot visualitzar a primer cop d'ull que són només grups de conceptes amb espais buits entre ells. Aquesta situació és la que es dona en les redaccions dels alumnes 8 i 44.

A continuació incloem una mostra representativa dels mapes que recullen la diversitat dels que s'han construït a partir de les redaccions que han realitzat els 51 alumnes de la mostra a l'inici de COU. Indicarem els mapes realitzats a COU com R2, a diferència dels realitzats a 3er. BUP que vam indicar amb R₁. A continuació incloem alguns exemples representatius de la varietat de macroestructures semàntiques de les redaccions fetes a nivell de COU. Hem escollit les dels alumnes 1,8,9,16,23,29,44 i 59.

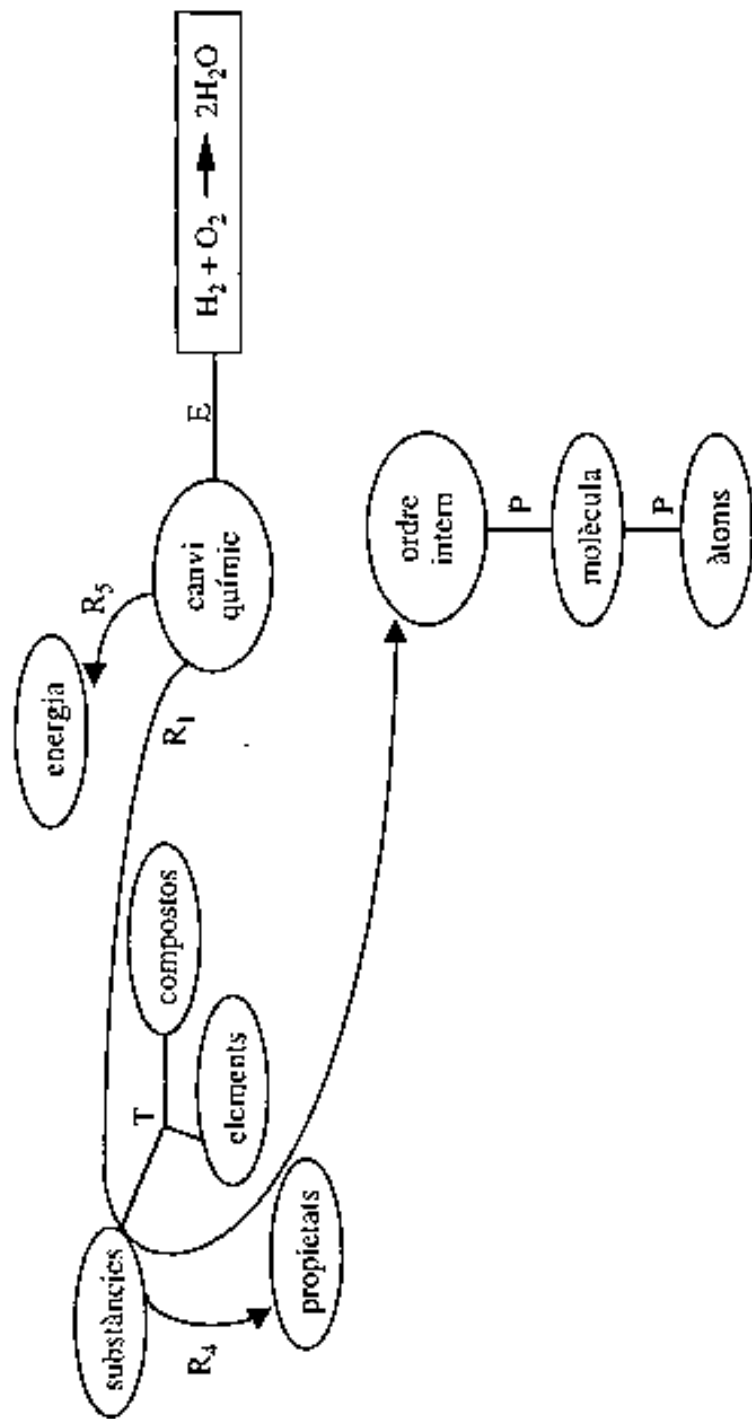
A partir de la microestructura semàntica del text de la redacció, tal com hem explicat a l'apartat 6.3.2. La microestructura i la macroestructura de les redaccions, hem construït la macroestructura. És a dir a partir del conjunt de conceptes i de les regles que els relacionen entre ells, presents en un text, hem intentat identificar la idea principal del

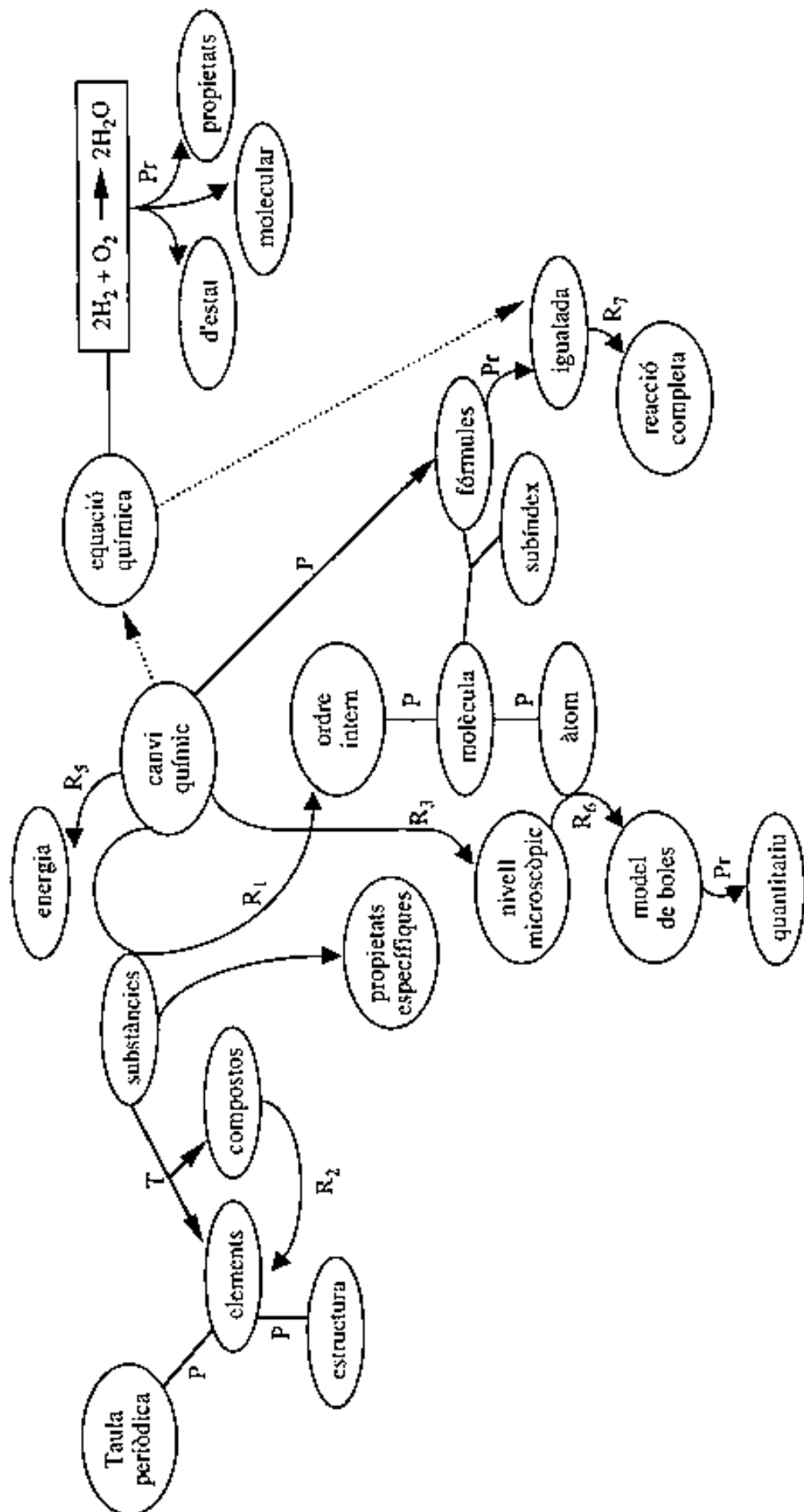
text, que en aquest estudi correspon al model teòric subjacent en el conjunt d'explicacions donades en el text.

Com a tècnica de representació, també utilitzem la construcció de mapes, basant-nos en els utilitzats per Thagard (1990b) que recullen únicament la macroestructura, és a dir la part essencial del text, tal com es pot veure en els exemples que incloem a continuació. En la macroestructura hem volgut destacar els conceptes que l'alumnat utilitza en les redaccions, sense esmentar les possibles confusions o errors conceptuals.

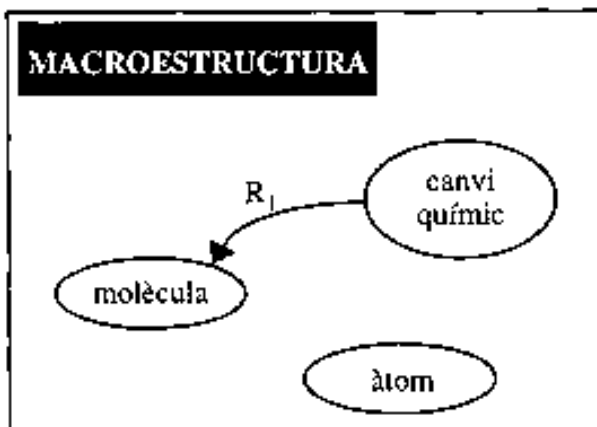
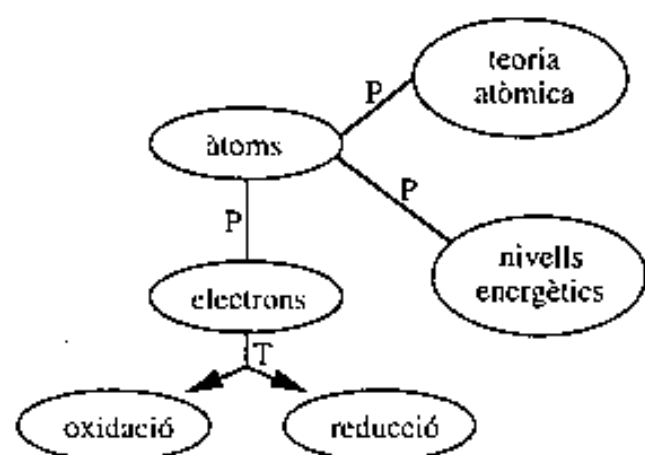
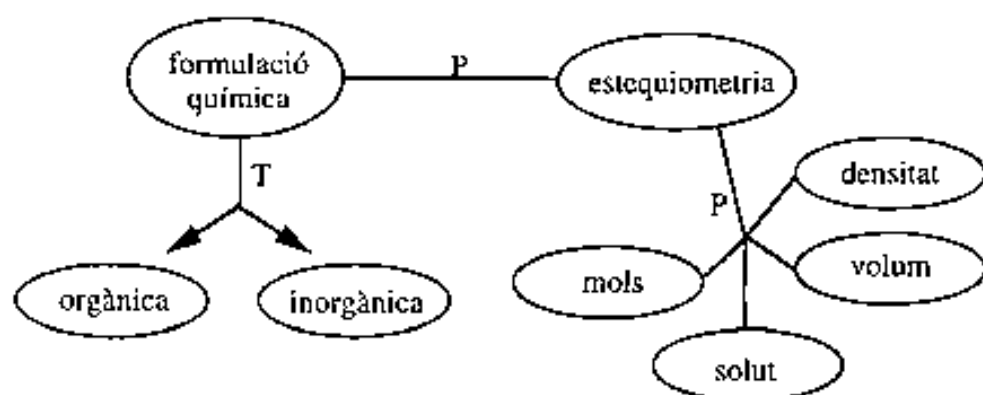
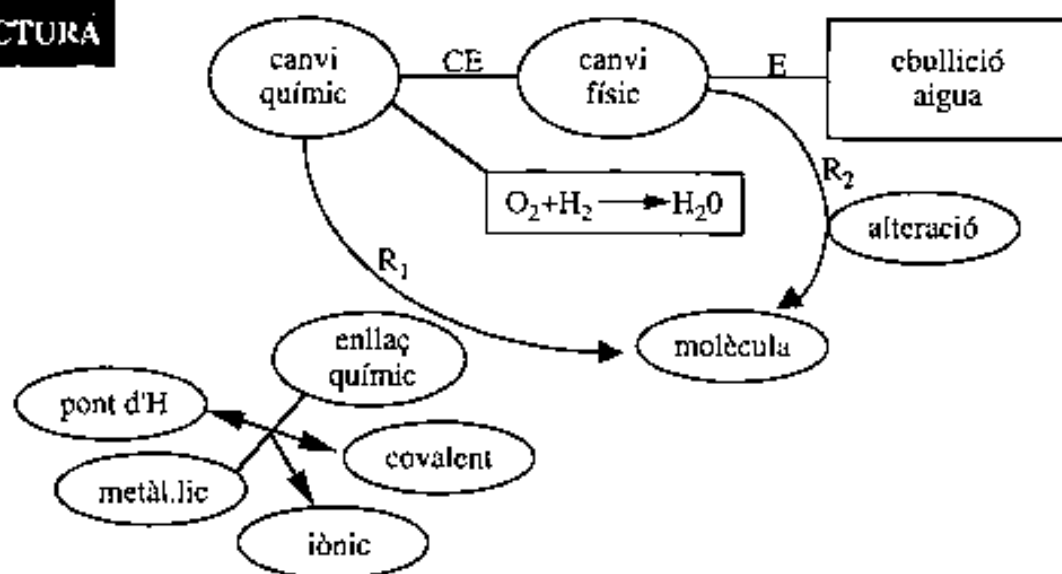
Quan coexisteixen diferents explicacions del canvi en una mateixa redacció, l'establiment de la macroestructura ens permet detectar quina és l'explicació principal en la qual queden subsumides les altres. Per exemple, en la redacció 1, l'alumne 1 parla de canvi de substàncies, d'estructura i de canvi d'estat però l'explicació que vertebrava el conjunt del text és la de canvi de substàncies, en la qual una substància és substituïda per una altra. Un altre exemple seria el de l'alumna 16 comença la redacció parlant de la formació d'un nou element, però després no en diu res més. No parla de reactius ni de productes, ni de situació inicial ni final de la reacció. A mesura que avança la redacció l'explicació que té més força és del canvi a nivell d'estructura.

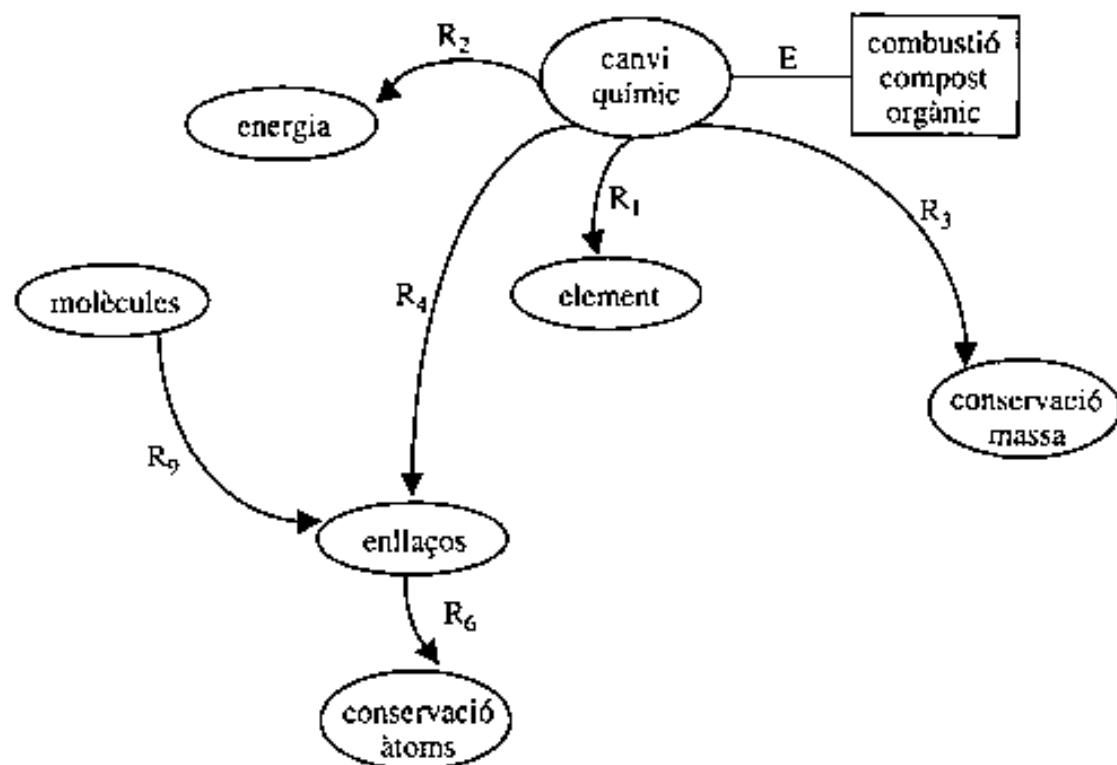
Totes les redaccions no estan estructurades entorn al concepte de canvi químic. Hi ha quatre redaccions en les que el concepte central no és el de canvi químic: l'alumne 1 vertebrava tots els conceptes entorn al de substància tal com es pot veure en el mapa de Thagard (1990b) que hem confeccionat. L'alumne 20 ho fa entorn al concepte d'element i les alumnes 41 i 45 ho fan entorn al de química.

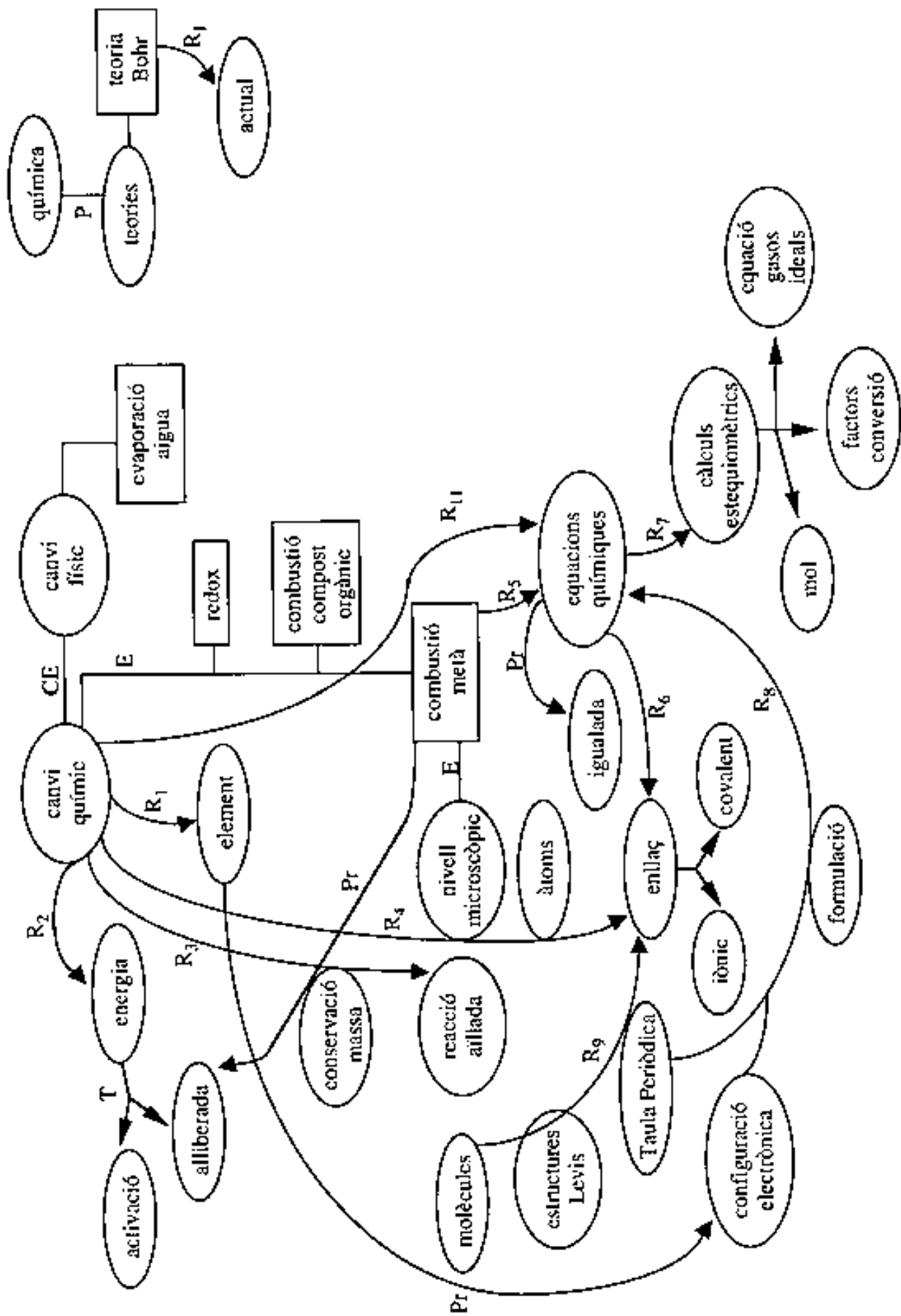




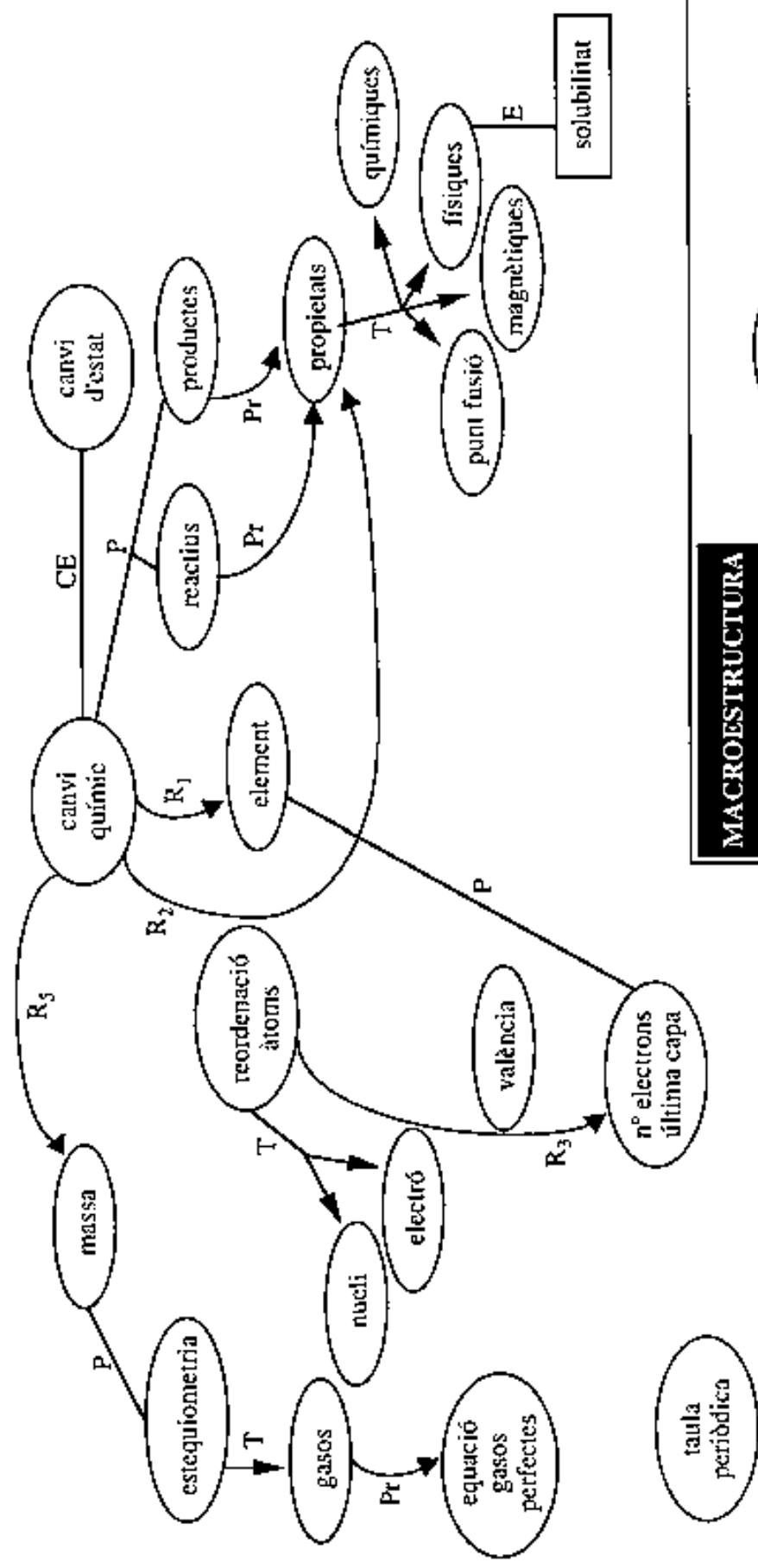
MICROESTRUCTURA



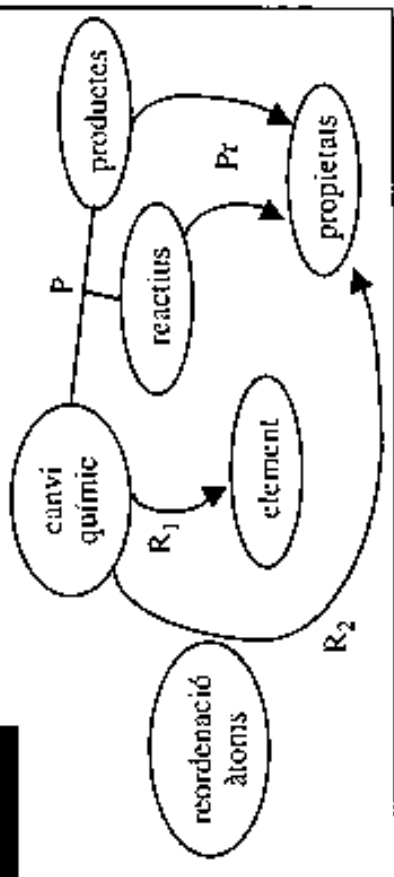




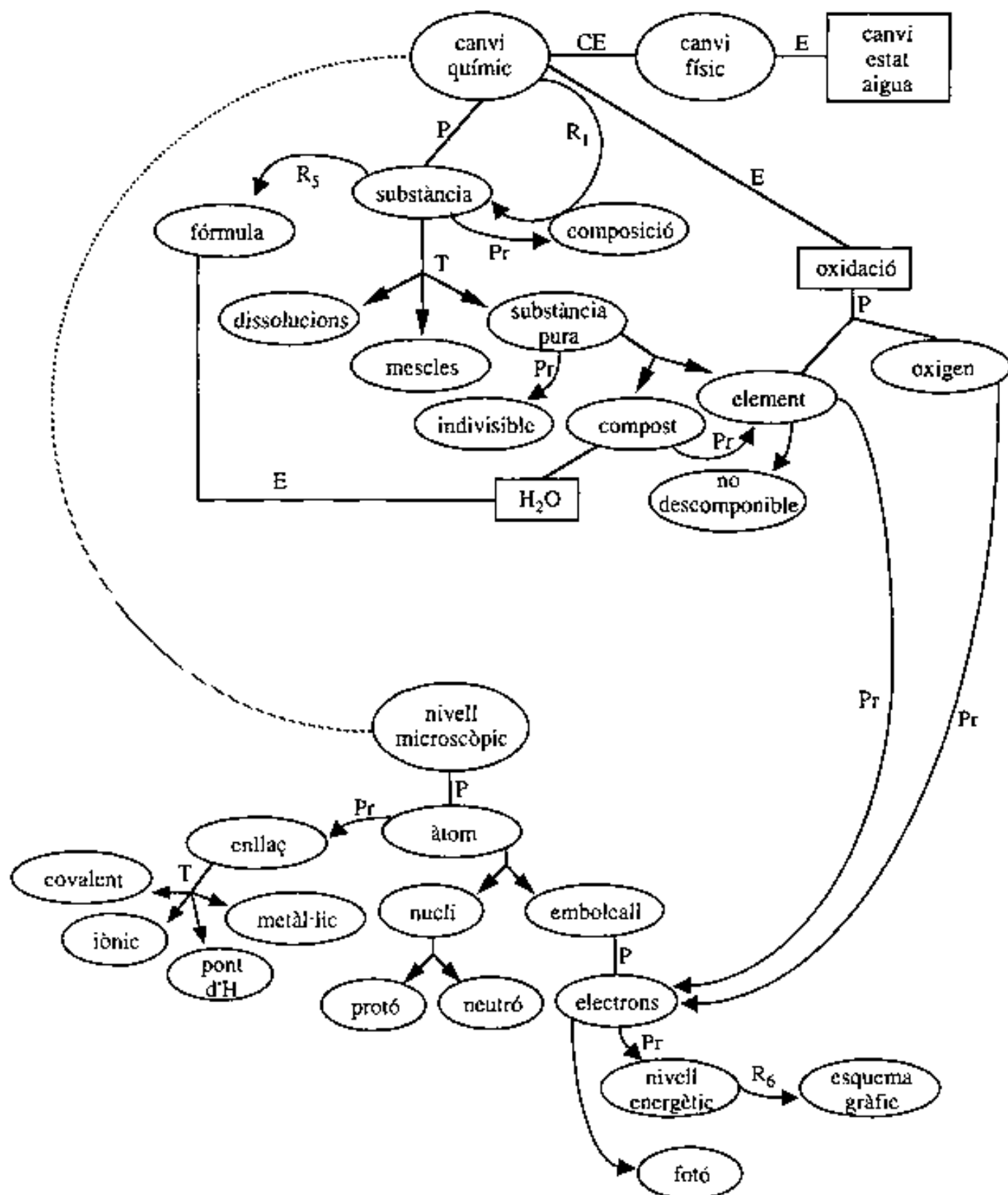
MICROESTRUCTURA



MACROESTRUCTURA



MICROESTRUCTURA



R_1 : En un eq. canvia la composició d'una substància

R_1 : En un cf. NO canvia la composició d'una substància

R_2 : En l'oxidació, un element cedeix e^-

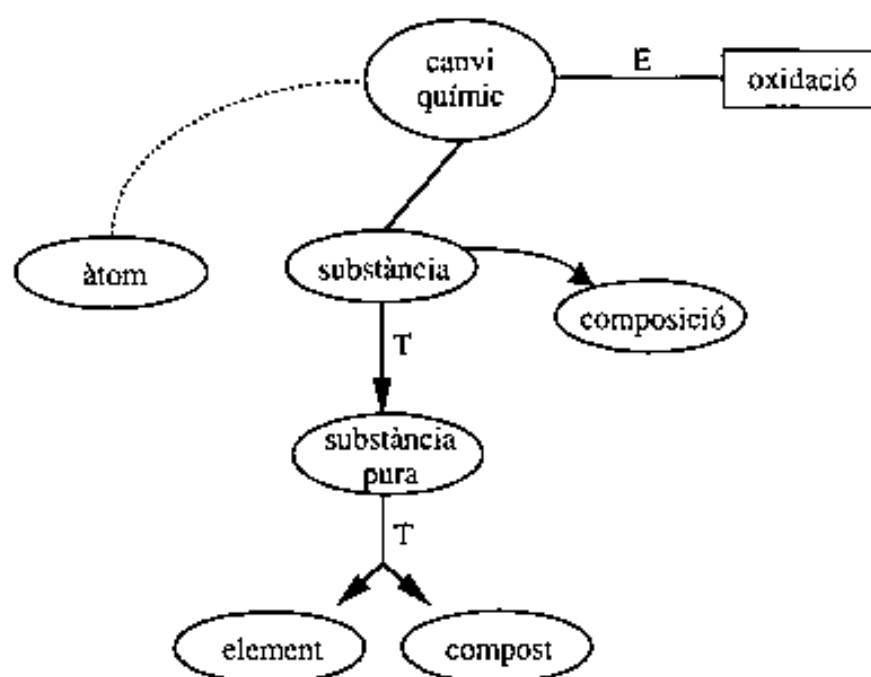
R_3 : En l'oxidació, l'O rep e^-

R_4 : L' e^- quan salta d'un nivell a un altre desprèn un fotó

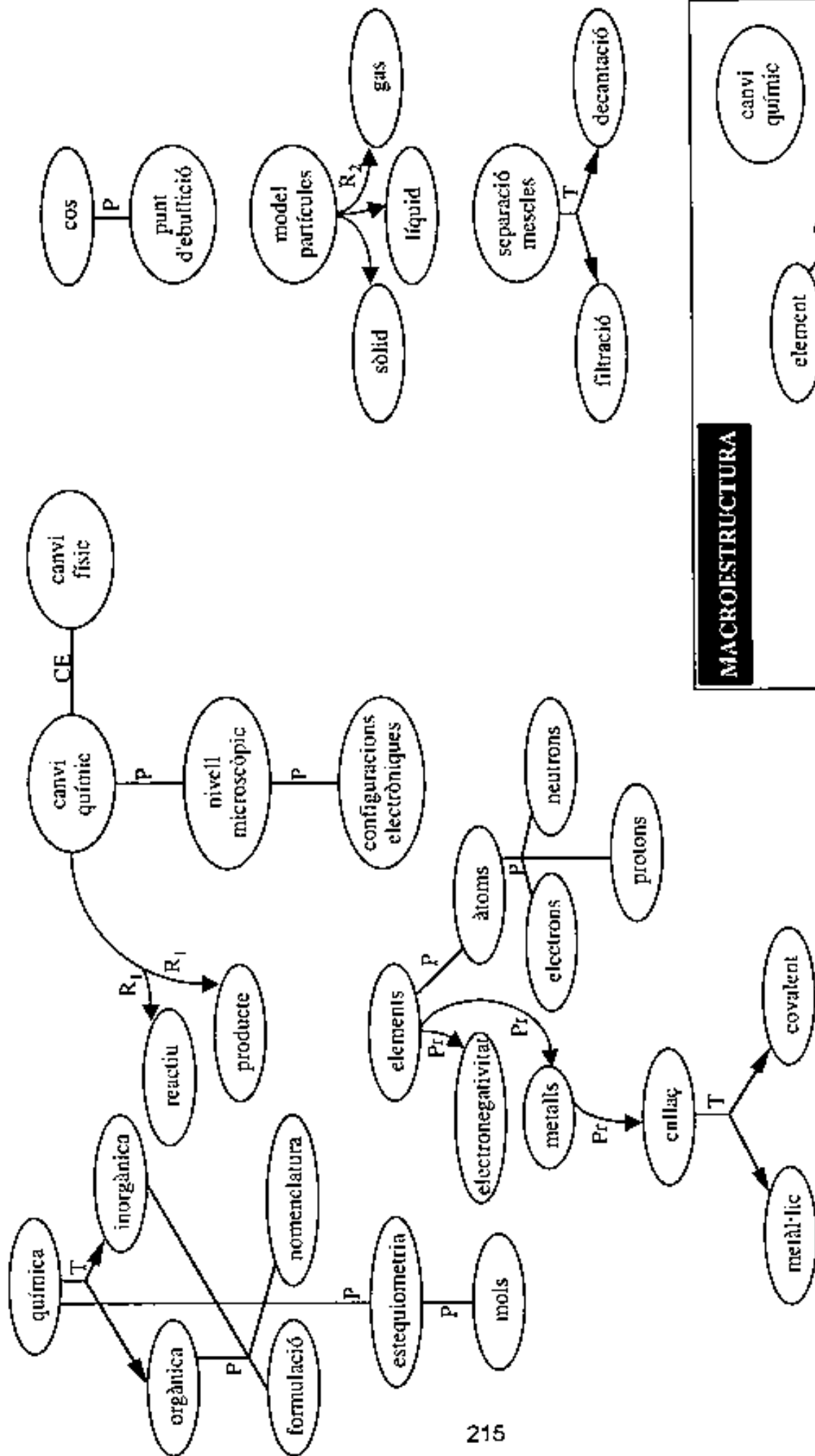
R_1/R_4 explicatives

$R_5 R_6$ anàlogues

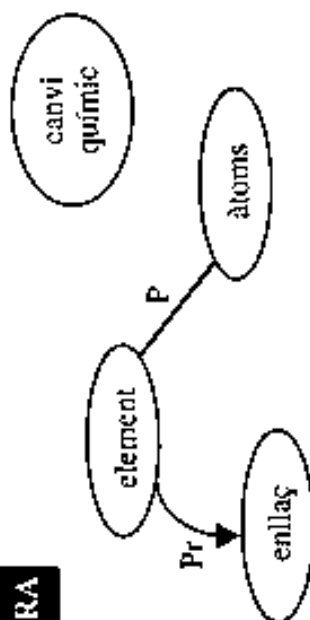
MACROESTRUCTURA

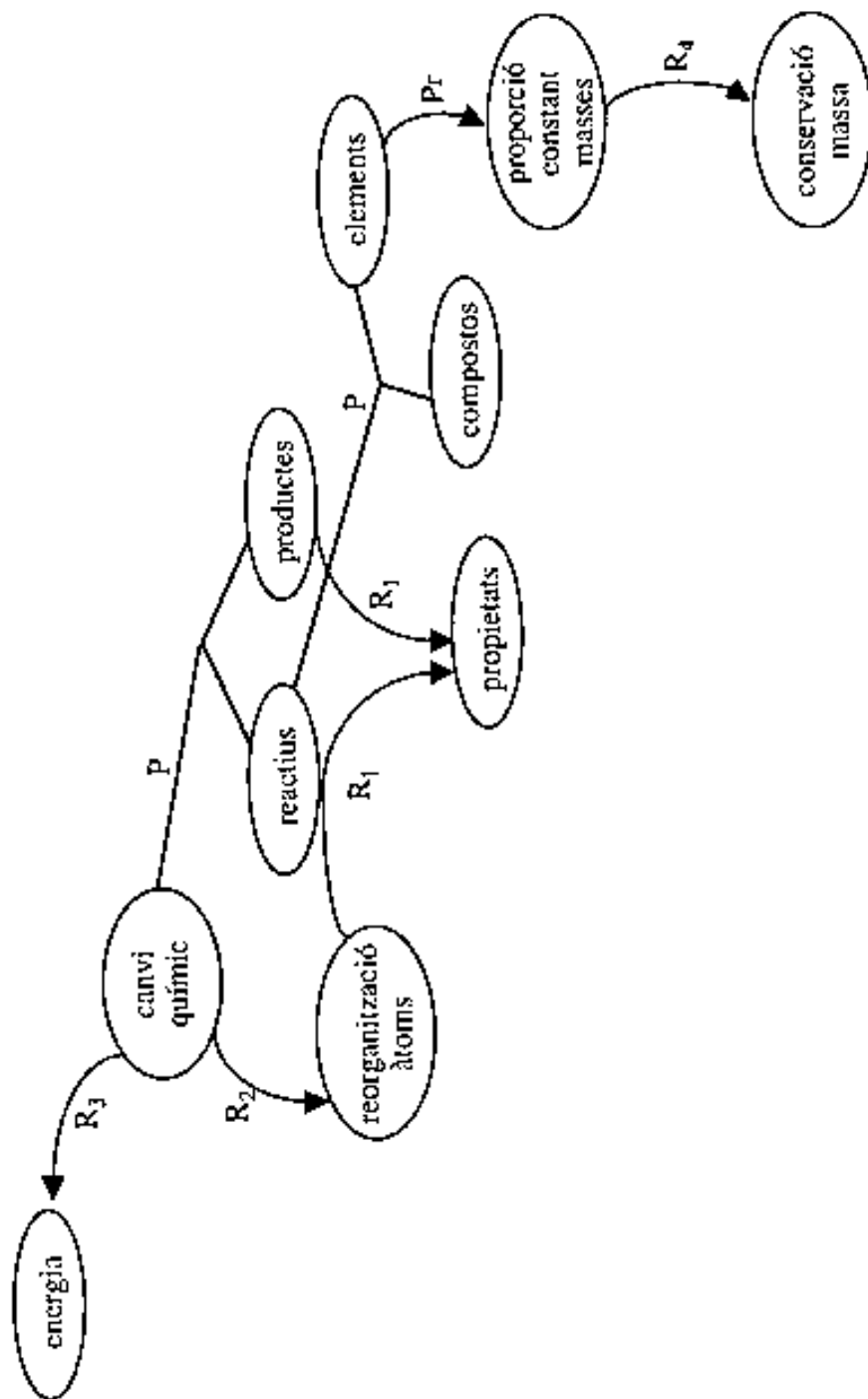


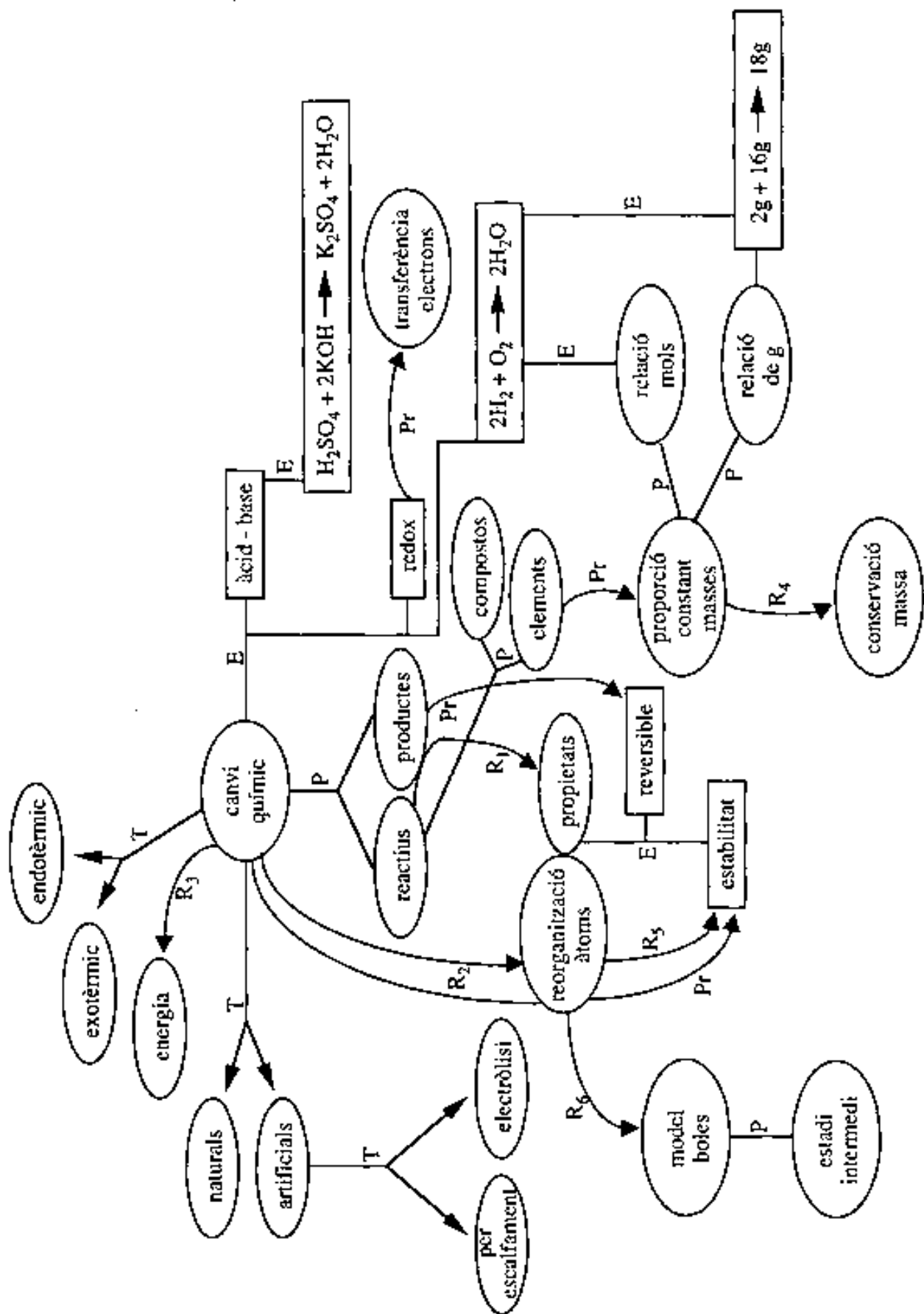
MICROESTRUCTURA



MACROESTRUCTURA







Les regles presents en els mapes corresponen a frases o expressions que l'alumne ha escrit en la redacció i les incloem en la següent relació. Quan es tracta d'una relació implícita la indiquem (I). Les regles presents en el mapa de l'alumne 1 són:

R₁ Canvi químic és l'alteració de l'ordre de la substància

R₂ Canvi químic és quan dos elements donen un compost

R₃ Un canvi químic té una explicació a nivell microscòpic

R₄ Les substàncies tenen propietats específiques

R₅ El canvi químic va acompanyat d'un intercanvi d'energia

R₆ El nivell microscòpic s'explica per una convenció de la representació atòmica en forma de partícules

Les regles presents en el mapa de l'alumne B són:

R₁ En el canvi químic l'enllaç químic es fa entre molècules

R₂ En el canvi físic és l'"alterament" de qualsevol molècula

Les regles presents en el mapa de l'alumna 16 són:

R₁ En el canvi químic varis elements interaccionen per formar un de nou

R₂ En el canvi químic fa falta que intervingui l'energia

R₃ En el canvi químic es conserva la massa però només s'observa en reacció

aïllada R₄ En el canvi químic es trenquen els enllaços entre àtoms i se'n formen uns altres

R₅ La combustió del metà es representa a nivell d'equació química i de model de boles

R₆ En la reacció es conserven els àtoms

R₇ A partir de diferents reaccions es fan càlculs d'estequiometria

R₈ La Taula Periòdica i la configuració electrònica permeten la formulació per escriure el canvi químic

R₉ Les molècules es representen per estructures de Lewis que permeten entendre els enllaços

R₁₀ La química té teories com la de Bohr que li permeten donar l'aire actual

R₁₁ (I) Les equacions són una analogia de les reaccions químiques

Les regles presents en el mapa de l'alumna 23 són:

- R₁ El canvi químic és la transformació interna de l'element
- R₂ El canvi químic és la reordenació de partícules per donar un nou element
- R₃ La reordenació de partícules depèn de la valència i el número d'electrons
- R₄ En el canvi químic el producte no té res a veure amb l'inicial
- R₅ El canvi químic necessita una massa per produir-se

Les regles presents en el mapa de l'alumna 29 són:

- R₁ En un canvi químic canvia la composició de la substància
- R₂ En un canvi físic no canvia la composició de la substància
- R₃ En l'oxidació, un element cedeix electrons
- R₄ En l'oxidació, l'oxigen rep electrons
- R₅ L'electró quan salta d'un nivell a l'altre desprèn un fotó
- R₆ (I) Cada substància té una fórmula
- R₇ (I) Els nivells energètics es representen per un esquema gràfic

La única regla present en els mapes que recullen la microestructura i la macroestructura de R2 de l'alumna 44 és: R₁ En la reacció hi ha un reactiu i en dona un producte

Les regles presents en el mapa de l'alumne 59 són:

- R₁ El canvi químic és aquell que a partir d'uns reactius obtenim uns productes amb propietats diferents
- R₂ La causa del canvi químic és la reorganització dels àtoms
- R₃ En un canvi químic intervé l'energia
- R₄ En un canvi químic s'anuncia la llei de la conservació de la massa
- R₅ La reorganització atòmica té l'objectiu d'arribar a un nivell on el compost és més estable que l'anterior
- R₆ La reorganització atòmica és anàloga al model de boles

La qualitat de la validesa del pas de la microestructura a la macroestructura pot ser verificada per qualsevol persona que segueixi el procediment que s'ha executat,

seguint els criteris establerts i definits a l'apartat 6.3.2. La microestructura i la macroestructura de les redaccions. És a dir, en primer lloc es fa una selecció dels conceptes que es consideren importants per a la comprensió del canvi químic, per a l'alumnat que finalitza l'Ensenyament Secundari. En segon lloc, es segueixen les regles proposades per Van Dijk (1989) d'omissió, generalització i construcció que també hem explicat a l'esmentat apartat 6.3.2, del capítol III Disseny de la recerca.

Tal com hem fet a R1, a R2, a partir de l'anàlisi de la microestructura de les redaccions surten unes categories que permeten resumir la informació continguda en les redaccions. Les categories utilitzades per a analitzar el contingut dels mapes són aquelles que hem indicat a l'apartat 6.3.2: el què canvia, el què es conserva, el nivell explicatiu del canvi químic, la visió quantitativa, els exemples de canvi químic, la coherència global del text i les regles que utilitzen per connectar els conceptes entre ells.

A continuació, la Taula 8 mostra les subcategories obtingudes en l'anàlisi de cadascuna de les redaccions. La primera columna mostra el nº de l'alumne amb el que se l'identifica durant la recerca. La resta de columnes: què canvia, què es conserva, aspectes quantitius i exemples, mostren 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, apartat 6.3.2.

Taula 8. Relació de les subcategories corresponents a l'anàlisi de cadascuna de les redaccions R2

Alumne	Què canvia R1	Nivell explic R1	Què cons R1	Quantitat R1	Exemples R1	Regles R1	Què canvia R2	Nivell explic R2	Què cons R2	Quantitat R2	Exemples R2	Coherència text R2	Regles R2
1	subst	Ma/mi	no	Q 1	no	2 def, 2 ex, 1 causal	subst	Ma/mi	no	Q 2	empí	sí	3 def, 2 ex, 2 an
2	props	Mi	no	no	empí	2 def, 1 expli	c.físic	Macro	no	Q 2	empí	sí	1 de, 3 ex, 1 an
3	props	Macro	no	no	empí	2 def	props	Macro	no	no	empí	sí	3 def
4	c. físic	Macro	no	no	empí	2 definició	c.físic	Macro	no	Q 2	empí	sí	2 de, 1 ex, 1 an
5	estruct	Mi	no	no	empí	2 def, 1 expli, 1 anàloga	estruct	mi	no	no	no	feble	2 def, 2 ex, 1 an
7	estruct	Mi	no	Q 1	empí	3 def	estruct	mi	no	Q 1	teòric	no	2 def, 1 ex
8	estruct	Mi	C 2	Q 1	empí	2 def, 1 anal, 2 causal	estruct	Mi	no	no	teòric	no	2 def
9	props	Macro	no	no	empí	2 def	prop	Macro	no	no	empí	sí	4 def
10+	subst	Macro	no	no	empí	1 def, 1 ex, 1 anàloga	estruct	Mi	no	no	teòric	no	1 ex
11	subst	Macro	no	no	empí	1 def	c.físic	Macro	no	no	empí	sí	1 def
12+	estruct	Mi	no	no	teòric	2 def, 1 analog	estruct	Mi	no	no	no	sí	3 def, 2 ex, 1 anàloga
13+	subst	Macro	no	no	no	1 def	estruct	Mi	C 1	Q 2	teòric	sí	1 de, 3 ex, 1 an
14+	subst	Mi	no	Q 1	empí	1 def, 2 expli	no cq	-	no	no	no	no	3 def, 3 ex
16+	subst	Macro	no	no	empí/teòric	1 def, 1 expli, 2 analog	estruct	Mi	C 2	Q 2	teòric	sí	1 def, 9 ex, 1 an
17+	subst	Macro	no	no	empí	2 def, 1 expli	c.físic	Macro	no	no	empí	feble	1 de, 1 ex, 1 an
18+	c. físic	Macro	no	no	empí	1 def	No cq	-	no	no	no	no	3 de, 1 ex, 1 an

19	subst	Macro	no	no		2 def, 1 expli, 1 analog	estruct	Mi	no	Q 1	teòric	sí	1 de, 1 anàloga
20	props	Macro	no	no	empí	2 def	No cq	-	no	no	no	no	4 ex
21	estruct	Mi	C 2	Q 2	teòric	2 def, 3 expli, 1 anàloga	estruct	Mi	C 2	Q 2	teòric	sí	2 def, 2 ex, 3 anàloga
22+	subst	Macro	no	no	empí	2 def, 1 expli	No cq	-	no	no	no	no	1 de
23+	subst	Ma/mi	C 2	Q 1	teòric /empí	3 def, 1 expli	subs	Ma/mi	no	Q1	teòric	sí	1 de, 4 ex
24	props	Macro	no	no	no	1 def, 1 expli	c. físic	Macro	no	no	empí	sí	3 de, 1 ex, 1 causal
26	estruct	mi	no	Q 1	empí	2 def, 1 expli	No cq	-	no	no	no	no	1 def
27	estruct	Mi	C 2	Q 0	empí	2 def, 1 an, 1 causal	subs	Ma/mi	C 1	Q 2	teòric	si	1 de, 2 ex, 2 an
28	estruct	Macro	no	no	empí	2 def, 1 anàlog	No cq	-	no	no	no	no	1 ex
29+	subst	Macro	C 2	Q 1	empí	2 def	c. físic	Macro	no	no	empí	sí	4 ex, 2 an
33	subst	Ma/mi	no	no	empí	2 def, 1 caus	estruct	Mi	no	no	no	feble	1 de, 2 ex
35	subst	Ma/mi	C 2	Q 2	empí	3 def, 1 anal	estr	mi	no	Q 1	teòric	sí	1 de, 3 ex, 1 an
36+	c. físic	Macro	no	no	empí	1 def, 2 expli	c. físic	Macro	no	no	empí/sí		2 de, 1 ex, 1 an
37	subst	Macro	no	no	empí	1 def	props	Macro	no	no	empí	sí	1 de, S
38	subst	Macro	no	no	empí	1 def	No cq	-	no	no	empí	no	1 de, 1 anàloga
39	estruct	Mi	no	no	no	1 def	props	Macro	no	no	teòric	sí	2 de, 2 ex, 1 an
40	estruct	Mi	no	no	teòric	1 def, 1 expli, 1 analog	props	Macro	no	Q 1	teòric	sí	3 de, 1 ex, 1 an
41+	c. físic	Macro	no	no	no	2 def, 1 expli	estruct	Mi	no	Q 1	teòric	feble	1 def, 2 ex
42+	props	Macro	no	no	no	2 def, 1 expli	estruct	Mi	no	no	teòric	sí	1 def, 4 ex

44+	subst	Macro	no	no	empí	2 def	no cq	-	no	no	no	no	1 def
45+	subst	Macro	no	no	empí	2 def, 1 ex	No cq	-	no	no	no	no	1 def
46+	subst	Macro	no	no	empí	2 def, 1 expli	No cq	-	no	no	no	no	1 def, 1 ex
47	subst	Ma/mi	no	Q 1	teòric	2 def, 1 causal	No cq	-	no	no	no	no	1 def, 1 cau
48+	props	Macro	no	no	empí	1 def, 2 ex, 1 causal	props	Macro	C 1	Q 2	empí	si	1 def, 4 ex
49+	no cq	no	no	no	no	1 def, 1 anàlog	No cq	-	no	no	no	no	2 def, 1 ex
50+	props	Macro	no	Q 1	no	3 def	subs	Macro	no	no	empí	no	1 def
51+	no cq	no	no	no	empí	1 def, 1 expli	No cq	-	no	no	no	no	1 def
52	c. físic	Macro	C 2	Q 2	empí	1 def, 1 exp, 1 anal	estruct	mi	C 1	Q 2	teòric	feble	1 def, 1 ex, 2 anàloga
53	subst	Macro	no	no	empí	1 def, 1 expli	estruct	mi	no	Q 1	teòric	si	1 def, 1 ex
54	props	Macro	C 0	no	empí	2 def, 1 exp, 1 causal	estruct	Mi	no	no	teòric	feble	1 def, 1 ex, 1 anàloga
55	estruct	Mi	C 2	no	teòric	2 def, 1 cau, 1 anal	No cq	-	no	no	no	no	1 def, 2 ex
57+	no cq	no	no	no	empí	2 def, 1 caus	No cq	-	no	no	no	no	1 de, 1 cau
58+	subst	Macro	no	no	empí	2 def, 1 expli	No cq	-	no	no	no	no	1 explicació
59	subst	Ma/mi	C 2	Q 2	empí	3 def, 1 expli, 1 anàloga	subs	Ma/mi	C 2	Q 2	teòric	si	1 def, 2 ex, 2 cau, 1 anàloga
60	props	Mi	C 1	no	empí	3 def, 1 expli	props	Macro	no	no	empí	no	2 def

El total de les subcategories presents a R2 queden recollides en la Taula 9:

Categoria	Subcategories	nº res- postes	%
Què canvia	no	16	31
	canvi físic	8	16
	propietats	5	10
	estructura	17	33
	substàncies	5	10
Què es conserva	no	43	84
	sí	8	16
Nivell d'explicació	no n'utilitza	16	31
	Macroscòpica	11	22
	Microscòpica	20	39
	Macro/micro	4	8
Aspectes quantitius	no	34	67
	sí	17	33
exemples	no	16	31
	empírics	21	41
	teòrics	14	28
coherència global text	no	20	39
	feble	5	10
	sí	25	49

En la utilització de les diferents categories de anàlisi del contingut dels mapes de Thagard (1990b) cal aclarir alguns aspectes. En tots els casos, quan coexisteixen diferents explicacions del canvi químic en una mateixa redacció, s'observa que normalment la primera explicació és normalment la repetició d'alguna de les definicions estereotipades de classe o dels llibres. Per seleccionar el que considerem l'explicació predominant del canvi químic de la redacció, que és la que hem utilitzat per classificar-la, hem procurat detectar l'explicació d'algun exemple del canvi químic que és quan sembla que expliquen el que realment pensen.

Pel que fa a les subcategories del que canvia, hem inclòs una redacció a la subcategoria canvi d'estat quan diu que el "canvi químic va acompanyat de canvi físic" ja que sembla que en aquest cas l'alumne no és capaç d'interpretar l'existència de les substàncies en estats diferents en funció de la temperatura. Per exemple,

les substàncies en estats diferents en funció de la temperatura. Per exemple, l'alumne 11 diu: "Un canvi químic, em sembla, que es produeix quan un objecte, per exemple passa d'un estat físic a un altre. Exemples: quan cremem un paper aquest canvia el seu estat, passa a ser un munt de cendres".

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'alumne 9 diu: "Una reacció química és aquella en la qual un element o elements, després de fer la reacció ja no conserven les propietats que tenien abans, ... la reacció de cremar paper. El paper, abans de cremar té unes certes propietats químiques, com la capacitat de cremar, etc. Una vegada crema, aquest paper ja no pot tornar a cremar, ja que ha sofert uns canvis en la seva composició que fan que ara tingui unes altres 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'alumne 19 diu: "Un canvi químic és un acoblament entre àtoms d'un o varis elements per formar compostos amb propietats diferents. Aquest acoblament entre àtoms és a nivell electromagnètic. o lo que és el mateix, és degut a la transició d'electrons d'uns àtoms als altres".

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 27 diu: "El canvi químic des del meu punt de vista és el procés pel qual es combinen diferents substàncies i/o elements obtenint una nova substància la qual sempre té les mateixes proporcions dels elements combinats per a formar-lo".

La subcategoria estructura inclou moltes redaccions, probablement perquè a nivell de COU s'ha donat tanta importància a l'explicació a nivell microscòpic i, específicament als enllaços, que ha esdevingut més important el canvi d'estructura que a nivell de les substàncies.

Pel que fa al què es conserva en el canvi químic, hem inclòs en la subcategoria Cons 2, l'esment explícit de la conservació de la massa i dels àtoms, mostrada amb gràfics o amb símbols, ja que la considerem valuosa.

En quan al nivell d'explicació del canvi químic, no hem considerat explicacions microscòpiques totes aquelles que parlen d'àtoms, molècules o enllaços. Per exemple, els alumnes 3 i 9 descriuen mitjançant una definició els tres tipus d'enllaç que es poden formar entre els elements, però en cap moment expliquen el canvi químic a nivell de l'estructura de les substàncies. Un altre exemple de redacció que no hem considerat microscòpica és el de l'alumna 17 que després d'explicar què és un canvi químic per ella i posar exemples, diu: "Altres matèries de les quals me'n recordo és la dinàmica, la teoria de Dalton i els àtoms, els electrons i la radioactivitat ... Sobre els electrons ens van passar varies fotocòpies on es descobria quines eren les diverses teories que havien sorgit al llarg del temps fins a trobar l'encertada sobre els electrons, els neutrons i els protons".

En quan als exemples de canvi químic, hem utilitzat els criteris que ja hem esmentat a R1 per decidir si un exemple és empíric o teòric. 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. Alguns exemples teòrics els podem trobar a les redacció 13 quan posa l'exemple: " $A + B \rightarrow AB$ ", el 19 quan escriu " $N_2H_{4(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$ " o bé, el 35 que parla de la síntesi de l'aigua dient: "2 mols d'hidrogen que reaccionen amb 1 mol d'oxigen, ...". L'exemple de la formació d'aigua que ha sigut molt esmentat, mereix un comentari especial. Per decidir si l'alumne el pensa com un exemple real o teòric, hem fet atenció a si es fa menció explícita al referent empíric i parla, per exemple dels gasos H_2 i O_2 o, si només n'indica l'equació química.

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), tal com es pot veure en els mapes dels alumnes 23 i 59. Diem que la coherència d'un text és feble quan

en el mapa es pot observar que tots els conceptes estan connectats però, hi ha molt pocs enllaços creuats. Un exemple que il·lustra la coherència feble d'un text es el cas d'un alumne que parla d'àtoms i molècules per una banda, i de mols per una altra, sense relacionar-ho. Un altre seria quan parla de reactius i productes, per un costat i d'elements i compostos, per un altre, sense relacionar-los tampoc.

Exemples de canvi químic

Molts pocs alumnes recorden correctament el fenomen del cicle del Cu. A R₂ l'esmenten menys alumnes que a R1; només 4 alumnes. En alguns casos aquest exemple es solapa amb el que havia sigut l'exemple paradigmàtic del canvi químic a 2on. de BUP, el revell del Fe. A continuació posem les frases textuais dels alumnes:

	nº alumne
- Quan hi posem un clau amb un líquid (no recordo el nom) aquest oxida	11
- Amb un fil de coure que per acció d'un àcid es tornava blau	17
- Un tros de coure, dintre d'una substància, ... el coure havia deixat un tros de coure a baix del recipient, on això era coure i el coure queda recobert d'una altra substància	18
- Un tros de coure en un dissolució àcida que feia que el coure es descompongués i es precipités al fons de la proveta	37

Sembla que la fenomenologia associada a aquest exemple de canvi químic es converteix en un obstacle tant gran que no els permet explicar el que succeeix. Al mateix temps, a nivell de COU, la part estrictament teòrica del model de canvi químic s'ha fet tant potent en la representació mental de l'alumnat que la interpretació correcta del fenomen passa a un segon terme.

A continuació, la Taula 10 recull el total d'exemples de canvi químic esmentats a R2 i els alumnes que hi fan referència.

Taula 10. Relació dels exemples de canvi químic esmentats per l'alumnat a R2

exemples	alumnat	total
formació aigua	1,2,4,8,9,13,19,21,35,36,42,52,59	13
electròlisi	38	1
cremar paper, fusta, compost orgànic	3,9,11,16, 24	5
aspirina efervescent	2,22,36, 48	3
oxidació Fe	3,17,48	3
formació ozó	55	1
fotosíntesi	48	1
S + Fe	9,53	2
cicle cel Cu, clau+ àcid	11,17,18,37,60	6
oxidació combustible	37	1
dissociació amoni	27	1
H ₂ SO ₄ + KOH	59	1
no exemples	5,12,14,18,20,22,26,28,38,44,45,46,47,49,51,55,57,58	18

Anàlisi comparativa del contingut de R1 i R2

Calla esperar que les redaccions fetes a COU milloressin el nivell d'explicació del fenòmens químics i, donessin una visió més equilibrada entre el nivell macroscòpic i microscòpic del canvi que l'any anterior.

Per tal d'analitzar si l'augment d'informació química havia suposat un augment també del nivell de comprensió, hem fet un estudi comparatiu entre els resultats de les categories d'anàlisi obtingudes a R1 i a R2, que queda recollit a la Taula 11.

Taula 11. Comparació de les categories d'anàlisi corresponents al contingut de les redaccions: R1 i R2

Categoria	Subcategories	R1	%	R2	%
Què canvia	no	3	6	16	31
	canvi físic	5	10	8	16
	propietats	10	20	5	10
	estructura	11	21	17	33
	substàncies	22	43	5	10
Què es conserva	no	41	80	44	87
	sí	10	20	7	13
Nivell d'explicació	no n'utilitza	3	6	16	31
	Macroscòpica	29	57	15	29
	Microscòpica	13	26	16	31
	Macro/micro	6	11	4	8
Aspectes quantitius	no	38	75	34	67
	sí	13	25	17	33
exemples	no	8	16	16	31
	empírics	38	74	21	41
	teòrics	5	10	14	28
coherència global text	no	-	-	20	39
	feble	1	2	5	10
	sí	50	98	25	49

A R1, la majoria de l'alumnat presenta un model incipient de canvi químic, que es concreta en l'ús nombrós del nivell macroscòpic per la seva explicació: 29 redaccions, enfront de 13 redaccions a nivell microscòpic, de les quals només 1 alumne inclou en la seva explicació el trencament i la formació d'enllaços.

A R2, 15 redaccions utilitzen un nivell d'explicació macroscòpic i 16 el microscòpic, però cal destacar les 16 redaccions que no parlen pròpiament de canvi químic. En algunes d'elles es parla de les diferents lliçons de química que es van treballar a nivell de 3er. BUP, sense establir connexions entre elles. En una altra, l'alumne a partir del record de l'experiment d'epítom fet a l'inici de 2on. de BUP, com a exemple de canvi físic, en que es va encendre una bombeta, s'estovava el vidre amb el soplet i al dilatar-se l'aire, esclatava el vidre de la bombeta, converteix la redacció sobre el

canvi químic en una redacció sobre l'energia. Sembla que la importància de l'exemple posat a classe no és banal, com veurem més endavant. En aquest cas la força d'un exemple mal seleccionat s'ha convertit en paradigmàtic i ha desviat l'atenció de l'alumne. El més curiós es que aquest exemple no va ser recordat a R₁ i en canvi, sí que ho va ser a R₂ dos anys després, sense que puguem atribuir-ho a res més enllà que una qüestió d'atzar.

Pel que fa als aspectes conservatius podem afirmar que no són presents en la majoria de l'alumnat. En el nostre estudi s'obtenen els mateix resultats pel que fa als aspectes conservatius a 3er. de BUP que a COU, 10 redaccions en parlen a R1 i 8 a R2. La conservació de la massa sembla formar part de la visió més fenomenològica del canvi químic ja que es troba amb més freqüència en les redaccions de 3er. Però en el cas de la conservació de l'element, en la mesura que l'alumnat de COU té una visió més teòrica i dóna més importància al nivell microscòpic del canvi químic, calia esperar que hagués sigut més esmentat. En la mesura que no és un dels ingredients centrals de qualsevol proposta curricular ni tampoc de la proposta específica que ha seguit la mostra objecte d'estudi, l'alumnat no ha millorat en la incorporació dels aspectes conservatius en el seu model de canvi químic.

A nivell de COU, entre l'alumnat que parla de conservació trobem en 4 d'ells les següents expressions. L'alumna 16 indica que "A qualsevol reacció, podem observar que la massa es manté si mesurem en iguals condicions els reactius i els productes; però per a poder observar això, s'ha de poder aïllar totalment la reacció". L'alumna 48 diu "Hi ha unes lleis per aconseguir entendre una reacció química. Una d'aquestes lleis es que la massa d'un reactiu més la massa de l'altre dóna la massa del producte". O l'alumne 21 "tenim exactament els mateixos àtoms (i per tant la mateixa massa) però ordenats de forma distinta". L'alumne 59 " ... perquè la suma de les masses dels productes finals és igual a la suma de les masses dels productes inicials". La resta, fins a 8 alumnes, en el dibuix que fan a nivell de model de boles està implícita la idea de conservació de l'àtom de l'element, ja que sempre dibuixen el mateix nombre d'àtoms entre els reactius que entre els productes. Caldria confirmar si davant d'un fenomen concret aquest concepte li és operatiu per elaborar explicacions.

l'energia. Sembla que la importància de l'exemple posat a classe no és banal, com veurem més endavant. En aquest cas la força d'un exemple mal seleccionat s'ha convertit en paradigmàtic i ha desviat l'atenció de l'alumne. El més curiós es que aquest exemple no va ser recordat a R₁ i en canvi, sí que ho va ser a R₂ dos anys després, sense que puguem atribuir-ho a res més enllà que una qüestió d'atzar.

Pel que fa als aspectes conservatius podem afirmar que no són presents en la majoria de l'alumnat. En el nostre estudi s'obtenen els mateix resultats pel que fa als aspectes conservatius a 3er. de BUP que a COU, 10 redaccions en parlen a R1 i 8 a R2. La conservació de la massa sembla formar part de la visió més fenomenològica del canvi químic ja que es troba amb més freqüència en les redaccions de 3er. Però en el cas de la conservació de l'element, en la mesura que l'alumnat de COU té una visió més teòrica i dona més importància al nivell microscòpic del canvi químic, calia esperar que hagués sigut més esmentat. En la mesura que no és un dels ingredients centrals de qualsevol proposta curricular ni tampoc de la proposta específica que ha seguit la mostra objecte d'estudi, l'alumnat no ha millorat en la incorporació dels aspectes conservatius en el seu model de canvi químic.

A nivell de COU, entre l'alumnat que parla de conservació trobem en 4 d'ells les següents expressions. L'alumna 16 indica que "A qualsevol reacció, podem observar que la massa es manté si mesurem en iguals condicions els reactius i els productes; però per a poder observar això, s'ha de poder aïllar totalment la reacció". L'alumna 48 diu "Hi ha unes lleis per aconseguir entendre una reacció química. Una d'aquestes lleis es que la massa d'un reactiu més la massa de l'altre dona la massa del producte". O l'alumne 21 "tenim exactament els mateixos àtoms (i per tant la mateixa massa) però ordenats de forma distinta". L'alumne 59 "... perquè la suma de les masses dels productes finals és igual a la suma de les masses dels productes inicials". La resta, fins a 8 alumnes, en el dibuix que fan a nivell de model de boles està implícita la idea de conservació de l'àtom de l'element, ja que sempre dibuixen el mateix nombre d'àtoms entre els reactius que entre els productes. Caldria confirmar si davant d'un fenomen concret aquest concepte li és operatiu per elaborar explicacions.

Pel que fa als aspectes quantitius del canvi químic, s'observa un lleuger augment de les redaccions que hi fan referència, de 13 a 3er. BUP a 17, a COU. En la majoria dels casos, aquests aspectes quantitius estan vehiculats per les representacions analògiques del canvi químic és a dir, les equacions igualades i, les representacions mitjançant el model de boles on es dona molta importància, en els dos casos, a que hi hagi el mateix nombre d'àtoms, mols o boles a un costat i a l'altre de l'equació.

Indiquem a continuació els 6 alumnes a nivell de COU que parlen específicament de la relació de masses, de les proporcions constants, o dels càlculs estequiomètrics en general. L'alumna 23 diu "També hem de tenir en compte la massa necessària d'un producte per a que el canvi químic tingui resposta. Això s'estudia a estequiometria, els problemes d'estequiometria, mitjançant les quals podem trobar les mesures necessàries per poder fer amb èxit el canvi". L'alumne 27 diu: "(el canvi) és el procés pel qual es combinen diferents substàncies i/o elements obtenint una nova substància la qual sempre té les mateixes proporcions dels element combinats per a formar-lo". L'alumne 35 diu "una determinada substància se combina con otra en una cierta relación de cantidades, de moles: casi siempre, 2 mol de hidrógeno se combina con 1 mol de oxígeno ... para formar 1 mol de agua, ... o sea, el doble de moles de H_2 con los de O_2 (y si "mezclamos" más hidrógeno o más oxígeno se quedarán sin reaccionar, sin "mezclarse"). L'alumne 52 diu "Si barregem substàncies sense saber exactament el que hem de pesar, ens donarà un reactiu en el qual sobrarà un % de substància d'algun element o en fallarà d'un altre, per això ens basem en la fórmula del compost ($H_2 + O \rightarrow H_2O$)". Més endavant esmenta el "reactiu limitant exacte". L'alumne 53 diu "També vam estudiar els càlculs estequiomètrics. Aquests càlculs ens servien per saber quina quantitat de producte hi ha en una reacció, quan d'aquest es relaciona amb l'altre que està amb excés i quin és limitant, quina quantitat de producte obtenim i tot tipus de càlculs relacionats". L'alumne 59 indica que "Els elements que reaccionen en els canvis químics sempre ho fan d'una manera determinada i en una proporció constant d'elements. Tal com va dir Lavoisier existeix una proporció constant de masses en els reaccions o canvis químics".

La resta dels alumnes, fins a 17 es limiten a escriure equacions igualades o representacions amb el model de boles.

Exemples de canvi químic

A R_1 hi ha 87 referències a exemples empírics de canvi químic. Aquest nombre disminueix a 38 referències a R_2 . Les 43 redaccions que indiquen exemples de canvi químic ho fan de manera raonada i, a vegades s'esmenten fins a 4 exemples en una mateixa redacció. Aquest percentatge disminueix a 35 redaccions a R_2 . Per altra banda, a COU hi ha un augment de les redaccions, de 5 a 14 que només indiquen exemples teòrics, és a dir de l'estructura del canvi, del àtoms, de les valències i dels enllaços.

Es remarcable que el nombre de redaccions que no esmenten cap exemple de canvi químic augmenta de 8 a R_1 a 17 a R_2 . Això ens permet dir que a R_1 , el model de canvi químic està connectat amb la realitat dels fenòmens químics, encara que sigui incipient i incomplet. En canvi, a R_2 guanyen terreny el nombre d'explicacions a nivell microscòpic però, es perden de vista els fenòmens químics. Fins i tot entre els que posen exemples de canvi químic, més de la meitat, esmenta la síntesi de l'aigua com a exemple de canvi químic. És a dir, la formació d'aigua, dit amb les seves paraules, és l'exemple més esmentat per l'alumnat de COU. Aquest exemple, si només s'activa a nivell teòric, pot ser l'indicador de la substitució de la química dels fenòmens químics per "una química de lletres". Contrasta amb el fet que a R_1 , l'exemple més esmentat fos la reacció del $S+Fe$, ho fan 19 alumnes.

A R_2 , en el conjunt de la mostra ha disminuït el nombre d'exemples que tenen una explicació coherent amb l'explicació general del canvi químic que s'ha donat a la mateixa redacció. Això s'explica per dos possibles motius. El primer ve donat pel fet que a COU augmenta la terminologia microscòpica utilitzada en l'explicació del canvi, ja que només 11 alumnes mantenen un nivell d'explicació macroscòpic. El segon motiu és conseqüència de la dificultat de justificar bé els exemples a nivell microscòpic. Però es que a més el tipus d'exemples també s'ha modificat: ha augmentat el nombre d'alumnes que no posen cap exemple.

De totes maneres, un grup d'alumnes, entre ells, l'alumne 9 opina que "des que faig química, la reacció que he vist que era més fàcil d'entendre és la de cremar paper". I d'acord amb la seva visió substancialitzadora diu "El paper, abans de cremar té unes certes propietats químiques, com la capacitat per cremar, etc. Una vegada crema, aquest paper ja no pot tornar a cremar, ja que ha sofert uns canvis en la seva composició, que fan que tingui unes altres propietats".

Un altre cas interessant és de l'alumne 47. Encara que no arriba a interpretar el canvi químic, esmenta l'exemple del "canvi químic més freqüent que es fa en el menjar". Però aquest exemple no està elaborat, és simplement un referent que no s'ha arribat a desenvolupar i per tant no ha ajudat a construir el model de canvi químic.

Anàlisi comparativa de les regles presents a R1 i R2

Fins ara, hem analitzat alguns canvis observats en les redaccions fetes a COU en relació a les que s'havien fet un any anterior, que indiquen un desplaçament de l'atenció de l'alumnat de la química dels fenòmens cap a una visió més teòrica de la química. Ara, ens interessa esbrinar si aquesta presència més gran de conceptes químics en les redaccions de COU pot implicar un augment de la capacitat explicativa de l'alumnat del canvi químic. Per això, pot ser útil l'anàlisi comparativa de les regles presents en les dues redaccions.

Les redaccions escrites a R1, a l'inici de 3er. BUP, corresponen a un moment en que el nivell d'informació química que té l'alumnat és incipient. Per tant, caldria esperar un augment del nombre de regles utilitzades de R1 a R2 i, una presència més gran de regles de definició a R1 i de regles d'explicació a R2.

A R1, en la representació de la microestructura que s'ha fet en els mapes de Thagard (1990b), destaca l'ús majoritari de regles de definició (91 en les 51 redaccions que formen la mostra), un nombre menor de regles d'explicació (33 en el conjunt de la mostra), algunes analògiques (16 en el total de la mostra) i alguna de causal (9 en el total de la mostra).

En la redacció hi ha dos frases causals que no queden recollides en l'anàlisi de les regles perquè no constitueixen cap relació entre conceptes tal com les hem definit. Una d'elles és quan l'alumna 57 diu a R₁, "al introduir el cargol en aigua destil·lada, es desfeia, l'aigua canvia de color i es separa el Cu del Fe". L'altra és la de l'alumne 8 quan diu "aquesta reacció fa que dues molècules d'oxigen i quatre d'hidrogen pugui formar aigua". Però com que es tracta d'un exemple no es pot incloure entre les regles. Les redaccions recullen aspectes estàtics del coneixement de l'alumnat, per tant no poden captar la visió processual del canvi químic que suposa l'ús de la causalitat processual. Per tant, l'anàlisi de la causalitat només el farem a les entrevistes, on l'alumnat podrà realment manipular un fenomen i tenir en compte les accions. En l'anàlisi de les entrevistes sobre la reacció del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ amb el Fe, la naturalesa de la tasca plantejada permetrà abordar l'estudi de la causalitat, cosa que no permet la redacció.

A R₂, en el conjunt de la mostra, el nombre de regles de definició ha disminuït, ha passat de 91 a R₁ a 78 a R₂. El nombre de regles d'explicació augmenta de 33 a R₁ a 69 a R₂, les regles analògiques augmenten a 27 i de causals només n'hi ha 2. Cal remarcar que l'augment del nombre les regles analògiques a R₂ no es correspon a l'existència d'aquestes regles de manera explícita. En el nostre estudi hem interpretat les representacions icòniques, ja sigui d'equacions químiques com de model de boles, com a representacions analògiques del canvi químic. Només hi ha dos alumnes que estableixen aquesta analogia de manera explícita. L'alumne 1 diu "el nivell microscòpic s'explica per una convenció de la representació atòmica en forma de partícules el nombre de molècules indica l'equació completa" i l'alumne 59 "la reorganització atòmica és anàloga al model de boles".

En resum, podem afirmar que les redaccions fetes a l'inici de COU mostren una ampliació del nivell d'informació química per part de l'alumnat que suposa un desplaçament de l'atenció dels fenòmens químics, que eren l'aspecte central en les redaccions fetes l'any anterior. A COU ha augmentat els nombre de conceptes presents en els mapes que hem utilitzat per analitzar la microestructura, així com en

el nombre de regles entre conceptes. Per altra banda ha disminuït el nombre d'exemples de canvi químic esmentats en general, i d'empírics en particular. I ha augmentat el nombre d'exemples teòrics. La coherència global del textos escrits que queda reflectida en el mapa de Thagard (1990b) construït per a fer l'anàlisi de la microestructura que a 2on. BUP, era forta a nivell de 2on. de BUP. Ha disminuït la coherència del text en un grup important de redaccions a COU. Un dels motius pot ser que no hi ha solapament ni integració de les dues propostes curriculars que han tingut lloc durant els dos primers anys de la recerca. Durant el primer any, la proposta curricular es va centrar en un concepte elemental de canvi químic i en el treball de diferents fenòmens químics. En canvi, el segon any va vertebrar-se la proposta curricular entorn als aspectes més teòrics i formals de la química. Això es reflexa en la manca de coherència a nivell global del text.

8.2.2.2 Els perfils conceptuals i els model teòrics presents a R2

A partir de l'anàlisi de la microestructura present a les redaccions que ha quedat reflectida en els mapes de Thagard (1990b), hem extret les categories que ens permeten analitzar el contingut de les redaccions, tal com hem avançat a l'apartat 6.3 del Capítol III. Disseny de la recerca. Aquestes categories ens permeten comparar les redaccions amb més precisió per tal de determinar els elements clau que les caracteritzen i observar les regles que es repeteixen.

Les categories que han anat sortint i que permeten trobar regularitats en les redaccions són cinc: què canvia, què es conserva, nivell d'explicació, exemples i la coherència global del text. Amb aquestes categories hem construït els perfils conceptuals (Mortimer, 1993) que indiquen quines subcategories són comunes a diferents redaccions. L'establiment de relació entre les diferents subcategories de les categories que anomenem elements clau, ens ha permès fer grups amb les redaccions en funció d'uns possibles perfils conceptuals. Aquests perfils permeten descriure l'estat conceptual, és a dir els diferents tipus de relacions entre conceptes que s'estableixen en diferent aquest moment de l'aprenentatge.

En l'anàlisi de les dades corresponents a les redaccions, hem buscat les regularitats que s'observaven en l'ús de les diferents subcategories. Això ens han permès construir quatre perfils que s'indiquen a continuació, sense que l'ordre en que estan situats vulgui dir que van de major a menor poder explicatiu del canvi químic.

Per a l'establiment dels perfils, s'han utilitzat les 5 categories abans esmentades: què canvia, què es conserva, nivell d'explicació, exemples i coherència global del text. Si representem sobre una línia les categories utilitzades en l'anàlisi de la microestructura de les redaccions i indiquem les subcategories de cada una d'elles, al fer la unió de totes les subcategories presents en cada redacció obtenim una línia que representa cada perfil conceptual, tal com podem veure en el gràfic de la pàgina següent.

A partir dels perfils conceptuals podem classificar les redaccions segons una tipologia de macroestructures. La nostra hipòtesi de treball es que les macroestructures, que són el conjunt d'idees i exemples que selecciona cada alumne, tenen relació amb el "model teòric" que cada alumne està construint sobre el canvi químic i que ha activat davant d'aquesta tasca concreta: la confecció d'una redacció. Aquest model teòric que construïm a partir del contingut de la redacció no és permanent però sí que és una estructura de significat per l'alumne.

Les diferents macroestructures que hem aplegat en un mateix grup són variants d'un mateix model teòric. Cadascun d'aquests models teòrics recull una o varies subcategories de cada categoria de les que hem indicat a l'apartat 6.3.2 del Capítol III, Disseny de la recerca, tal com es proposa en el gràfic de la pàgina següent.

Per cada perfil conceptual que agrupa les redaccions podem definir un model teòric tal com indiquem a continuació:

1. Model incoherent del canvi químic és aquell en que no s'esmenta el canvi químic, els exemples que es donen són de caràcter il·lustratiu i, no estan raonats. No s'utilitza clarament cap terminologia macroscòpica ni microscòpica. El text no té una coherència global, és a dir, el discurs es construeix sense una progressió temàtica ordenada, en il·les de coneixement (De Voss, 1997). Es tracta en la majoria de casos d'un llistat de lliçons de coses i definicions.

En l'esquema, el model incoherent correspon a la línia inferior vermella que uneix les subcategories "no" per cada categoria del perfil conceptual.

2. Model mecano és aquell en que el discurs es construeix fonamentalment entorn a l'explicació microscòpica del canvi, deixant de banda els fenòmens. Es parla d'un canvi a nivell d'estructura i, fins i tot els exemples són teòrics o no s'indiquen exemples. L'ús de regles analògiques implícites que es dóna en la majoria de les redaccions, poden ser indicadores de l'existència d'un model mecano. La coherència global del text pot ser feble o forta. La nostra conclusió és que es dubtós que en aquest model l'alumne hagi adquirit el model científicament acceptat de canvi químic.

En l'esquema, el model mecano correspon a la línia negra que uneix les subcategories "estructura" del que canvia, "no" es conserva, nivell explicatiu "microscòpic", exemples "teòrics", coherència global del text "feble" i "forta" i concepte de canvi químic "dubtós".

3. Model cuina és aquell en que el discurs es construeix fonamentalment entorn els fenòmens. Es comença amb un o dos exemples empírics, a partir dels quals s'infereix què es un canvi químic que es descriu com un canvi físic o un canvi de propietats. El exemples de canvi que s'esmenten son empírics i en la majoria dels casos coherents amb el descripció general de canvi químic present a la redacció.

La terminologia utilitzada en la redacció és predominantment macroscòpica, encara que s'esmentin alguns termes microscòpics. El text és coherent a nivell global. La nostra conclusió és que en aquest model és dubtós que l'alumne hagi adquirit el model científicament acceptat de canvi químic.

En l'esquema, el model cuina és la línia verda que uneix les subcategories " propietats" i "estat físic" del què canvia, "no" es conserva, nivell d'explicació "macroscòpic", exemples "empírics", coherència global del text "feble" i "forta" i concepte de canvi químic dubtós.

4. Model interactiu és aquell en que la interpretació del canvi químic es fa en termes de canvi de substàncies, és a dir de formació de noves substàncies que substitueixen clarament les substàncies inicials. En la interpretació del canvi, i per tant, en la construcció del discurs hi ha una relació coherent i equilibrada entre el nivell d'explicació macroscòpic i el microscòpic. Els exemples que s'esmenten són teòrics. El text és coherent a nivell global. La nostra conclusió és que l'alumnat ha fet seu el model científicament acceptat de canvi químic.

El model interactiu de canvi químic, en l'esquema és la línia blava que uneix les subcategories "substàncies", "no" es conserva, nivell explicatiu macroscòpic/microscòpic, exemples "teòrics", coherència global del text "forta" i "sí" que tenen el concepte de canvi químic.

A continuació, la Taula 12 mostra els diferents models teòrics de canvi químic construïts a partir de la redacció R2 i, els números dels alumnes agrupats en cada un d'ells.

Model canvi químic	Alumnat	nº total	%
Model incoherent	14,18,20,22,26,28,38,44,45,46,47,49,50,51,55,57,58	10 noies, 7nois = 17	33%
Model mecano	5,7,8,10,12,13,16,19,21,33,35,39,41,42,52,53,54,	6 noies, 11nois=17	33%

Model cuina	2,3,4,9,11,17,24,29,36,37,40,48,60	4 noies, 9 nois =13	26%
Model interactiu	1, 23,27,59	1 noia, 3 nois = 4	8%

Les disset redaccions que no expliciten cap model de canvi químic les agrupat en el model incoherent. Entre elles, destaquem la de l'alumne 47 que únicament parla de l'energia, sense fer esment del canvi químic. La resta es caracteritzen per la pobresa de contingut químic que queda reflectit en el baix nombre de regles presents en els mapes de Thagard (1990b). Per exemple l'alumna 44 té una sola regla.

En les redaccions del model incoherent es donen molts títol de lliçons del llibre, noms, fórmules i diuen explícitament que cal saber moltes coses per fer química. Podem afirmar que no hi ha hagut solapament de les dues propostes curriculars rebudes a 3er. i a COU, per un cantó es dona una aproximació a una idea simple de canvi químic amb els seus exemples i per l'altra es fa referència a la teoria estudiada en el llibre. Gràficament s'observa en l'estructura dels mapes, on no hi cap tipus de regla que connecti els conceptes junts en petites agrupacions.

Un exemple il·lustratiu de redacció amb un model incoherent de canvi químic és la de l'alumna 44. N'incloem alguns paràgrafs a continuació:

"Pel que puc recordar de l'any passat, és el canvi químic que consistia en la reacció que hi ha un reactiu i ens dona un producte, mentre que en el canvi físic no hi ha reacció, no tenim reactiu → producte.

També vàrem estudiar que els cossos tenen un punt d'ebullició, que consisteix en anar escalfant i mentre s'està escalfant va pujant la temperatura fins que arriba un moment que es queda paralitzada, després si continuem esclafant arribarà un moment que començarà a bullir i passarà de ser líquid a gas. Els cossos sòlids, les partícules no tenen moviment, les partícules es troben molt juntes amb contacte, els líquids tenen mobilitat, les partícules tenen contacte, mentre que en els gasos les partícules estan molt separades i no tenen contacte.

...

Un altre tema és la química orgànica: era la formulació del carboni i l'hidrogen, metà, età, propà, butà, ... com es formulava, com es deia ...

En una cadena hi ha dobles enllaços C = H, que alhora d'anomenar-los es posava -i, també hi havia triples enllaços es posava -e. Després que la cadena principal era normalment la més llarga, un altre tipus de cadena principal podia ésser la que tenia més enllaços químics.

També estava la química inorgànica que consistia en formular o en nombrar un compost, per això s'havia de saber ben bé els estats d'oxidació, com es formulaven les sals, els òxids, els àcids, ...

...

Un altre tema a nivell microscòpic són les configuracions electròniques, hi havia els nivells s, p, n, ... la llei de Dalton.

Els àtoms estan formats per electrons, protons i neutrons i sabem els que tenen cada element i sabem si els elements són o no metàl·lics. Podem saber els enllaços entre els elements: enllaç metàl·lic, enllaç no metàl·lic i enllaç covalent. També s'havia de tenir en compte l'electronegativitat de cada element."

També hi ha 17 redaccions incloses en el model mecano. Són les que han perdut de vista la química fenomenològica que ha estat substituïda pel món microscòpic i de les fórmules. Un exemple il·lustratiu de redacció amb un model mecano de canvi químic és la de l'alumne 5. N'inclouem alguns paràgrafs a continuació:

"Un canvi químic és quan la composició d'un component es veu alterada de forma atòmica; quan els seus àtoms varien o es combinen amb altres formant compostos de propietats diferents a les dels que els han format. àtom = la partícula més indivisible que podem trobar, a més de la més petita. Descobert pels grans clàssics, Dalton profunditza més en ells a la seva teoria atòmica, amb uns principis bàsics que després ampliaríem: no tots els àtoms són iguals; tenen una massa determinada; són indivisibles; etc. Però els àtoms poden formar elements o compostos de variades formes; així els àtoms de carboni poden donar lloc al carbó que coneguem , però més agrupat i amb menys espai entre ells tenim algo més diferent: el diamant.

Tots els àtoms formen matèria de diferents formes: a les sòlides veiem els àtoms més agrupats entre ells i ...

Amb el temps es descobrí que un àtom consta de polaritat elèctrica: d'uns protons (+) i d'uns electrons (-), situats amb igual número a més d'uns neutrons.

Els àtoms es classifiquen per massa atòmica (quantitat de protons que tinguin, ja que els electrons quasi no tenen) com podem veure a la taula atòmica de Mendeleiev, on es classifiquen també per ordre creixent de massa, electronegativitat, etc. "

Les 13 redaccions incloses en el model cuina presten una atenció preferent al món dels fenòmens químics. Un exemple il·lustratiu de redacció amb un model cuina de canvi químic és la de l'alumne 3. N'incloem alguns paràgrafs a continuació:

"Un cambio químico es un proceso en el cual un elemento o un compuesto cambia su composición química, es decir, se convierte en otro elemento con características diferentes al primero, un ejemplo de cambio químico podría ser la oxidación de hierro, en el cual el hierro que es un metal duro y brillante, en contacto con el O_2 se oxida y se transforma en un compuesto marronoso y frágil, este ejemplo todo el mundo lo ha podido observar, ya que se produce en la atmósfera, en contacto con el aire y también con el agua (en este último más rápidamente, ya que en el agua la concentración de oxígeno es más elevada que en el aire).

Otro ejemplo de cambio químico que se observa en la vida cotidiana es la combustión de la madera, en la cual se observa, como en el caso del hierro oxidado, que la madera quemada pierde peso y se convierte en un compuesto muy frágil, pero en este caso hay un desprendimiento de energía en forma de calor (energía calorífica).

Los enlaces entre los elementos pueden ser de tres tipos: enlace covalente, ...".

Entre els redaccions que hem classificat en el "model cuina" del canvi químic, hi ha dos alumnes que són substancialitzadors, el 9 i la 13, que consideren que el canvi de propietats de les substàncies en el canvi químic és degut a que les propietats són intrínseques a la substància. La idea de la "substancialització d'una qualitat immediata" consisteix en explicar un fenomen atribuint-li a una substància una propietat intrínseca que és la responsable del fenomen: "el fenomen immediat es considerarà com el senyal d'una propietat substancial".

L'alumne 8 ho explica clarament quan parla del fenomen de "cremar paper". "El paper, abans de cremar té unes certes propietats químiques, com la capacitat de cremar, etc. Una vegada crema, aquest paper ja no pot tornar a cremar, ja que ha sofert uns canvis en la composició que fan que ara tingui unes altres propietats. Això és degut a que en el seu canvi, pot perdre elements com l'oxigen, que és el necessari per cremar." En

canvi, l'alumna 13 només diu "El canvi químic és el canvi en el qual la substància canvia de propietats".

Finalment volem indicar que hem inclòs 4 redaccions en el model interactiu de canvi químic. Un exemple il·lustratiu de redacció amb un model interactiu de canvi químic és la de l'alumne 1. N'inclouem alguns paràgrafs a continuació:

"A l'entorn nostre trobem una sèrie de substàncies de les quals podem observar propietats específiques d'elles, en el nostre ambient. Si classifiquéssim les substàncies podríem dir que n'hi ha de dos tipus, elements: que són els que no es poden descompondre en altres elements (parts bàsiques) i compostos: que com ja diu la paraula són compostos de diferents elements i tenen propietats totalment diferents als elements que els componen.

Quan hi ha un canvi químic s'esdevé una alteració d'ordre intern en l'estructura de la substància, d'això se'n diu reacció química, va acompanyada d'intercanvi d'energia. Quan parlem de reaccions, la unitat bàsica per definir el que succeeix és la molècula (part mínima d'una substància que té propietats de la mateixa), per això quan es parla de substàncies, sempre té una molècula assignada que varia en totes les substàncies ja siguin elements o compostos. Totes les molècules són formades per àtoms i segons el seu nombre trobem un seguit d'elements bàsics definits a la taula periòdica amb els quals reaccionants entre ells formen compostos.

Un fenomen de canvi químic que és el més estudiat, és el cas de l'hidrogen gas i l'oxigen gas que quan s'ajunten i reaccionen s'esdevé un canvi químic notable, d'estat gas passen a estat líquid amb un canvi molecular i de propietats. La reacció produïda és: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$. Les reaccions escrites en fórmules tenen una explicació de cada factor que intervé ...".

8.2.2.3 Anàlisi de la tipologia textual present a R2

Ja hem indicat en el capítol II. Marc teòric de la recerca que ens interessa analitzar la forma que pren el text escrit per veure si es pot establir alguna relació entre la tipologia textual i el contingut del mateix. L'anàlisi de la tipologia textual es realitza d'acord amb els criteris establerts des de la lingüística per diferents autors (Adam J.M., 1987, Van Dijk, 1989, Meyer a Izquierdo i Rivera, 1997).

Com ja hem indicat, a COU, l'alumnat escriu més lliurement que a 3er. de BUP, degut al canvi de condicions en que es van escriure les redaccions: no es van realitzar a classe de química, i això va fer que poguessin escriure més retòricament, si volien. Però, a més, augmenta el nombre de redaccions explicatives, ja que l'alumnat s'identifica més a la superestructura del discurs científic. En aquest cas, es generalitza l'ús de les tècniques lingüístiques d'anàlisi, classificació i definició.

La Taula 13 mostra la classificació de les redaccions R2, en funció de la tipologia textual i el número d'ordre dels alumnes agrupats en cada una d'elles.

Tipologia	Alumnat		%
Descriptiva	3,12,18,24,26,28,41,50,51,58	10	19%
Narrativa	4,20,22,44,45,46	6	12%
Explicativa	1,2,5,7,8,9,10,11,14,16,17,19,21,27,29,33,35,36, 37,38,40,42,48,49,52,53,54,55,59	29	57%
Magistral	13,23,39,47,57,60	6	12%

És difícil trobar redaccions en que la superestructura sigui exclusivament d'un tipus. En el cas de COU les descriptives, tenen algun paràgraf explicatiu o fins i tot narratiu. Les narratives inclouen algun paràgraf explicatiu i fins i tot magistral. Moltes redaccions explicatives inclouen parts que són descriptives. I finalment les magistrals tenen parts del text que és narratiu o explicatiu.

Entre les redaccions que presenten una tipologia fonamentalment explicativa destaquem les dels alumnes 1 quan diu "A l'entorn nostre trobem uns sèrie de substàncies de les quals podem observar propietats específiques, d'elles, en el nostre ambient. Si classifiquem les substàncies en podríem dir que n'hi ha de dos tipus, elements: que són els que no es poden descompondre en altres elements (parts bàsiques) i compostos ...". I el 27 quan diu: "El canvi químic des del meu punt de vista és el procés pel qual es combinen diferents substàncies i/o elements ...".

Entre les descriptives destaquem els alumnes 12 i 24 quan diuen "Primer, hem de saber què és un canvi químic i ho podem definir com una reacció entre dos elements, ...". "Per a mi, un canvi químic es produeix quan hi ha una reacció química, per que hi hagi una reacció química hi ha d'haver uns elements que s'anomenen reactius i que al aplicar-los un altre element donen un producte".

Hi ha redaccions que presenten una superestructura descriptiva combinada amb aspectes narratius. Entre elles destaquem l'alumne 20 que diu: "La química es una asignatura que trata de estudiar todo lo referente a los elementos químicos, a las reacciones que se producen unos con otros y estudiar como consecuencia de estas reacciones los resultados obtenidos. La química podemos iniciarla con el estudio de los elementos químicos, siguiendo un estudio progresivo de cada uno de ellos (masa, nº atómico, nomenclatura, ...) a continuación se estudian las reacciones que presentan los elementos que se juntan, dando lugar a ...".

Ja hem dit que les redaccions amb superestructura narrativa són aquelles que inscriuen els conceptes i els fenòmens relatius al canvi químic en una successió temporal. A R_2 en general, no es presenten superestructures narratives pures ja que inclouen també una part explicativa, i a vegades fins i tot retòrica. Com per exemple l'alumne 4 que comença dient: "L'any passat a la classe de química vam estudiar els canvis químics, i les diverses maneres de crear noves substàncies i analitzar-les. Vam estudiar la taula d'elements químics i ens la vam aprendre, vam estudiar dissolucions, és a dir dues substàncies que s'uneixen formant una nova i les maneres de separar-les. ...". I al final diu: "Vull remarcar que els meus coneixements sobre la Química són molt petits, en aquest moment estic repetint 3er curs, i reconec que les classes de Física i Química que teníem l'any passat passava una mica, en part perquè des del principi em vaig perdre de manera contundent i en part perquè no em vaig planificar bé el curs, de fet al veure que la primera avaluació bo em va anar molt bé i a la segona tampoc, el tercer trimestre que va ser en el qual vam estudiar la Química no hi anava amb pensaments d'aprovar el curs i ja m'ho vaig prendre amb una mica més de tranquil·litat i no vaig intentar estudiar, allò hem va conduir a repetir curs².

Un altre exemple d'estructura narrativa és de l'alumna 22 quan diu: "A tercer s'estudia el que és un canvi químic, ... També es dona la teoria de Bohr que ens explica

com va proposar una altra teoria miljançant la teoria de Planck per explicar l'estabilitat de l'àtom d'hidrogen... També van explicar l'efecte fotoelèctric i la dualitat ... Després també ens van explicar la taula periòdica ... Després vam fer estequiometria ... També van explicar sobre els espectres ... Vam fer també una experiència amb una aspirina."

En alguns casos, entre les redaccions descriptives, n'hi ha algunes en que només el començament de la redacció és narratiu, com l'alumne 28 quan diu: "El año pasado en tercero sobre química estudiamos algunas cosas como: las mezclas, disoluciones, densidades, ... También vimos como se podian distinguir los gases mediante la observación de sus respectivos "espectros", i després inclou paràgrafs més retòrics com "Como cambio químico me parece recordar (quizás no es correcto mi concepto) que era lo que le pasaba, por ejemplo, al agua (H_2O) que al convertirse en vapor (por mayor temperatura) o en hielo (por menor temperatura) seguía siendo igualmente agua pero con una estructura interna diferente (sus moléculas estaban en distinto estado). Pero ahora que lo pienso me parece que este ejemplo más que un cambio químico puede pertenecer a un cambio físico. Como cambio químico quizás me suena más a lo que ví en Ciencias Naturales refiriendose a los cambios que efectuaba el organismo con las sustancias tales como proteínas, glúcidos, etc. ...".

Entre les narratives, destaquem l'alumna 44 quan diu "Pel que puc recordar de l'any passat és el canvi químic que consistia en la reacció, hi ha un reactiu i en dona un producte, ... També vàrem estudiar que els cossos tenen un punt d'ebullició ... Un altre tema és com separar una mescla per filtració, ... Un altre tema és la química orgànica, ... També estava la química inorgànica ... Un altre tema de la química és la estequiometria ... Un altre tema a nivell microscòpic, són les configuracions electròniques ... ". L'alumna 46 diu "Jo l'any passat vaig estudiar els diferents canvis químics que aquest és el que donava un altre producte. També vaig estudiar els canvis físics que aquest no dona cap altre producte... També vam estudiar la química inorgànica .. També vam estudiar les sals ... També vam estudiar la química orgànica ... Després vam començar a estudiar tota la part d'estequiometria ... També vam estudiar els nivells electrònics ...".

Una altra redacció que té una presentació de tipus narratiu és la de l'alumna 10: "Durant tot el curs de l'any passat, en l'assignatura de Física i Química vam estudiar què és un canvi químic i el què és una reacció."

A R2, s'observa un augment del nombre de redaccions amb superestructura magistral. Per exemple l'alumna 23 diu "Un canvi químic no és ni molt menys un canvi d'estat, forma externa, tot i que això també succeeix en aquest tipus de canvi, o pot succeir tranquil·lament. El canvi químic comporta ... Podríem dir a grans trets que és la transformació ...". L'alumna 51 diu "De química jo recordo vagament les coses perquè no m'anava gens bé" i després continua amb una superestructura narrativa indicant "els diferents temes que va estudiar".

Hi ha 5 alumnes que inicien les redaccions de forma magistral dient: "Des que es comença a estudiar química es diferencien els canvis físics dels canvis químics...", o bé "Em sembla que la forma més fàcil d'explicar un canvi químic és comparant-lo amb un canvi físic".

En la nostra recerca, no s'observa que hi hagi correspondència entre el model de canvi químic i la tipologia textual. Les redaccions que tenen un model interactiu del canvi són explicatives o magistrals. Però l'esforç per explicar es dona tant en els que tenen un model molt elaborat del canvi químic com en els que no en tenen. Per l'exemple l'alumne 47 que presenta el que anomenem "model incoherent" de canvi químic, fa una dissertació sobre "el canvi químic més freqüent, el que es fa en el menjar".

En resum, podem dir que a nivell de COU s'ha diversificat la tipologia textual de les redaccions encara que la majoria són explicatives. Probablement aquesta majoria és deguda a que l'augment d'informació química per part de l'alumnat li permet establir més connexions entre els conceptes i tractar d'explicar els fenòmens químics. Pel mateix motiu, a COU ha disminuït respecte al curs anterior el nombre de redaccions descriptives. Cal remarcar la presència de 6 redaccions narratives, un registre en el qual probablement l'alumnat es troba més còmode en una situació informal com la que es va donar en el moment d'escriure la redacció i, finalment la presència de les 6 redaccions magistrals.

8.3 Anàlisi de les entrevistes a la mostra reduïda

L'anàlisi de les entrevistes realitzades a la mostra reduïda d'alumnat s'ha realitzat d'acord amb els criteris establerts a l'apartat 6.3.3 Organització de les dades a les entrevistes, per fixar les unitats d'anàlisi. Per tal de mantenir una certa coherència amb l'anàlisi de les altres preguntes de la recerca, s'han seguit les categories d'anàlisi que es recullen en el quadre final del capítol III i que s'indiquen a continuació, en el quadre que encapçala l'anàlisi de l'entrevista feta a cada alumne.

U0 inclou els exemples de canvi químic que s'esmenten durant l'entrevista, U1 i U2 recullen el què es diu que canvia durant la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, tant a nivell macroscòpic com a nivell microscòpic, U3 el què es diu què es conserva en la mateixa reacció, U4 el nivell d'explicació del canvi químic, U5 l'ús d'analogies en l'elaboració d'explicacions per part de l'alumne i U6 l'ús de la causalitat, si s'escau.

Els símbols que s'utilitzen per a l'anàlisi de la causalitat són els que hem explicat al capítol III Disseny de la recerca, apartat 6.3.3 Organització de les dades a les entrevistes.

De cara a poder captar el sentit de les expressions que construeix l'alumnat, hem volgut recollir les seves frases literalment i, per tal que fossin comprensibles, hem afegit entre parèntesi les paraules que formen part dels implícits i sobreentesos que per l'economia del llenguatge oral, l'alumne dona per suposat i ja no repeteix.

En aquest apartat, es procedirà a fer l'anàlisi de les respostes a cada una les entrevistes fetes als alumnes. I en el proper apartat 9. Estudi específic de la mostra reduïda, es compararan aquests resultats amb els que s'han obtingut a les preguntes anteriors.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumne 1

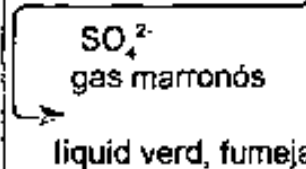
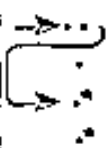
L'entrevista amb l'alumne 1 ha estat fluida. Durant tota l'estona s'ha mantingut la comunicació i el consens entre l'alumne i l'entrevistadora. En una ocasió l'alumne no ha deixat que l'entrevistadora acabés de formular la pregunta. El següent quadre

recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista¹ feta a l'alumne 1 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(00) un redox, el Cu, vam ficar el clau, va sortir sulfat, un gas groc marronós i un líquid verd fumejant (02) síntesi de H ₂ O	empírics
U1/U2 què canvia	(3) "(la calor) fa que el clau té coure, s'ha revestit de coure" (6) "el nitrat de coure (II) en dissolució i el clau de ferro estan carregat neutrament i (61) quan escalfem, agitem la reacció, a que surti un àtom del ferro, i en el seu lloc, es posi un de coure"	substàncies
U3 què es conserva	(15) "els àtoms de cada element, no varia la seva composició, no hi ha intercanvi de protons dins el nucli, sí potser d'electrons, però es conserva la massa del nucli, i no varien els seves propietats" (16) "es segueix tenint carboni, si es un costat hi ha carboni, a l'altre també, si en un costat hi ha hidrogen, té que haver hidrogen a l'altre"	Cons 2
U4 nivell d'explicació	(3) (6) (61) (12) "El ferro que hi ha en el clau surt fora de la seva neutralitat, surten els àtoms que s'oxiden amb el nitrat de ... El Cu es redueix perquè arriba a la seva electronegativitat amb els e ⁻ que han quedat en el clau".	macro/micro
U5 ús analogia	(61)	no
U6 ús causalitat	(00) (3) (61)	2 estructures causals simples i 1 cadena causal

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol III Disseny de la recerca.

¹ La transcripció de les entrevistes està inclosa en un annex que es pot consultar a la Biblioteca de la Facultat de Ciències de l'Educació de la Universitat Autònoma de Barcelona

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(00)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu • clau • redox • SO_4^{2-} • gas • color • marronós • líquid • verd, fumejant 	clau \rightarrow ? \rightarrow redox 		(A) No podem saber si redox té contingut científic (E) Els productes s'identifiquen fenomenològicament
(3)	<ul style="list-style-type: none"> • $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ • Fe ◦ Cu • calor 	calor \rightarrow $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, Fe \rightarrow Cu	\rightarrow (.,.) ^o	(E) "El Fe té Cu, s'ha revestit de Cu" (I) l'agent causal és la calor
(61)	<ul style="list-style-type: none"> • àtom Fe • àtom Cu • calor \rightarrow agitar • flux d'e⁻ 	calor \rightarrow àtom Fe, àtom Cu \rightarrow flux e ⁻ agitar	\rightarrow (.,.) ^o \rightarrow	(E) "Surt un àtom del Fe i en el seu lloc es posa un de Cu. Això fa un flux d'e ⁻ "

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumne 1

Exemple de canvi químic

L'alumne 1 esmenta l'exemple de canvi químic característic del model interactiu: la síntesi de H_2O i un altre exemple, el cicle del Cu. Construeix una primera explicació causal del cicle del Cu a nivell macroscòpic de les substàncies que interaccionen caracteritzant-les fenomenològicament. Tot i que ja havia fet l'experiment dues vegades, com altres alumnes, l'alumne 1 no recorda exactament el cicle del Cu. A (00) diu: "L'última prova que vam fer al laboratori, era el coure, hi vam ficar el clau, va haver una reacció redox. Jo experimentant per mi mateix, vaig fer no sé què i va sortir sulfat amb gas de color groc, no groc, marró i un líquid verd fumejant. Vaig començar a posar les reaccions que teniem que fer i vaig dir que era un sulfat sense res. El profe em va dir que això era tòxic i em va explicar, però em va ajudar molt".

Caractenitza el canvi químic, en un primer moment de l'entrevista com (01) "un canvi de propietats del substància o l'element". Respecte a la pregunta, sobre perquè el cicle del Cu és un exemple crucial del canvi químic, continua explicant la seva experiència personal "a les altres ja et venien, t'ho donaven tot fet. Això ho vaig fer per mi mateix, ho vaig comprovar jo, vaig amibar a la conclusió jo sol".

Interpretació del fenomen: la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

La primera resposta que construeix l'alumne 1 sobre la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ està expressada en termes macroscòpics i només identifica un dels productes de la reacció, el Cu. Diu (3) "el clau té coure, s'ha revestit de coure", però a continuació es refereix al dos nivells, el macroscòpic i el microscòpic dient (6) "el nitrat de coure (II) en dissolució i el clau de ferro estan carregat neutrament i (61) quan escalfem, agitem la reacció, a que surtí un àtom del ferro, i en el seu lloc, es posi un de coure". Afirmar que el Fe s'ha reduït i especifica el que succeeix a nivell microscòpic i connecta aquesta explicació amb les substàncies que es formen com a productes de la reacció, el Cu i el $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$. Dona per tant, a nivell global una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, tot i que a (12) presenta la confusió observada en moltes recerques entre el nivell macroscòpic i el microscòpic i parla dels "àtoms que s'oxiden"... Durant tota l'entrevista intenta explicar què passa amb el Fe. A (9) diu que "varia", a (10) "que és una mica més electropositiu". A (14) fa esment del $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, però ha emmagatzemat la informació incorrectament i diu que reacciona amb el Fe: "teniem el nitrat de ferro i vaig posar un altre cop el clau, i va sortir em sembla sol".

Parla específicament de la conservació de l'element, fent una afirmació de caràcter general, quan diu a (15) "els àtoms de cada element, no varia la seva composició, no hi ha intercanvi de protons dins el nucli, sí potser d'electrons, però es conserva la massa del nucli, i no varien els seves propietats" (16) "es segueix tenint carboni, si es un costat hi ha carboni, a l'altre també, si en un costat hi ha hidrogen, té que haver hidrogen a l'altre".

Ús d'analogia

L'alumne 1 utilitza una analogia per explicar el mecanisme de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, quan diu que (6) "En un principi tenim el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ en dissolució i el clau de

ferrum, no tenen càrrega i quan escalfem, agitem la reacció, surt un àtom del Fe i en el seu lloc es posa un de Cu. I això fa un flux d'electrons." No fa un símil amb el mecanisme de la dinàmica del vapor d'aigua, on de les gotes en la superfície d'evaporació del líquid, algunes vencen la pressió de vapor i passen a gas, però d'altres no i tornen a la superfície de l'aigua, tal com feien els altres alumnes. Aquesta explicació és semblant a la que donen els alumnes 44 i 59 en l'entrevista, la diferència està en que l'alumna 44 i l'alumne 59 especificaven que els àtoms "s'ajunten i reaccionen". Però l'alumne 1 fa la substitució automàtica i directa dels àtoms, encara després diu que "hi ha hagut un intercanvi de ions Fe^{2+} per ions Cu^{2+} ".

Ús de la causalitat

L'alumne 1 construeix dues estructures causals simples, una d'elles amb dos agents causals i una estructura causal complexa, on no s'esmenta el material sobre el que actua l'agent causal. Una de les explicacions causals es refereix a la interacció a nivell electrònic.

L'alumne 1 utilitza tres agents causals, un material, el clau, un element extern al sistema, la calor i una acció, agitar. Els agents de l'estructura causal complexa són la calor i l'acció d'agitar.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumne 2

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumne 2 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
UO exemples	(1) "el clau, es ficava dins l'àcid i deixava anar coure" (2) "l'aspirina per la descomposició dels gasos" (3) "hidròlisi, (4) oxidació"	empírics

U1/U2 què canvia	(16) "al ficar el clau (en la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$), el ferro és el que reacciona i el coure l'envolta" (17) "el ferro ha perdut la seva forma però continua estant, (81) "l'àcid (NO_3^-) atacaria el clau, (82) una vegada rodejat de Cu; també es podria "desassociar" i formar ions" (10) "(el Fe) el del clau està en ell mateix i l'altre està en un altre estat molecular, amb altres substàncies".	estructura
U3 què es conserva	(6) "l'àcid (el NO_3^-) crec que ha quedat, el que hem utilitzat per desassociar el coure i el coure ha passat cap al coure"	no
U4 nivell d'explicació	(81) (82) (9) "formar ions és quan (la substància) està en dissolució es produeix una separació dels seus enllaços en ions positius i negatius" i (11) "canvia les característiques elèctriques de la dissolució"	microscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat	(6) (81) (82) (12) "abans de ficar el coure observem que aquesta dissolució no era elèctrica" (13) "al ficar el coure (Cu^{2+}) la dissolució és elèctrica" (16)	3 estructures causals simples i 1 cadena causal simple

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol III de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(6)	<ul style="list-style-type: none"> • àcid (NO_3^-) ◦ Cu desassociat → passar • Fe 	àcid → Cu (desassociat) → Fe	→ ◦ •	(I) El NO_3^- que anomena àcid és l'agent causal. (E) El Fe es queda igual (A) "L'àcid el que hem utilitzat per desassociar el Cu" pot voler dir passar a Cu^{2+}
(81) (82)	<ul style="list-style-type: none"> - temps • àcid (NO_3^-) --> atacar • Fe rodejat Cu ◦ Fe^{2+} 	àcid → Fe rodejat Cu → Fe^{2+}	→ • ◦	(A) "L'àcid també es podria desassociar i formar ions" (E) "Desassociar" és formar ions

U22 (12) (13)	<ul style="list-style-type: none"> -> ficar • Cu • dissolució * elèctrica -> haver * ions 	<p>Cu->dissol->elèctric Cu(NO₃)₂</p>	-> • *	TEACHBACK sobre (9) (E) Justifica l'existència de ions perquè "abans de ficar el Cu, la dissolució no era elèctrica"
U22 (16)	<ul style="list-style-type: none"> • Fe -> ficar • Cu(NO₃)₂ o Cu -> envoltar 	<p>Fe->dissol->c.q. Cu(NO₃)₂</p> <p>Fe rodejat Cu</p>	<p>-> • # (procés)</p> <p># o</p>	(A) "El Fe ha perdut la seva forma però continua estant"

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumne 2

És l'entrevista més curta de totes. L'alumne 2 diu les coses una sola vegada, de manera tallant, sense donar massa detalls. Contesta de manera categòrica, excepte en dues ocasions que diu "jo diria que sí" i "potser". Sembla tenir una idea molt clara, a la seva manera de com passen les coses en el món de la química, i assegura que ell "tenia molt clar el que succeïa en els experiments, vull dir, que em van ajudar per fixar coneixements però ja sabia tot el que succeïa".

La funció del *teachback* durant l'entrevista ha estat la d'intentar que les respostes curtes i tallants d'aquest alumne poguessin ser més extenses i per tant, permetessin veure quines idees hi havia darrera de les seves afirmacions.

Exemple crucial de canvi químic

No podem assegurar que l'alumne 2 hagi construït un exemple que li resulti paradigmàtic del canvi químic tot i que potser era difícil que ho fes degut a la seva opinió sobre l'experimentació. Ja hem comentat la frase que diu "tenia molt clar el que succeïa en els experiments". Sembla tenir una bona memòria ja que recorda tots els experiments que va fer el curs passat. Fa esment de 4 exemples: el del clau que es ficava l'àcid, el de l'aspirina, la hidròlisi i l'oxidació. Encara que només indica com a característica especial d'aquests experiments que, (4) "que hi ha un canvi físic i en les propietats."

Interpretació del fenomen: la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

No té problemes per reconèixer les substàncies, com ha succeït en altres entrevistes. Identifica correctament el ferro i el coure, però cada vegada que es vol referir al ió nitrat, tot i que fa afirmacions correctes sobre el seu comportament, l'anomena àcid. Al final de l'entrevista, en el moment de donar una explicació general al fet que tomem a obtenir coure, anomena correctament totes les substàncies.

La seva visió del canvi de propietats és molt àmplia, ja que inclou la "dissociació iònica", dita amb les seves paraules, com diu a (11) "canvi de característiques de la dissolució que no era elèctrica". Aquest canvi de propietats, si tenim en compte el que diu sobre la reacció entre el nitrat de coure i el ferro, sembla que es produeix per la "associació" i "desassociació" entre les substàncies. És arriscat generalitzar-ho perquè ell només parla del coure i el ferro, però aquesta "desassociació" sembla ser el pont entre les substàncies, el nivell macroscòpic, i els ions, el nivell microscòpic, segons el que diu a la frase (81) "l'àcid atacaria també al clau, ... , també es podria desassociar i formar ions". El que no queda del tot clar és quin és l'agent "desassociador" si utilitzem la seva terminologia. La primera vegada diu (6) l'àcid, ... el que hem utilitzat per desassociar el coure i ..." En llegir aquesta frase, es podria pensar que quan diu àcid, tal com fan altres alumnes, en realitat està pensant en el nitrat de coure, com si la sal quedés impregnada de l'àcid d'origen, però sembla que no, perquè si l'àcid s'utilitza per desassociar el coure ha de ser una substància aliena al coure. Però després l'àcid ja no és l'agent desassociador, quan diu (81) "l'àcid (NO_3^-) atacaria també el clau, ..., també es podria desassociar i formar ions". Manté fins a l'últim moment en que escriu l'equació iònica, una visió del canvi químic on el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ és l'agent actiu del canvi i el Fe és el material passiu. Però a partir de (82), aproximadament a meitat de l'entrevista, accepta que el Fe "podria formar ions" com un pas previ perquè intervingui en la reacció.

Quan vol explicar la diferència entre Fe substància simple i Fe, substància iònica, ho diu a la seva manera (10) "(el Fe) el del clau està en ell mateix i l'altre està en un altre estat molecular, amb altres substàncies". Estableix espontàniament un relació entre la

presència de ions i el caràcter elèctric i la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Curiosament, és dels pocs alumnes que parla de les propietats elèctriques de les substàncies. No parla de conductivitat però diu (12) "abans de ficar-hi el coure aquesta dissolució no era elèctrica, i (15) aquesta dissolució del coure també produeix electricitat".

En resum, la seva visió del nivell iònic malgrat que utilitzi la paraula "desassociar" és química ja que remarca les propietats elèctriques dels ions.

Amb l'ambigüitat expressada a (17) "El Fe ha perdut la seva forma però continua estant", inclou una idea propera a la conservació de l'element. Tot i que en cap moment ha parlat del $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$, en els unitats d'anàlisi (81) i (82) implícitament hi ha l'existència del Fe^{2+} quan diu que "el clau, una vegada rodejat de Cu, també es podria "desassociar" i formar ions".

Explicació global del cicle del Cu

L'explicació general del cicle del Cu és coherent amb el model científicament acceptat del canvi químic expressat en termes iònics. L'alumne dóna només una aproximació a la diferència entre l'element Fe, el Fe (10) "del clau que està en ell mateix" i el ió Fe que "està en un altre estat molecular, amb altres substàncies"; per tant, no podem assegurar que inclogui aquest aspecte en el seu model de canvi químic.

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

L'ordre de les respostes que elabora l'alumne 2, va de la primera, on raona estrictament en termes de les substàncies, a nivell macroscòpic que intervenen en la reacció i passa ràpidament al nivell iònic. Implícitament, en el seu model de canvi químic les substàncies per reaccionar han de passar pel nivell iònic. De fet, acaba escrivint, com per rematar l'entrevista, l'equació iònica del cicle del coure, com per deixar clar que aquest és el millor nivell explicatiu de la reacció química present en l'experiment de l'entrevista.

Ús de la causalitat durant l'entrevista

La primera interrelació raonada en termes causals, a (6) que fa de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, el Cu "desassociat" és una condició prèvia per a la reacció. La segona explicació causal de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ a (81) (82) intenta anar més enllà de l'evidència experimental i passa directament al nivell microscòpic, però sembla que l'objectiu de la reacció sigui la formació dels ions.

Els agents causals que utilitza són tots materials del sistema: l'àcid, el Cu o el Fe. A diferència d'altres entrevistes, com les dels alumnes 36, 44 i 59 que utilitzen agents externs al sistema estrictes de materials com l'escalfor o la temperatura.

En total, l'alumne 2 utilitza 3 estructures causals simples i una cadena causal simple explícita en la única resposta que dona una visió del canvi químic entès com a procés.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumne 8

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumne 8 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(00) el del clau que ficaves dintre un líquid, s'anava recobrint de coure i (01) després canviaves el líquid i tomava a estar al mateix estat, es dissolia el coure (2) molècules d'aigua amb hidrogen (3) la reacció (del clau) amb uns líquids determinats, es transformava en una cosa el clau i després tomava a ser com abans	empírics
U1/U2 què canvia	(7) "(el Fe) canvia una mica" (11) "(la diferència entre el Cu i el Cu^{2+}) és que aquest està en estat líquid, l'altre en estat sòlid" (13) "ha canviat la composició, el compost perquè se li ha afegit el coure" (14) "ha disminuït el ferro i ha augmentat el coure" (15) "el ferro s'ha unit amb el coure, com la fórmula coure + ferro, òxid de ferro" (35) "un cop fico el clau de Fe (dins la solució), surt el ferro i va perdent ferro, el coure es mou, es diposita dins el nítric, sobre el clau" (36) "un moviment de coure cap a l'àcid, i un cop el ferro dintre l'àcid, el coure cap al ferro")	canvi físic propietats

U3 què es conserva	(6) "el sòlid" (17) "l'estat de líquid a sòlid"	no
U4 nivell d'expli- cació	(7) (11) (13) (14)	macroscòpica
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat	(00) (01) (10) "amb l'escalfador i la reacció massa alta, (el clau) acabaria ple de Cu" (13) (14) (33) "quan tiro el coure a l'àcid, una part es disposa dins l'àcid, però un part, el nítric la dissolt perquè és comosiu i de la solució queda coure més àcid nítric" (35)	6 estructures causals simples i una de complexa

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(00)	<ul style="list-style-type: none"> • clau → ficar • líquid * recobert ◦ Cu 	clau → líquid → Cu	→ ◦ ◦	(I) Qualsevol canvi implica un canvi d'estat (A) Recobrir el clau de Cu no implica que reaccioni amb el Fe del clau
(01)	<ul style="list-style-type: none"> • clau → canviar • (altre) líquid → tornar * estat • Cu 	clau clau (altre) → → líquid Cu dissolia	→ (••) •	(A) Dissoldre el Cu no està clar si és un canvi físic o canvi químic
(10)	<ul style="list-style-type: none"> • clau • escalfador • reacció * massa alta • Cu(NO₃)₂ ◦ Cu 	escal- fador → Fe, Cu(NO ₃) ₂ reacció massa alta → Cu	→ (•, •) ◦	(A) Que el clau acabi ple de Cu no se sap si vol dir que s'ha desplaçat físicament el Cu pel Fe, ja que diu que canvia una mica però no li passa res (A) "el Fe s'ha conservat una mica, però ha de perdre", "es conserva l'estat de líquid a sòlid, però ..."

U1 (13) (14)	<ul style="list-style-type: none"> • Fe * compost • Cu * disminució * augment 	<p style="text-align: center;">canvi compost</p> <p>Fe → Cu →</p> <p style="text-align: center;">disminució Fe augment Cu</p>	<p style="text-align: center;">→ • *</p> <p style="text-align: center;">→ • *</p> <p style="text-align: center;">→ • *</p>	(A) Varien les quantitats respectives de cada substància però no podem afirmar que hi vegi una reacció química
(33) (34)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu • HNO₃ → tirar * dissolt ◦ Cu + àcid 	<p>Cu → àcid → dissolt</p> <p>àcid → Cu → Cu + àcid</p>	<p style="text-align: center;">→ • *</p> <p style="text-align: center;">→ • ◦</p>	(E) Utilitza una explicació causal macroscòpica d'interacció de les substàncies per explicar la 1ª part del cicle del Cu
(35)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu + àcid • Fe * es perd * moviment ◦ Cu • àcid nítric (NO₃) 	<p style="text-align: center;">moviment</p> <p>Fe → (Cu + àcid) → #</p> <p style="text-align: center;">es perd</p> <p>→ Cu²⁺ → Cu diposita</p>	<p style="text-align: center;">→ • *</p> <p style="text-align: center;">→ • #</p> <p style="text-align: center;">→ • *</p> <p style="text-align: center;">→ • ◦</p>	(I) No distingeix entre el Cu element i el Cu ²⁺ (E) "El Cu es mou, s'ha mogut, s'ha estat tota l'estona en moviment" (AP) Continua utilitzant l'explicació causal macroscòpica incompleta per explicar la 2ª part del cicle del Cu ja que no és capaç de reconèixer els productes finals de la reacció: Fe(NO ₃) ₂ + Cu (A) "Això és a part de la reacció aquesta d'oxidació - reducció"

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumne 8

L'entrevista amb l'alumne 8 és una de les més llargues i no sempre s'ha pogut mantenir la comunicació i el consens durant la mateixa.

Exemple de canvi químic

No podem assegurar que aquest alumne hagi construït un fet paradigmàtic del canvi químic, ja que no es capaç de recordar-ne cap. Potser la síntesi de l'aigua o la reacció entre el nitrat de coure i el clau de ferro podrien haver arribat a ser-ho.

Interpretació del fenomen: la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe

L'alumne 8 no reconeix les substàncies, utilitza molt els termes de sòlid, líquid i canvi d'estat. No sembla haver reconegut la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ de color blau, ni tan sols en parla, només en un moment diu a (26) "Cu amb nitrogen, amb NO_3 ". També té dificultats per reconèixer les substàncies per la seva fórmula, no reconeix en el NO_3 el nitrat, li diu en aquesta mateixa frase nitrogen. I no sembla que sigui una manera simplificada de referir-s'hi.

Parla del canvi de propietats, a (6) "s'ha quedat igual el clau, el què passa que ha canviat de color, d'aspecte, però es conserva el mateix clau" que sembla incloure fins (18) "(el canvi de) la composició, la textura, ... , Fe més Cu". No sembla que estigui pensant en una nova substància, excepte al final quan intenta donar una explicació del que vol dir s'oxida. L'entrevistadora pregunta què vol dir canvi de composició, i l'alumne retorna a l'equació química que havia escrit el curs anterior i substitueix automàticament, davant de l'entrevistadora, com si fossin peces del Lego, el coure del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ pel ferro. I diu (26) "el ferro passa al nitrogen (vol dir al nitrat) i queda solament (vol dir sol) el coure sòlid". Aquest és un dels casos en el que no n'hi ha prou en sentir les paraules enregistrades de l'entrevista. Cal recordar la facilitat amb que un símbol, el del Fe és substituït sense cap mena de problema pel del Cu.

No podem saber quina relació estableix entre el nivell macroscòpic i el microscòpic encara que parla molt de líquid, sòlid, molècules, com si tot fos al mateix nivell. Utilitza un conjunt de termes com "conjunt químic, molècula, oxidació, reducció" que semblen resultar-li molt explicatius però no hem aconseguit que comuniqués el seu significat.

El mecanisme de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, en la que no queda clar que es formi una nova substància, l'explica en les frases (35) "Un cop fico el clau, el clau és de ferro, surt el ferro, i el ferro va perdent ferro, el coure es mou, diguem que s'ha dipositat dintre el nítric, s'ha dipositat sobre el clau, s'ha estat en moviment tota l'estona". I afegeix, per especificar el que entén per oxidació- reducció, expressat amb les seves paraules (36) "Jo crec que és això, a part de la reacció d'oxidació- reducció. Un

moviment del coure cap a l'àcid (es refereix a la primera part del cicle del coure), i un cop el ferro dintre l'àcid, el coure al ferro". És evident que el funcionament d'aquest mecanisme, tal com l'explica l'alumne 2, no implica la formació de noves substàncies en cada reacció.

Evolució de l'explicació durant l'entrevista

La primera explicació causal de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe a (10) és macroscòpica, en termes d'interacció de les substàncies, és incompleta ja que no reconeix el productes finals de la reacció: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{Cu}$.

En la segona explicació causal (13) diu "el coure que s'ha afegit" al ferro, però fins a (33), on recorda la primera part del cicle del Cu, la reacció entre el Cu i HNO_3 , un aspecte que no ha sortit en altres entrevistes diu "el nítric dissol el coure, perquè és corrosiu no sé, i de la dissolució queda coure més nítric". No podem estar segurs que "Cu més àcid" sigui $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

L'explicació microscòpica, en termes d'oxidació-reducció no surt fins a la frase (23), (24) "el Fe s'oxida, passa el Cu sobre d'ell" i (25) "es redueix es ficava un altre cop (cal suposar que es torna a ficar en el clau de Fe) i quedava tot Fe", però afegeix al final "o és al revés, ah! es clar, sí que és això".

L'explicació esmentada li resulta suficient fins al final, quan diu a la frase (30) "i la majoria del ferro es queda dissolt amb l'àcid on estava el coure". Quan l'entrevistadora intenta aprofundir en les seves idees, i li pregunta "Per què ha de quedar sempre una mica de ferro?" pensant en el ferro del clau, l'alumne contesta amb una resposta òbvia i amb una ambigüitat científica en la frase (31) "no, si fos ferro pur sempre n'ha de quedar una mica" però fins aquí es manté el consens. Al final, a la frase (31) quan es troba que ja no sap donar una explicació a si desapareixeria tot el ferro del clau, si fos de ferro pur, utilitza el recurs del terme que sembla que ho expliqui tot, quan diu (32) "no sé perquè, és una deducció que hi amibo, de l'estructura".

En resum, podem dir que aquest alumne és un cas paradigmàtic d'alumne que dóna una explicació completa i correcta a nivell macroscòpic però no es correspon amb una explicació a nivell microscòpic. Això queda molt clar quan diu a (42) "Aqui l'intercanvi iònic no "ve a cuento". I quan parla de la única diferència entre la substància simple i la iònica, a (37) "el Cu ... aquest (sòlid) serà més bo (qua el de la dissolució), (38) canviarà la fórmula, (39) un petit canvi o alguna cosa així, (40) aquest és sòlid, aquest passarà a líquid per culpa de l'àcid, (41) aquest és més concentrat, amb l'ajuda de l'àcid. I finalment acaba dient que (42) "de ions no en té ni idea".

Ús de la causalitat

L'alumne 2 construeix sis estructures causals simples i una de complexa, on parla del canvi químic entès com a procés. Els agents causals que utilitza són, en 6 casos, elements del propi sistema: el calor, el Fe, el Cu, l'àcid o un líquid, i només en un cas utilitza un agent causal extern, "l'escalfador".

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 16

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 16 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) "el cicle del Cu es veu un líquid que canvia de color, es torna un altra vegada", (2) "es veu com passa d'un lloc a l'altre"	empíric
U1/U2 què canvia	(7) el nitrat de coure s'ha dissociat i (8) el coure s'ha dipositat sobre el clau (9) s'han trencat les molècules en la reacció (17) "el Cu ha estat present durant tot l'experiment, però al començament es trobava en forma de nitrat de coure, i ara al reaccionar doncs ha solidificat i ha canviat d'estat i ha passa a ser coure, l'element coure".	estructura canvi físic
U3 què es conserva	(11) "si poguéssim recollir l'hidrogen que surt, la massa total seria la mateixa, al començament que al final" (12) "els reactius només que en forma de productes"	Cons 1

U4 nivell d'expli- cació	(7) (9) (16) "(el Cu) s'ha reduït perquè ha passat de tenir estat d'oxidació x a tenir un de zero" (24) "és la mateixa sal dissociada per l'enllaç iònic" (26) "(és una reacció d'intercanvi iònic) perquè s'intercanvien electrons"	microscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat		no

A continuació no desglossem la última categoria d'anàlisi com hem fet en els altres entrevistes perquè l'alumna 16 no utilitza la causalitat durant l'entrevista.

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 16

Exemple crucial de canvi químic

El fet paradigmàtic del canvi químic per aquesta alumna sembla que podria ser el cycle del coure, per tal com comença l'entrevista. Però després al final quan ha d'explicar la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, en termes d'intercanvi iònic, diu a (28) "no sé com explicar-ho ara" i a (29) diu "ho veuria més clar amb una neutralització que no pas amb aquesta. Aquesta és una mica més complicada". Per tant, el cycle del Cu no reuneix una de les condicions per ser un fet paradigmàtic, el de servir d'exemple per altres fenòmens.

Interpretació del fenomen: la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe

Reconeix a (8) "Cu que s'ha dipositat sobre el clau" però parla de la formació del gas H_2 a (11). Ha emmagatzemat la informació del gas que es deprenia en la reacció entre el Cu i HNO_3 , com l'alumna 23. Degut al format de l'entrevista, com que es comença per parlar del què canvia durant la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, l'alumna esmenta la conservació de la massa.

Explica el canvi químic en termes de reactius i productes com les alumnes 23 i 48. Intenta construir una explicació a nivell iònic, parlant de (7) "dissociació" com a (9) "trencament de les molècules en la reacció". Després parla en termes generals de les reaccions redox, però no aconsegueix completar l'explicació a nivell microscòpic i

retorna al "canvi d'estat" per justificar el fet de tornar a obtenir coure al final de les dues reaccions.

Sembla que hagi fet seva la conservació de l'element durant la reacció química, quan diu (17) "el Cu ha estat present durant tot l'experiment, però al començament es trobava en forma de nitrat de coure, i ara al reaccionar doncs ha solidificat i ha canviat d'estat i ha passa a ser coure, l'element coure". Però en realitat ho interpreta com un canvi d'estat.

Oblida l'anterior explicació i es justifica amb un segona explicació: el pas de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ a element Cu "perquè el Cu al reaccionar s'ha solidificat i ha canviat d'estat". Es com si el mecanisme del canvi d'estat fos suficient per explicar el canvi químic. A continuació l'alumna dóna a (20) una explicació inversa de l'acceptada científicament, o com a mínim ambigua quan diu: (20) "A part de canviar de líquid a sòlid, el canvi de fet ha estat perquè ha deixat de ser nitrat de coure, ara que el coure és sòlid perquè els metalls són sòlids". Una vegada més sembla que el canvi de líquid a sòlid és el que explica la reacció, més que el canvi a nivell de les substàncies. En qualsevol cas aquí també domina el determinisme estructural: la reacció funciona així perquè s'obté "Cu que és sòlid perquè els metalls són sòlids".

La pregunta: Què ha canviat entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe? aquí per la tendència a la simplificació del llenguatge oral no ha estat formulada explícitament i ha quedat: Què ha canviat en la reacció entre ... ? Per tant el format de la pregunta pot haver condicionat el fet que l'alumna no parli en cap moment del Fe. Implícitament dóna per suposat que el clau de Fe que s'ha posat dins la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ es manté igual.

Pel que fa a l'explicació a nivell microscòpic, a (22) diu "quan la sal està en dissolució, doncs es separen en ions positius i negatius", és a dir dóna una explicació dominada pel referent iònic, encara que ho relaciona amb el món real, en la mesura que diu que tenen diferents propietats. Parla d'enllaç iònic, com l'agent de la dissociació de la sal. Diu a (24) "és la mateixa sal dissociada per l'enllaç iònic" A continuació confirma

amb l'exemple del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ l'explicació general iònica anterior, però no arriba a explicar a nivell microscòpic la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. S'acaba l'entrevista sense que l'alumna 16 ni tant sols hagi esmentat el Fe, com si no hagués intervingut per res en la reacció. Té una visió del fenomen absolutament unidireccional, és com si no existís tot i que l'ha agafat amb les seves mans durant l'experiment.

En resum, no aconsegueix superar una primera explicació formulada en termes tant generals que no li permeten fer una explicació detallada del que succeeix en la reacció. L'únic moment en que s'acosta a una explicació més completa és quan diu a (7) "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ s'ha dissociat i el Cu s'ha dipositat en el clau". Sap donar una explicació correcta en termes exclusivament teòrics del model científic del que observa experimentalment però després no es capaç de justificar aquesta primera explicació en relació a tots els altres elements del model científic, com per exemple, la formació d'una nova substància

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

No podem afirmar que l'explicació del canvi químic de l'alumna 16 evolucioni durant l'entrevista perquè té un model de canvi químic molt feble que només li permet donar respostes puntuals. No domina una majoria d'elements del submodel redox com perquè pugui donar una explicació mínimament coherent.

Ús d'analogies

No s'observa l'ús d'analogies durant l'entrevista per part de l'alumna 16.

Ús de la causalitat

L'alumna 16 no construeix cap estructura causal, excepte algunes afirmacions que són més descripcions parcials del model científic apreses de memòria que no pas explicacions pròpies.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 23

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 23 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) cicle del coure (2) es tornava blau, (3) es desprenia el coure que hi havia en el ferro, (4) sortia hidrogen	empíric
U1/U2 què canvia	(9) "el clau s'ha recobert del coure que hi havia a la dissolució principal" (16) "és com si el ferro hagués captat el coure de la dissolució" (21) "les partícules de coure s'han ajuntat per recobrir el ferro" (23) "en els reactius tenim l'àcid i el coure, i en els productes tenim el ferro i el coure"	substàncies
U3 què es conserva	(13) "el coure es conserva, aquesta paraula de conserva no m'agrada molt" (26) "quan es trenca una molècula, de un compost, es trenca en diversos elements. Aquests elements perden part dels seus electrons i llavors es formen ions, ..."	concepte operatiu d'element
U4 nivell d'explicació	(9) (16) (18) (21) (23)	macro/micro
U5 ús analogia	(18) "en el Cu de la dissolució, les partícules aquí estan barrejades amb les de l'àcid, ... és com una dissolució homogènia, però en el Cu, no, les partícules de coure s'han ajuntat per recobrir el ferro"	analogia amb una dissolució
U6 ús causalitat		no

A continuació no desglossem la última categoria d'anàlisi perquè l'alumne 23 no ha construït estructures causals durant l'entrevista.

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 23

Exemple crucial del canvi químic

L'exemple paradigmàtic per als alumnes 1, 16 i 23 que van ser els tres primers entrevistats és el cicle del coure, de paraula. Es van influir els uns als altres perquè estaven en un mateix despatx i van sentir el que deia l'alumne 1. Les altres dues alumnes van estar d'acord amb l'exemple proposat per l'alumne 1: el cicle del

coure, i l'alumne 23 remarca en concret, "teníem nitrat de coure, dissolució blava, d'un color bonic i ..." . I no van esmentar-ne un altre de diferent. Podria ser que indiquessin aquest exemple per comoditat, ja que l'havia proposat l'alumne 1, però l'alumna 23 no sap explicar-lo.

Pel que fa a les dificultats per interpretar el canvi químic l'alumna 23 sembla tenir clares les dificultats que poden plantejar els aspectes fenomenològics quan diu a (7) "l'aspecte físic despista molt". Diu que el canvi químic (5) és un concepte molt abstracte i (8) cal veure'l, la seva pròpia experiència, com passa d'una reacció a una altra

Interpretació del fenomen: el cicle del coure

L'alumna 23 no reconeix les substàncies, igual com ha succeït en altres entrevistes. Li diu "àcid" al nitrat de coure. I ha emmagatzemat la informació corresponent al gas que es desprèn en la primera reacció del cicle del coure: $\text{Cu} + 4 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ de manera errònia i diu que a la reacció entre $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe (4) "sorta hidrogen".

En l'explicació que dóna del cicle del Cu té dificultats per connectar alguns aspectes de la realitat amb determinats axiomes del model teòric. En concret, quan diu a (13) "el Cu es conserva, aquesta paraula de conservar no m'agrada molt ..." pot ser una manera de manifestar la dificultat de conjuguar un axioma del model teòric, la conservació de la massa, amb la realitat que està observant i no sap interpretar en funció d'aquest axioma. Després sembla tenir dificultats en explicar com es comporten les substàncies durant la reacció ja que no té el concepte formal de ió.

Pel que fa a l'explicació a nivell microscòpic, utilitza correctament el concepte d'element, al menys en l'aspecte operatiu. Diu a (14) "... (el Cu) aquí és en dissolució, amb l'àcid forma una substància nova que no és àcid solament sinó que porta el Cu dissolt. El Cu el recobreix (al Fe), és a dir el Cu que estava en dissolució, a dins, l'ha cedit en reacció amb l'àcid aquest, ...". Amb una visió restrictiva de les molècules que només estan formades per dos elements. Diu a (26) "quan es trenca una molècula, de un compost, es trenca en diversos elements. Aquests elements perden part dels seus electrons i llavors es formen ions, ...

L'alumna 23 raona en termes de reactius i productes, com les alumnes 16 i 48. I a continuació parla de partícules i acaba referint-se al nivell microscòpic. Per tant manté una visió equilibrada entre l'explicació a nivell macroscòpic i el nivell microscòpic.

El mecanisme de la reacció química sembla que ha de passar per un estat intermedi on les substàncies es trenquen i formen ions. Ho podem deduir del que diu quan se li pregunta, ja que ella no n'ha parlat en tota l'entrevista, si creu que intervenen ions en la reacció que acabem de fer. Respon "en el cas del Cu quan està dins de l'àcid, s'ha de trencar per poder-se anar amb el Fe".

Ús d'analogies

A (18) quan intenta donar una explicació a nivell microscòpic de la reacció fa un paral·lelisme amb una dissolució i diu: "(el Cu del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ és en dissolució, les partícules estan barrejades amb les de l'àcid, no es veuen a simple vista tampoc, ..., és com una dissolució homogènia, però en el Cu_s . Les partícules de coure diguem ja s'han ajuntat per recobrir el ferro".

Ús de la causalitat durant l'entrevista

L'alumna 23 no utilitza el raonament causal en cap moment de l'entrevista.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 29

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 29 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
UO exemples	tubs d'oxidació (sic), (0) posaves el tub de coure amb aigua, després ficaves un reactiu i s'oxidava i veies com sortia tot allò (01) aspirina, (02) oxidacions, el filferro de coure, (03) el ficaves allà i començava a desfer-se	empírics

U1/U2 què canvia	(3) "el que passa es que (el Fe) es recobreix de l'òxid, de la substància que hi havia dissolta al líquid, (20) diu "l'àcid nítric surt com un gas, és el gas que surt quan escalfem" (8) "el Cu que hi havia dissolt" (9) "el Cu que es diposita s'ha cristal·litzat, solidificat quan puguem la temperatura i va recobrint el ferro"	canvi físic
U3 què es conserva	(2) "part del ferro i el nítrat és clar, una mica"	no
U4 nivell d'explica ció	(3) (6) "una part (del clau) es deu haver desfet" (8) (9) (20)	macroscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat	(7) "desapareixeria el (Cu ²⁺) que s'ha dipositat sobre el clau", (9) (10) "composició del clau perquè s'afegeix una substància, varia la mida, (11) "varia la mida i es va desfent" (12) "ha sortit un gas de quan ha començat a bullir el líquid" (13) "(variar la composició vol dir) l'òxid s'ha afegit al clau, el Cu que estava dissolt en el líquid"	7 estructures causals simples, 1 cadena causal explícita

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructu ra sim- bòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(0)	• tub Cu • reactiu * oxidava	reactiu → tub → oxidava Cu	→ • *	
(03)	• Cu → ficar • filferro * desfent	filferro → Cu → desfent	→ • *	(E) Un exemple d'oxidació és el del Cu, ficaves el filferro allà i es desfeia
(3)	• Fe * recobreix • Cu(NO ₃) ₂	es recobreix ← Fe ← Cu(NO ₃) ₂	* • ←	(A) No indica els productes de la reacció
(7)	• clau * dipositat • Cu ²⁺	dipositat ← clau ← Cu ²⁺	* • ←	(A) No es concreta com es produeix la reacció entre les dues substàncies perquè només parla de Cu ²⁺ (I) El Cu dissolt és Cu ²⁺

(9)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu²⁺ * solidifica * cristal·litza • T * recobreix • Fe 	<p style="text-align: center;">T → Cu²⁺ → solidifica cristal·litza (procés)</p> <p style="text-align: center;">→ Fe → recobreix</p>	<ul style="list-style-type: none"> • → • * # → • * 	<p>(E) Cadena causal explícita</p> <p>(A) no queda clar si solidificar i cristal·litzar són sinònims</p> <p>(E) La diferència entre el ió Cu²⁺ i el Cu_(s) s'explica per un canvi físic</p>
(10) (11)	<ul style="list-style-type: none"> * composició • clau → afegir • substància * mida * desfent 	<p style="text-align: center;">subst. → clau → varia comp. mida desfà</p>	<ul style="list-style-type: none"> • → • * • 	<p>(E) el clau té el Cu que hem afegit i part del material del clau del començament</p> <p>(I) Una reacció química és afegir una substància</p>
(12)	<ul style="list-style-type: none"> • gas * ebullició • líquid 	<p style="text-align: center;">subst. → clau → gas líquid ebullició</p>	<ul style="list-style-type: none"> • → • • 	<p>(E) Identifica un gas que no es forma en la reacció</p> <p>Convenció àmplia: esdeveniment sense incidència en la construcció del model</p>
(13)	<ul style="list-style-type: none"> * composició • clau → afegir • òxid • Cu²⁺ * afegit 	<p style="text-align: center;">subst. → clau → òxid Cu²⁺</p>	<ul style="list-style-type: none"> • → • • 	<p>(I) El Cu dissolt és Cu²⁺</p> <p>(A) El clau té l'òxid, el Cu dissolt en el líquid</p> <p>(AP) Consolida el primer model teòric i explícita que tots dos reaccionen</p>

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 29

Exemple de canvi químic

L'alumna 29 no té un exemple paradigmàtic del canvi químic. Esmenta les oxidacions que diu ella "són les primeres que em penso". Tal com succeeix amb l'alumna 41, l'oxidació és l'exemple recurrent per l'alumnat que no sap donar una explicació al fenomen que se li presenta. Pel que diu després en la interpretació del cicle del coure, l'oxidació és l'exemple analògic de canvi químic al qual recorre habitualment.

En la manera com recorda els exemples de canvi químic coincidim amb el que planteja Brosnan (1994) en el sentit que recordar, *remember* en anglès, és diferent de *recall*, etimològicament és l'oposat de *dismember*, per tant vol dir *put together*

again, és a dir, posar junt de nou unes informacions. En aquest cas l'Elena no aconsegueix posar juntes de nou les informacions. Només recorda un dels reactius dels experiments realitzats, l'agent actiu del canvi, per exemple el Cu, i en altres casos, fins i tot assenyala amb precisió l'objecte: l'aspirina i el filferro de coure.

Interpretació del fenomen: el cicle del coure

L'alumna té dificultats per reconèixer les substàncies. Hem de suposar que el que ella anomena "Cu dissolt", tal com deia Newton, és el Cu^{2+} , a tall d'implicít vàlid per tota l'entrevista.

La primera explicació que dona quan se li pregunta: O sigui que el ferro es queda igual? (3) "el que passa es que es recobreix de l'òxid". Fa una identificació de la capa de coure que es diposita sobre el clau amb l'òxid de ferro que es forma normalment en una oxidació. Sembla que fins i tot arriba a utilitzar indistintament les dues paraules "l'òxid" i "el coure (que estava dissolt en el líquid)" perquè quan les diu està pensant en el mateix.

Quan se li pregunta: I si rasquéssim el coure que podríem veure? torna a dir (5) "L'òxid, no, una pols, ... No obstant més endavant, quan se li pregunta que s'ha dipositat a sobre del clau? Respon: (8) "És el coure que hi havia dissolt". En aquest cas hi ha una desconexió entre el coneixement teòric i el coneixement factual. Sap que teníem una dissolució d'una sal de coure, per tant era previsible que es diposités coure, tal com diu a (8). Però el seu exemple analògic "el ferro normalment s'oxida" interfereix i això fa que el Cu dipositat hagi de ser al mateix temps, l'òxid de ferro. Això és el que diu a (3) i a (5).

Finalment, en la reacció feta durant l'entrevista, entre el nitrat de coure i el Fe, com que escalfem la dissolució de nitrat de coure, ho interpreta com una ebullició, dient a (12) "ha sortit un gas, suposo de quan ha començat a bullir el líquid". I a (20) diu "l'àcid nítric surt com un gas, és el gas que surt quan escalfem". La idea que el despreniment d'un gas és l'evidència experimental del canvi químic també la suggereix l'alumna

La primera explicació causal del cycle del Cu raona en termes macroscòpics no interactius, on el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ és l'agent actiu del canvi. Després modifica la primera explicació causal macroscòpica incorporant el Fe com l'altre agent interactiu del canvi però sense concretar com es produeix la interacció. No pot construir una segona explicació causal a nivell microscòpic perquè l'explica en termes físics i no raona en termes atòmics ni iònics.

Per cada pregunta que se li fa, per cada part del fenomen té una interpretació *ad hoc*. No dóna una interpretació global del fenomen que sigui coherent, és a dir en la seva visió del fenomen químics cada element: el gas que es forma, o el Cu que es diposita, té una raó individual per produir-se que no cal que estigui relacionada amb altres.

L'alumna 29 no es refereix al nivell microscòpic. Fins i tot quan se li pregunta què vol dir redox, respon a (15) "que un capta oxígens de l'altre", (17) "de les dues substàncies que reaccionen, una capta els oxígens i l'altre cedeix". La seva visió del canvi, inclosa l'oxidació- reducció és fonamentalment mecànica, una substància dóna i l'altra agafa. En qualsevol cas no sembla que acabi de ser important si són oxígens o electrons, tal com diu a (15) i (16): "quan un capta oxígens de l'altre, és una reacció amb oxigen i un dels reactius, de les dues substàncies que reaccionen, capten els oxígens i l'altre cedeix. Un cedeix que és el que es redueix i l'altre s'oxida que és el que capta oxígens, protons? no, oxígens".

Al final de l'entrevista, quan se li pregunta explícitament per l'explicació iònica, l'alumne 29 parla del filferro, del coure diluït i de l'àcid nítric que surt com un gas, i afegeix al final (21) "com no sigui això no sé pas què volen dir". En definitiva, al nivell microscòpic no és un dels elements del seu model de canvi químic.

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

En un primer moment, quan parla dels exemples de canvi químic, l'alumna 29 només fa referència a aspectes fenomenològics, entre els quals sobresurt

l'oxidació. En la interpretació del cicle del coure dóna una primera explicació on parla de que (6) "una part (del clau) es deu haver desfet" que és l'agent passiu del canvi. Aquesta interpretació pot estar molt condicionada per la pregunta i considerarem que pot ser ignorada, aplicant la convenció àmplia dels comportaments breus i poc intensos.

Després dóna una altra explicació quan diu a (9): "el Cu que es diposita s'ha cristal·litzat, solidificat". I a continuació diu (13) "hem afegit una substància, el clau té l'òxid que se l'hi ha afegit". Aquest òxid que se li ha afegit al clau, és (14) "el coure aquest que estava dissolt en el líquid". Aquesta explicació implica que no hi ha continuïtat de la substància, perquè diu a (10) "ha canviat el material, la composició", "hem afegit una altra substància i ara el clau té el que hem afegit i una part del material que tenia al començament". Finalment, acaba dient (140) "tots dos reaccionen".

En resum, no podem dir que hi hagi evolució de l'explicació del fenomen sinó que l'alumna 29 es caracteritza per la coexistència de diferents tipus d'explicacions d'un mateix canvi.

Ús d'analogies

Quan se li demana una analogia per la reacció, diu en un primer moment "oxidació", seguint amb el seu exemple analògic, però a continuació parla de "redox", però no en l'accepció científica del concepte, sinó com una prolongació de l'oxidació perquè (16) "una redox és una reacció amb oxigen, on (17) un capta oxigen i l'altre cedeix, i (18) el que cedeix és el que es redueix".

Ús de la causalitat

L'alumna 29 fa un ús bastant potent de la causalitat com a sistema de raonament. Construeix 7 estructures causals simples i una cadena causal explícita on parla del canvi químic entès com a un procés. Els agents causals en tots els casos, excepte un, són substàncies del sistema que s'està analitzant, com un reactiu, el filferro, el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, el Cu dissolt o una substància sense identificar. La única excepció és la temperatura.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 36

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números d'explicació de la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 36 que corresponen a cadascuna d'elles.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) "clau en un líquid que es rovellava, perdia el coure", "és una equació redox s'oxida perquè perd electrons, (2) a simple vista no es veu però amb una mica de pràctica sí, (3) les equacions et permeten controlar el que vas fent, et fixes millor "equacions redox" perquè (4) si es descompon en ions, canvia de valència, (5) fer-ho al laboratori permet veure-ho millor i les equacions redox són les millors que han fet	empíric teòric
U1/U2 què canvia	(6) Ha canviat que els ions coure que havia a la dissolució s'han enganxat al clau i s'han associat al coure" (8) "Sí, sí, que hi ha ions coure. S'ha vist perquè el clau s'ha rovellat i per tant ha d'haver ions coure per força" (101) "que haurien els ions de ferro per posar-se als ions de coure" (102) "els ions (de Fe) quedarien a la dissolució de nitrat de ferro"	estructura
U3 què es conserva	(112) "Alguna cosa s'ha de conservar, perquè hi ha algunes coses que no reaccionen. Per exemple, el sodi no reacciona, els gasos nobles tampoc reaccionen si es mesclen, depèn de l'element que sigui reaccionarà o no", (16) "canvia de valència, o sigui s'oxida..." és a dir (18) "(els ions Cu) passa a ser coure sòlid, bé, coure en dissolució a coure sòlid i res més".	no
U4 nivell d'explicació	(6) (8) (101) (102)	microscòpic
U5 ús analogia	(1) "rovellar-se" és "perdre el coure", (canvi de valència és) (18) "passar a ser Cu sòlid, bé, Cu en dissolució a Cu sòlid i res més" (19) "deu canviar l'estructura, el que està en dissolució, el nitrat de coure té una forma menys densa, quan passa a ser coure sòlid els àtoms estan més junts". (20) "Es que és com un líquid, ... els àtoms estan més separats, els enllaços són més dèbils que si fossin en un cos sòlid en que els enllaços són més covalents, més forts i es troben més units els àtoms entre ells".	"rovell" simil amb canvi físic

U6 ús causalitat	(1), (111) "Ha d'haver alguns ions (Fe^{2+}) perquè l'imant encara atrau", (15) "el coure està en la dissolució, llavors reaccionarà amb el Fe del clau", (18) (19) "el que està en dissolució, el nitrat de coure té una forma menys densa, quan passa a ser coure sòlid els àtoms estan més junts", (21) "un cos sòlid en que els enllaços són covalents, més forts i es troben més units els àtoms entre ells" i (22) "el Cu que està en la dissolució i que es posa al voltant del clau ha de ser el mateix, sinó no".	1 estructura causal simple, 4 estructures causals complexes i 1 cadena causal complexa
------------------------	--	--

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(1)	<ul style="list-style-type: none"> • clau • líquid * rovellava • Cu 	<p style="text-align: right;">rovellava</p> líquid → clau → <p style="text-align: right;">Cu</p>	* → • •	(I) El clau és coure (E) Rovellar-se és "perdre" el coure
(111)	<ul style="list-style-type: none"> • Fe^{2+} * conservat • imant * atracció mag. 	imant → Fe^{2+} → atracció	→ • *	(E) El Fe^{2+} no ha canviat i es detecta per l'atracció de l'imant
(15)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu^{2+} • dis. $Cu(NO_3)_2$ • Fe ◦ Cu 	escalfor → $Cu^{2+}, NO_3^-, Fe \rightarrow \# Cu$	→ (•, •, •) # ◦	(A) "El coure es conserva" és una resposta obligada pel tipus de pregunta
(18) (19)	<ul style="list-style-type: none"> • Cu^{2+} ◦ Cu * sòlid * canvi valència * canvi estruct. * menys dens • àtoms * més junts 	escalfor → $Cu^{2+}, NO_3^-, Fe \rightarrow \# Cu$ sòlid canvi valència canvi estructura menys dens àtoms més junts	→ (•, •, •) # ◦ * → ◦ * * *	(AP) Abans només havia parlat de canvi de valència, ara diu que tomem a obtenir Cu perquè canvia l'estructura: el nitrat de coure té una forma menys densa, en el coure sòlid els àtoms estan més junts.
(21)	<ul style="list-style-type: none"> • àtoms * més junts • sòlid • enllaç 	enllaços àtoms sòlid → → covalents + units	• * → • • *	(AP) Manté l'explicació causal basada en l'analogia del canvi d'estat d'agregació de sòlid a líquid per explicar el canvi de valència

(22)	*conservació • Cu • dissol. Cu ²⁺ * dipositat	Cu ²⁺ ← conservació Cu dipositat	• ← • ←	(AP) El coure que està a la dissolució i que es posa a la volta del clau ha de ser el mateix
------	---	---	------------	--

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 36

Exemple crucial del canvi químic

L'exemple crucial del canvi químic per a l'alumna 36 sembla ser "el clau que es rovella". Quan intenta explicar la reacció entre el nitrat de coure i el ferro solapa els dos fets, raona amb la idea que tots els claus s'han de rovellar, i identifica l'experiment com (1) "el clau que es rovellava, perdia el coure i això".

Quan parla de les dificultats per reconèixer un canvi químic diu "que a simple vista no es veu, però amb una mica de pràctica, veient les equacions vas controlant el que vas fent", "ho descompones en ions, ho poses millor, pot dir: aquí ha canviat de valència i aquí no". L'alumna reconeix la importància de la manipulació experimental quan diu: "si ho veus t'ho creus millor que si et diuen fes això perquè així es fa".

En les seves respostes, l'alumna salta entre els conceptes molt ràpidament, en dues línies parla de "rovellar, oxidar i equacions redox". No hi ha una progressió ordenada, en l'ús dels conceptes ni en la construcció de les explicacions.

Interpretació del fenomen: el cicle del coure

L'exemple crucial del canvi químic "el clau que es rovella" condiciona la seva resposta quan diu a (8) que el coure que es diposita sobre el Fe és "el clau rovellat".

La primera explicació que construeix l'alumna és en termes iònics: només actua el Cu com agent actiu del canvi químic. Diu a (6) "El ions de coure que hi havia a la dissolució, s'han enganxat al clau i s'han associat al Cu", barrejant el nivell macroscòpic i el microscòpic. Més endavant diu (9) "La diferència entre el Cu i el Cu²⁺ és la valència". Quan recupera el fet que el clau és de Fe, l'alumna 36 interpreta correctament la intervenció del Fe i intenta completar l'explicació iònica a (101),

quan està parlant del Fe i passa directament a parlar "dels ions Fe, separant-se, que hauria menys dels que havia inicialment. El clau de ferro es desferia perdria les qualitats". Més endavant a (18) diu explícitament que canvi de valència vol dir "passar a ser Cu sòlid, bé, Cu en dissolució a Cu sòlid i res més".

Pel que fa als aspectes conservatius del canvi químic, l'alumna 36 identifica en un primer moment "conservar" amb "no reaccionar" tal com havia fet quan va fer l'experiment el curs anterior. Diu (112) "Alguna cosa s'ha de conservar, perquè hi ha algunes coses que no reaccionen. Per exemple, el sodi no reacciona, els gasos nobles tampoc reaccionen si es mesclen, depèn de l'element que sigui reaccionarà o no". Aquesta és la única oportunitat en què utilitza el terme "element".

No arriba a parlar de la conservació de l'element, però raona amb aquesta idea implícita quan intenta justificar la frase (16) "canvia de valència, o sigui s'oxida..." amb la frase (18) "passa a ser coure sòlid, bé coure en dissolució a coure sòlid i res més".

Pel que fa al mecanisme de la reacció química, sembla que s'estableixi una condició prèvia perquè la reacció es produeixi: el pas de l'element, la substància sòlida, on els ions estan tots junts, a substància iònica en dissolució, on els ions estan separats, tal com ha dit a la unitat (6) ja esmentada. I quan respon a la pregunta formulada per l'entrevistadora. ¿Què vol dir que el Fe s'ha desgastat?" diu "Que hi hauria els ions Fe separant-se."

En la interpretació global del cicle del coure, l'alumna raona en termes de conservació de la substància simple coure, quan diu "Sí, el coure, bé el coure conserva, es conserva", en una resposta condicionada per la pregunta.

Evolució de l'explicació durant l'entrevista

L'alumna 36 utilitza la formalització de les equacions redox com a heurístic, sense gestionar correctament el llenguatge iònic. Durant l'entrevista no troba una raó convincent per ella mateixa per explicar l'existència de ions. La frase més

il·lustrativa del conflicte conceptual que té plantejat és la que diu: (8) "Sí, sí, que hi ha ions coure. S'ha vist perquè el clau s'ha rovellat i per tant ha d'haver ions coure per força".

En l'entrevista queda palesa la importància que té el procés d'aprenentatge seguit. L'alumna recorda les equacions redox que acaben de treballar a classe de COU, com "les millors que han fet". A classe no es va recuperar l'experiment del cicle del coure que havien fet els dos cursos anteriors. Per tant, l'elaboració de l'explicació presenta una interferència afegida: vol fer lligar el raonament iònic de les equacions redox amb el rovell del ferro.

En resum podem dir que l'alumna 36 elabora una explicació del fenomen basada en l'exemple de "rovellar-se el ferro" que per ella és l'exemple crucial de canvi químic. Probablement, perquè no ha aconseguit articular els diferents nivells d'explicació del canvi químic que ha anat treballant durant el procés d'aprenentatge. Com que no sap fer-ho continua donant una explicació dual sense més problemes.

Ús d'analogies

L'alumna 36 les utilitza en dues ocasions. Una, per explicar el canvi de valència de l'element al ió, fa una comparació amb el que succeeix en l'estat d'agregació sòlid i líquid respectivament. I una altra per justificar el canvi d'estructura del coure sòlid a el ió coure de la dissolució. Aquesta última situació mereix un comentari ja que barreja dos nivells de raonament: un macroscòpic, quan compara la densitats entre sòlids i líquids, i l'altre microscòpic, quan parla de la fortalesa dels enllaços entre un líquid, el nitrat de coure que és un compost, i un sòlid, el coure.

Ús de la causalitat

Pel que fa a l'ús de la causalitat, l'alumna 36 construeix cinc estructures causals simples i, una cadena causal complexa. En dos d'elles, el canvi químic s'entén com un procés. En les dues estructures on el canvi químic s'entén com a procés, l'agent causal és exterior al sistema, l'escalfor. Els altres dos agents són un substància del propi sistema, el líquid i un imant.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 41

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i el número d'explicació de la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 41 que corresponen a cadascuna d'elles.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) el del coure que s'oxidava (2) evaporar aigua (14) "hi havia no sé què (dissolució?) de clor i sodi, i el coure era negatiu i el sodi positiu i el clor s'anava cap a l'electrode positiu i el sodi cap; això era l'electròlisi"	empírics
U1/U2 què canvia	(3) el color del clau perquè s'ha oxidat (4) "a l'afegir calor, en l'oxidació (el clau) ha guanyat electrons" (16) "jo sobretot em fixo en l'estat"	propietats
U3 què es conserva	(12) "les propietats" (13) "la massa s'ha conservat igual"	Cons 1
U4 nivell d'explicació	(3) (4) (16)	macroscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat	(4) (71) "(amb la calor, si rasquessis el clau hi hauria menys Fe) perquè al oxidar-se fa canviar la seva reacció química"	2 estructures causals simples

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(4) (5)	• clau * oxidat → afegir → calor. oxidació → guanyar • electrons	→ oxidat calor → clau → +electrons	→ *	(I) El $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ no ha reaccionat perquè es veu igual (A) L'oxidació tant pot ser guanyar com perdre e^- . (I) "Guanyar e^- " no correspon a l'accepció científica

(71)	* menys quantitat • Fe * reacció química	calor → Fe →	reacció química menys quantitat	→ *	(E) La reacció química del Fe és una propietat del Fe.
------	--	--------------	--	-----	--

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 41

Exemple de canvi químic

L'alumna esmenta exemples de canvi químic que són empírics. A partir de la descripció i de la referència que fa al final a l'electròlisi, podem afirmar que l'alumna 41 no ha construït un exemple paradigmàtic del canvi químic. Tant parla del "coure que s'oxida" com d'"evaporar aigua".

Interpretació del fenomen: el cicle del coure

La primera explicació només inclou aspectes fenomenològics del canvi com (3) "el color del clau perquè s'ha oxidat" i al final de l'entrevista, hi tornar a insistir dient (16) "jo sobretot em fixo en l'estat". No inclou una visió interactiva del canvi químic, només parla del que li passa al clau.

L'alumna 41 es resisteix a modificar la primera explicació espontània a (72) quan diu "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ no intervé gaire". Després, hi ha una modificació que només és formal perquè diu "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ intervenia una mica bastant, però el canvi (de color) no el veig".

En l'anàlisi de l'explicació del cicle del Cu s'observa el conflicte entre la busca d'una evidència experimental del canvi químic, el canvi de color, i l'explicació teòrica a nivell d'electrons, per tal d'arribar a una visió interactiva del canvi químic. Les ambigüitats que provoca aquest intent de donar coherència als dos nivells d'explicació s'han manifestat al llarg de l'entrevista.

Quan l'entrevistadora li planteja preguntes per saber quina visió té del canvi, és a dir si el nitrat de coure intervé o no en la reacció, és interessant seguir les

explicacions per veure l'evolució de l'alumna, des de la posició inicial de no intervenció del nitrat de coure:

Diu a (5) "(el Fe) ha guanyat electrons amb la calor", i després a (6) "(no li ha passat res) al $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, jo el veig igual, pot ser ...", i a (8) "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, em sembla que no intervé gaire". Quan l'entrevistadora pregunta: O sigui que els electrons que guanya el Fe tenen relació amb els del Cu (dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$)[?], finalment l'alumna diu: (10) "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, $\times \times$ intervenia una mica bastant, però el canvi (de color) no el veig".

Ens interessa remarcar, d'acord amb Montserrat Sánchez (1995), l'origen d'aquests electrons que li permetran donar una explicació del canvi químic, de l'oxidació que ella veu en el clau de ferro. Davant de la manca d'una raó interna per justificar el canvi electrònic, és a dir, com que no troba cap motiu entre les pròpies substàncies reaccionants que es relacioni amb el guany d'electrons, busca un agent extern, la calor. Una vegada més l'acció que realitza durant el canvi, escalfar, com havia passat amb la dissolució en altres casos (Estanya, 1996), interfereix amb la conceptualització del canvi químic

Després quan parla del nivell microscòpic, l'alumna no és capaç de concretar en que consisteix la relació entre els electrons que guanya el Fe i els del Cu, i no nega que el Fe guanyi electrons quan s'oxida, cosa que havia dit en la primera explicació espontània. Simplement afirma (9) "El coure, em sembla, és menys electronegatiu". No podem assegurar que hi hagi una apropiació de l'explicació microscòpica. Caldria aprofundir més en la recerca, però encara que parli d'electrons, i com que tot just acabava d'estudiar les reaccions redox, es guanyen i es perden els electrons de manera totalment mecànica.

L'alumna 41, d'una banda ha dit "que el Fe guanya electrons" enlloc de cedir, cosa que podria ser simplement una substitució involuntària de paraules. Però no sembla que vegi el lligam que hi ha entre aquest model que s'expressa en paraules i la realitat. No podem afirmar que hagi construït el fet corresponent al clau de Fe s'ha

recobert de Cu, simplement fa un joc de paraules utilitzant alguns ingredients del model atòmic de la química.

En quan als aspectes conservatius del canvi químic només identifica la conservació de la massa. Recorda el principi de conservació de la massa, però després no el troba coherent amb l'evidència experimental quan diu "si això (el clau) s'ha fet més petit, llavors també la massa hauria de canviar".

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

En el model teòric de l'alumna 41 coexisteixen una explicació teòrica a nivell d'electrons i la necessitat d'una evidència experimental que esmenta en la primera part de l'entrevista. L'explicació a nivell microscòpic, l'alumna l'utilitza com una etiqueta, sense contingut científic. Durant l'entrevista, l'explicació teòrica del cicle del Cu, guanya a la manca d'una evidència experimental del canvi químic. Però no podem assegurar que en totes les ocasions sigui així. Perquè finalment quan parla de l'electròlisi, només fa referència a l'observació de propietats, quan torna a insistir en que "cal fixar-se en l'estat" per saber si és un canvi químic.

Ens interessa destacar d'aquesta entrevista, com l'alumna va construït una explicació que intenta conjugar l'explicació de la realitat en termes del model atòmic de la química, encara que ho aconsegueix de manera incompleta.

Ús de la causalitat

L'alumna 41 construeix dues estructures causals simples on l'agent causal és la calor que actua en els dos casos sobre el Fe. El fet que no construeixi cap estructura causal relacionada amb el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ pot tenir relació amb la seva dificultat per veure la seva participació i donar una visió interactiva del canvi químic.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumna 44

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i el número d'explicació de la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 44 que corresponen a cadascuna d'elles.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(01) "cremes paper i tens cendres, tens els mateixos compostos i (02) tens el mateix paper al cremar-lo", (03) "evaporar aigua perquè el vapor és el mateix component més aigua, (04) partícules més disperses" i (5) sempre que veig qualsevol canvi penso que és un canvi químic	empíric
U1/U2 què canvia	(7) el coure s'ha rovellat i (81) l'escalfor, (el nitrat de coure) ha arribat al punt d'ebullició i al bullir doncs ha fet que el clau es rovellés, ... (82) ha fet que reaccionés amb el ferro, fent que es rovellés i ... nitrat de ferro".	substàncies
U3 què es conserva	(27) "es conserva alguna propietat", i a (30) "els elements que formen, per exemple, el nitrat de coure i el ferro sempre estan, l'únic que canviats, però es conserven", (33) "no (podem dir que sempre es conserven els elements)" i (34) "segons la reacció d'uns elements farà que, aquests elements facin que d'altres canvien del tot, es transformin, en quan que uns altres faran que no es deixin transformar"	Cons 2 no consistent
U4 nivell d'explicació	(16) "el ferro sol no pot", (17) "els àtoms del coure, han hagut de fer alguna cosa en els àtoms de ferro", (25) "els àtoms de nitrat de coure i de ferro, a l'escalfar-se fa que es moguin més, ni que es dilatin tampoc, però que hi hagi aquest moviment, ... reaccionen fent la substància"	microscòpic
U5 ús analogia	(7) i (8) per explicar el mecanisme de la reacció: (18) "amb l'escalfor doncs, alguns àtoms de ferro, no es que surtin del ferro, sinó que reaccionen, no sé com explicar-ho. M'ho imagino amb dibuixos ... (22) el conjunt fa la superfície del ferro, el rovell".	"rovell" com a sembl de les gotes en la superfície d'un líquid en evaporació
U6 ús causalitat	(1) "quan encens un paper, al principi tens el paper i després són les cendres" (3) "l'aigua, si l'escalfem, s'evapora. És el mateix component més aigua. Les partícules estan més disperses", (81), (82), (10) "la superfície del clau s'ha rovellat i al escalfar-se, el ferro no està tant sòlid i llavors ha format una capa que si la traiem el seu volum seria menor", (12) "(el ferro es rovella i escalfor fa que) uns àtoms del Fe s'alliberen i els altres es queden", (13) "àtoms de nitrat de coure reaccionen amb els de Fe, llavors suposo que unint-se doncs fan la superfície (el rovell)", (18), (25), (35), (36) "la cendra és paper, però cremat, no es conserva (l'element)", "com és sòlid igualment, l'únic en proporció més petita, ... serà el mateix element però potser s'ha transformat, o sigui que si miréssim globalment no hauria menys paper sinó que hauria una altra cosa ..."	7 estructures causals simples i 3 cadenes causals simples explícites, en 3 d'elles utilitza el canvi químic entès com un procés que s'indica pel signe #

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(01)	• foc • paper ◦ cendres	foc → paper → cendres	→ . ◦	(A) "Després de cremar tens el mateix paper"
(03) (04)	• aigua • escalfor ◦ vapor ◦ gas • partícules * disperses	escalfor → aigua → vapor aigua gas	→ . .	(A) "El vapor és el mateix component més aigua" (A) "Qualsevol canvi és químic. ... però no"
(81) (82)	• escalfor • $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ * punt ebul. ◦ Fe * rovellat ◦ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	escalfor → $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ → pt eb. Fe → rovellat (procés) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	→ . * * → * # ◦	(I) Cadena causal explícita (A) "El clau s'ha rovellat" però no sap explicar què és el Fe rovellat (E) "El $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ha bullit i això ha fet que ha reaccionat amb el ferro". El canvi d'estat del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ és l'agent de la reacció
(10)	• escalfor • Fe * menys sòlid • capa rovell * volum • clau	escalfor → Fe --> menys sòlid menys volum --> capa rovell	→ . * •	(E) I al rascar suposa que no hi hauria la mateixa quantitat de ferro (A) El raonament macroscòpic en termes de la formació del rovell és un intent de completar l'explicació del canvi químic
(12)	• àtoms Fe * alliberats * continuen • rovell	escalfor → àtoms Fe → alliberats continuen	→ . * •	L'intent d'explicació del rovell a nivell atòmic no li permet avançar en el raonament
(13)	• àtoms $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ • àtoms Fe ◦ rovell	escalfor → àt. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, àt. Fe e --> rovell	→ (. .) # .	(A) No sap què és el rovell. Continua intentant elaborar una explicació del canvi químic a nivell atòmic

<p>(18) (22)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • escalfor • líquid • àtoms $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ • clau • Fe * surten # reaccionen o rovell 	<p>escalfor → àt Fe, àt $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$</p> <p>↳ surten → reacc. → rovell (procés)</p>	<p>→ (,.) *</p> <p>↳ # o</p>	<p>(I) Cadena causal explícita (E) Els àtoms del Fe sortirien del clau i es quedarien pel líquid $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. S'ajuntarien i reaccionarien. Si surt i no ve un altre es torna. S'ajuda amb un dibuix per explicar les dues situacions</p>
<p>(25)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • escalfor • clau Fe • $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ * àtoms Fe * moviment * dilatació • substància 	<p>escalfor → $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ → bull</p> <p>↳ Fe → àt. Fe → reacc. → subst.</p> <p>moviment</p>	<p>→ . *</p> <p>↳ *</p> <p># o</p>	<p>Repeteix la mateixa descripció funcional que havia utilitzat a (81): l'escalfor fa bullir el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i fa reaccionar els àtoms de Cu amb els de Fe.</p>
<p>(35) (36)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • element • paper * canviat • cendres • sòlid * menys prop. 	<p>calor → paper → cendres</p> <p>sòlid</p> <p>→ conservat menys prop. element</p> <p>→ altra subst.</p>	<p>•</p> <p>→ .</p> <p>o</p>	<p>Teachback sobre el primer exemple de canvi químic (E) "La cendra és paper però cremat. Potser el mateix element o potser una altra cosa que no es conserva" (A) Manté l'ambigüitat del primer exemple de l'entrevista</p>

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 44

L'alumna 44 parla amb agilitat i està relaxada durant l'entrevista, malgrat que respon amb inseguretat. No podem assegurar que l'alumna 44 hagi construït un exemple paradigmàtic del canvi químic, ja que quan se li demana un exemple crucial parla tant de "cremar paper" com de "l'evaporació de l'aigua".

El primer exemple que esmenta "cremar paper" l'explica amb una ambigüitat que arrossegirà fins al final de l'entrevista: "Al paper tenies el que és el paper, i després al cremar-lo, doncs, tens el mateix paper però, no sé, ..." I tot seguit fa el símil amb "l'aigua si l'escalfem s'evapora. És el mateix component més aigua, l'únic que en gas".

El problema de les dificultats d'identificació del canvi químic inicialment el resol dient "es que jo sempre que veig qualsevol canvi, penso que és un canvi químic", encara que després matisa que "els de la vida de cada dia no" i dels "de laboratori només o en alguna cosa, però no".

En la segona part de l'entrevista, per a la interpretació de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ no reconeix les substàncies. Durant tota l'entrevista el coure que es diposita sobre el Fe és "coure rovellat" o "rovell". L'alumna 44 es manté en un nivell d'explicació on les paraules "rovell" i "rovellar-se" són explicatives en elles mateixes. La funció del *Teachback* durant l'entrevista ha estat dirigida a aclarir la primera explicació no causal de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, quan l'alumna a (7) ha dit "El Cu s'ha rovellat" fins que ha contestat a (15) "que no sabia exactament què era el rovell".

Evolució de l'explicació del canvi durant l'entrevista

L'agent causal del canvi en la interpretació de la reacció entre el Fe i el nitrat de coure és "(8) l'escalfor, (el nitrat de coure) ha arribat al punt d'ebullició i al bullir doncs ha fet que el clau es rovellés, ... ha fet que reaccionés amb el ferro, fent que es rovellés". I aquest agent és el mateix que li permet evolucionar des d'una primera explicació causal no interactiva de la reacció. El fet de reconèixer que no sap que és el rovell, li fa veure a ella mateixa que és una via d'explicació insuficient.

Quan l'entrevistadora li planteja: Jo el que no acaba d'entendre bé és perquè al començament em deies que el nitrat de coure només havia bullit i ara em dius que el coure s'ha ajuntat amb .. ? En aquest moment l'alumna 44 s'adona de les limitacions de la seva visió del canvi quan diu (16) "el ferro sol no pot", (17) "els àtoms del coure, han hagut de fer alguna cosa en els àtoms de ferro". I torna a entrar en acció l'agent causal del canvi, l'escalfor, a la frase (18) "amb l'escalfor doncs, alguns àtoms de ferro, no es que surtin del ferro, sinó que reaccionen, no sé com explicar-ho. M'ho imagino amb dibuixos". Construeix una segona explicació causal interactiva del canvi químic, ajudant-se d'un dibuix, en termes de reordenació atòmica. Fa el dibuix d'un clau i indica amb

sagetes com surten i entren els àtoms del ferro i reaccionen amb els del líquid, el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, si els troben".

El retorna a l'agent causal del canvi per dir a (25) "al posar l'escalfor, el nitrat de coure bull, llavors fa que s'escalfi el ferro, ... els àtoms del nitrat de coure al trobar un del ferro, doncs reaccionen fent la ...".

La segona explicació causal no inclou la conservació de l'element, per tant podem dir que es tracta d'un model no consistent. Aquest fet s'observa en l'exemple de cremar paper, on dubta sobre si és el mateix element: "el paper cremat, les cendres, com que és sòlid igualment, ... fa pensar que sí que serà el mateix element, però (el que fa pensar que) no, és que potser s'ha transformat".

L'alumna 44 és un exemple de la dificultat d'avançar simultàniament en la construcció d'explicacions causals que donin millors explicacions del canvi químic i siguin equilibrades entre els nivells macroscòpic i microscòpic. Hem vist com a (12) i (13) intentava explicar la formació del rovell del Fe, una explicació errònia de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, a nivell microscòpic. En el moment d'elaborar una explicació a nivell microscòpic fa evolucionar el seu model del canvi químic i raona espontàniament, en termes d'àtoms, en les frases de la (16) a la (26). I explica amb més precisió a (26) "els àtoms a l'escalfar-se fa que es moguin més, ni que es dilatin tampoc, però que hi hagi aquest moviment, ...".

L'alumna 44 utilitza una sola vegada la paraula ió, a la frase (11) diu: "potser a l'intercanvi dels àtoms, dels ions, ... ". A partir d'aquesta frase sempre raonarà en termes d'àtoms on sembla trobar-se més còmode. No fa cap més referència als ions.

En resum podem dir que l'explicació del fenomen que utilitza l'alumna va associada a un canvi de substàncies i a un raonament en termes atòmics. L'explicació del canvi químic construït al final de l'entrevista és incompleta ja que no parla de les substàncies que es formen: el Cu i el $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$. A nivell macroscòpic, l'alumna 44 en té prou en dir "el Cu s'ha rovellat". I a nivell microscòpic, no concreta els

productes que es formen en la reacció. En té prou amb dir que "els àtoms de Fe surten a trobar els de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i reaccionen fent la substància".

Pel que fa als aspectes conservatius del canvi químic es pot seguir perfectament la seva evolució. Primer a (27) diu: "es conserva alguna propietat", i a (30) "els elements que formen, per exemple, el nitrat de coure i el ferro sempre estan, l'únic que canvien, però es conserven". De totes maneres el model teòric del canvi no és consistent en l'aspecte de conservació de l'element ja que a (33) diu "no (podem dir que sempre es conserven els elements)" i a (34) "segons la reacció d'uns elements farà que, aquests elements facin que d'altres canvien del tot, es transformin, en quan que uns altres faran que no es deixin transformar"

Ús d'analogies

Durant tota l'entrevista, l'alumna 44 utilitza el "rovell" com el que hem anomenat una falsa analogia . El fet de parlar del rovell li permet a l'alumna no haver d'identificar si es tracta d'un canvi químic la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$; amb dir que s'ha format el "rovell" el pot per descriure amb les seves paraules.

En el moment de descriure el mecanisme de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, en l'explicació (20) "si aquest és el clau, i aquí tenim (els àtoms) del líquid, doncs aquest sortien cap a fora i llavors es quedarien per aquí, la superfície; aquests s'ajuntarien i així reaccionarien" acompanyada del dibuix, l'alumna 44 només dibuixa sagetes que surten del clau de Fe per indicar els àtoms que es desprenen. Però, diu textualment a (21) parlant de l'àtom del Fe: "a lo millor surt o entra, llavors si surt i no ve un altre, doncs es torna, llavors suposo que forma el conjunt d'aquest, fa la superfície del Fe, del rovell". Per explicar aquest mecanisme de la reacció química fa un símil amb el mecanisme de la dinàmica del vapor d'aigua, on de les gotes en la superfície d'evaporació del líquid, algunes vencen la pressió de vapor i passen a gas, però altres no i tornen a la superfície de l'aigua.

Per si ens quedava algun dubte que aquesta és la seva analogia a (24) diu "Si fiquéssim el clau a lo millor no es rovellaria, però cada un tindria els seus àtoms i no passaria res. Però al posar l'escalfor, l'aigua, ail l'aigua, el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ bull, llavors fa que ...".

Podriem dir que en el model teòric de l'alumna 44 per explicar un canvi químic prèviament cal passar pel mecanisme d'un canvi d'estat.

Ús de la causalitat durant l'entrevista

L'alumna 44 fa un ús bastant potent del raonament causal. Tots els agents que utilitza són del mateix tipus: la calor, l'escalfor o el foc, és a dir, agents externs al sistema de materials que intervenen en el canvi.

Construeix 7 estructures causals simples i 3 cadenes causals simples explícites. En 3 d'elles utilitza el canvi químic entès com un procés que s'indica pel signe corresponent #

Anàlisi de l'entrevista de l'alumna 48

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats en la transcripció de l'entrevista feta a l'alumna 48 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) el clau que el fiques en l'àcid, es veu bastant bé la reacció, el que fa els reactius i els productes, (2) hidròlisi, (3) cremar paper, que és la combustió	empírics
U1/U2 què canvia	(50) "canvia que el coure del dissolvent ha rodejat (el ferro)" (8) (9) "no hi ha la mateixa quantitat de ferro perquè fa bombolles, s'ha després del clau" (15) "el coure de la dissolució, ara està part en el clau"	canvi físic
U3 què es conserva	(5) "l'estat del dissolvent, l'estat del clau" (150) "el ferro es conserva, però en menys quantitat" (17) "l'àcid però en menys quantitat"	no
U4 nivell d'explicació	(50) (8) (9) (15)	macroscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat		no

A continuació no desglossem la última categoria d'anàlisi com hem fet en les altres entrevistes perquè l'alumna 48 no utilitza la causalitat durant l'entrevista.

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumna 48

Exemple de canvi químic

L'alumna 48 no ha construït un fet paradigmàtic del canvi químic, perquè esmenta tres exemples empírics del canvi, però sense raonar perquè la van ajudar a entendre'l, excepte la reacció que ella anomena "del clau que el ficaves" que sembla que li va resultar motivadora però, ni tant sols recorda exactament en què consistia. Crida l'atenció aquesta manera de recordar els experiments associada a l'acció: "el del clau que el ficaves, el clau que ficaves en l'àcid". Podria ser la manera que

correspon al nivell més baix d'elaboració del fenomen ja que només es recorda l'acció que es va portar a terme però no el resultat o el significat de la mateixa.

Interpretació del fenomen: el cicle de Cu

L'alumna té una primera dificultat per reconèixer les substàncies, ja que les anomena de manera diferent. Treballa amb la idea implícita que el nitrat de coure és un dissolvent amb coure, quan diu en la frase (5) "es conserva l'estat del clau però canvia que el coure del dissolvent l'ha rodejat"

La primera resposta que dóna sobre la reacció entre el nitrat de coure i el ferro només identifica la participació d'un dels dos reactius, quan diu (6) "jo crec que sí (que el ferro es queda igual)". A (9) diu que "el ferro ha sortit," i en el cas que la reacció durés molta estona (11) "(el clau) acabaria desapareixent, es quedaria en el dissolvent (en realitat el nitrat de coure o l'anió del nitrat de coure), es quedaria tot barrejat". Aquesta última frase no sembla que vulgui dir que el resultat de la reacció és un barreja sinó més aviat que el ió Fe quedaria en dissolució.

Però després el plantejament de la situació límit, quan se li pregunta: Què passaria si rasquéssim el coure que hi ha sobre el clau de ferro, resulta generadora de noves explicacions més properes a una visió interactiva del canvi químic. Diu que (8) "no (hi hauria la mateixa quantitat de ferro si rasquéssim el coure)" i ho justifica perquè (9) "fa bombolles, s'ha després (un gas) del clau". La idea del gas, com evidència experimental del canvi químic ha estat suggerida per l'alumna 29, però l'alumna 48 l'utilitza en un altre sentit: li fa canviar la idea sobre la intervenció del ferro en la reacció. L'alumnat té dificultats per reconèixer les substàncies, però hi ha algunes evidències experimentals, com el canvi de color, el despreniment de gasos, que encara que no estiguin presents en aquella reacció concreta, són les que busca per a la identificació del canvi químic. Aquestes evidències experimentals són les que permeten fer la inferència que hi ha un canvi químic.

A la frase (10) diu "ha sortit molt (Fe) amb el gas que se'n va per la reacció". Hi ha dues possibles explicacions per aquesta resposta. La primera seria que l'alumne pensa

que és el Fe que se'n va en forma de gas. Remarquem aquesta idea perquè coincideix amb les explicacions observades per Rosa Martín (1994) i Montserrat Sánchez (1995) a la reacció entre el Cu i el HNO_3 quan els alumnes diuen que el vapors marronosos del NO_2 era Cu que s'evaporava. La segona situació és la de l'alumne que creu que el Fe forma part del compost que s'evapora.

L'explicació del què canvia durant la reacció la fa en termes de canvi físic quan diu a (50) "es conserva l'estat del clau, però canvia que el coure del dissolvent l'ha rodejat". A (14) ja havia dit "(el coure) està barrejat amb el ferro, en la dissolució (la sal) està barrejat amb". I l'argument definitiu d'explicació del canvi és a: (16) "(el Cu està) a sobre perquè el clau són partícules sòlides, llavors que es barregin les partícules líquides, les partícules aquoses, doncs no, ja que el ferro és sòlid, ...". Tant si l'accepció de la paraula "barrejar" aquí és la reaccionar com la de fer una mescla o dissolució, sembla que pensa de manera restrictiva que les substàncies només poden reaccionar o barrejar-se quan estan en el mateix estat d'agregació.

El nivell d'explicació de l'alumna és macroscòpic, ja que el seu nivell microscòpic del canvi químic només té referents físics.

La dificultat per descriure les relacions entre les substàncies quan formen part d'un mateix compost, a nivell iònic és evident. L'alumne 2 deia que s'havia de "desassociar el Fe del Cu". L'alumna 48 usa els verbs "embolicar" i "rodejar" en les frases (5) "el coure del dissolvent l'ha rodejat (al clau)" i (7) "el coure el que ha fet ha sigut "embolicar" el clau". Una vegada més, la tendència a utilitzar verbs que descriguin l'acció que realitzen les substàncies sembla indicar que aquest és el registre lingüístic en que es troba còmode l'alumnat a l'hora d'interpretar el canvi químic. L'altre registre, el del llenguatge químic queda lluny del nivell de descripció que utilitza aquest alumne.

Amb totes aquestes dificultats per reconèixer les substàncies i intentar explicar el què succeeix durant el canvi químic, no és estrany que pel que fa als aspectes conservatius del canvi químic només es conservi allò que no reacciona (5) "l'estat del

dissolvent, l'estat del clau" (150) "el ferro es conserva, però en menys quantitat" (17) "es conserva l'àcid però en menys quantitat". Per tant, poden afirmar que l'alumna no activa durant l'entrevista els aspectes conservatius del canvi químic.

L'alumna 48 no fa ús de cap analogia ni construeix cap raonament causal en les seves explicacions.

Anàlisi de l'entrevista de l'alumne 54

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumne 54 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) "aspirina, es veu com es desprèn el redox", (2) "el filferro de coure, es forma la sal", (3) es veu millor quan surt el tap, "formació d'aigua, (4) canvi de color i (5) canvi d'estat"	empírics
U1/U2 què canvia	(8) "el color abans era taronja i ara és més fosc, (9) més prim" (10) "la sal, el nitrat de coure ja no és coure" (11) "el clau portava una capa de ferro, llavors l'ha perduda" (23) "s'ha format la sal, ha canviat la qualitat, (24) no té allò que es pugui agafar amb l'imant, està mesclat com a molècules de sal"	propietats
U3 què es conserva	(17) "es conserva part del ferro del clau i en la dissolució també es conserva àcid nítric ja que no ha reaccionat"	Cons 0
U4 nivell d'explicació	(8) (10)	macroscòpic
U5 ús analogia		no
U6 ús causalitat	(15) "Els electrons (de Fe) que estaven al voltant de l'àcid, s'han intercanviat electrons, s'han cedit a l'àcid".	1 estructura causal simple

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(15)	. ions . electrons → intercanviar . Fe . àcid	Fe e ⁻ → → ions àcid Cu (NO ₃) ₂	. → . .	(AP) Amplia l'explicació causal i justifica l'existència de ions per l'intercanvi electrònic

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumne 54

Exemple de canvi químic

L'alumne 54 esmenta exemples de canvi químic que són empírics i no arriben a ser paradigmàtics del canvi químic ja que "no els recorda bé".

Quan assenyala les dificultats per interpretar un canvi químic indica a (6) "si ha canviat el color, no saps si ha canviat la substància", és a dir, que l'alumne té clar que un canvi de propietats no és garantia de canvi químic. Per tant, sembla que coneix les dificultats per identificar el canvi químic però no podem assegurar que hagi construït un fet paradigmàtic del canvi químic.

Interpretació del fenomen: el cicle del Cu

En la interpretació de la segona part del cicle del coure, l'alumne 54 no reconeix les substàncies que intervenen. Només dues vegades es refereix correctament al $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, la última quan intenta donar una explicació global del cicle i quan diu a (10) "la sal, el nitrat de coure". La resta, és a dir, cinc vegades més, s'hi refereix dient l'àcid o l'àcid nítric. Al final de l'entrevista tornarà a manifestar aquestes dificultats en el terreny del reconeixement de les substàncies quan confon el Fe amb el Cu i parla de les propietats magnètiques del Cu.

L'alumne raona en termes macroscòpics, de canvi de propietats de les substàncies quan diu: (8) "el color abans era taronja i ara és més fosc, (9) més prim" però l'explicació és incompleta en un primer moment. A (13) diu que "el Fe està mesclat en la dissolució amb l'àcid (NO₃)". Per tant podem afirmar que veu el resultat de l'acció, i podem

suposar que ho interpreta com el resultat del canvi químic, coherentment amb el que diu després.

Confon la situació inicial i la final de la reacció, malgrat que a sobre del clau de Fe s'havia format una capa de Cu, de color daurat, sensiblement diferent al del Fe; però l'alumne no va saber interpretar-ho.

La situació límit que es va plantejar a l'entrevista, sobre que passaria si rasquéssim el coure, per tal de conèixer si l'entrevistat té una visió interactiva del canvi, ha provocat una inversió dels papers. L'alumne 54 no recorda si el clau es de ferro o de coure, i per tant, ell és qui pregunta a l'entrevistadora. Després diu a (12) "El ferro del clau ha perdut massa, s'ha mesclat una miqueta amb l'àcid". La frase que resumeix l'explicació de l'alumne 54 a la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ és la (13) "(el Fe) Segueix essent Fe però està combinat en la dissolució amb l'àcid (es refereix al nitrat)".

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

A classe, en el curs de COU, acabaven d'estudiar les reaccions redox i segurament ha influït en el tipus d'explicacions elaborades. L'alumne 54 millora l'explicació del cicle del Cu quan raona en termes iònics i d'intercanvi electrònic. Hi ha progrés en l'elaboració d'explicació del canvi durant l'entrevista. L'alumne coneix l'explicació microscòpica, però no l'ha fet seva i per tant, no la pot utilitzar per explicar el fenomen que té al davant, el que observa. Les frases, de la (11) a la (14) són l'expressió del conflicte entre el que veu i el que sap. Diu a (11) "el clau portava una capa de ferro, llavors l'ha perduda, s'ha combinat amb l'àcid nítric". I a la pregunta ¿Però s'ha quedat igual el ferro del clau? diu a (12) "ha perdut massa, s'ha mesclat una miqueta amb l'àcid", a (13) "Segueix sent ferro però està mesclat en la dissolució amb l'àcid". Finalment, no sap gestionar correctament l'explicació microscòpica i només diu a (15) "Els electrons que estaven al voltant de l'àtom (de Fe), han intercanviat electrons, s'han cedit a l'àcid".

Al final de l'entrevista, quan l'entrevistadora vol tornar a recuperar la diferència entre la substància simple i la iònica, l'alumne torna a parlar de canvi de propietats i

respon que (23) "s'ha format la sal, ha canviat la qualitat, (24) no té allò que es pugui agafar amb l'imatge, està mesclat com a molècules de sal". No sembla haver consolidat la conservació de l'element com una característica del canvi químic ja que no és capaç de raonar-la en termes teòrics, fent referència al model atòmic. Sembla com si només pogués pensar en diferències entre les substàncies en el terreny de les propietats, és a dir amb evidència experimental. Quan se li pregunta la diferència entre el Cu i el Cu²⁺, parla del magnetisme i del canvi de color.

Pel que fa als aspectes conservatius del canvi químic, no sembla haver-los fet seus. En una primera resposta manté que (17) "es conserva part del ferro del clau i en la dissolució també es conserva àcid nítric ja que no ha reaccionat". Una visió que també es dona en altres entrevistes.

Després i fins a les últimes respostes, en les frases (21) i (22) manté la idea que "una part del Cu s'ha combinat, s'ha format en la sal, ... però l'altra no s'acaba de combinar". Encara que no ho explica més, sembla que estigui pensant en l'àtom de l'element que es conserva durant la reacció però dit amb les seves paraules. Molt probablement la idea que hi ha darrera d'aquesta frase sigui la mateixa que hi havia darrera de la (13).

Ús d'analogies

Quan se li demana una reacció anàloga a la del Fe amb el Cu(NO₃)₂, com ha succeït en altres entrevistes, diu que és "una redox". Però no podem assegurar que l'esquema teòric d'interpretació de les reaccions redox funcioni sempre com una analogia. Repeteix l'esquema memoritzat: (18) "un es redueix/ l'altre s'oxida" (19) "un capta e-/l'altre els cedeix". Però finalment acaba parlant de "el mecanisme del Cu que pren l'H a l'àcid". Per tant, sembla que es tracta d'intercanviar e⁻ o H, sense que acabi d'entendre en què consisteix exactament. Tot i que les seves respostes estan dominades per l'explicació microscòpica del canvi, no podem assegurar que l'acabi de dominar, .

Us de la causalitat durant l'entrevista

L'alumne 54 construeix una estructura causal en les seves respostes que té com agent un element del propi sistema: els electrons.

Anàlisi de l'entrevista a l'alumne 59

El següent quadre recull les unitats d'anàlisi i els números adjudicats a la transcripció de l'entrevista feta a l'alumne 59 que corresponen a cadascuna de les categories.

CAT	unitats d'anàlisi seleccionades	SUBCAT
U0 exemples	(1) "sofre amb ferro quan s'escalfava una estona, es produïa un canvi químic, surt una substància, FeS, diferent de les que teníem abans, (2) es pot veure que les substàncies d'abans eren les mateixes però havien canviat i (3) canvi de propietats: color, textura, magnetisme, el ferro es magnètic, si posem l'imatge l'atrau", (4) "hidròlisi, H i O combinant-se formen un líquid a temperatura normal"	empírics
U1/U2 què canvia	(5) "teníem el nitrats de coure en forma iònica i per una part teníem el coure i per una altra el nitrats i (51) al ficar el ferro el que hem fet és que el coure s'ha dipositat al voltant del ferro i una mica del ferro del clau s'ha estès i s'ha fet nitrats de ferro"	substàncies
U3 què es conserva	(13) "els àtoms dels elements, els nuclis o els àtoms, el que canvia és que s'ajuntin d'una forma o formin un altre compost en si"	Cons 2
U4 nivell d'ex- plicació	(5) + (6) "en un principi hi ha un equilibri, al ficar el clau de ferro, dels àtoms que es desprenen del ferro, hi ha un equilibri dels que es desprenen com dels que s'ajunten"	macro/micro
U5 ús analogia	(6) mecanisme de reacció, (14) "els àtoms de sofre en un principi són sofre i en formar el sulfurs de ferro, continua sulfur, de ferro, s'ajunten amb el ferro i potser ha perdut electrons, en una altra reacció o ha guanyat, ha hagut un canvi químic, però els àtoms han sigut els mateixos"	símil amb l'evaporació de les substàncies

U6 ús causalitat	(1) (3) (4) (41) "si posem sal a l'aigua el que fem és diluir" (5), (6) (7) "però a l'escalfar-lo, accelerem la reacció i el que fem es que s'accelera el procés de que els àtoms de ferro es deslliuren del sòlid i es passin en forma iònica", (8) "el que feia el ferro es donar els electrons de l'àtom de ferro i el que feia el coure es agafar els electrons. Hi ha una transferència d'electrons que fa que el nitrat de Cu passi a nitrat de Fe", (9) "els compostos no estan formant una molècula, sinó que el coure està en forma iònica, un catió que ha perdut electrons i està en dissolució en la substància i no està ajuntat amb l'anó que és el nitrat que està amb càrrega negativa, perquè ha guanyat electrons", (10) "per saber si tenim cations i anions fem passar electricitat, ... per atracció de càrregues", (111) "redox, ... hi ha una substància que perd electrons i una altra que els guanya, el coure es qui guanya els electrons, és a dir passa de tenir càrrega +2 a tenir càrrega 0, perquè diposita en forma sòlida i el ferro està sòlid, o sigui està a zero i passa a +2" (14)	8 estructures causals simples 3 cadenes causals: 2 simples i 1 complexa
------------------------	---	---

A continuació desglossem la última categoria d'anàlisi segons els criteris que hem establert al capítol II de disseny de la recerca.

	elements explícits	descripció funcional	estructura simbòlica	convencions (I,E), aprenentatge (AP), ambigüitats (A)
(1)	<ul style="list-style-type: none"> • sofre • ferro • escalfor # c.q. • subst. diferent ◦ SFe 	escalfor → S, Fe → c.q. ↘ ↙ substància dif.	→ (·,·) # (procés) ↘ ↙ # ◦	(I) Cadena causal explícita (E) Fa una descripció explícita del procés de c.q.
(3)	<ul style="list-style-type: none"> * canvi prop. • Fe * magnètic • imant ◦ SFe 	imant → Fe → magnètic	→ · *	(E) Dóna una explicació del canvi químic per comparació entre les propietats magnètiques del Fe i les no magnètiques del SFe
(4)	<ul style="list-style-type: none"> * temperatura ◦ aigua • H • O # hidròlisi 	temperatura → H, O → aigua	→ (·,·) ◦	(E) Dóna en aquest segon exemple una visió més simple del canvi químic No ho descriu explícitament com a procés

(41)	<ul style="list-style-type: none"> • sal • aigua * diluït 	aigua → sal → diluït	→ . *	(E) Fa la diferència explícita entre el c.f. i el canvi químic
(5)	<ul style="list-style-type: none"> • dissolució • NO₃⁻ • Fe * dipositat • Cu²⁺ ◦ Fe(NO₃)₂ ◦ Cu 	$\text{Fe} \rightarrow \text{Cu}^{2+}, \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Fe(NO}_3)_2$ $\rightarrow \text{Cu}$ $\rightarrow \text{Fe(NO}_3)_2$	→ (.,.) ◦ ◦	(E) Fa una descripció de la reacció entre el Fe i el Cu(NO ₃) ₂ (AP) En la primera explicació causal de la reacció, l'acció és ficar el Fe
(6) (7)	<ul style="list-style-type: none"> • Fe • àtoms * equilibri iònic • escalfor • àtoms Fe * sòlid • Fe²⁺ * + ràpida 	$\text{Fe} \rightarrow \text{Cu}^{2+}, \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Fe(at)equilibri}$ <p style="text-align: center;">calor</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> (procés) → Fe, Fe²⁺ </div>	→ (.,.) * ◦ → #	(i) Cadena causal explícita complexa amb un segon agent causal: el calor (A) Procés (6) "d'àtoms de Fe en equilibri, tan els que es desprenen com els que s'ajunten". (AP) La primera explicació causal s'enriqueix amb el paper de l'energia. Retorna a la relació causal descrita a (5) i l'enriqueix
(8)	<ul style="list-style-type: none"> • Fe • e⁻ • àtom • Cu • transferència e⁻ • Cu(NO₃)₂ ◦ Fe(NO₃)₂ 	$\text{escalfor} \rightarrow e(\text{Fe}^{2+}), e(\text{Cu}^{2+}) \rightarrow$ $\text{procés, Fe(NO}_3)_2$	→ (.,.) # ◦	(I) El Cu ²⁺ agafar e ⁻ i passa a Cu (E) Retorna a l'explicació general de la reacció de (5) enriquida amb el nivell electrònic (AP) S'introdueix un segon nivell d'explicació

(9)	<ul style="list-style-type: none"> • compost • molècula ◦ Cu • catió • anió • dissol. • e Cu^{2+} • e Fe^{2+} • NO_3^- ◦ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 	<p>escalfor \rightarrow NO_3^-, e(Cu^{2+}), e(Fe^{2+}) \rightarrow (.,.)#</p> <p>\rightarrow procés \rightarrow Cu</p> <p>\rightarrow $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ ◦ 	<p>(E) Completa la relació establerta a la frase anterior a nivell del Cu</p> <p>(AP) El segon nivell d'explicació causal de transferència electrònica es concreta per explicar com es formen els productes finals: Cu i $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ i es precisa que les substàncies iòniques no són molècules</p>
(10)	<ul style="list-style-type: none"> • anions • cations • electricitat • substància * atracció • càrregues 	<p>electricitat \rightarrow Cu^{2+}, NO_3^- \rightarrow (.,.)#</p> <p style="text-align: center;">Cu^{2+} (desplaça)</p> <p style="text-align: center;">NO_3^- (desplaça)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * * 	<p>(E) Estableix una relació causal en termes físics: el desplaçament dels ions, provocat pel pas de l'electricitat permet justificar la seva presència</p>
(111)	<ul style="list-style-type: none"> # redox • substància • electrons • Cu^{2+} ◦ Cu • Fe ◦ Fe^{2+} * sòlid • element 	<p>escalfor \rightarrow Cu^{2+}, NO_3^-, Fe \rightarrow Cu</p> <p style="text-align: center;">NO_3^-, Fe^{2+}</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◦ \rightarrow (.,.)# ◦ 	<p>(AP) Hi ha hagut aprenentatge respecte a la frase anterior. El que abans era només desplaçament dels ions provocat per l'agent causal, l'electricitat, ara es completa amb la formació dels productes de la reacció.</p> <p>El segon nivell de relació causal de t.e. es concreta en la reacció del Fe i el Cu i s'enriqueix i es relaciona amb el concepte d'element</p>

(14)	<ul style="list-style-type: none"> • S • Fe • àtoms S ◦ FeS • e⁻ # r.q. 	$S, Fe \rightarrow S(at), Fe(at) \rightarrow S^{2-}, Fe^{2+}$ <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> \rightarrow reacc FeS </div>	$\rightarrow (,;) *$ $\rightarrow \# \circ$	(I) Cadena causal explícita (I) L'agent causal del procés està implícit (E) Repeteix l'esquema seguit a (6) on fa una analogia per explicar l'atomització amb el procés físic de divisió d'una substància (AP) En qualsevol cas cal tenir ions perquè les subst. reaccionin
------	--	---	---	--

Anàlisi dels resultats de l'entrevista a l'alumne 59

L'administració de l'entrevista a l'alumne 59 va resultar ben diferent d'altres casos, com per exemple, el de l'alumna 41, on la funció del TB va ser molt evident perquè elaborés les seves explicacions. L'alumne ha construït un discurs coherent sobre el canvi químic, que recorda i domina bé, com demostra quan diu "com vàrem estudiar en el seu moment". Durant la quasi totalitat de l'entrevista es limita a anar donant les seves respostes, establint connexió entre els diferents conceptes i nivells d'explicació, sense que li patini cap justificació. S'observa una progressió ordenada entre els diferents nivells de justificació del canvi químic

Aquesta es una de les millors entrevistes des del punt de vista de la qualitat científica de les respostes de la persona entrevistada. L'alumne 59 passa directament a donar una explicació a nivell microscòpic del canvi químic realitzat abans de l'entrevista, sense deixar-se despistar pels aspectes fenomenològics.

Exemple de canvi químic

Els exemples que esmenta l'alumne 59 són empírics, el primer és el del S i el Fe, explicat com a formació d'una nova substància i en funció del canvi de propietats. A (1) dona la visió més complexa del canvi químic, és a dir, l'entén com a procés. Diu explícitament "ambava un moment que es produïa el canvi químic ...". No té un model

del canvi químic exclusivament basat en el aspectes teòrics del model científic sinó que ha integrat correctament el reconeixement del canvi químic com a canvi de propietats de les substàncies amb l'explicació en termes iònics.

El segon exemple que esmenta és el de la formació de l'aigua, encara que l'anomena hidròlisi. Aquí la normal tendència a la simplificació fa que doni una visió menys complexa del canvi químic. A més, com que en el primer exemple, ja ha dit que el canvi químic era un procés, aquesta idea continua implícita durant tota l'entrevista. En el segon exemple parla únicament de les substàncies que intervenen en la formació de l'aigua.

L'explicació de les dificultats per identificar un canvi químic és també paradigmàtica, ja que fa referència als dos aspectes: la dificultat de tenir evidències experimentals i la possible confusió entre l'acció i el resultat de l'acció (Izquierdo et al., 1995). Pel que fa al primer aspecte, senyala que "... (40) no és fàcil. A vegades tal qual el veiem no sabem si té les mateixes propietats o no", i en el segon indica que (42) "és difícil saber si s'ha produït un canvi d'estat, una dissolució, o una mescla només, o si realment s'ha produït un canvi químic".

Per deixar ben clar el concepte de canvi químic, a (41) fa la diferència entre el canvi físic i el canvi químic "si posem sal el que fem és diluir, però no es produeix un canvi químic. El difícil és saber si s'ha produït un canvi d'estat, si una dissolució o una mescla només, o si realment s'ha produït un canvi químic. Si es continuen mantenint les propietats, sinó, .. Però continua essent difícil".

Interpretació del fenomen: el cicle del Cu

Des de la primera resposta l'alumne 59 utilitza espontàniament l'esquema redox per interpretar la reacció del Fe amb el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Diu "s'ha produït una reacció redox i en un principi hi ha un equilibri d'àtoms ... ". És a dir a diferència d'altres entrevistes com en el cas de l'alumne 54, l'esquema redox no és una etiqueta memoritzada sense contingut científic, sinó que és generadora d'explicacions sobre fenòmens de la realitat. No és només un acte de parlar.

Durant l'entrevista fa referència a les unitats d'anàlisi més teòriques: el nivell microscòpic que ja hem esmentat, en termes de transferència d'electrons, i en termes iònics. És remarcable que parli de la conservació dels "àtoms dels elements o del nucli". També parla de la conservació de la proporció de volums i de mols. En aquest últim cas suposem que vol fer referència a la relació estequiomètrica.

El que crida més l'atenció de l'entrevista és l'explicació global que dóna del cicle del coure. Tot i ser correcta, sorprèn que no arribi a parlar de la formació i trencament d'enllaços, i que es limiti a la transferència electrònica i a (20) "les tendències pròpies de les substàncies a captar o a donar electrons". L'any anterior, quan va fer l'experiment del cicle del coure va raonar en termes d'estabilitat de les substàncies. Potser aquest agent causal li hauria permès arribar més lluny en el perfeccionament del segon model causal.

El fet de no completar l'explicació global del cicle en termes d'enllaços pot estar influït pel fet que l'energia, no juga un paper important en el model teòric de la majoria d'entrevistes. Només fa intervenir l'energia en el seu raonament, en la frase (7) quan diu "escalfar és accelerar el procés de que els àtoms del Fe es deslliurin del sòlid i passin a forma iònica".

Evolució de l'explicació del fenomen durant l'entrevista

L'ordre de les respostes de l'alumne 59 i de construcció de les dues explicacions causals constitueixen un model paradigmàtic de seguiment de la lògica de la disciplina. Comença amb una explicació macroscòpica de la reacció química, de formació de noves substàncies que es sustenta en el nivell microscòpic. I a continuació construeix una segona explicació que anomena de transferència electrònica. En qualsevol cas, per aquest alumne l'existència de les substàncies en forma iònica és la condició prèvia per a que hi hagi canvi químic. En resum, és l'alumne de la mostra que s'ha entrevistat que dóna l'explicació més propera a l'acceptada per la química.

Ús de les analogies

L'alumne 59, a (6), parla del mecanisme de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, i fa una analogia o un simil amb el mecanisme d'un procés físic, l'evaporació de les substàncies. Diu "en un principi hi ha un equilibri, al ficar el clau de Fe, dels àtoms que es desprenen del Fe, hi ha un equilibri dels que es desprenen com dels que s'ajunten, però a l'escalfar-lo accelerem la reacció i el que fem es que s'accelera el procés de que els àtoms de Fe es deslliuren del sòlid i passen a forma iònica".

Utilitza també de manera espontània el raonament analògic per explicar la conservació de l'element en un canvi químic referint-se al seu exemple paradigmàtic, el sofre i el ferro. Diu a (14) "els àtoms de sofre en un principi són sofre i en formar el sulfur de ferro, continua sulfur, de ferro, s'ajunten amb el ferro i potsar ha perdut electrons, en una altra reacció o ha guanyat, ha hagut un canvi químic, però els àtoms han sigut els mateixos". Aquí l'ús de l'analogia per explicar l'atomització de les substàncies, amb un procés físic, és consistent amb el mecanisme de la reacció química que ha explicat abans a (6) en la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Sembla com si el S, com que ja és una pols automàticament passa a S^{2-} , en canvi el Fe ha d'haver perdut o guanyat electrons en una altra reacció per poder reaccionar amb el S^{2-} .

En tots els mecanismes que explica l'alumne 59 hi ha una condició prèvia: un procés físic d'atomització o un desplaçament físic dels ions atrets per l'electricitat, com diu a (10) que després completa indicant els productes de la reacció.

Quan se li demana una analogia amb l'experiment que acaba de fer, el cicle del coure, recorre a una etiqueta "equacions redox" que en aquest cas no està buida de contingut perquè li ha permès explicar correctament en termes iònics i d'intercanvi d'electrons tot l'experiment. En el cas de l'alumne 59 sembla que les equacions redox poden funcionar com analogia.

Ús de la causalitat durant l'entrevista

L'alumne 59 és qui utilitza més la causalitat de la mostra estudiada. Ja hem dit que en el primer exemple, explica el canvi químic com un procés, per això estableix una

cadena causal explícita. En la primera part de la cadena, la calor és l'agent causal i en la segona part de la cadena, el canvi químic entès com a procés és l'agent causal, un agent dinàmic, epistemològicament diferent d'agents del tipus escalfor, temperatura o l'aigua.

En la primera explicació causal de la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, una acció (ficar el Fe) o una substància permet identificar les dues parts de la interacció química a nivell macroscòpic, tenint com a causa prèvia el nivell microscòpic de la substància. Quan explica amb detall la reacció parla d'un procés "d'àtoms de Fe en equilibri, tan els que es desprenen com els que s'ajunten". Sembla que faci una analogia amb el procés físic de les gotes d'una substància que s'evapora.

Després retorna a l'explicació general de la reacció de (5) enriquida amb el nivell electrònic. És una relació causal que s'expressa a dos nivells, d'electrons i de substàncies. De moment és incompleta, però després a (8) s'introdueix un segon nivell d'explicació en termes de transferència electrònica formulada de manera molt àmplia.

En total, utilitza tres cadenes causal explícites en el seu raonament. Una d'elles és una cadena causal complexa amb dos agents causals, la calor i el Fe atòmic, i dos efectes, els ions Fe^{2+} i el Fe sòlid. La resta són 8 estructures causal simples, on en la majoria dels casos, l'agent causal actua sobre dos o tres materials inicials i/o s'obtenen dos materials finals.

En tots els casos en que la idea del canvi químic s'explicita i/o s'entén com un procés s'identifica pel signe corresponent: #. Però la tendència habitual a la simplificació que ja hem indicat quan esmenta el segon exemple de canvi químic, fa que no hi fa referència en totes les estructures causals.

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

L'ús de la causalitat no depèn del format ni de l'ordre en plantejar les preguntes ni de la dinàmica creada per la pregunta/ resposta, tampoc no depèn del model de canvi químic que tingui l'alumne, sinó que depèn del seu coneixement descriptiu o de la capacitat d'intervenció en l'experiment. Per exemple, la mateixa pregunta: En la reacció que acabem de fer (entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$), què ha passat? què diries què ha canviat? L'alumna 44 que tenia un model teòric incoherent del canvi químic en la reacció, intenta donar una explicació de la reacció, en termes de canvi de substàncies. Per això construeix un raonament causal dient que "de l'escalfor, (el nitrat de coure) ha arribat al punt d'ebullició i ha fet que el clau es rovellés". I l'alumne 8 que tenia un model teòric mecano en la redacció, dóna una explicació macroscòpica de la reacció, en termes de canvi físic, també construeix un raonament causal per descriure que "el Fe pot ser que hagi canviat de compost, perquè se li ha afegit el coure. Ha disminuït el ferro i ha augmentat el coure".

Volem destacar aquest aspecte per remarcar que la construcció d'explicacions causals no segueix els mateixos paràmetres que la construcció d'explicacions teòriques del fenomen en química. Una explicació que usa termes del model científic pot ser una repetició simplement memoritzada, tal com hem observat en les redaccions, en el cas d'alguns alumnes que parlen de redox i tant li fa que es tracti de guanyar com de perdre electrons. Però no ens trobem en la mateixa situació en una explicació causal, en la que intervenen accions i elements de la realitat, com quan diuen que "se li ha afegit coure", o que "tiren el Fe en el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ", o "que l'àcid ataca al Fe". En aquest darrer cas podem dir que no són explicacions exclusivament formals.

Pel que fa a la construcció de cadenes causals que els alumnes han construït, la seva estructura és en general:

agent causal → un o més materials → un o més efectes

L'alumne 59 és l'únic que construeix una cadena causal complexa amb dos agents causals. La resta de l'alumnat construeix cadenes causals simples, on, en la majoria dels casos, l'agent causal actua sobre dos o tres materials inicials i/o s'obtenen dos materials finals. Però, sembla que aquesta és una característica del raonament causal en química i, que es repetiria en qualsevol tipus de mostra o de fenomen.

Pel resultat de l'anàlisi de les entrevistes, l'ús de la causalitat processual no és igual en tots els casos. S'observa una disminució en el domini de la causalitat, a mesura que disminueix la competència simultània en representar-se un model teòric i el món real, excepte en el cas de l'alumne 8 on la voluntat d'explicar és tant forta que crea estructures causals, fins i tot, encara que a la reacció tingués el model mecano. La competència simultània en la representació del món i del model teòric és màxima en el cas de l'alumne 59.

L'alumne 59 utilitza la causalitat processual dient "ambava un moment que es produïa un canvi químic" i quan descriu amb detall la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ parla d'un procés "d'àtoms de Fe en equilibri, tan dels que es desprenen com dels que s'ajunten". Parla del canvi químic entès com a un procés en 3 cadenes causals explícites, dues de simples i 1 complexa. I en 4 estructures causals simples.

L'alumna 44 quan utilitza la causalitat processual diu "la calor, el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ha bullit i això ha fet que ha reaccionat amb el Fe, fent que aquest es rovellés, ...". "Els àtoms que s'alliberen del Fe han de tenir alguna cosa a veure amb el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, doncs, també reacciona amb els del Fe. Llavors suposo que unint-se fan la superfície". "Si aquest és el clau, i aquí tenim els del líquid, doncs suposo que aquest sortirien cap a fora i es quedarien per aquí. La superfície i aquest s'ajuntarien i reaccionarien, ...". "Els $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ bull, llavors fa que s'escalfi el Fe, llavors, els àtoms ... del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, també la trobar un del Fe, doncs reaccionen, fent la substància". Parla del canvi químic entès com a procés en una estructura causal simple i en 3 cadenes causals explícites simples.

L'alumne 8 utilitza la causalitat processual una sola vegada en una cadena causal explícita simple. Diu: "Un cop fico el clau, el clau és Fe, el fico a dintre, surt el Fe, i el Fe

va perdre Fe, el Cu es mou, diguem que s'ha mogut, que s'ha dipositat dintre el nítric, s'ha dipositat sobre el clau, s'ha estat en moviment tota l'estona, ...".

L'alumna 36 quan utilitza la causalitat processual diu "El Cu canvia de valència, o sigui, s'oxida, però no tots els ions Cu que hi ha en el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ han reaccionat amb el Fe, escalfant, ha d'haver encara menys". Només parla del canvi químic entès com a procés en una estructura causal simple i una de complexa.

L'alumna 29 només utilitza la causalitat processual en una cadena causal simple i diu "Quan puguem la temperatura (el Cu^{2+}) es solidifica, cristal·litza o el que sigui i va recobrint el Fe". L'alumne 2 parla del canvi químic entès com a procés en el moment final de l'entrevista, quan diu a (16) "Al ficar el clau (en la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, ... el clau és el que reacciona i el Cu l'envolta". L'alumna 41 només construeix dues estructures causals simples i no parla del canvi químic entès com a procés.

L'alumne 1 no utilitza la causalitat processual però sí que construeix dues estructures causals simples i una cadena causal explícita. Els alumnes 16, 23, 48 i 54 no construeixen estructures causals ni parlen del canvi químic com a procés.

A nivell de mecanisme de la reacció es detecten analogies amb el comportament de les partícules en els canvis d'estat d'agregació, per exemple l'evaporació, tal com diu l'alumna 44, i descriu en el dibuix, on els seus àtoms "entren i surten del clau, s'ajunten i reaccionen", no es ionitzen ni intercanvien res.

L'alumna 16 explica el l'obtenció d'un producte diferent del reactiu en la reacció química, el pas del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ a Cu perquè el Cu "al reaccionar s'ha solidificat i ha canviat d'estat". Sembla que com no és capaç de representar-se la reacció química utilitza l'analogia amb el canvi d'estat.

L'alumne 59 que conceptualitza correctament el canvi químic quan parla de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe diu "Hi ha un equilibri dels àtoms que es desprenen del Fe com dels que s'ajunten ...". Es podria utilitzar una frase similar per parlar de les gotes d'aigua que passen a vapor d'aigua.

En algun cas, es detecta l'existència d'un estat o condició prèvia per a la reacció química que és l'atomització, entesa implícitament a nivell físic, com si fos el procés físic de divisió d'una substància per fer-la pols. Així diu l'alumne 59, en la següent frase: "els àtoms de S, en un principi són S i en formar el FeS, continua sulfur del S, s'ajunten amb el Fe que potser ha perdut electrons en una altra reacció o ha guanyat, hi ha hagut un canvi químic". És a dir sembla que la condició prèvia perquè el Fe reaccioni és la d'estar en forma iònica ja que el S ja ho estava, com si les substàncies per a reaccionar s'haguessin de presentar en forma molt dividida.

El mateix succeeix amb l'alumna 36 quan parla de la ionització com a condició per a la reacció: els ions es separen del Fe per poder reaccionar, o bé els ions Cu^{2+} s'associen al Cu per formar l'element Cu.

L'alumne 2 per explicar el mecanisme de la reacció: el pas del nivell macroscòpic al microscòpic s'inventa una paraula "desassociar-se". Per a ell la condició prèvia és "formar ions" encara que no sabem que és el que entenen per ió ja que diu simplement que diu que "a la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ hi troba els ions Cu, àcid nítric (deu ser el NO_3) i si hi ha aigua també".

En resum, volem remarcar que ens interessa prestar atenció a l'ús d'aquest símils amb els canvis d'estat d'agregació o l'establiment d'aquestes falses analogies per explicar el mecanisme de la reacció, fins i tot en alumnes que han expressat en la redacció, R2, un model de canvi químic el més proper al científicament acceptat. L'alumnat prefereix utilitzar una mecanisme que ja coneix, que li resulta intel·ligible i acceptable, de manera similar al que ha succeït en altres investigacions sobre el funcionament de les cèl·lules electrolítiques (De Jong, 1996b).

Però que fa als aspectes conservatius del canvi, malgrat que en les redaccions la seva presència hagi estat molt minsa, calia esperar que durant l'entrevista, donat que hi ha una pregunta on es planteja: Què es conserva en aquest canvi?, s'hagués posat de manifest el nivell de conceptualització de la conservació.

Els alumnes 41 i 48 es representen la conservació a nivell macroscòpic. L'alumna 41 parla de la conservació de la massa i de les propietats. L'alumna 48 conserva l'estat d'agregació de les substàncies. Això és coherent amb el fet de tenir un model de canvi químic que inclou una visió absolutament formalista del nivell microscòpic.

L'alumne 8 no coneix la diferència entre la substància simple i el ió i per tant no sap reconèixer els aspectes conservatius del canvi químic. L'alumna 16 raona la conservació de la massa. No podem assegurar que el seu model teòric inclogui la conservació de l'element perquè no ho ha dit en la seva resposta a la pregunta formulada en general. Però més endavant diu que "el Cu ha estat present durant tot l'experiment, però al començament es trobava en forma $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, en un compost que es deia $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i ara al reaccionar, doncs ha solidificat i ha canviat d'estat i ha passat a ser Cu, l'element Cu".

Els alumnes 23, 36 i 54 creuen que "alguna cosa s'ha de conservar perquè hi ha algunes coses que no reaccionen" i, l'alumna 23 afegeix "que el Cu es conserva, aquesta paraula de conserva no m'agrada molt". L'alumna 29 no acaba de saber què es conserva, "suposo que part del Fe, no ho sé pas, ... i el nitrat és clar una mica". L'alumna 44 no té el concepte d'element químic, parla de "l'element del paper que no es conserva". I "els elements, hi ha vegades que sí i hi ha vegades que no (es conserven)".

L'alumne 59 conserva "els àtoms dels elements, els nuclis o els àtoms, el que canvia es que s'ajuntin d'una forma o fomin un altre compost". No parla explícitament de la conservació de la massa.

En resum, podem dir que en general, els alumnes entrevistats no activen els aspectes conservatius del canvi químic, malgrat que se'ls hagi preguntat explícitament. Les úniques excepcions són les dels alumnes 1 i 59 que parlen de la conservació de l'element i, els tres alumnes que hem esmentat que parlen de que es conserva allò que no reacciona, una idea que ja havien manifestat en el qüestionari que acompanya el cicle del Cu.

9. Estudi específic de la mostra reduïda

En els apartats anteriors d'aquest capítol, hem fet l'estudi de cadascun dels instruments de la recerca, per separat: el cicle del Cu, la redacció o l'entrevista. També hem fet l'anàlisi comparativa dels instruments, quan corresponien al mateix tipus de comanda.

En aquest apartat ens interessa fer una anàlisi més detallada de l'evolució de l'alumnat al llarg del tres anys de la recerca, per tal d'intentar valorar què han après i si podem trobar indicadors que ens permetin definir el procés d'evolució seguit.

9.1 Anàlisi de l'evolució seguida per l'alumnat a nivell individual

En la mostra reduïda de 12 alumnes entrevistats, hem fet l'anàlisi de l'evolució del contingut dels diferents instruments: les redaccions escrites per l'alumnat, les respostes a l'experiment del cicle del Cu i les respostes que han donat a la 2ª part del cicle del Cu; la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, durant l'entrevista.

El model teòric del canvi químic que va construint l'alumnat durant l'aprenentatge li permet elaborar explicacions diferents en funció de la tasca que se li planteja. Per una banda, cal esperar que les respostes al qüestionari que acompanya la realització de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, siguin diferents al contingut de la redacció. I aquest, és un tipus d'instrument ben diferent de l'entrevista, on es demana la interpretació d'un fet concret, com és la reacció del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe.

En la redacció, malgrat que se'ls demanava que donessin una visió global i completa del canvi químic, la comanda ha sigut entesa de maneres diferents, però en qualsevol cas, l'alumnat ha activat els aspectes més teòrics del canvi químic. En canvi, en l'entrevista s'enfronta l'alumne a un fenomen concret conegut que es resitua. La diferència de la tasca entre la redacció i l'entrevista, on podem utilitzar el *teachback*, permet que l'alumnat s'expliqui de manera més concreta i que per tant, si s'escau, augmenti la seva capacitat explicativa del canvi químic respecte al que va dir a la redacció.

Per tal de sistematitzar l'anàlisi de la mostra reduïda, hem agafat com a eix vertebrador de l'evolució seguida per cada estudiant el model del canvi químic construït a partir de les redaccions, a R2. En el cas dels estudiants que presenten un model incoherent en la redacció, calia esperar que millorin les seves explicacions davant d'un fenomen concret que ja coneixen perquè l'havien realitzat al laboratori. En el cas dels estudiants que tenen un model mecano a la redacció, caldria esperar que donessin una explicació microscòpica de l'experiment del cicle del coure. No podem assegurar que tinguin un bon coneixement de les substàncies i, tampoc podem esperar que elaborin una explicació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic.

En el cas dels estudiants que presenten un model cuina, caldria esperar que donessin una bona explicació a nivell macroscòpic del fenomen. I l'alumnat que presenta un model interactiu en la redacció, cal esperar que siguin els que donin una explicació d'acord amb el model científicament acceptat de canvi químic i que sigui equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic.

Alumne 1

La primera vegada que realitza l'experiment del cicle del coure, l'alumne descriu la primera reacció entre el Cu i el HNO_3 , esmentant el canvi de propietats i, és l'únic que raona a nivell de partícules: "el Cu s'ha apimat perquè amb la vibració de les partícules de l'àcid nítric ha trencat l'enllaç del Cu i l'ha dissolt en ell".

En la primera redacció, descriu el canvi químic dient "que comporta un canvi de propietats de les substàncies" i "que en tot canvi químic aquestes molècules són canviades per "xocs" de partícules". És a dir, intenta elaborar una explicació que inclogui una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el nivell microscòpic. No esmenta exemples de canvi, però podríem dir que els elements de coneixement que exposa si es desenvolupen i s'amplien poden apuntar a un protomodel de canvi interactiu.

Els coneixements que ha exposat en la redacció, li serveixen per explicar la segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu. Sobre la primera reacció diu "que el coure ha intercanviat ions Cu^{2+} amb l'àcid nítric" i "que canvien les propietats de l'àcid, convertint-se en un nitrat" i en la segona reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, insisteix en el canvi d'estructura dient "ha hagut un intercanvi de ions Fe^{2+} per ions Cu^{2+} ". Per tant, podem dir que utilitza una terminologia predominantment microscòpica.

En la segona redacció, descriu el canvi com un canvi de substàncies que "tenen propietats específiques" i esmenta que "Quan hi ha un canvi químic s'esdevé una alteració d'ordre intern de la substància". Utilitza una explicació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, esmenta l'exemple teòric de la síntesi de l'aigua i n'inclou l'equació igualada. A nivell global el text de la redacció és coherent. Per tant, la redacció presenta els elements necessaris per agrupar-la en el model interactiu de canvi químic.

Finalment a l'entrevista, l'alumne esmenta l'exemple teòric del canvi químic de la síntesi de l'aigua. L'explicació que dona de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe és coherent amb el model interactiu que presenta a la redacció, elaborant una explicació amb un relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Diu: (3) "(El Fe) s'ha revestit de coure", (6) "en un principi, tenim el nitrat de coure (II) i el clau de ferro, ... llavors quan escalfem, agitem la reacció, a que surti un àtom d'aquest, del ferro, i en el seu lloc, es posi un de coure. I això fa un flux d'electrons, ..." (12) "el ferro que hi ha en el clau surt fora de la seva neutralitat, surten els àtoms que s'oxiden amb el nitrat de ... nitrat. Clar, és el que fa l'oxidació del ferro (en forma de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$). En un altre cas trobem la reducció del coure, que arriba a la seva "electronegativitat" amb els electrons que han quedat del clau". Aquest alumne i el 59 són els dos únics que parlen explícitament de la conservació de l'element durant l'entrevista. Per tant, són els dos únics que tenen un model coincident amb l'explicació científica del canvi químic i que el seu model és coherent per explicar el fenomen, la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe que se'ls ha demanat interpretar durant l'entrevista.

En resum, podem dir que l'alumne 1 malgrat que el primer curs d'instrucció en química no tenia un concepte diferenciat de canvi químic, quan comença el segon curs construeix un

protomodel de canvi químic, que ha consolidat a l'inici de COU i li permet donar una explicació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic al fenomen que ha sigut objecte de l'entrevista.

Alumne 2

En la primera redacció, a R1, l'alumne 2 caracteritza el canvi químic com un canvi de propietats. Utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic i esmenta un exemple empíric, el del S i el Fe, que explica de manera coherent amb l'explicació del canvi com a canvi de propietats. Per tant, podem afirmar que la redacció reuneix els elements corresponents al protomodel cuina.

La primera vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, a Cu2, no sembla que activi els elements de coneixement característics del model cuina, es decanta més aviat per utilitzar la terminologia redox. En la reacció entre el Cu i el HNO_3 , reconeix la formació del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Descriu el canvi utilitzant la terminologia redox i esmentant la formació de ions. Diu "El Cu s'ha reduït i ha anat a parar a l'àcid nítric en forma de ions fins a convertir-se en $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ". Ha canviat "el Cu perquè s'ha reduït". En la 2ª reacció del cicle del Cu només diu que "el Cu ha canviat d'estat", una explicació característica del model cuina. Però, al final per explicar el fet que s'hagi tomat a obtenir coure diu: "que s'ha produït una reacció de redox, és a dir que en una el coure s'oxida i en l'altre es redueix".

Quan escriu la segona redacció, el segon any de la recerca, comença amb les mateixes paraules que a R1 parlant de que "el producta que té diferents propietats, que no tenen perquè ser les mateixes propietats dels reactius". Tot seguit parla del canvi d'estat que acompanya al canvi químic. Utilitza en la redacció un nivell d'explicació predominantment macroscòpic i els exemples que posa són empírics: la síntesi de l'aigua i la dissolució de l'aspirina efervescent. Per això l'hem inclòs en el grup de redaccions del model cuina.

En l'entrevista, no activa d'entrada el model cuina per intentar explicar la reacció entre el Fe i el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, sinó que ho fa nivell iònic, tot i que en les redaccions, el nivell microscòpic havia quedat sempre en un segon pla. Els ions es formen per

"desassociació" i són entitats químiques ja que (11) "els ions canvien les característiques de la dissolució, ... produeixen electricitat". Al final, davant de la insistència de l'entrevistadora amb el TB, retorna al nivell macroscòpic que és el que havia utilitzat en les redaccions i on sembla que se sent segur. Diu: "... al ficar el clau, si no hi ha ferro, el clau és el que reacciona i el coure l'envolta. El ferro ha perdut la seva forma, però continua estant".

En resum, no podem dir que l'alumne 2 hagi experimentat una evolució efectiva en l'elaboració de les seves explicacions dels fenòmens químics. Des del començament es troba còmode en el nivell de les explicacions macroscòpiques i de canvi de propietats o de canvi físic que són les que activa en alguna pregunta de l'experiment del cicle del Cu. Però donat que la informació que rep durant el segon i el tercer any pertany fonamentalment a la vessant teòrica de la química, en l'entrevista intenta donar una explicació de la reacció basant-se en la terminologia redox. Al final de l'entrevista, tot i que escriu correctament l'equació corresponent a les dues reaccions del cicle, retorna a una explicació macroscòpica. No podem assegurar que s'hagi apropiat d'una explicació en termes teòrics del canvi químic perquè no sap comunicar la diferència entre el Fe i el Fe^{2+} .

Alumne 8

L'alumne 8 forma part del grup de 2 noies i 2 nois que fan la descripció de les dues reaccions del cicle del Cu, la primera vegada que realitzen l'experiment, però les observacions que fa són macroscòpiques. En la 1^a reacció, observa "el canvi de color de l'aigua" i la formació de "bombolles que s'acumulen en el tub com a vapor", però, no reconeix els productes que es formen: el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el NO_2 . En la 2^a reacció, entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe observa "que el líquid canvia de color blau a verd", i "que es desprenen unes làmines petites de coure", encara que no reconeix l'altre producte de la reacció. En aquest experiment l'alumne demostra ser un bon observador.

A la primera redacció R1, descriu el canvi com un canvi d'estructura, "de separar i ajuntar molècules", utilitza un nivell d'explicació predominantment microscòpic, esmenta alguns aspectes conservatius i quantitius del canvi i un exemple empíric

de canvi químic, la síntesi de l'aigua, coherent amb l'explicació general que ha donat inicialment del canvi com a canvi d'estructura. La redacció no presenta els elements de coneixement que permetin agrupar-la en cap protomodel.

A la segona redacció R2, torna a descriure el canvi com un canvi d'estructura, utilitzant les mateixes paraules que va escriure a la primera redacció "canvi químic és la unió entre molècules" i ara afegeix "és a dir, un enllaç químic". Utilitza un nivell d'explicació exclusivament microscòpic quan parla d'àtoms, molècules i enllaços, però només anomena els termes. Esmenta la síntesi de l'aigua, com a únic exemple empíric del canvi, però no l'explica. En conjunt, el text té una coherència feble, està estructurat com si els paràgrafs no tinguessin res a veure entre sí, com si fossin diferents illes de coneixement (De Voss, 1997). Per tant, hem agrupat aquesta redacció en el model mecano de canvi químic.

Finalment a l'entrevista, l'alumne que ha utilitzat el nivell d'explicació microscòpic en els redaccions, no el fa servir per explicar la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Fins i tot quan vol explicar la diferència entre el Cu i el Cu^{2+} , diu: "l'un està en estat líquid i l'altre en estat sòlid". I pel que fa al mecanisme de la reacció, intenta utilitzar la terminologia redox, però finalment justifica el fet de tornar a obtenir coure dient: "Un cop fico el clau, el clau és ferro, el fico a dintre, surt el ferro, i el ferro va perdent ferro, el coure es mou, diguem que s'ha mogut, que s'ha dipositat dintre el nítric, s'ha dipositat sobre el clau, s'ha estat en moviment tota l'estona. Jo crec que és això, a part de la reacció aquesta d'oxidació - reducció. Un moviment del coure cap a l'àcid, i un cop el ferro dintre de l'àcid, el coure al ferro".

En l'entrevista no utilitza en cap moment cap referència al nivell microscòpic. Quan se li pregunta què opina del fet que altres companys hagin interpretat la reacció parlant d'intercanvi de ions, explícitament diu: "No en tinc ni idea, em sembla que el nítrat és negatiu, l'àcid nítric és negatiu, i el coure és positiu, canvi de ions, el càtode, l'ànode, però aquí no ve a "cuento". També es podria explicar així, però ara no sabria com dir-t'ho". En resum, l'alumne 8 que presentava un model mecano de canvi químic a la redacció, no activa aquests coneixements durant l'entrevista i dona una explicació macroscòpica de l'experiment descrita en termes de canvi d'estat.

És difícil explicar l'evolució de l'alumne 8, durant la recerca, des del principi fins al final. En les redaccions sembla tenir uns coneixements que es mouen en el nivell d'explicacions microscòpiques del canvi, d'acord amb la instrucció química que rep. Però en l'entrevista, davant del fenomen concret, aquests coneixements microscòpics no li resulten explicatius i elabora una explicació en termes de canvi d'estat.

Alumna 16

L'alumna 16 forma part del grup de 2 noies i 2 nois que intenten fer una descripció, encara que sigui parcial de les dues reaccions del cicle del Cu, la primera vegada que realitzen l'experiment. Descriu la primera reacció com un "canvi d'estat del Cu" i de propietats. Fa el mateix raonament que fa del fet de tornar a obtenir Cu al final de les dues reaccions: "Ara s'ha tomat a solidificar (el Cu) en el clau".

En la primera redacció, a R1, descriu el canvi com un canvi de substàncies, utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic i els exemples que esmenta són empírics: el S i el Fe i la síntesi de l'aigua. Per tant, la redacció no presenta elements de coneixement que permetin agrupar-la clarament en cap protomodel.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, l'alumna utilitza la terminologia redox i descriu la 1^a reacció dient: "mitjançant una reacció redox, el coure s'ha oxidat, i el nitrogen, una part s'ha reduït", però no precisa més el que vol dir. De la 2^a reacció diu que ha canviat "el Coure, passa a unir-se amb l'oxigen i s'ha dipositat sobre el clau". Explica el fet de tornar a obtenir coure dient: "Doncs que el coure ha estat present durant tot l'experiment, només que abans es trobava de forma aquosa i, ara ha solidificat a sobre del clau."

En la segona redacció, utilitza una explicació del canvi a nivell microscòpic, diu que "potser el canvi químic resulta més entenedor explicat a nivell microscòpic, quan parlem d'àtoms que trenquen els enllaços i formen d'altres". Parla de la conservació de la massa "si mesurem a iguals condicions els reactius i els productes" i de que "la quantitat d'àtoms es conserva al començament i al final de la reacció". Posa un exemple teòric

del canvi, la combustió del metà, tot escrivint la reacció igualada i representada amb el model de boles. Per tant, hem inclòs aquest redacció en el model mecano.

A l'entrevista, reconeix "el Cu dipositat sobre el Fe" i continua parlant de l'"H₂ gas". L'alumna activa els coneixements corresponents al model mecano que havia exposat en la redacció i dóna una explicació en termes microscòpics del canvi quan diu: "el Cu(NO₃)₂ s'ha dissociat i el Cu s'ha dipositat en el clau", i especifica que "dissociar-se" és "trencar les molècules en la reacció". A continuació explica que són les reaccions d'oxidació i reducció i com el Cu s'ha reduït, però quan vol donar una explicació del fet de tornar a obtenir Cu, al final de les dues reaccions, retorna al nivell macroscòpic, parla de canvi d'estat i diu: "sí, el coure ha estat present durant tot l'experiment, però al començament es trobava en forma de nitrat de coure, en un compost que es deia nitrat de coure i ara al reaccionar, doncs ha solidificat i ha canviat d'estat i ha passat a ser coure, l'element coure". És a dir, repeteix l'explicació que havia donat al realitzar l'experiment del cicle del Cu per segona vegada. Només ha afegit el nom del compost Cu(NO₃)₂ i el verb reaccionar. Quan se li demana si el fet de tornar a obtenir coure es podria explicar a nivell microscòpic, es limita a dir que "s'intercanvien ions" i "no sé explicar-ho més ara".

En resum podem dir que l'alumna sembla trobar-se còmoda en el nivell microscòpic d'explicació del canvi, però no domina la majoria d'elements de coneixement del submodel redox per explicar fins al final la reacció entre el Cu(NO₃)₂ i el Fe. Quan l'explicació microscòpica no li resulta suficient perquè es torna a obtenir Cu, recupera l'explicació del canvi d'estat.

Alumna 23

L'alumna 23 forma part del grup de 2 noies i 2 nois que fan la descripció de les dues reaccions, la primera vegada que realitzen l'experiment del cicle del Cu, encara que sigui parcial. No reconeix el Cu(NO₃)₂ i diu que "el agua cambia de color, se vuelve azul" descriu el canvi com "un canvi d'estat (ara és més prim) del Cu perquè s'ha dissolt en l'àcid". Reconeix la formació del gas, "óxido de nitrógeno de color marrón". En la segona reacció, diu que es torna a formar un gas que confon amb el fet que quan s'escalfa el Cu(NO₃)₂ entra en ebullició. Reconeix també la formació

del Cu i "un líquid verd fosc". És a dir, fa una descripció macroscòpica del cicle del Cu, sense parlar del nivell microscòpic, tal com ho feien a finals del segle XIX, concretament el 1861, segons explica Van Tricht en la seva Enciclopèdia química alemanya (De Voss, 1997). La teoria iònica no va ser establerta fins el 1880.

En la primera redacció descriu el canvi com un canvi de substàncies, utilitza una nivell d'explicació que intenta equilibrar el nivell macroscòpic i el microscòpic. Parla dels aspectes quantitius: de la proporció de molècules en un canvi químic i utilitza el model de boles per representar l'exemple teòric de la síntesi de l'aigua. També posa l'exemple empíric del S + Fe, on també parla del canvi de propietats. La redacció reuneix els elements de coneixement corresponents a un protomodel interactiu del canvi.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, després del segon any d'instrucció química, ha augmentat la informació a nivell microscòpic i l'ús de les equacions químiques. En la primera reacció entre el Cu i el HNO₃, reconeix el gas que es desprèn com H₂, tot i que l'any anterior el va reconèixer correctament com a NO₂. Repeteix el que va dir el curs anterior al realitzar l'experiment, sobre el canvi de propietats i afegeix que el canvi s'ha produït perquè "el coure ha reaccionat amb l'àcid cedint el coure a aquest, per aquesta reacció". Per a la segona reacció del cicle del Cu repeteix el que havia dit l'any passat. En resum es manté en el nivell macroscòpic.

En la segona redacció explica el canvi químic com un canvi de substàncies, amb una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic i posa exemples teòrics del canvi químic. Per tant, d'acord amb els criteris que ja hem definit hem agrupat aquesta redacció en el model interactiu.

En l'entrevista, l'alumna 23 activa els coneixements que ha exposat en la redacció per interpretar la reacció entre el Cu(NO₃)₂ i el Fe. Reconeix la formació del Cu, però quan intenta donar una explicació a nivell microscòpic fa un paral·lisme amb una dissolució i diu: "(el Cu del Cu(NO₃)₂) aquí és en dissolució, volem dir, les

partícules aquí estan barrejades amb les de l'àcid, no es veuen a simple vista tampoc, ... , és com una dissolució homogènia, però no en el (el Cu_2). Les partícules de coure diguem ja s'han ajuntat per recobrir el ferro". Intenta mantenir una explicació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, però no ho aconsegueix perquè no és capaç d'activar el concepte formal de ió.

En resum, l'alumna 23 dona explicacions macroscòpiques les dues vegades que fa l'experiment del coure. En les redaccions millora les explicacions fins al model interactiu però no aconsegueix utilitzar aquest coneixements per explicar el fenomen concret de l'entrevista. No és capaç de fer operatius els elements del model teòric mecanicista per explicar la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe.

Alumna 29

La primera vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu només parla de l'objecte Cu que diu que "ha desaparegut".

A R1, inicia la redacció dient "per definir un canvi químic podem utilitzar l'exemple que vam veure en el qual ficàvem un clau en un àcid que produïa l'oxidació", i l'explica en termes de canvi "dels components de les substàncies", sense que quedi clar si això significa que hi ha continuïtat o no de les substàncies. Utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic, expressa relacions quantitatives entre les molècules i inclou implícitament la idea de conservació del nombre d'àtoms mitjançant el model de boles. Hem agrupat aquesta primera redacció en el protomodel cuina. Per aquesta alumna l'oxidació és l'exemple paradigmàtic del canvi químic sense que el modifiqui el procés d'aprenentatge. L'esmenta a la primera redacció i a la segona redacció, l'utilitza per interpretar la 1^a reacció del cicle del Cu i finalment a l'entrevista diu: (02) "(Quan penso en una reacció química) les d'oxidació són les primeres que em penso, ... físicament i mentalment, les d'oxidació".

En l'experiment del cicle del Cu realitzat durant el segon any d'instrucció, en la reacció entre el Cu i el HNO_3 considera que "el Cu s'ha oxidat" i escriu que ha obtingut "CuO diluït en l'àcid", que "l'àcid es torna blau perquè ha rebut Cu" i que s'han format

dos gasos " $H_{(g)}$ i $N_{(g)}$ ". I en la segona reacció reconeix que "el Fe s'ha recobert de Cu perquè els seus ions són atrets cap al clau de Fe".

En la segona redacció, l'alumna repeteix les mateixes paraules que va utilitzar en la primera, quan diu que en el canvi químic "els components de la substància varien" sense que quedi clar, una altra vegada, si això significa que hi ha continuïtat o no de les substàncies. Hem agrupat la redacció en el model cuina, ja que l'alumna descriu el canvi químic associant-lo al canvi d'estat, utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic i proposa l'exemple empíric de l'oxidació.

Però aquests coneixements, tot i que corresponen a un model que té associat el canvi químic a fenòmens de laboratori, no li són suficients per explicar el que succeeix en un fenomen concret, la reacció entre el $Cu(NO_3)_2$ i el Fe, durant l'entrevista. Primer considera (3) "que el Fe es recobreix de l'òxid, de la substància que hi havia dissolta en el líquid". Però després considera que es recobreix (8) "del Cu que hi havia dissolt", perquè el Cu (9) "se solidifica, s'ha cristal·litzat, no? quan puguem la temperatura es solidifica, cristal·litza o el que sigui i va recobrint el ferro". Finalment dóna una explicació que vol fer compatible el canvi d'estat que ella descriu quan el Cu^{2+} en dissolució passa a Cu sòlid, amb el seu exemple paradigmàtic de l'oxidació del Fe, dient "el clau té l'òxid que se li ha afegit, el coure que estava dissolt al líquid, ...".

En resum, no podem dir que hi hagi una evolució efectiva en l'elaboració d'explicacions per part de l'alumna 29, tot i que ha augmentat el seu nivell d'informació química. Des del començament no va més enllà del nivell d'explicació macroscòpic, coherentment amb el model cuina, on inclou el fet paradigmàtic de l'oxidació que mai explica a nivell microscòpic. Aquesta forta presència de l'oxidació exclusivament macroscòpica fa que no pugui interpretar les reaccions del cicle del Cu i, que en l'entrevista expliqui el canvi de Cu^{2+} a Cu com un canvi d'estat.

Alumna 36

L'alumna 36, la primera vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu descriu el canvi de propietats (gruix i color) que observa durant la reacció i només parla de dissolució. Utilitza una nivell d'explicació macroscòpica.

En la primera redacció descriu el canvi com un canvi d'estat. Utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic, i esmenta l'exemple empíric de cremar paper, al que dona una explicació coherent amb la de canvi d'estat que ha donat a nivell general per al canvi químic. Diu "un paper al cremar-se, ... es converteix en un gas amb petites partícules de pols". Podem dir que reuneix els elements per agrupar-lo en el protomodel cuina.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, el descriu a nivell macroscòpic. A la 1^a reacció diu que ha canviat el "Cu perquè s'ha oxidat" i en l'equació escriu la formació de $\text{CuO} + \text{H}_2$, tot i que diu "apareixen petites bombolles, suposo que d'hidrogen". En la segona reacció diu que canvia "el color de la dissolució, perquè el Cu que diposita damunt del clau i ja no forma part de la dissolució. El ferro del clau passa a la dissolució". L'explicació del fet de tornar a obtenir coure és la següent: "Que mai el coure ha desaparegut, simplement es trobava dil·luït en la dissolució enganxat amb el nítric. El coure s'oxida amb l'oxigen de l'àcid nítric i "desapareix" en la dissolució. Quan posem el ferro, aquest capta els electrons d'oxigen i s'oxida mentre que el coure es diposita damunt el clau". La barreja de nivell d'explicació macroscòpica pròpia del canvi físic (dissolució) i de terminologia microscòpica (electrons) a més de l'ambigüitat en l'ús del terme "oxidar-se" no permet afirmar el nivell de conceptualització que l'alumna fa del canvi.

A la segona redacció, descriu el canvi com un canvi físic, utilitza una nivell d'explicació macroscòpica i esmenta com exemples del canvi: escalfar àcid sulfúric i la dissolució de l'aspirina efervescent, entre d'altres. El text de la redacció presenta una coherència feble a nivell global. Per tant, hem agrupat la redacció en el model cuina.

Finalment, a l'entrevista, l'alumna utilitza el que per altres alumnes és l'exemple paradigmàtic del canvi químic "el clau es rovella". Intenta interpretar la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe combinant la formació del rovell i utilitzant la terminologia redox. Per exemple, quan explica el què canvia en la reacció se li pregunta com podríem comprovar que hi ha ions a la dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, diu que (8) "s'ha vist perquè el clau s'ha rovellat i per tant ha d'haver ions coure per força". I a (16) "(el Cu) canvia de valència o sigui s'oxida". Més endavant per explicar la diferència entre el $\text{Cu}_{(aq)}$ i el Cu^{2+} diu (19) "Deu canviar l'estructura. El que està en dissolució, el nitrat de coure, té una forma menys densa. Quan passa a ser coure sòlid els àtoms estan més junts". (20) "Es que és com un líquid, ... els àtoms estan més separats, els enllaços són més dèbils que si fossin en un cos sòlid en que els enllaços són més covalents, més forts i es troben més units els àtoms entre ells". Però no aconsegueix elaborar una explicació basada en l'oxidació i el nivell microscòpic i, per tant, fins a l'últim moment manté la confusió entre el canvi d'estructura interna de les substàncies i el canvi d'estat que sembla ser una de les característiques derivades del model cuina del canvi químic.

L'evolució de l'alumna 36 durant la recerca, des del principi fins al final està vertebrada pels exemples empírics de canvi químic, la conceptualització del canvi químic com un canvi d'estat i l'ús d'un nivell d'explicació macroscòpic. Sembla que l'oxidació hauria pogut ser el pont per passar d'una explicació macroscòpica a una microscòpica, però no ha aconseguit fer seus tots elements de coneixement corresponents a aquest nivell.

Alumna 41

L'alumna 41, la primera vegada que fa l'experiment del cicle del Cu no en fa una descripció completa. Només diu de la primera reacció, entre el Cu i el HNO_3 que el Cu "s'ha rovellat". Aquest serà l'exemple paradigmàtic de canvi químic per aquesta alumna al llarg de la recerca, encara que després parlarà d'oxidació.

En la primera redacció descriu el canvi químic com un canvi físic, utilitza predominantment un nivell d'explicació macroscòpic i no esmenta exemples de canvi químic. Per tant, no podem dir que la redacció inclogui elements de coneixement corresponents a cap protomodel del canvi.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, no descriu la 1^a reacció, diu "en el nostre cas no va passar res" i en la 2^a reacció repeteix el que havia dit la primera vegada: "el ferro (clau) sec i net, ara s'ha oxidat (rovellat), ...". I afegeix "ha canviat la composició del clau de ferro perquè en oxidar-se ha guanyat oxigen".

A la segona redacció, després del segon any d'instrucció química, descriu el canvi químic com un canvi d'estructura, utilitza un nivell d'explicació predominantment microscòpica i continua sense esmentar exemples de canvi químic. Per tant, la podem agrupar en el model mecano.

Finalment a l'entrevista, no activa els coneixements exposats en la redacció, propis del model mecano. L'alumna no sembla tenir molts coneixements a nivell de les substàncies ja que no reconeix el Cu i diu que s'ha oxidat. En un primer moment, intenta raonar simultàniament a dos nivells, amb la terminologia redox i amb l'exemple paradigmàtic de l'oxidació. Busca un canvi de color que per ella és l'evidència experimental del canvi químic però no el veu i diu "a l'afegir calor, ... en l'oxidació, em sembla que guanyava electrons". Després es contradiu sobre si el Cu^{2+} s'ha oxidat o s'ha reduït, explica correctament la reducció en general, però torna a dir que el Fe s'ha oxidat. Insisteix en que ha canviat "el color del clau perquè s'ha oxidat" encara que no acaba de saber el significat de la paraula oxidació. El procés de *teachback* durant l'entrevista va encaminat a intentar aclarir si l'alumna creu que el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ intervé o no en la reacció, ja que ha dit "el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ no intervé massa". Ella acaba dient " ... el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ una mica sí que intervenia, una mica bastant, però home el canvi (de color) no el veig. (Quan pensa en els electrons) hi haurà menys, ha perdut i aquí suposo que haurà hagut reducció. Sí, s'ha oxidat, això." Per tant, podem dir que hi ha progrés durant l'entrevista en quan a incorporar la participació del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ en la reacció, però no a donar una explicació global del canvi químic.

Com a resum de l'entrevista, podem dir que intenta donar una explicació en termes microscòpics, concretament d'oxidació- reducció que serien els propis del model mecano, però que no ho aconsegueix i retorna al canvi propietats (de color) o

d'estat d'agregació. Els elements de coneixement presents en el model mecano no sembla que li resultin operatius per a interpretar el fenomen.

Per explicar l'evolució de l'alumna 41, cal assenyalar la presència del "rovell" en les explicacions de les dues vegades que fa l'experiment del cicle del coure i d'una explicació macroscòpica en la primera redacció. El rovell no es entès com un exemple de canvi químic ja que no l'esmenta en les redaccions, més aviat sembla que sigui el nucli central del canvi químic, com si tot canvi comportés la presència del rovell. Després del segon any d'instrucció en química, en la redacció reuneix els elements de coneixement propis del model mecano, però aquests no li resulten operatius per a poder explicar el fenomen concret durant l'entrevista.

Alumna 44

La primera vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, l'alumna diu que el Cu "ha començat a reaccionar" i descriu que "salen burbujas alrededor del hilo de cobre que suben hacia arriba, ... el liquido se vuelve de color azulado". És a dir, només parla de les observacions fenomenològiques.

A la primera redacció, l'alumna 44 descriu el canvi com un canvi de substàncies dient: "Al fer la transformació es perd totalment tot el que teníem i obtenim un producte nou". Utilitza una nivell d'explicació exclusivament macroscòpica i esmenta l'exemple de cremar el paper, on " ... les cendres (producte) no té res a veure amb el reactiu que teníem ja que ha tingut una transformació". Els elements de coneixement presents en aquesta redacció no corresponen a cap protomodel, potser podrien evolucionar cap al model interactiu, encara que de moment ni hi hagi presència d'explicació a nivell microscòpic.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu al laboratori, l'alumna 44 millora l'explicació del canvi, parla de les substàncies. Utilitza una nivell d'explicació predominant macroscòpica, encara que sobre la reacció entre el Cu i el HNO_3 , diu "el Cu (ha canviat) perquè s'ha reduït" i en la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe que "el ferro s'ha recobert de coure". Finalment justifica el fet de tornar a obtenir

coure dient que "s'ha produït una reacció de redox, és a dir, que en una el coure s'oxida i en l'altra es redueix".

A la segona redacció, R2, l'alumna 44 no descriu el canvi químic, només diu que "consisteix en la reacció, hi ha un reactiu i ens dóna un producte". No posa cap exemple de canvi químic i el conjunt del text és paradigmàtic en la manca de coherència i la desconexió textual. Per tant, hem agrupat aquesta redacció en el model incoherent de canvi.

Finalment, a l'entrevista l'alumna 44 augmenta la seva capacitat explicativa del canvi químic respecte al que havia escrit en la redacció. No reconeix la formació del Cu sobre el Fe que havia observat la segona vegada que va fer l'experiment al laboratori. Utilitza espontàniament la falsa analogia del rovell per dir que " ... de l'escalfor (el nitrat de coure) ha arribat al punt d'ebullició i al bullir, doncs ha fet que el clau es rovellés". Tot i que més endavant afirma que "No sap que és el rovell". I quan ho vol explicar a nivell d'àtoms, fa un dibuix i diu "... si aquest és el clau, i aquí tenim els del líquid, doncs suposo que aquest sortiren cap a fora i llavors es quedarien per aquí. La superfície i aquest, doncs s'ajuntarien i així reaccionarien, a lo millor algun surt després o sigui, surt o entra, llavors si surt i no ve un altre doncs se'n torna. Llavors, suposo que forma una substància, que el conjunt d'aquest fa la superfície del ferro, del rovell". En resum, podem dir que, a nivell macroscòpic, no reconeix les substàncies ni dóna una explicació de la reacció, per ella és suficient parlar de la "falsa" analogia del rovell. I a nivell microscòpic, centra la seva atenció en el mecanisme de la reacció, on fa un símil amb la dinàmica que segueixen les gotes de la superfície d'un líquid que s'està evaporant.

És difícil explicar l'evolució de l'alumna 44, durant la recerca, des del principi fins al final. Tant la segona vegada que realitza l'experiment del Cu com en la primera redacció, parla del canvi de substàncies i presenta elements de coneixement que podrien evolucionar cap a un model més elaborat del canvi químic. Crida l'atenció la manca de cap referència al nivell microscòpic en aquestes produccions. Però, després a la segona redacció sembla que la quantitat d'informació química rebuda a classe no la pogués emmagatzemar ordenadament i presenta un model incoherent del

canvi. Finalment, a l'entrevista utilitza l'explicació basada en la falsa analogia de "rovell" que ja hem comentat.

Alumna 48

A la primera redacció R1, l'alumna té una primera representació del canvi químic centrada en un exemple empíric, de la vida quotidiana, no de laboratori: cremar paper. Descriu el canvi com un canvi de propietats i utilitza un nivell d'explicació predominantment macroscòpic. Per tant, podem dir que presenta un protomodel cuina.

Després del segon any d'haver rebut instrucció química, a Cu2, l'alumna descriu la reacció entre el Cu i el HNO₃ com un canvi de propietats i d'estructura, al mateix temps. En l'explicació d'aquesta primera reacció, intenta conciliar sense massa fortuna el raonament microscòpic amb el que observa quan diu "Ha canviat el gruix del Cu, doncs els seus àtoms han desplaçat els àtoms d'hidrogen de l'àcid nítric". La reacció entre el Cu(NO₃)₂ i el Fe, l'explica dient "el coure es desplaçat pel ferro que es queda en estat lliure". Explica el fet de tornar a obtenir coure dient: "Com que són reaccions de desplaçament, un cop el coure es desplaçat i un cop es desplaça". Per tant, podem dir que per l'alumna 48, la paraula clau per explicar aquest fenomen és "desplaçar" i que el nivell d'explicació utilitzat és predominantment macroscòpic.

La segona redacció R2 correspon al model cuina ja que utilitza un nivell d'explicació macroscòpic i descriu el canvi com un "canvi de propietats inicials". Esmenta diferents exemples, $Fe + O_2 \rightarrow FeO_2$, $A + B \rightarrow C$, la fotosíntesi, ... teòrics i empírics, però l'únic que descriu és el de l'aspirina efervescent. El text és coherent a nivell global.

A l'entrevista, l'alumna 48 recupera l'exemple que ja havia esmentat a la primera redacció del "paper que es crema, la combustió, que és tan normal que no sembla una reacció". D'acord amb el model cuina, l'alumna explica macroscòpicament la reacció entre el Cu(NO₃)₂ i el Fe, dient "el Cu ha embolicat el clau". I respecte al Fe, diu que "s'ha després del clau perquè fa bombolles", "ha sortit molt, amb el gas que se'n va per la reacció". Descriu el canvi com un canvi de propietats dient (50) "canvia que el coure

del dissolvent ha rodejat (el ferro)" (8) (9) "no hi ha la mateixa quantitat de ferro perquè fa bombolles, s'ha després del clau" (15) "el coure de la dissolució, ara està part en el clau" Quan se li insisteix que doni un perquè del canvi, no és capaç de trobar una explicació i diu "Es qüestió de l'experiència de fer reaccionar les coses, no sé, una cosa d'aquestes que no pots explicar, sinó que sembla que pot ser així". No fa una descripció a nivell microscòpic de la reacció. I quan explica la diferència entre el Cu i el Cu^{2+} parla de partícules físiques dient: "Aquest coure, les partícules, per ser una dissolució aquosa estan més lliures que no pas al formar part d'un sòlid, les partícules estan més juntes."

En resum, podem dir que els elements de coneixement que integren el model cuina que té l'alumna 48 li permeten elaborar una explicació del fenomen coherent amb aquest model durant l'entrevista, és a dir només a nivell macroscòpic.

No podem afirmar que hi hagi hagut una evolució important en l'elaboració de les explicacions per part de l'alumna 48, durant la recerca, tot i que evidentment ha augmentat el seu nivell d'informació. Comença amb un model de canvi químic molt lligat als fenòmens químics i al nivell d'explicacions macroscòpiques i, malgrat que en la segona redacció intenta incorporar els conceptes teòrics de la química, aquests no li són útils per explicar el fet que té davant l'entrevista.

Alumna 54

En la primera redacció diu que un canvi químic és quan "canvien les propietats de les substàncies". Utilitza un nivell d'explicació macroscòpica i parla de la "conservació de les substàncies anteriors" i dóna dos exemples empírics, "quan es junta sofre i ferro" i la síntesi de l'aigua que l'explica de manera coherent amb l'explicació general del canvi que ha donat. Per tant, podem dir que presenta els elements corresponents al protomodel cuina.

En la realització de l'experiment del cicle del Cu, a Cu_2 , fa descripcions macroscòpiques, és a dir, observa a la primera reacció "la formació de bombolles" però no reconeix el NO_2 . En la segona reacció reconeix "el Cu que s'ha concentrat en el clau de Fe". Intenta descriure les dues reaccions amb una nivell d'explicació més

teòric, però no ho aconsegueix perquè utilitza els mateixos termes en les dues reaccions: diu "el Cu s'ha oxidat", en la reacció entre el Cu i el HNO_3 i "el Cu que s'ha oxidat" en la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. En la interpretació del fenomen no parla del canvi de propietats com havia fet en la redacció, però parla del canvi d'un atribut del Cu: estar oxidat. La idea de continuïtat de la substància queda remarcada en la pregunta de perquè es pot tornar a obtenir coure. Diu: "Perquè el Cu en cap moment ha desaparegut, no s'ha transformat en una altra substància".

A la segona redacció, l'alumne ha augmentat el nombre d'informació corresponent al nivell microscòpic, amb el que sembla identificar-se més. Per tant, ara explica el canvi químic com un canvi d'estructura, utilitza un nivell d'explicació predominantment microscòpica i esmenta exemples teòrics del canvi químic. És a dir, presenta els elements de coneixement que hem agrupat en el model mecano.

Malgrat tenir un model mecano a R2, no és capaç de construir una explicació a nivell microscòpic de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, durant l'entrevista. Sols raona en termes generals "d'intercanvi d'electrons, d'electrons cedits a l'àcid (sal)". Només observa canvis de propietats: (8) "el color, abans era taronja i ara és més fosc" i (9) "(el Fe) és més prim". Reconeix el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ però després té dificultats per explicar la formació del $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$. El nivell d'explicació és predominantment macroscòpica, ja que quan vol fer el pas de l'explicació macroscòpica "el Fe està mesclat en la dissolució amb l'àcid (nitrat)" a l'explicació microscòpica només sap dir "ha format la sal, llavors els seus ions estan en una molècula, la de l'àcid amb el Fe".

L'evolució de l'alumna 54 ve marcada per un inici on predomina un concepte de canvi químic com a canvi de propietats, amb un nivell d'explicació macroscòpic molt lligat als fenòmens concrets. Aquest concepte és presenta tant en la primera redacció com en l'explicació del cicle del Cu. A COU ha evolucionat cap a les explicacions microscòpiques pròpies del mecano de canvi químic. Però aquest model no li permet la interpretació de la reacció durant l'entrevista, on aplica els elements de coneixement que corresponent al model cuina.

Alumne 59

L'alumne 59 forma part del grup de 2 noies i 2 nois que fan la descripció de les dues reaccions del cicle del Cu, la primera vegada que el realitzen. En la 1^a reacció identifica la formació d'un gas però no reconeix la formació del $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Diu: "l'àcid nítric ha canviat de color, es converteix en blau, per l'acció del coure". En la segona reacció, observa que es "toma el líquid de color verd, ... i trobem el coure a les vores del ferro que el podem veure, per tant el coure no ha canviat formant una nova substància". Descriu el canvi com un canvi de propietats i utilitza un nivell d'explicació macroscòpica.

A la primera redacció, R1, parla del procés de transformació d'una substància en una altra i, dóna una explicació que manté una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Esmenta un exemple empíric de canvi químic, l'electròlisi, del que dóna una explicació coincident amb l'explicació general que ha donat del canvi i en fa una representació amb el model de boles. Podem dir que l'alumne 59 reuneix els elements del protomodel interactiu.

La segona vegada que realitza l'experiment del cicle del Cu, descriu la primera reacció, entre el Cu i el HNO_3 , com un canvi de propietats i de substàncies, reconeix la formació d'un gas al que anomena H_2 i un nitrat verd. En la segona reacció, entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, diu que "el Fe forma nitrats i el Cu es diposita" i la justifica per la formació "d'una estructura més estable". És a dir, intenta elaborar una explicació que combini els dos nivells, el macroscòpic i el microscòpic.

A la segona redacció, a R2, descriu el canvi químic com un canvi de substàncies. Diu és "aquell en el qual a partir d'uns reactius, obtenim uns productes, els quals tenen propietats diferents als del principi, ... a causa d'una reorganització dels àtoms que formen les molècules dels elements o compostos inicials." Per tant, l'explicació que dóna és equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Parla dels aspectes quantitius del canvi dient: "Els elements que reaccionen en els canvis químics sempre ho fan d'una manera determinada i en una proporció constant d'elements". I de la conservació de la massa "tal com va dir Lavoisier", i implícitament del nombre d'àtoms, quan representa amb el model de boles la formació de "2 molècules d' H_2O ".

A més de l'exemple que ja hem esmentat, els altres exemples són també teòrics, com "l'àcid-base o neutralització" i "els canvis redox per transferència d'electrons". Per tant, hem agrupat aquesta redacció en el model interactiu.

A l'entrevista, continua utilitzant els elements de coneixement corresponents al model interactiu del canvi: elabora un explicació de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe que manté una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el nivell microscòpic. Aquest alumne utilitza la terminologia redox, però no com una etiqueta memoritzada sense contingut científic, com hem vist amb altres alumnes, sinó que és generador d'explicacions sobre el fenomen. Parla de la conservació dels àtoms dels elements i de la "proporció de volums i de mols". L'únic problema que planteja l'explicació de l'alumne 59 de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe és quan explica el mecanisme de la reacció. Ja hem dit a l'apartat d'anàlisi de les entrevistes que fa un símil amb el mecanisme d'evaporació de les substàncies.

En resum, l'alumne 59 manté una línia ascendent pel que fa a la capacitat explicativa del canvi, incorporant progressivament els elements del model científic del canvi, tant a nivell de la química macroscòpica de les substàncies com a nivell microscòpic.

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

Fins ara hem parlat dels elements de coneixement que l'alumnat de la mostra reduïda de 12 alumnes activa en cadascuna de les redaccions i quins d'aquests elements utilitza per explicar les reaccions de l'experiment del cicle del Cu. Però ens interessa valorar si hi ha alguna regularitat en el procés d'aprenentatge de la interpretació del fenòmens químics que ha seguit l'alumnat i, l'anàlisi de l'evolució de les explicacions dels fenòmens i l'ús dels models ens facilita aquesta tasca.

El nostre objectiu no és descriure una evolució psicològica que es produeix de forma natural, sinó analitzar com l'alumnat ha anat construint el seu model del canvi químic com a resultat d'un intervenció didàctica concreta.

Per descriure l'evolució de l'elaboració d'explicacions del canvi químic per part l'alumnat de la mostra reduïda, interessa observar si es presenten regularitats en l'explicació dels fenòmens i en l'ús dels models, durant els diferents anys que s'ha fet el seguiment, en tres situacions. Una, comparant les dues redaccions que han escrit. Dues, comparant les redaccions amb les explicacions que donen en el moment de fer l'experiment del ciclo del coure en el laboratori. I tres, comparant el model utilitzat en la redacció amb les explicacions donades a l'entrevista.

Primera situació: les redaccions

Per resumir les tendències que s'observen en el moment d'escriure les redaccions, podem dir: Els tres alumnes (1,23 i 59) que estan agrupats en el model interactiu, a l'inici de COU, són capaços de donar una explicació segons el model científicament acceptat a partir del segon any d'instrucció en química, a partir de 3er. de BUP. És a dir, en la primera redacció escrita, s'identifiquen elements de coneixement corresponents al protomodel interactiu. Aquest model ha esdevingut el més consistent dels quatre que hem identificat al llarg de la recerca, tal com es podrà comprovar quan es faci la comparació amb les explicacions elaborades a les entrevistes.

Els quatre alumnes (8,16,41 i 54) que estan agrupats en el model mecano, a l'inici de COU, han seguit diferents evolucions. Només un d'ells tenia un protomodel cuina, en la primera redacció feta un any abans i els altres tres no corresponen a cap protomodel. Això sembla que és conseqüència de que la major importància del nivell d'explicació microscòpica del canvi s'introdueix a partir del segon any, a 3er. de BUP.

Els quatre alumnes (2,29,36 i 48) que estan agrupats en el model cuina són alumnes que ja el primer any vertebren l'explicació del canvi entorn als fenòmens

de laboratori i el nivell macroscòpic. Per tant, aquest model és consistent enfront de la mateixa tasca: escriure una redacció sobre el tema. És a dir, una situació en que l'alumnat de manera oberta ha d'activar els seus coneixements sobre el canvi químic, sense estar davant d'un fenomen concret. Però després veurem que aquest model no és consistent per interpretar les reaccions de l'experiment del cicle del Cu.

L'alumna 44 en la primera redacció no presenta elements de coneixement que permetin agrupar-la en cap protomodel i en la segona redacció presenta un model incoherent del canvi químic.

Segona situació: Comparació del model teòric de canvi químic construït a R2 amb l'explicació de l'experiment del cicle del Cu

La primera vegada que es realitza l'experiment del cicle del Cu, el primer any de la recerca, tots els integrants de la mostra reduïda excepte l'alumne 1 utilitzen un nivell d'explicació macroscòpica. Molt probablement perquè els materials curriculars utilitzats en la intervenció didàctica d'aquest curs intenten mantenir una relació equilibrada entre el nivell d'explicació macroscòpica i el microscòpic, és a dir, entre la química de les substàncies i la de les fórmules, sense sobre carregar el nivell microscòpic.

Però, la segona vegada que es realitza l'experiment del cicle del Cu, a Cu₂ les coses canvien. Els estudiants (2,29,36 i 48) que presenten el model cuina en les redaccions, no tenen un comportament homogeni per explicar l'experiment. L'alumna 2 manté el model cuina de manera consistent, però els altres tres no activen el model cuina per explicar l'experiment del cicle del coure. Aquests alumnes utilitzen un element de coneixement corresponent al model mecano: el nivell d'explicació microscòpica.

Dels estudiants (8,16,41 i 54) que presenten el model mecano, a Cu₂, l'alumna 8 no realitza l'experiment. Els altres tres utilitzen els elements de coneixement corresponents a aquest model per explicar el cicle del Cu: utilitzen un nivell d'explicació microscòpica i parlen de canvi d'estructura. Però no ho fan en les dues

reaccions. Especialment quan volen explicar el fet de perquè es torna a obtenir Cu al final de les dues reaccions que integren el cicle del Cu, tots els alumnes retornen al nivell d'explicació macroscòpica.

Els estudiants que presenten el model interactiu en els redaccions tenen dos tipus de comportament diferent a l'hora d'explicar l'experiment del cicle del Cu. Els alumnes 1 i 59 donen una explicació predominantment microscòpica, però l'alumna 23 es manté en el nivell macroscòpic i, parla del canvi d'estat i de propietats. En resum, podem dir que el model interactiu no és consistent per explicar aquest fenomen en concret.

En resum podem dir que els models que hem identificat en l'alumnat a l'hora d'escriure les redaccions no són consistents en la mesura que canvia la tasca, és a dir, no s'utilitzen en la majoria dels casos per interpretar les reaccions del cicle del Cu.

Tercera situació: Comparació del model teòric construït a R2 amb l'entrevista

Per resumir les tendències que s'observen en l'evolució seguida en la construcció dels models, podem dir que l'alumna 44 que té un model incoherent del canvi químic en la redacció, en l'entrevista, augmenta la seva capacitat explicativa davant del fenomen concret respecte al que havien dit a la redacció. Dóna una explicació de la reacció, encara que utilitza la falsa analogia del "rovell" del ferro, un element que es pot considerar propi del model cuina.

Els tres alumnes (1,23 i 59) que en la redacció són interactius són els que donen una explicació de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe coincident amb el model científicament acceptat de canvi químic, que guarda una relació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Són els únics que en l'entrevista, parlen explícitament o bé de conservació de l'element, com en el cas dels alumnes 1 i 59, o bé tenen una visió operativa de l'element, com l'alumna 23. Per tant, el model interactiu és consistent i permet elaborar una explicació del fenomen.

Els quatre alumnes (8,16,41 i 54) en la redacció corresponien al model mecano, és a dir que davant de la tasca d'escriure una redacció van activar fonamentalment una explicació en termes microscòpics. En l'entrevista, en la interpretació de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, podem assegurar que no tenen un coneixement de la química de les substàncies. Així l'alumna 41 no es capaç d'interpretar el que succeeix en la reacció a cap nivell, ni tant sols a nivell microscòpic que sembla hauria sigut coherent amb el fet de tenir un model mecano. L'alumne 8 dóna una explicació macroscòpica en termes de pas de sòlid a líquid de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. L'alumna 16, davant del fenomen present a l'entrevista, retorna al que per ella és l'exemple paradigmàtic del canvi: l'oxidació i elabora una explicació que raona simultàniament a dos nivells: les equacions redox i l'oxidació. L'alumne 54 utilitza un nivell d'explicació del canvi parcialment microscòpic, o bé, s'expressa en termes tant generals que sembla simplement una repetició de frases estereotipades.

Els quatre alumnes (2,29,36 i 48) que en la redacció estaven agrupats en el model cuina, no utilitzen els elements de coneixement d'aquest model per explicar la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Els alumnes agrupats en el model cuina encara que estructuraven els coneixements a partir de la química de les substàncies, no aconseguen donar una explicació equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Per tant, no es podia esperar que tinguessin tots els coneixements necessaris per interpretar la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. L'alumne 2 dóna una explicació en termes iònics però finalment torna al raonament macroscòpic. L'alumna 29 ho interpreta tot relacionant-ho amb l'oxidació que per ella és l'exemple paradigmàtic del canvi. L'alumna 36 utilitza la falsa analogia del "rovell" del ferro per explicar la reacció i combina aquesta explicació amb la terminologia redox. L'alumna 48 raona a nivell microscòpic però amb unes partícules que són físiques: sòlides, líquides, que estan més juntes o més separades. Les darreres tres alumnes no són capaces de donar una explicació correcta a nivell microscòpic.

Si comparem les explicacions de l'alumnat que té un model mecano en la redacció amb les dels que tenien un model cuina, podem veure que totes són incompletes,

des del punt de vista del model científic de química. Però les que donen els del model cuina són més acceptables des del punt de vista del model cognitiu de ciència, ja que tenen significat en el món de les substàncies, malgrat que no sàpiguen donar una explicació a nivell microscòpic. Però davant del fenomen concret de l'entrevista, ni els uns ni els altres saben elaborar una explicació o, simplement donen repetició de frases estereotipades.

Els del model interactiu són els únics que presenten un model consistent de canvi químic i donen l'explicació coincident amb el model científicament acceptat de canvi químic. La resta de models no són consistents, és a dir, els alumnes agrupats en els models cuina i mecano no donen explicacions consistents amb el model que presentaven en la redacció.

Com s'ha pogut observar no hem comentat l'evolució de l'alumna 44 que presenta un model incoherent del canvi perquè ja hem comentat el seu procés de manera individual quan hem fet l'anàlisi enumerant els passos següents.

Pel que fa a les qualificacions obtingudes, els tres alumnes de la mostra reduïda que no han aprovat l'assignatura de Química de COU i que per tant han de repetir curs presenten respectivament: l'alumne 8 el model mecano, l'alumna 36 el model cuina i la 44 un model incoherent.

La resta de 9 alumnes han obtingut qualificacions excel·lents tant en l'assignatura de Química de COU com en l'examen de Selectivitat. Excepte els del model interactiu, no es pot afirmar que la resta que corresponen al model cuina i mecano hagin construït un model de canvi químic que els permeti d'interpretar els fenòmens químics.

En les següents Taules es resumeix el resultat que hem discutit en aquest apartat, comparant les preguntes per parelles, els dos experiments fets amb el cicle del Cu, Cu¹ i Cu² amb la redacció R2 que s'ha utilitzat per establir els models de canvi químic de l'alumnat. Les dues redaccions entre si i, finalment la segona redacció i

l'entrevista. En cada cas s'indica entre parèntesi el nombre dels o les alumnes a que es fa referència.

Taula 13. Comparació dels models teòrics en les dues redaccions: R1 i R2

Redaccions	R1	R2
	protomodel interactiu (1,23 i 59)	model interactiu (1,23 i 59)
	no protomodel (8,16,41) o protomodel cuina (54)	model mecano (8, 16,41 i 54)
	protomodel cuina (2,29,36,48)	model cuina (2,29,36,48)
	no protomodel (44)	model incoherent (44)

Taula 14. Comparació de les explicacions a l'experiment del cicle del Cu amb el model teòric construït a partir de la redacció R2

Cicle Cu 1	Cicle Cu 2	R2
nivell d'explicació macroscòpica (23,59) microscòpica (1)	nivell d'explicació microscòpic (1) macroscòpic (23) model interactiu (59)	model interactiu (1,23 i 59)
nivell d'explicació macroscòpica (8, 16,41) no fa exp. (54)	nivell d'explicació microscòpica parcial (16,41 i 54) no fa exp. (8)	model mecano (8, 16,41 i 54)
nivell d'explicació macroscòpica (36) no fa exp. (2,29,48)	model cuina (2) nivell d'explicació microscòpica (29,36,48)	model cuina (2,29,36,48)
nivell d'explicació macroscòpica (44)	nivell d'explicació macroscòpica (44)	model incoherent (44)

Taula 15. Comparació del model teòric construït a R2 amb les respostes a les entrevistes

R2	Entrevista $(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{Fe})$
model interactiu (1,23 i 59)	model interactiu (1,23 i 59)
model mecano (8, 16,41 i 54)	no explica (41), model cuina (8), nivell d'explicació macroscòpica (16,54)
model cuina (2,29,36,48)	combinació elements model cuina i mecano (2,29,36,48)
model incoherent (44)	falsa analogia rovell (44)

V. Conclusions i continuïtat de la recerca

10. Conclusions de la recerca

10.1 Sobre les dades obtingudes

10.1.1 La química de les substàncies

10.1.2 Les entitats químiques que utilitza l'alumnat per explicar un fenomen químic

10.1.3 Els models teòrics com una forma de representar com construeix el coneixement químic l'alumnat

10.1.4 L'ús d'analogies en l'elaboració d'explicacions

10.1.5 La causalitat en química

10.2 Sobre la metodologia d'anàlisi. Reflexions sobre els instruments de recerca

10.3 Sobre les dificultats derivades del marc teòric d'investigació en didàctica de les ciències

11. Implicacions per a l'ensenyament de la química

11.1 Algunes reflexions sobre el currículum

11.2 El professorat i el resultat de les accions docents

12. Consideracions finals i continuïtat de la recerca

En els capítols anteriors d'aquesta memòria hem abordat l'aprenentatge de la interpretació dels fenòmens químics, com a resultat d'una determinada intervenció didàctica, al finalitzar la Secundària Obligatòria. L'estratègia general d'investigació que hem seguit ha estat l'anàlisi de les produccions de l'alumnat. Atès que els resultats i les conclusions dels diferents instruments d'anàlisi, s'ha anat exposant en el seu moment, ara presentarem les conclusions generals que es desprenen del conjunt de la recerca.

No pretenem presentar totes les conclusions derivades de l'anàlisi que s'ha portat a terme en la recerca: només volem descriure els resultats més rellevants d'acord amb els objectius que ens havíem proposat.

Per això hem estructurat les conclusions en quatre apartats. En primer lloc fem una breu reflexió sobre les conclusions extretes de les dades obtingudes en la recerca. Ens hem centrat en les entitats que utilitzen per elaborar una explicació d'un fenomen concret i en els models teòrics, com una manera de representar com l'alumnat va construïnt el coneixement entorn al canvi químic. També hem prestat atenció a l'ús de les analogies i de la causalitat en l'elaboració d'explicacions.

En segon lloc plantejarem les conclusions referents a la metodologia d'anàlisi de la recerca, és a dir a l'ús que se'n ha fet dels instruments: les redaccions i les entrevistes. En tercer lloc, reprenem les dificultats que es presenten a nivell de marc teòric en la recerca en didàctica de les ciències.

Finalment hem volgut referir-nos a les implicacions que es poden extreure de la nostra recerca per a l'ensenyament de la química, tant a nivell de currículum com de la intervenció educativa del professorat.

Més que extraure grans afirmacions que no sempre siguin demostrables amb la interpretació de les dades que hem obtingut, la nostra intenció, és plantejar possibles hipòtesis de treball que puguin suggerir elements per a la continuïtat de la

recerca. És conegut que la pràctica educativa canvia continuament i que els resultats d'una investigació didàctica no són d'aplicació immediata directa i pràctica a les aules. Però la nostra intenció és que els resultats d'aquesta recerca presentin marcs de referència i reflexió dels que se'n puguin inferir aplicacions en diferents contextos escolars. I que tinguin com a objectiu últim la millora de la pràctica educativa en la mesura que suggereixen alternatives a les maneres de pensar o actuar del professorat.

Finalment, volem assenyalar alguns elements per a la continuïtat de la recerca sobre la construcció del concepte de canvi químic. En la mesura que hem fet operatiu el concepte de model teòric i hem iniciat l'estudi dels models teòrics de canvi químic que construeix l'alumnat durant l'Ensenyament Secundari, creiem que pot ser molt útil corroborar els perfils conceptuals que ens han servit per confirmar els models i ratificar, si s'escau la validesa d'aquest models amb mostres d'alumnat diferent.

10. Conclusions de la recerca

10.1 Sobre les dades obtingudes

10.1.1 La química de les substàncies

El coneixement factual en química i, específicament la capacitat de reconèixer diverses substàncies mitjançant les seves propietats és molt limitada en l'alumnat de la mostra que hem estudiat. Això suposa un seguit de dificultats per a fer operatiu el concepte de canvi químic. En la nostra recerca, hem detectat limitacions per a reconèixer els productes de les dues reaccions del cicle del coure: el gas NO_2 , el $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ i el Cu que s'obté al final. Fins i tot, amb els reactius de partida de la 2ª reacció, no podem saber si la majoria de l'alumnat ha reconegut el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, perquè l'anomenen coure.

En el nostre país, a diferència d'altres sistemes educatius, com per exemple França i Holanda, no té prou importància la vessant experimental en l'ensenyament de les ciències experimentals.

Tal com assenyala de Voss (1997) no és el mateix identificar substàncies per les seves propietats que reconèixer-les, a cop d'ull, com es reconeix a una persona. En el laboratori escolar, quan l'alumne realitza les reaccions de l'experiment del cicle del Cu, no realitza cada vegada proves per identificar si es tracta d'una substància o una altra, sinó que les ha de reconèixer sense realitzar proves específiques. Però el problema de reconeixement de les substàncies, es complica encara més quan a la manca de coneixement factual, es sobreposa un patró simbòlic d'interpretació del canvi, com una equació química.

Els resultats de la nostra recerca així ho indiquen, la segona vegada que l'alumnat realitza el cicle del Cu i escriu espontàniament l'equació química de la primera reacció, entre el Cu i el HNO_3 . Com que la manera més fàcil de completar estequiomètricament l'equació és la de dir, que el gas que es desprèn és H_2 i, no es

disposa del coneixement factual, no el reconeixen com a NO_2 . L'equació química que hauria de ser un instrument per interpretar el canvi químic es converteix en la seva explicació acabada i passa per sobre del reconeixement de la substància. A més, probablement no s'hagi realitzat a classe suficients exercicis específics de transferència d'informació entre els dos tipus de llenguatge, entre el llenguatge simbòlic no verbal, les fórmules i les equacions químiques i, el llenguatge verbal (Stinner, 1992; Nye, 1993).

10.1.2 Les entitats químiques que utilitza l'alumnat per explicar un fenomen

En la nostra recerca, hem identificat l'ús per part de l'alumnat de diferents entitats a l'hora de referir-se a una mateixa substància, el coure. El que dit amb altres paraules s'anomena l'ús polisèmic del terme "coure". En les respostes al qüestionari que acompanya l'experiment del cicle del Cu, hem detectat que quan utilitzen el terme "coure", tant poden estar parlant de l'objecte de Cu, com de la substància Cu o, del catió que anomenen Cu dissolt.

Creiem que l'ús polisèmic d'aquest terme comporta la construcció de diferents entitats que l'alumnat utilitza per elaborar les seves explicacions. Això provoca problemes d'aprenentatge, en la mesura que la manca de coneixement, o d'ús d'una manera conscient de les diferents entitats no els permet reconèixer amb precisió les substàncies i saber per tant, qui és exactament el reactiu o el producte de la reacció.

10.1.3 Els models teòrics com una forma de representar com construeix el coneixement químic l'alumnat

El canvi químic és un concepte molt complex que inclou altres conceptes químics, com substància pura, mol o equilibri. Cadascun d'aquests conceptes no explica per ell sol el concepte de canvi químic.

Canvi químic, però no és solament un concepte, és una paraigua que inclou moltes reaccions, fenomen interpretats i relacions entre els conceptes. Entendre un concepte no consisteix en donar-ne una definició, cal saber-lo utilitzar. Un alumne el pot saber definir però no saber-lo utilitzar per a elaborar explicacions.

Rosa Martín (1994a) en quan a les concepcions de l'alumnat sobre el canvi químic, assenyala tres problemes pertinents a la iniciació a la química: les concepcions de base 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. En el capítol I, ja hem comentat que no tenim clara la contribució del nivell microscòpic en la comprensió dels fenòmens químics i creiem que la diferenciació entre canvis físics i químics es dificil que es produeixi abans de que l'alumne hagi construït el concepte de canvi químic. Nosaltres ens hem centrat en l'últim problema que esmenta l'autora i podem dir que alguns alumnes de la mostra, tot i estar a nivell de COU, no són capaços d'interpretar els canvis químics.

En la nostra opinió, no n'hi ha prou en dir si un alumne té o no el concepte de canvi químic. El diagnòstic de l'alumnat en base als models teòrics és més discriminatori. Quan no podem assegurar que un alumne tingui el concepte de canvi químic, ens interessa conèixer què ha après entorn a la interpretació dels fenòmens químics i quines relacions estableix entre els conceptes químics.

Quan parlem de la construcció de models teòrics a l'aula no ens estem referint a imposar un punt de vista, una manera de descriure o d'interpretar, tal com proposen els llibres de text d'acord amb el procés de dogmatització de l'ensenyament. Estem interessades en buscar "els millors models provisionals", en produir "models didàctics" i provar la millor manera d'avançar a l'aula utilitzant "analogies de modelització". Es tracta de posar els mitjans per transformar els continguts i les activitats d'ensenyament, per a desenvolupar un domini de la modelització com actitud i procés intel·lectual utilitzant certes eines.

Els diferents models que hem detectat que construeix l'alumnat: el model interactiu, el model cuina, i el model mecano són variants de la "ciència de l'alumnat" que va construint al llarg de l'aprenentatge, un dels dos components de la ciència escolar, d'acord amb el que hem assenyalat en el capítol II. Marc teòric de la recerca. No creiem que l'existència de models teòrics, vulgui dir l'existència d'una rigidesa en la representació mental del canvi químic, per part dels alumnes investigats. Tampoc no creiem que els alumnes mantinguin sempre el mateix model, tal com hem vist amb els resultats de les entrevistes, sinó que en funció de la tasca proposada activaran preferentment uns o altres elements del seu model teòric.

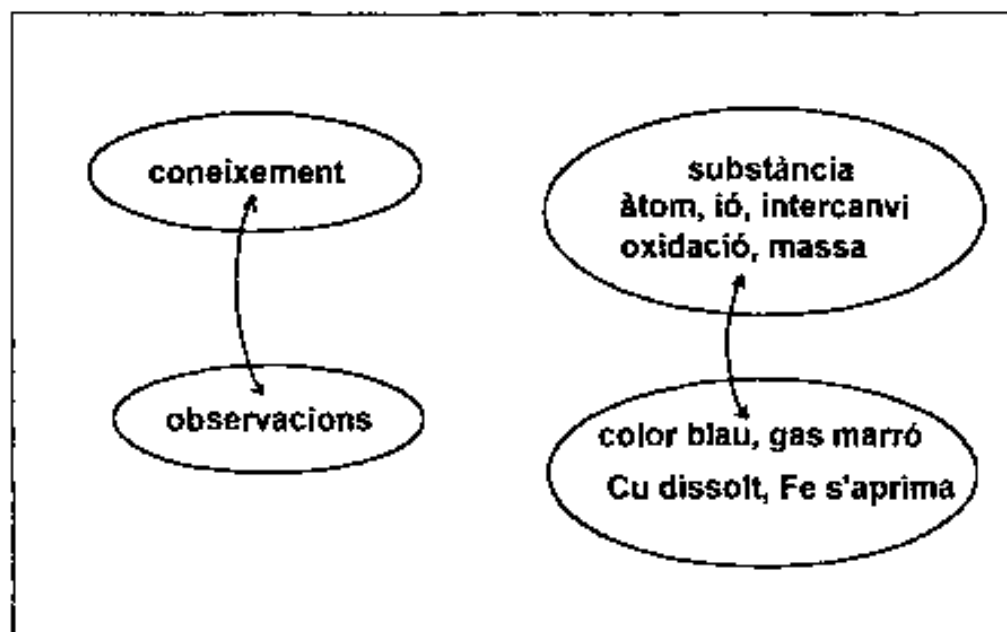
El model incoherent correspon a aquells estudiants que no expliquen el canvi químic, que només descriuen alguns elements o conceptes aïllats de la química; però, la resta, els altres tres models són models explicatius.

Si comparem les explicacions, durant l'entrevista de l'alumnat que tenia un model mecano en la redacció, amb les dels que tenien un model cuina, podem veure que totes són incompletes, des del punt de vista del model científic de química. Però les que donen els del model cuina són més acceptables des del punt de vista del model cognitiu de ciència, ja que tenen significat en el món de les substàncies, malgrat que no sàpiguen donar una explicació a nivell microscòpic. En canvi, els del model mecano no saben donar una explicació en el món de les substàncies o, són una repetició de frases estereotipades.

L'objectiu de l'entrevista és redefinir i clarificar els models teòrics i retornar sobre les categories dels models. L'entrevista ha permès examinar si l'alumnat utilitzava el mateix model que havia utilitzat en la redacció R2. Així, l'entrevista confirma el criteri d'agrupació dels estudiants en el model interactiu i, ens dóna més informació sobre la idea que tenen de la conservació de l'element. Els alumnes del model interactiu són els únics que presenten un model consistent de canvi químic i, que donen l'explicació coincident amb el model científicament acceptat de canvi químic.

La resta de models no són consistents, és a dir, els alumnes agrupats en els models cuina i mecano no donen explicacions a l'experiment de l'entrevista, que siguin consistents amb el model que presentaven en la redacció. Els que presentaven un model cuina en la redacció, en l'entrevista no són capaços d'elaborar una explicació que sigui equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic.

Pel tipus de models que hem pogut construir a partir de les dades de les redaccions fetes a R2 i, per la dificultat observada durant les entrevistes en activar els coneixements que tenen, és a dir per operativitzar-los davant d'un fenomen concret podem afirmar que l'alumnat no és capaç establir una relació entre el seu coneixement i el món dels fets, segons el diagrama de De Voss (1997):



L'alumnat per ser autònom en l'elaboració d'explicacions, en química, ha de saber escollir quin nivell de coneixements és coherent amb la realitat química que se li presenta, és a dir amb les seves observacions. Però no hauria de continuar amb una dualitat de pensament entre el món dels fenòmens i, el seus coneixements fonamentalment teòrics, per un altre.

En quan a la relació entre el coneixement teòric i la fenomenologia, la recerca posa en evidència aquesta difícil relació. Quasi bé en cap de les redaccions es recorda

l'experiment del cicle del Cu correctament: els aspectes fenomenològics del cicle del Cu són un obstacle tant gran que no tenen un model teòric que els inclogui i, el nivell microscòpic del model científic del canvi químic esdevé tant potent al llarg de l'aprenentatge, que es deixa de banda la fenomenologia. A COU, l'últim any de la recerca, els estudiants prioritzen un tipus d'explicació, la microscòpica que no els permet explicar la realitat química i, els fa perdre de vista els fenòmens químics que tenen lloc en les substàncies.

Coincidim amb Derek Hodson (1988) quan diu que "el problema principal d'una teoria científica a l'escola no és el de la seva comprensió conceptual, sinó el seu ús correcte; així molts estudiants comprenen les proposicions d'una teoria particular però són incapaços de reconèixer quan i sota quines circumstàncies han d'utilitzar-la"

Des d'aquesta perspectiva, si tenim en compte el referent empíric dels canvis químics, podem dir que els models cuina i interactiu són models teòrics, perquè tenen significat en el món de les substàncies que és el món real de la química. Però els altres, el model mecano i lògicament el model incoherent només són models, no arriben a ser models teòrics, tal com els hem definit, ja que no tenen significat en el món químic.

Els models teòrics que construeix l'alumnat perden la consistència en el moment que es parla dels aspectes conservatius del canvi químic, tal com hem vist a les entrevistes. Allà la relació pregunta/ resposta és molt evident, si l'entrevistadora insisteix, el model teòric de l'alumne no permet explicar els aspectes conservatius del canvi químic i, per tant, perd consistència. Si l'entrevistadora no insisteix, el model teòric simplement queda incomplet.

Per comprendre els aspectes conservatius del canvi químic, en concret la conservació de l'element, hi ha un estadi previ en la construcció del model per interpretar el canvi químic: cal tenir una visió interactiva del canvi químic. Si la visió del canvi químic inclou la idea que un dels reactius és l'agent passiu del canvi

(Stavridou, 1990), no té significat la conservació de l'element, ja que hi ha un dels dos reactius, l'agent passiu del canvi que es conserva. Els alumnes ho expressen amb les seves paraules dient "el Fe és el que s'ha quedat".

No podem assegurar que hi hagi una forta correlació entre la conservació de l'element i el model de canvi químic. En la nostra recerca, en l'entrevista, els alumnes que parlen de conservació de l'element són els que tenen el model interactiu (1,23 i 59) però, també l'esmenta i el formula correctament l'alumna 44 que té un model incoherent, encara que després no és consistent en les seves explicacions.

Si comparem els models construïts en la nostra recerca amb els criteris de classificació del canvi utilitzats per Andersson (1990) i Brosnan (1990), veiem que els models teòrics permeten incloure, simultàniament més categories d'anàlisi que les categoritzacions esmentades d'Andersson i Brosnan. L'aspecte de més interès dels models teòrics és que presten atenció als fets empírics o als exemples de canvi químic que té l'alumne. En canvi, la categorització d'Andersson i Brosnan es fixen respectivament en el tipus de transformació de les substàncies (Desaparició, Modificació i Transmutació) en el primer cas, i en el tipus de canvi i l'agent del canvi en el segon.

A tall de conclusió, sobre la nostra reflexió entorn els models teòrics, fem una proposta de model de canvi químic desitjable que hauria d'adquirir l'alumnat al finalitzar els estudis de Secundària, abans d'entrar a la Universitat. És una proposta didàctica i, per tant, no recull tots els conceptes químics que es treballen actualment a l'Ensenyament Secundari. Hem inclòs només aquells conceptes i exemples que han estat operatius per a l'alumnat de la mostra investigada.

Per a decidir el contingut del model desitjable de canvi químic, hem tingut en compte els conceptes i els exemples més esmentats per l'alumnat de la nostra recerca, relacionant-los entre ells de manera correcta, des del punt de vista químic. Per això, el procés de construcció del model desitjable de canvi químic, a partir dels

diferents models dels estudiants l'hem fet seguint els següents criteris: en primer lloc, fer explícits els conceptes que a vegades són implícits per a l'alumnat i després, escriure correctament les relacions entre els conceptes.

En el context escolar, el model desitjable de canvi químic que proposem serà útil per al professorat, per diferents motius. En primer lloc, perquè els permetrà conèixer si l'alumnat estableix relacions incorrectes entre els conceptes necessaris per a la construcció del concepte de canvi químic. En segon lloc, servirà per detectar si estableix relacions amb conceptes irrelevantes i, finalment saber si l'alumnat elabora explicacions amb conceptes implícits que per tant, cal explicitar.

Donada la quantitat de conceptes químics que es treballen a l'Ensenyament Secundari, el model desitjable de canvi químic serà útil per al professorat a l'hora seleccionar els llibres de text i materials curriculars i, per orientar el procés didàctic. Mitjançant el model desitjable de canvi químic, el professorat podrà focalitzar els conceptes que són rellevants per a la construcció del concepte de canvi químic per part de l'alumnat i, les relacions entre conceptes que li són més difícils d'establir.

El model de canvi químic desitjable queda esquematitzat en el següent mapa de Thagard (1990), on les regles que relacionen els conceptes són les següents:

R₁: En un canvi químic s'obtenen noves substàncies per reordenació atòmica

R₂: Un canvi químic va acompanyat d'una transferència d'energia

R₃: La conservació de l'energia explica la formació i trencament d'enllaços

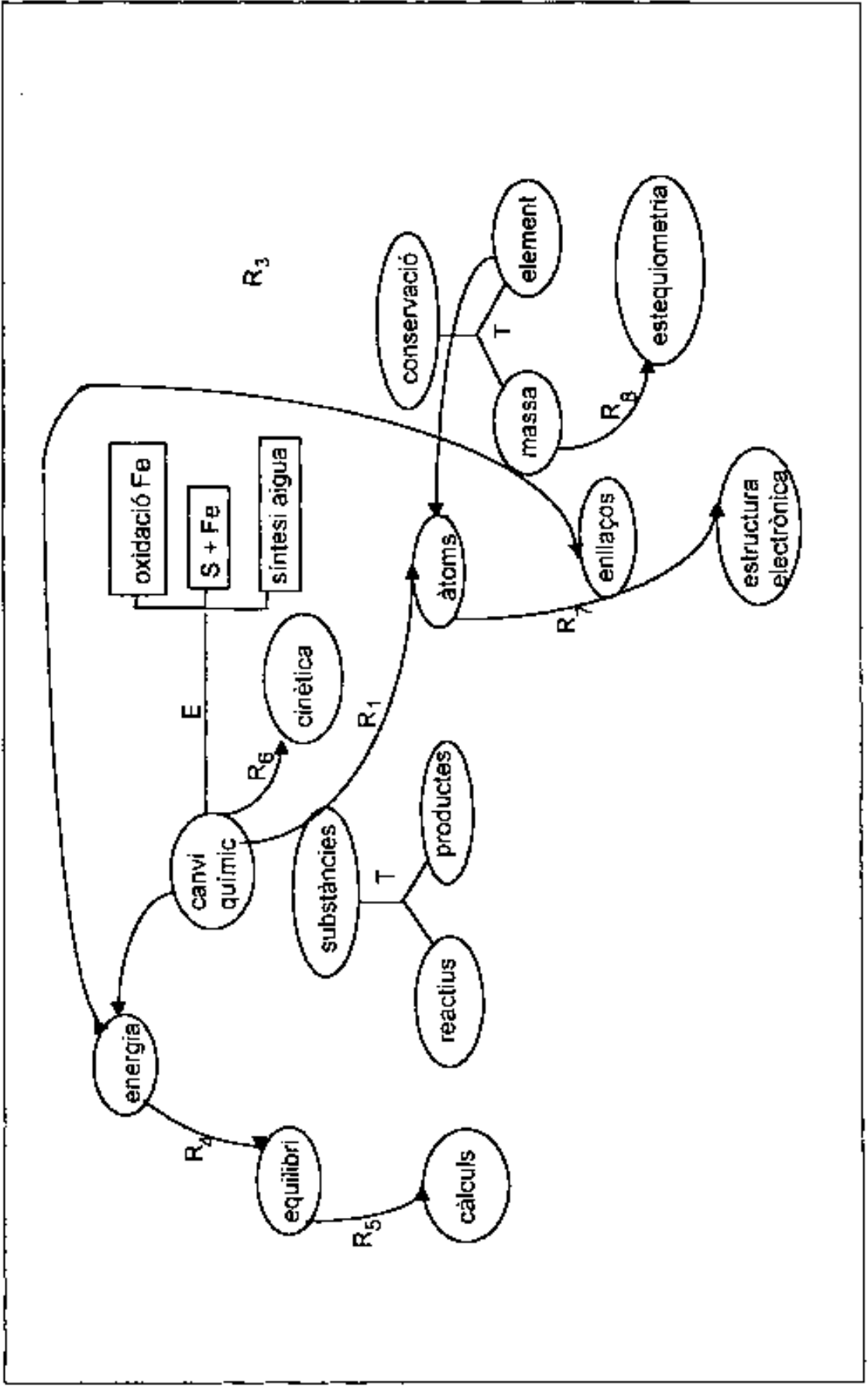
R₄: La transferència d'energia afecta la situació d'equilibri del canvi químic

R₅: En situació d'equilibri podem realitzar càlculs químics

R₆: El canvi químic es produeix a una velocitat de reacció que s'anomena cinètica química

R₇: Els àtoms s'uneixen mitjançant enllaços i tenen una estructura electrònica determinada

R₈: L'estequiometria realitza els càlculs relatius a la massa



10.1.3 L'ús d'analogies

En la nostra recerca, en aquell sector de l'alumnat que utilitza analogies en l'elaboració d'explicacions, hem detectat un procés que hem qualificat de substitució d'analogies. A mesura que va augmentant la complexitat del nivell d'explicació del concepte de canvi químic i ha d'explicar més reaccions químiques, l'alumne va substituint les primeres analogies, que són normalment fets macroscòpics (el rovell del ferro, el sofre i el ferro, cremar paper, ...) per un tipus de reacció química, en la nostra recerca, les equacions redox. Aquest submodel porta associat un fort aparell de representació formal: ions, cations, electrons, etc. que arriben a substituir el fenomen químic. L'alumna 36 expressava aquesta situació dient "les equacions redox, per a mi, són les millors que hem fet".

El problema, a nivell d'aprenentatge esdevé quan un alumne només recorda el nom: equacions redox, i el guany i la pèrdua d'electrons, com si fos un joc de sobretaula, sense establir connexió amb els altres nivells d'explicació. És a dir, quan només s'utilitza l'etiqueta "redox" buida de contingut, llavors no pot funcionar com analogia. S'ha produït un procés de substitució de les analogies menys elaborades, com la reacció entre el S i el Fe, que encara que tenien limitacions, funcionaven com a exemple per altres canvis químics per unes altres etiquetes buides de contingut. Hi ha una inflexió en el procés d'aprenentatge que no és fàcil de solucionar perquè, d'altra banda, les analogies primitives tampoc no funcionarien per aquest món de fets i de idees químiques que s'ha fet tant ampli a nivell de COU.

En la nostra recerca, també hem constatat que alguns alumnes utilitzen una falsa analogia, com el rovell del Fe, o l'oxidació del Fe, en la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Diem que és una falsa analogia perquè no arribarà mai a ser un model, ja que no permet l'establiment de les hipòtesis teòriques entre el fet, la reacció esmentada i el suposat model que seria l'analogia, una de les condicions perquè el fet esdevingui un fet interpretat i pugui funcionar com a model teòric, tal com hem indicat en el capítol II, Marc teòric de la recerca.

10.1.4 La causalitat en química

Una de les conclusions de la nostra recerca fa referència a que l'elaboració d'explicacions utilitzant la causalitat, en el cas de la química, reuneix unes característiques diferents del raonament causal fins ara investigat en física (Gutiérrez, 1996a). Més que parlar en termes de causes, com que no es tracta d'accions físiques, en química, l'alumnat raona en termes d'agents necessaris que causen l'efecte, el canvi o la reacció

El següent quadre resumeix el nombre d'estructures causals construïdes per l'alumnat durant les entrevistes, així com el tipus d'agents utilitzats.

Alumne	estructures causals simples	estructures causals complexes	agent causal element sistema	agent causal element extern
1	2	1	clau	calor, (acció) agitar
2	3	1	àcid, Cu, Fe	
8	6	1 (c.q. com a procés)	clau, líquid, Cu, Fe, àcid	escalfador
16	-	-	-	-
23	-	-	-	-
29	7	1 (c.q. com a procés)	reactiu, filferro, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, Cu dissolt, subst.	temperatura
36	5,1 c.q. com a procés	1 (c.q. com a procés)	líquid, imant	escalfor
41	2			calor
44	7 (1 c.q. com a procés)	3 (c.q. com a procés)		calor, escalfor, foc
48	-	-	-	-
54	1		electrons	
59	8 (4 c.q. com a procés)	1 (c.q. com a procés)	imant, Fe, c.q.	escalfor, temperatura, electricitat,

A la vista dels resultats obtinguts, podem dir que utilitzen la causalitat alumnes que presenten els 4 diferents tipus de models de canvi químic, des de l'interactiu fins a l'incoherent. No s'observa un comportament homogeni en l'ús de la causalitat en funció del model concret. L'alumne 59 que hem agrupat en el model interactiu, fa un ús molt portent de la causalitat (11 estructures causals, 3 d'elles encadenades), però no podem dir el mateix dels alumnes 1 i 23, també interactius. L'alumne 1 construeix 4 estructures causals, però la 23 no en construeix cap. En canvi, l'alumna 29 que hem classificat en el model cuina, hem identificat 8 frases causals a l'entrevista. I l'alumna 44, la única que presentava un model incoherent de la mostra reduïda de la recerca, a l'entrevista construeix 10 frases causals, 3 d'elles encadenades.

Hi ha explicacions en química que no es poden construir sobre la base d'un raonament causal, són explicacions formals que cal fer d'acord amb el model científic de canvi químic. Així ho explica l'alumna 44 durant l'entrevista, a (30) "els elements que formen, per exemple, el nitrat de coure i el ferro, sempre estan, l'únic que canvien però es conserven".

En química, la majoria d'explicacions elaborades per alumnat amb dos o tres anys de formació, guarden un difícil equilibri entre el món real, de les substàncies i el model científic que s'utilitza per explicar-lo. En la mesura que es perd de vista la realitat: les substàncies i els fenòmens, i va prenent més força el model teòric, que en alguns casos no es domina completament, es construeixen explicacions homogènies o formals.

La força del model, en la nostra recerca, del submodel redox, resideix en el nivell epistemològic superior de termes científics com transferència iònica, intercanvi electrònic, dissociació, ... i el poder explicatiu aparentment "per se" superior del llenguatge científic respecte al llenguatge referit al món real de les substàncies: Fe, rovell, dissolució de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, color blau, ...

Rufina Gutiérrez (1996b) afirma que el llenguatge causal modelitza totes les accions, fins al punt que arriba a modificar la realitat, en el cas de la física. La

causalitat és una via de construir i comunicar un discurs, per part de l'alumnat, el més proper possible al científicament acceptat. Però, en química pretenem treballar conjuntament la realitat i el model, els fets interpretats i les seves explicacions teòriques. Per tant, l'ús de la causalitat per part de l'alumnat en el procés de construcció de significats dels fenòmens químics depèn de si el fet que se li proposa interpretar a l'alumne forma part del model teòric.

En les entrevistes, l'alumnat ha de donar una explicació a la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe. Malgrat haver realitzat l'experiment dues vegades, la majoria de l'alumnat no té elaborada una explicació de l'experiment, és a dir, no és un fet químic interpretat que forma part del seu model teòric, és simplement un fet.

10.2 Sobre la metodologia d'anàlisi. Reflexions sobre els instruments de recerca

A la vista dels resultats obtinguts en relació amb els objectius que ens havíem proposat, la metodologia utilitzada en aquesta investigació s'ha mostrat reiteradament eficaç. Les úniques limitacions observades es deriven de la pròpia naturalesa dels instruments d'anàlisi, especialment en el cas dels qüestionaris i les redaccions que comentarem més endavant.

En qualsevol recerca en context escolar, cal posar una mica d'imaginació a l'hora de trobar un format per als instruments de recollida de dades que els faci prou útils com per recollir l'amplitud de les idees i explicacions que elabora cada noia i cada noi davant d'un fenomen o un camp conceptual.

Les entrevistes han resultat els instruments més eficaços des d'aquest punt de vista, tal com ja hem comentat, en la mesura que permeten intentar esbrinar el significat que hi ha darrera dels termes, conceptes i explicacions que l'alumne construeix, a vegades, de manera automàtica.

Sobre el format de les entrevistes, ja hem comentat en el capítol III, Disseny de la recerca, la importància en l'ordre a seguir a l'hora de plantejar les preguntes, en funció de la proximitat conceptual que té el tema que es planteja en la pregunta. Han sigut més fluides les entrevistes en que hem començat per preguntar el què canvia durant el canvi químic, que no pas aquelles en que hem començat per esbrinar quina idea tenia l'alumne sobre el què es conserva en el canvi químic.

També volem destacar la diferència en quan als resultats obtinguts quan s'utilitzaven preguntes de definició, com per exemple Què és per a tu un ió?, de quan s'utilitzaven preguntes de comparació: Quina relació hi ha o en que es diferencien un ió d'un àtom?. Les preguntes de comparació fan que l'alumnat vagi més enllà de la repetició de frases estereotipades.

Les redaccions, des del nostre punt de vista, mereixen un comentari especial. Com a instruments de recollida de dades tenen molts avantatges en la mesura que és un instrument obert que recull de manera poc coercitiva les explicacions de l'alumnat. Però, l'ús de les redaccions pot presentar algunes dificultats, ja que al tractar-se d'una comanda tant amplia, malgrat que s'adjuntin verbalment o per escrit unes instruccions que intentin concretar el tema, no es pot influir sobre la voluntat de comunicar les idees per part de l'alumne. Així, hem vist que les redaccions fetes a R1 són més concretes i menys retòriques, cosa que facilita la seva anàlisi. Però també hem comentat que a R2, les produccions han sigut molt més extenses i alguns alumnes han escrit dues pàgines sense dir res del canvi químic, el que ha complicat l'anàlisi i la interpretació de les dades.

En qualsevol cas, en la nostra recerca l'ús d'aquest instrument no ha presentat cap problema en quan a les dades obtingudes. En comparar els resultats obtinguts a les redaccions amb els de les dotze entrevistes, hem pogut observar com la única alumna que a R2 presenta un model incoherent del canvi químic, després en l'entrevista millora la seva explicació de la reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, encara que utilitza la falsa analogia del rovell del Fe per fer-ho.

En quan a la mostra, donades les característiques de la recerca en context escolar, considerem que el nombre d'alumnes (51 alumnes), dels quals s'ha recollit les produccions o han estat entrevistats (12 alumnes), ha sigut adequat per establir una primera definició de models de canvi químic que caldrà ratificar en posteriors investigacions.

10.3 Sobre les dificultats derivades del marc teòric d'investigació en didàctica de les ciències

Malauradament, no hi ha un consens general en quan als marcs teòrics o les diferents aproximacions que poden ser útils per a la investigació didàctica. En opinió d'alguns autors (de Jong, 1995), el valor de les recerques fetes des de l'aproximació de la ciència cognitiva és limitat, perquè la naturalesa de molts models psicològics educacionals és molt general. De totes maneres, aquestes recerques són molt útils ja que la relació entre la teoria general i la pràctica específica, encara és molt feble i, les recerques permeten reforçar-la.

Fins ara, la recerca en didàctica s'havia centrat en les concepcions de l'alumnat, un terme que no permet abraçar la descripció del conjunt de conceptes relacionats amb el canvi químic, les relacions entre ells i amb el referent empíric que es volia investigar en aquesta recerca.

Per això, ens vàrem plantejar la recerca en la línia dels models teòrics. Un altre problema afegit és la dificultat derivada de l'ambigüitat amb que actualment s'utilitza el concepte de model. Una corrent molt forta d'investigació és la dels models mentals que ja hem descrit breument en el capítol II. Des de la perspectiva epistemològica del model cognitiu de ciència, creiem més adequat parlar de models teòrics ja que no volem descriure el contingut del pensament de l'alumnat, sinó que intentem representar com organitza l'alumnat el camp conceptual associat al concepte de canvi químic. En qualsevol cas, aquest no és un problema solucionat i probablement caldrà esperar més investigacions i estudis que vagin donant pistes,

per tal de definir de manera més precisa quin d'aquests constructes és més útil per avançar en la investigació didàctica.

La nostra recerca ha intentat identificar si l'alumne ha construït un model teòric de canvi químic, encara que sigui de manera incipient un model de canvi químic com a conseqüència de la instrucció. No heu volgut identificar una evolució psicològica del pensament de l'alumnat sinó el resultat d'una intervenció didàctica.

11. Implicacions per a l'ensenyament de la química

11.1 Algunes reflexions sobre el currículum

Des de la introducció d'aquesta Memòria hem plantejat les dificultats sorgides durant l'aprenentatge de la química a nivell d'Ensenyament Secundari, com a conseqüència de l'estructura dels temes de química escolar. Per tant, en l'horitzó de la nostra recerca ha estat sempre present la necessitat de repensar el currículum de química.

L'estructura i el contingut dels materials curriculars i llibres de text provoca una manca de connexió, en l'estudi dels fenòmens químics que, forçosament ha esdevingut un problema per l'aprenentatge.

Aquesta afirmació ha quedat il·lustrada per les diferències analitzades entre les redaccions escrites, a l'inici del segon any de la recerca, R1 i les escrites el tercer any de la recerca, R2. En les primeres, ja hem assenyalat que el més baix nivell d'informació química i el coneixement de pocs exemples de canvi químic no ha estat un obstacle per construir un protomodel de canvi químic, on destaca una forta presència d'exemples empírics de canvi químic. A R2, malgrat que ha augmentat el nivell d'informació química per part de l'alumnat, ha augmentat de manera alarmant el nombre de redaccions que no parlen de canvi químic. També és significatiu

l'augment de regles d'explicació a R2, que ha passat de 33 que hi havia a R1 a 69 a R2.

Els resultats de la nostra recerca plantegen que el currículum de química a l'Ensenyament Secundari, fins als 18 anys, hauria d'incloure una visió més equilibrada del coneixement de la química de les substàncies juntament amb l'explicació a nivell microscòpic. Per això, és imprescindible que no estigui sobrecarregat de temes i que la seqüenciació, en la introducció de conceptes, vagi de mica en mica treballant i donant significat als conceptes, tant a nivell experimental com teòric (Márquez i Solsona, 1993, García, 1994, Izquierdo, 1993,1994). Caldria intentar cobrir l'objectiu de no repetir la situació observada en la nostra recerca on el concepte de ió no té significat a nivell experimental i, tal com s'ha vist a les entrevistes, a nivell teòric, el concepte de ió tant pot estar relacionat amb la pèrdua o guany d'electrons, protons o oxígens. Aquestes modificacions en el currículum han de quedar reflectides en el procés d'autoregulació dels aprenentatges i en l'avaluació sumativa (Sanmartí i Jorba, en premsa).

Al llarg de la recerca, hem manifestat de manera reiterada la importància del coneixement factual per a l'aprenentatge de la química. Solomonidou (1991) planteja que 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. De manera semblant, l'ampliació del camp empíric de les substàncies i les seves interaccions i, la implicació activa de l'alumnat en el procés experimental afavoriria una evolució no solament verbal, sinó que també conceptual entorn al concepte de canvi químic.

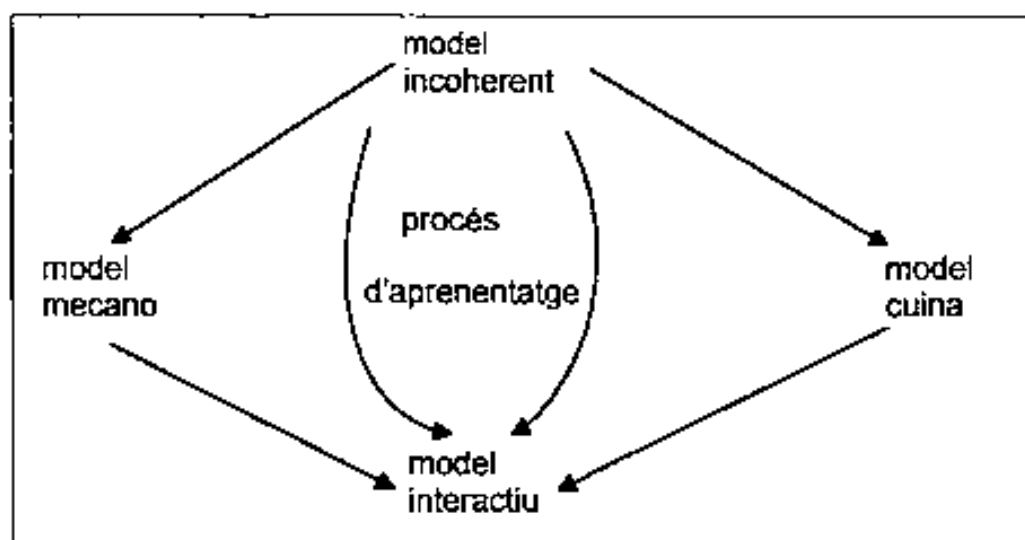
Tal com hem indicat a l'apartat 7, Anàlisi i caracterització de la proposta curricular seguida per l'alumnat de la recerca, en el nostre país és clara la sobrecàrrega de temes que es pretén que l'alumnat aprengui en tres cursos escolars. La poca disponibilitat horària a BUP, on els dos primers cursos només es dediquen tres mesos a l'estudi de la química i la orientació del currículum de química no ajuden a la implicació de l'alumnat en l'aprenentatge. No compartim l'èmfasi que semblen

posar alguns autors (J.I. Pozo, 1991 i Gómez Crespo, 1996) en la importància de l'aprenentatge del model atòmic perquè l'alumnat construeixi un model de canvi químic coincident amb el científicament acceptat.

El disseny del currículum és un dels tres àmbits que recullen les preocupacions majoritàries en didàctica de les ciències, juntament amb els models teòrics a ensenyar i la gestió comunicativa de l'aula (Izquierdo, 1995). La reforma del currículum ha de tenir en compte les idees plantejades en els estudis que sobre el tema s'han portat a terme (Anderson, 1992, Shymansky i Kyle, 1992, Linn, 1992 i Yager, 1992).

El disseny dels currículums de ciències ha de tenir com a base la identificació d'uns pocs models teòrics que constitueixen el nucli central del contingut a ensenyar (Izquierdo, Solsona i Cabello, 1993; Millar, 1996), entre ells el model de canvi químic desitjable esmentat en aquest capítol.

El següent esquema resumeix la relació entre els quatre models teòrics de canvi químic.



En la nostra opinió, el desenvolupament curricular que es segueixi durant el procés d'aprenentatge hauria d'afavorir el desenvolupament simultani d'aspectes del model mecano i del model cuina i les connexions entre ells per tal que l'alumnat arribi a construir el model interactiu del canvi químic.

10.5.2 El professorat i el resultat de les accions docents

L'alumnat de la mostra, per l'edat que té i el grau d'instrucció en química, no es troba davant d'una situació que es pugui definir per la manca de necessitat del concepte de canvi químic. L'últim any de la recerca, la majoria de l'alumnat veu la necessitat del concepte de canvi químic, però no l'ha construït d'acord amb tots els criteris del model acceptat científicament.

Per a alguns d'ells, el concepte de canvi químic o no té significat o no l'han sabut comunicar, són aquells que hem agrupat en el model incoherent de canvi. Un altre grup d'alumnes, els que tenen el model cuina i el model mecano presenten deficiències respecte al model explicatiu de canvi químic acceptat científicament.

Aquest últim grup d'alumnes mereix un comentari especial. Ens sembla més important que el fet que tinguin un model o l'altre, la manca de coneixement per part dels propis alumnes del model de canvi que té cadascun d'ells. Coincidim amb White (1994), en la importància de la metacognició, és a dir, la necessitat per part del professorat d'estimular en l'alumnat, la reflexió sobre el propi aprenentatge. Fins ara disposem de pocs instruments que puguin ajudar a realitzar aquesta tasca. Els models que hem identificat en la nostra investigació poden ser útils per a aquesta tasca.

El professor hauria d'estimular que els alumnes contrastin les seves produccions, és a dir les seves idees sobre el canvi químic amb els diversos models de canvi químic. Aquesta reflexió acompanyada d'una discussió sobre els avantatges i inconvenients de cada model pot ser una via per conèixer el seu propi nivell d'aprenentatge.

Coincidim amb de Jong, Korthagen i Wubbels (1997) quan suggereixen que els professors i professores actuen com persones expertes, atès que el seu coneixement i la seva experiència són el resultat d'un llarg procés d'aprenentatge. En canvi, els estudiants actuen i raonen com a persones novelles. Aquesta diferència en

els marcs teòrics de referència és un factor que contribueix, probablement, a les dificultats d'aprenentatge detectades durant la nostra recerca.

El fet que l'alumne a l'aula construeixi el seu propi discurs científic, confereix importància a l'esforç, per part del professorat, per conèixer el significat que cada alumne concedeix als termes que s'utilitzen. En aquest sentit, les diferents entitats a les quals fan referència els alumnes, quan utilitzen el terme "coure", poden ser una pauta de seguiment per al coneixement per part del professor del que està pensant l'alumne quan diu "coure" i, per tant per a la posterior negociació del significats del terme. De manera anàloga es podrà anar fent amb els altres termes científics i, amb els models teòrics.

Jeannine Acampo (1997), ha caracteritzat en la seva recerca els problemes d'ensenyament que es presenten a l'aula, quan es treballa l'electroquímica. L'autora ha fet una observació directa de les aules i caracteritza específicament el comportament del professorat. Encara que no podem fer una caracterització tant acurada, com l'ha de Jeannine Acampo, atès el disseny de la nostra recerca, voldríem apuntar algunes idees en el sentit de detectar problemes d'ensenyament que poden ser resultat de la intervenció didàctica concreta.

A vegades, els professors fan comparacions mitjançant exemples, per diferenciar entre canvi físic i canvi químic, donant per suposat que l'alumnat és capaç de comprendre aquestes diferències perquè coneix la diferència entre els dos conceptes. Sovint, quan s'utilitza l'exemple del S i el Fe, per il·lustrar com es pot fer amb les mateixes substàncies un canvi físic, una mescla o un canvi químic, del qual s'obté una nova substància, el sulfur de ferro. No podem assegurar que aquesta acció docent il·lustri la diferència entre canvi físic i canvi químic, per a tot l'alumnat, sinó que en alguns alumnes, probablement provoca un solapament dels dos conceptes.

Per a alguns alumnes, pel que hem pogut observar en les entrevistes, la diferenciació entre canvi físic i canvi químic presenta alguns problemes, fins i tot a nivell de COU. Hem detectat estudiants que tenen un model mecano o un model

cuina del canvi químic, on l'existència del concepte de canvi químic és dubtosa i esmenten l'exemple de "l'evaporació de l'aigua líquida", com un exemple de canvi químic.

Atès que la capacitat d'emmagatzament de la informació de l'alumnat és fragmentària, a vegades, recorden únicament la substància que intervé en el canvi, l'aigua per exemple. A COU, 13 alumnes esmenten "la formació d'aigua" i 4 parlen de "l'evaporació o la destil·lació" d'aigua. Caldria aprofundir en la recerca per saber exactament quin fenomen recorden amb aquestes paraules i, si no hi hagut també un solapament d'informació relativa als dos tipus d'exemples.

En les entrevistes, hem detectat en l'explicació del mecanisme de reacció entre el $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ i el Fe, un problema que probablement no és conseqüència d'una acció docent determinada, però que en podria ser objecte. Ja hem dit que alguns alumnes fan una analogia entre el moviment dels àtoms de Cu i Fe i el mecanisme d'evaporació de les gotes d'un líquid. Això, probablement succeeix pel desconeixement o la dificultat en recordar el mecanisme de la reacció. En aquesta situació, alguns alumnes prefereixen recórrer al mecanisme d'evaporació de les gotes d'un líquid, un mecanisme físic que ja coneixen i que els resulta més intel·ligible i acceptable que el mecanisme d'una reacció química.

Els models analògics relatius al nivell microscòpic dels canvis químics, són una part intrínseca de la comprensió de la química. Les recomanacions des del punt de vista de la instrucció passen per dedicar tot el temps que sigui necessari a construir aquests models. Els estudiants no reconeixen que l'explicació del fenomen o el procés que estan realitzant corresponen a l'ús d'un model, i conseqüentment confonen el model amb la realitat. La química de les fórmules (Izquierdo et al, 1997) és en realitat un problema de construcció i ús incorrecte del model de canvi químic, tant a nivell d'alumnat com de professorat. La importància del temps que cal dedicar a la construcció del model científic de canvi químic és més gran, si cal perquè es tracta de relacionar uns fets del món, els canvis químics amb un fenomen no observable com es l'estructura atòmica.

12. Consideracions finals i continuïtat de la recerca

En aquest últim apartat volem fer una sèrie de consideracions finals que ens donin la oportunitat de resumir i connectar les conclusions i conseqüències més importants de la recerca que hem presentat amb les perspectives de continuïtat.

A tall de resum, voldríem indicar de manera esquemàtica les principals aportacions de la recerca, en la qual hem identificat els models de canvi químic que té l'alumnat de 18 anys, com a resultat d'una proposta curricular que suposem interioritzada més o menys significativament:

1. A nivell teòric, la nostra recerca proposa una nova definició del concepte de model teòric que hem introduït en el capítol II i que s'operativitza al llarg de la recerca.

2. A nivell de metodologia, la nostra recerca ha fet un nou ús de les redaccions amb un component d'anàlisi semàntica on es prioritza la coherència i els referents empírics del concepte de canvi químic. Els exemples més esmentats per l'alumnat són: el S i el Fe, majoritàriament a 3er. de BUP i la síntesi de l'aigua a COU.

En quan a l'ús de les xarxes sistèmiques, destaquem la detecció de les entitats que afloren en l'elaboració d'explicacions, és a dir a les quals fa referència l'alumnat en l'ús polisèmic del terme coure. Aquells alumnes que tenen una idea de protoelement, fan referència a les tres entitats del coure, a diferència dels alumnes que conserven allò que no reacciona i que només es refereix a una o dues entitats del coure.

En l'anàlisi de les entrevistes, volem remarcar l'estudi de l'ús de la causalitat: La recerca és una primera aplicació en l'àmbit de la química de l'anàlisi de la causalitat fet per Rufina Gutiérrez(1994), en física, segons el model de De Kleer i Brown. En els nostres resultats, es prioritza l'ús de la causalitat de manera paral·lela a la capacitat d'intervenció i d'implicació en el fenomen per part de l'alumnat.

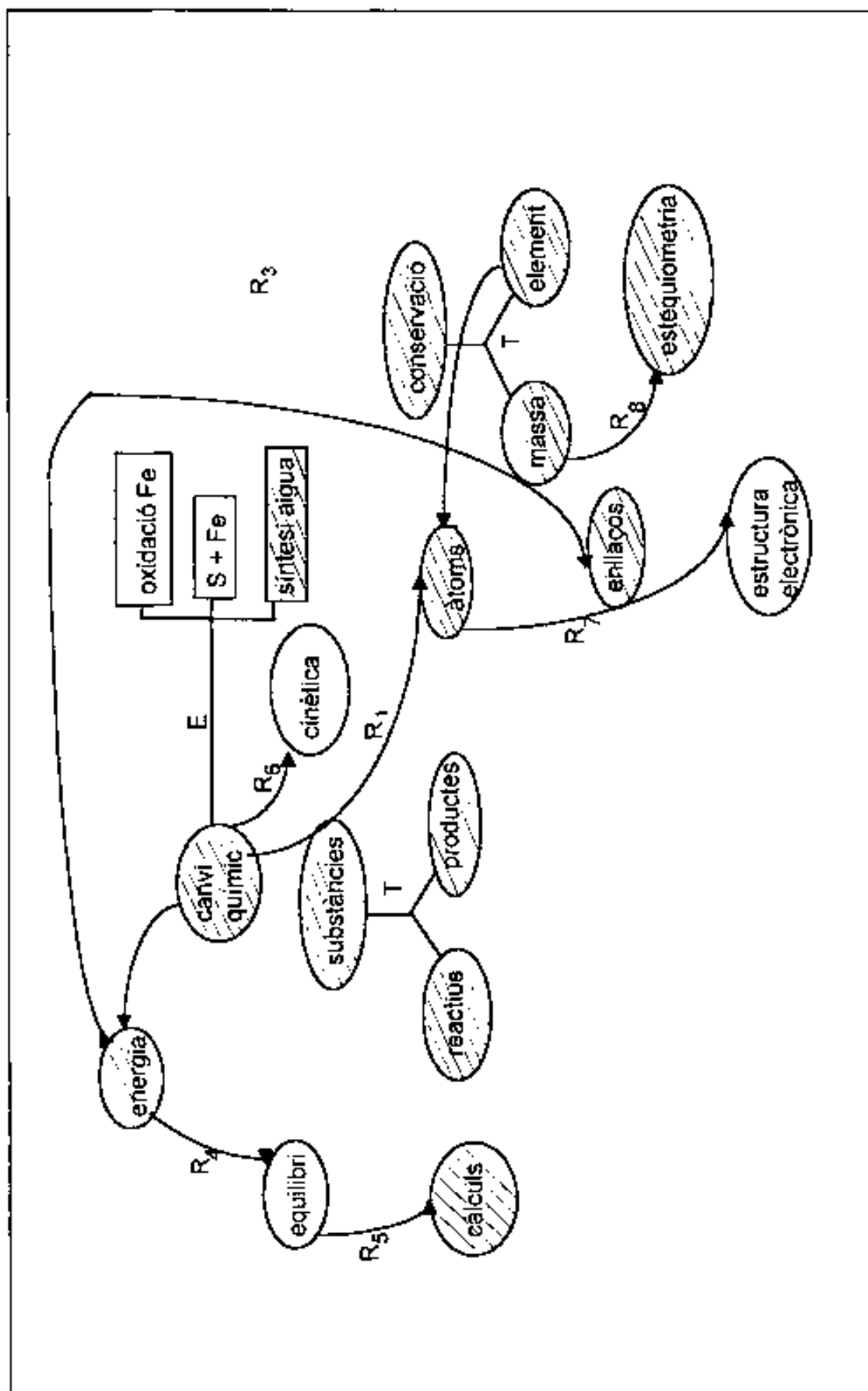
3. Entre els resultats obtinguts en les redaccions, volem remarcar que a nivell de COU, malgrat que ha augmentat el nivell d'informació química per part de l'alumnat,

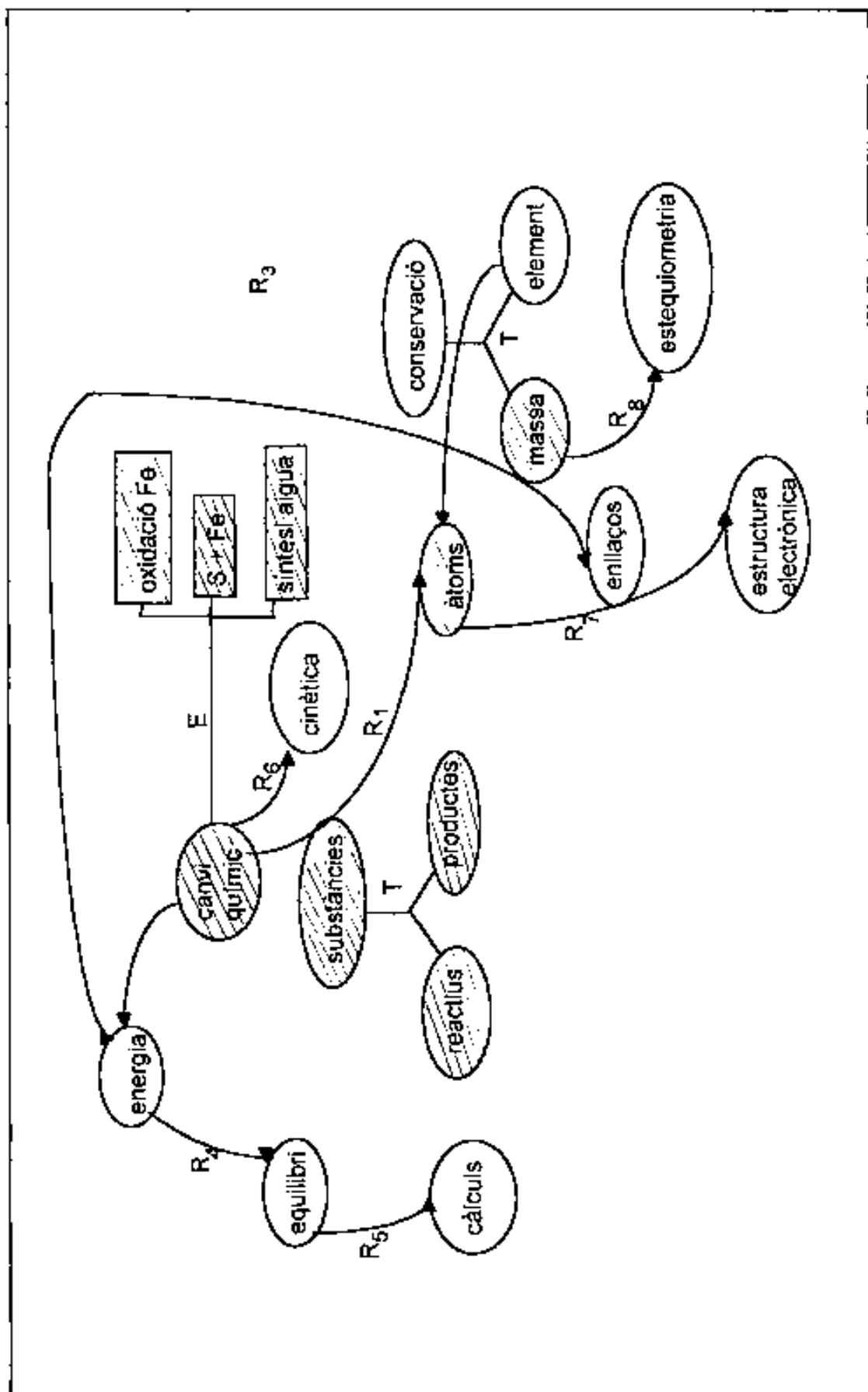
també ha augmentat de manera alarmant el nombre de redaccions que no parlen de canvi químic.

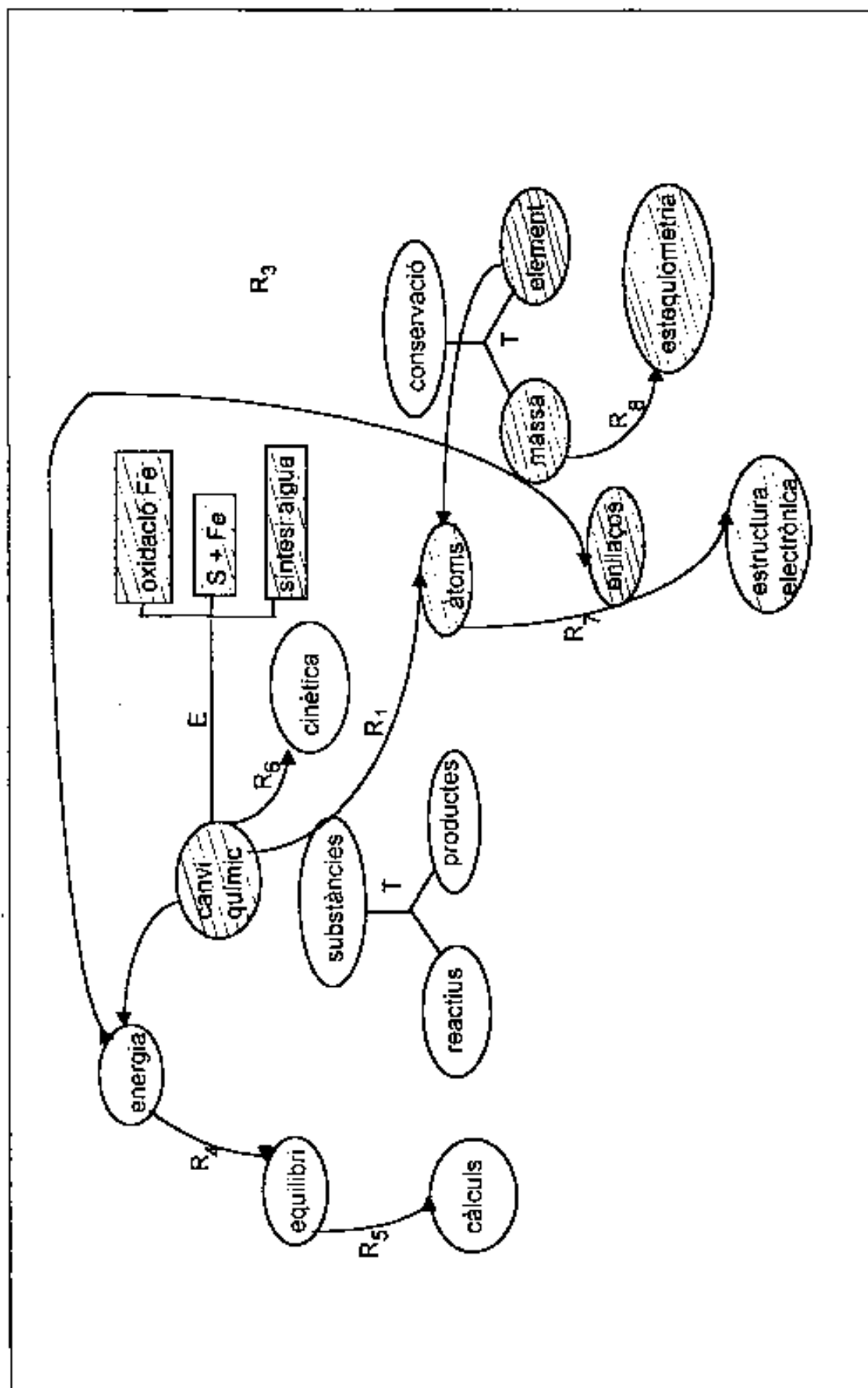
En quan als models teòrics, en les redaccions n'hem identificat quatre de diferents: el model interactiu, el model cuina, el model mecano i el model incoherent. Posteriorment, l'anàlisi de la mostra reduïda, mitjançant les entrevistes ha confirmat els criteris d'agrupació dels alumnes en els models establerts i, ha permès ampliar la informació sobre l'ús dels models.

A continuació, indiquem els conceptes del model de canvi químic desitjable que es posen en joc, de manera majoritària, per part d'aquell sector de l'alumnat agrupat en cada model. El model de canvi químic desitjable l'hem inclòs a l'apartat 10.1.3.

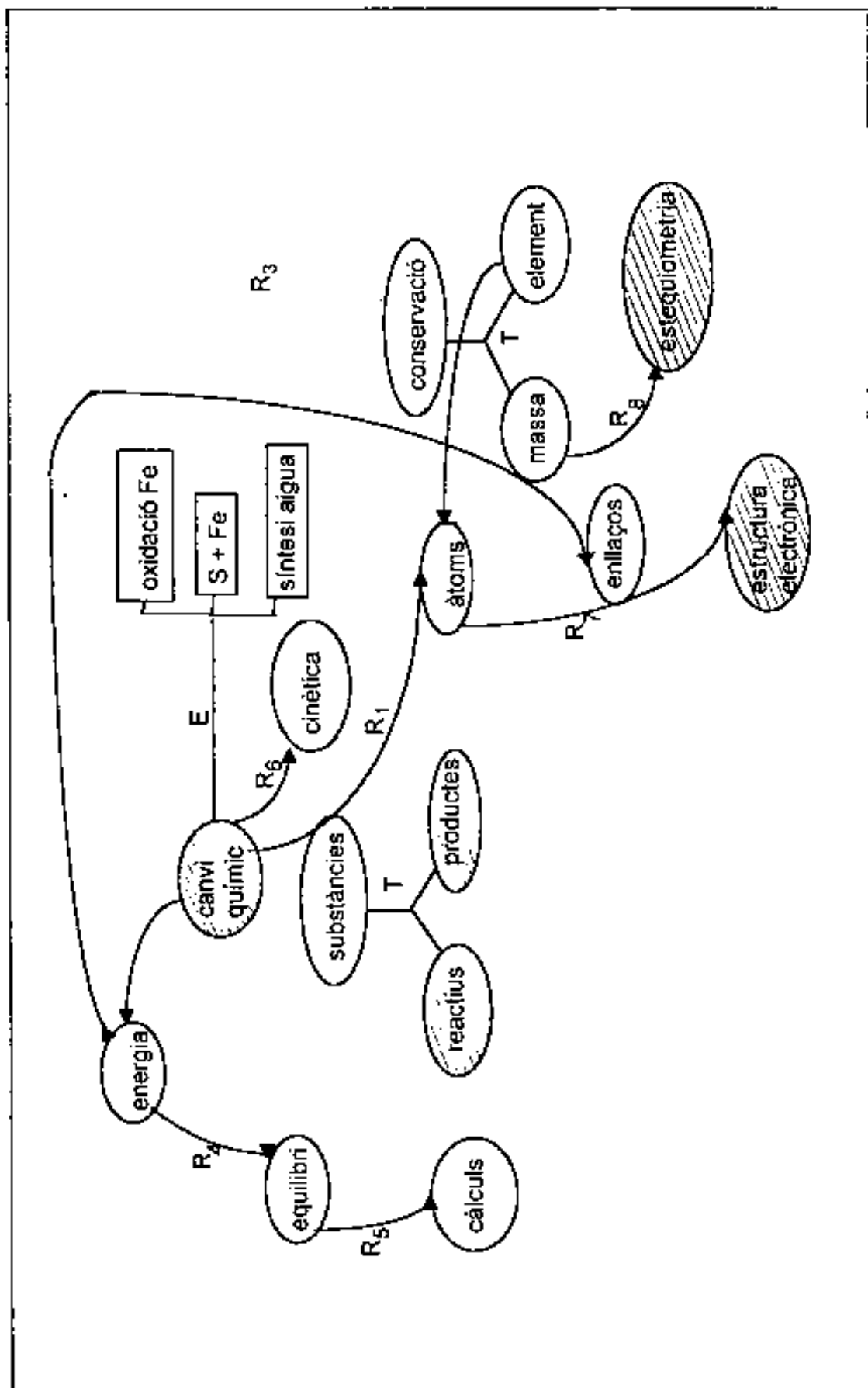
model interactiu







model incoherent



En quan a l'evolució del coneixement per part de l'alumnat, l'anàlisi de la mostra reduïda posa de manifest el manteniment de la tendència a elaborar les explicacions, de manera similar. Això s'observa en les xarxes sistèmiques que agrupen les respostes de l'experiment del cicle del Cu, on els alumnes que presenten un model interactiu fan referència a totes les entitats del Cu, a diferència dels alumnes que presenten els altres models. En les entrevistes, el manteniment de la tendència a l'hora d'elaborar les explicacions s'observa en el model interactiu, el cuina i el mecano.

En quan a l'ús d'analogies, la recerca ha constatat el que hem anomenat mecanisme de substitució d'analogies. És a dir, el primer any d'instrucció els alumnes utilitzen un experiment com el del "S i el Fe" per fer un raonament analògic a l'hora d'explicar un canvi químic. Dos anys després, el llibre i el discurs construït a l'aula han creat noves analogies: la oxidació, les reaccions redox, ... amb l'inconvenient que s'amplia tant l'àmbit d'aplicació de l'analogia que es creen falses analogies. Hem vist com el Cu que es diposita sobre el Fe, en la 2^a reacció del cicle del Cu, es qualifica per part d'alguns alumnes com el resultat de l'oxidació del Fe.

En quan a l'ús de la causalitat, en química, hem vist com està relacionada amb la capacitat d'intervenir en l'experimentació, amb el coneixement descriptiu de les substàncies o l'interès per la química descriptiva.

4. Pel que fa a les implicacions per a l'ensenyament, les volem resumir a partir de tres idees que al nostre entendre són importants. La primera recull el fet que les explicacions de l'alumnat no són totes incorrectes, sinó que la majoria de les vegades són incompletes i/o parcials. El que fa necessari activar la gestió de l'aula per tal d'afavorir que unes explicacions es completin amb les altres.

La segona idea és que els alumnes no recorden els experiments perquè no els han integrat en el seu model teòric. Precisament en la definició de model teòric és consubstancial la integració dels fets interpretats. Per tant, davant de la dificultat en trobar fets que siguin realment paradigmàtics en química, sembla clar que no n'hi ha

prou amb realitzar i referir-se una sola vegada a un experiment durant el procés d'aprenentatge.

La tercera correspon als resultats de les accions del professorat que hem identificat i que poden tenir com a resultat, el solapament dels conceptes de canvi físic i canvi químic, al marge de la intenció d'aclariment i diferenciació amb que han estat proposades.

Tenint en compte tot el que hem dit, les perspectives de continuïtat d'aquesta recerca sobre la construcció del concepte de canvi químic, en l'alumnat d'Ensenyament Secundari, han quedat obertes en diferents sentits.

- Ampliar la operativitat del concepte de "model teòric" per a continuar l'estudi dels models teòrics de canvi químic que hem detectat, amb altres mostres d'alumnat. Per això, haurem de corroborar els perfils conceptuals associats a cada model teòric.

- Aprofundir l'estudi de l'ús d'analogies en química, en la línia de seleccionar aquelles que puguin esdevenir significatives per al propi alumnat i per tal d'esbrinar quines són més útils per a cada àmbit d'aplicació.

- Avançar en l'estudi de la causalitat en química per veure com l'alumnat combina les explicacions causals i les explicacions formals, en el procés de construcció del model teòric de canvi químic.

- Aprofundir la recerca per veure fins a quin punt hi ha coincidència entre els nostres resultats i els de recerques anteriors (Solomonidou i Stavridou, 1994), que plantegen que la construcció i la operativització del concepte de reacció química depenen del concepte i de la operativitat, dit en els seves paraules, del funcionament del concepte de substància.

La continuïtat de la nostra recerca haurà de repercutir, tant en els projectes d'innovació curricular en química que es portin a terme, tant a nivell de la selecció

d'experiments, com de fer una proposta equilibrada entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, per a la interpretació dels canvis químics.

