

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS
EXPERIMENTALES Y SOCIALES

DIFICULTATS EN LA COMPRESIÓ DELS CONCEPTES
DE SUBSTÀNCIA QUÍMICA, SUBSTÀNCIA SIMPLE I
COMPOST. PROPOSTA DE MILLORA BASADA EN
ESTRATÈGIES D'ENSENYAMENT – APRENENTATGE PER
INVESTIGACIÓ ORIENTADA.

M^a CONSUELO DOMÍNGUEZ SALES

UNIVERSITAT DE VALENCIA
Servei de Publicacions
2004

Aquesta Tesi Doctoral va ser presentada a València el dia 23 de Juny de 2004 davant un tribunal format per:

- D. Daniel Gil Pérez
- D. Valentín Gavidia Catalán
- D. Antonio Aucejo Pérez
- D. Jenaro Guisáosla Aranzábal
- D^a. Mercé Izquierdo Aymerich

Va ser dirigida per:
D. Carles Furió Mas

©Copyright: Servei de Publicacions
M^a Consuelo Domínguez Sales

Depòsit legal:

I.S.B.N.:84-370-0872-7

Edita: Universitat de València
Servei de Publicacions
C/ Artes Gráficas, 13 bajo
46010 València
Spain
Telèfon: 963864115

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA
DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS



**DIFICULTATS EN LA COMPRESIÓ DELS CONCEPTES DE
SUBSTÀNCIA QUÍMICA, SUBSTÀNCIA SIMPLE I COMPOST.
PROPOSTA DE MILLORA BASADA EN ESTRATÈGIES
D'ENSENYAMENT–APRENTATGE PER INVESTIGACIÓ ORIENTADA**

**Tesi per optar al grau de Doctora en Ciències Químiques
presentada per**

M^a Consuelo Domínguez Sales

Dirigida per: Dr. Carles J. Furió Más

València, març de 2004

Carles J. Furió Más, Doctor en Ciències Químiques per la Universitat de València i Catedràtic de Didàctica de les Ciències Experimentals de la Universitat de València

CERTIFIQUE, que la present memòria, amb el títol ***Dificultats en la comprensió dels conceptes de substància química, substància simple i compost. Proposta de millora basada en estratègies d'ensenyament–aprenentatge per investigació orientada***, ha estat realitzada per M^a Consuelo Dominguez i Sales sota la meua direcció, i constitueix la tesi per optar al grau de Doctora en Ciències Químiques.

Per fer-ho constar, i en compliment de la legislació vigent, es presenta aquesta memòria de Tesi Doctoral, signant el present certificat en València, a 31 de març de 2004.

AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu agraïment més sincer a totes aquelles persones que han col·laborat en la realització d'aquesta investigació i d'una manera especial:

Als doctors i doctores col·laboradors que al llarg d'aquests anys m'han ajudat a introduir-me en el món de la Investigació en Didàctica de la Ciència.

Als professors i estudiants que han dedicat part del seu temps al present treball, preparant classes i contestant enquestes i qüestionaris, perquè han fet possible l'obtenció dels resultats que ara presentem.

Als membres del Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, en particular al doctor Daniel Gil Pérez, per les seues indicacions i crítiques constructives.

Al doctor Jenaro Guisasola, de la Universitat del País Basc, per l'amistat incondicional mostrada en els moments difícils i els valuosos i sempre encertats consells amb que m'ha obsequiat.

A José M^a, company silenciós de moltes hores de treball i animador incansable front al desànim.

I molt especialment al doctor i amic Carles Furió Más, per totes les indicacions, orientacions i correccions que ha fet a aquest treball amb tremenda paciència i sempre amb un somriure amable.

He vist l'ombra que camina
per damunt del meu quefer.
M'he vestit de nou voler.
I he sentit l'amargor que determina
la veu fonda del cant que està per fer.

Jaume Bru i Vidal. L'instant precís

Sagunt 2000

PRESENTACIÓ I ÍNDEX

Sovint m'ha sorprès el fet que els professors de ciències, més encara que els demés, no entenen que no es compregua (...). No han reflexionat sobre el fet que els adolescents arriben a classe amb coneixements empírics ja formats; es tracta, doncs, no d'adquirir una cultura experimental, sinó de canviar de cultura experimental, d'enderrocar els obstacles ja acumulats per la vida quotidiana.

Amb les anteriors paraules, Bachelard, en 1938, manifestava una preocupació que encara avui és plenament vigent. L'estudi de les concepcions alternatives dels estudiants de qualsevol nivell ha esdevingut una línia de treball molt potent en el camp de la Didàctica de les Ciències, com ho mostra l'abundant bibliografia existent al respecte (Novick i Nussbaum 1978 i 1981, Osborne i Wittrock 1983, Carrascosa 1985, Furió 1986, Driver 1986 i 1988, Hewson i Hewson 1987, Gil et al. 1991a). Aquest camp d'investigació ha permès conèixer millor les idees dels estudiants i elaborar estratègies d'aprenentatge que permeten millorar l'ensenyament, en posar de manifest que, aprendre els continguts, no és tan fàcil com els propis professors i professores sovint pressuposem (Izquierdo 1999, Fensham 2001).

En els darrers anys, la Didàctica de la Química ha estudiat el tema de l'estructura dels materials i les transformacions d'unes substàncies en altres (Ben-Zvi et al. 1988; Bodner 1991; Gabel 1998), mostrant que els estudiants de Secundària tenen greus problemes en la comprensió dels canvis materials. S'han ofert algunes alternatives didàctiques al respecte (Carbonell i Furió 1987, Andersson 1990, Furió et al. 1994c), que possibiliten un punt de partida per mostrar les dificultats existents en l'aprenentatge de l'estructura i composició dels materials, que és el que tractarem en el present treball.

Tot seguit, descriurem breument els aspectes considerats en el desenvolupament d'aquesta investigació i la manera en què s'han organitzat.

En el capítol 1 es plantejarà el problema, relatiu a les dificultats de l'alumnat per a la comprensió dels conceptes de substància química i compost químic. En ell es mostraran els avanços realitzats fins ara per la recerca, que ens permeten continuar la línia de treball oberta, centrant-la en la necessitat d'un ensenyament adient per facilitar l'aprenentatge, necessari en la pràctica, a tenor de les dificultats que es plantegen als estudiants que inicien l'estudi de la Química.

En el capítol 2 es formularà i fonamentarà la primera hipòtesi d'aquest treball, segons la qual es plantejarà una crítica a l'ensenyament convencional, que no té en compte els resultats obtinguts per la recerca respecte de les dificultats de l'alumnat per assolir els conceptes de substància, substància simple i composta, així com el reconeixement de la reacció química com un canvi substancial. En base als anteriors plantejaments, la hipòtesis de treball que presentem és la següent:

1a Hipòtesi: Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat tenen greus dificultats en l'aprenentatge de conceptes bàsics de Química, com substància, substància simple i composta perquè, entre d'altres raons, l'ensenyament habitual no ha incorporat els resultats de la recerca en Didàctica de les Ciències, en no tindre en compte les components conceptuals, epistemològiques i actitudinals de l'aprenentatge.

En el capítol 3 s'operativitzarà la primera hipòtesi, cosa que farem centrant el treball en dues vessants:

- Pel que fa al punt de vista de l'aprenentatge, mostrarem les dificultats que tenen alumnes de diferents edats i nivells per respondre a qüestions referents als conceptes de substància simple, composta i reacció química com canvi substancial.
- Des del punt de vista de l'ensenyament, mostrarem que el professorat no dona importància als conceptes esmentats (substància simple, composta i reacció química com canvi substancial), així com tampoc són tractats en profunditat en gran part dels llibres de text.

Tot seguit es mostraran els dissenys que serviran per contrastar les conseqüències que se'n deriven de la primera hipòtesi. Aquests dissenys consistiran en diferents enquestes i entrevistes a alumnes, enquestes a professors, graelles amb ítems diversos per anàlisi de textos, etc.

Els capítols 4 i 5 presentaran i analitzaran els resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys descrits al capítol anterior. Al capítol 4 es desenvoluparan tots els aspectes relatius a

l'aprenentatge i, en el capítol 5, s'analitzaran els resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys destinats a mostrar les deficiències de l'ensenyament. Tot seguit s'extrauran algunes conclusions referents al fet que les deficiències en l'ensenyament limiten de forma molt important l'aprenentatge i les actituds de l'alumnat cap a la Química.

La segona part del treball tractarà de donar resposta als problemes exposats fins aquest punt, començant en el capítol 6 amb la formulació i fonamentació de la segona hipòtesi que presentem en aquest treball, amb la intenció de trobar una resposta als problemes exposats. Per aconseguir-ho, presentarem un model d'ensenyament aprenentatge, d'orientació constructivista, que cerca el canvi conceptual, metodològic i actitudinal de l'alumnat (Gil et al 1991a; Duschl i Gitomer 1991; Furió 1994; Duschl 1995). A més a més, proposarem la utilització de programes d'activitats com eina didàctica que permet millorar l'aprenentatge. En concret, la hipòtesi que presentem és la següent:

2a Hipòtesi: Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat que participen en un procés d'ensenyament de Química basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada, aconseguiran aprenentatges més significatius dels conceptes bàsics (substància, substància simple i composta i canvi químic), al temps que s'implicaran més activament en aquest procés, de forma que milloraran les seues actituds envers la Química i el seu aprenentatge.

Tot seguit, al capítol 7 s'operativitzarà la segona hipòtesi i s'exposaran els dissenys experimentals que ens permetran sotmetre-la a prova, per a la qual cosa s'utilitzaran diversos instruments, com els programes d'activitats que proposem per millorar l'aprenentatge dels conceptes de substància simple, composta i reacció química com canvi substancial. En ell també es mostrarà el disseny elaborat per comprovar que les actituds de l'alumnat milloren si s'utilitza la metodologia proposada.

El capítol 8 presenta i analitza els resultats obtinguts en utilitzar els dissenys preparats per contrastar la segona hipòtesi i descrits al capítol anterior.

Al capítol 9 s'oferiran les principals conclusions a que s'ha arribat a partir de les hipòtesis, així com les perspectives que deixa obertes aquesta investigació.

Finalment, s'adjunten tres annexos en els que es presenta: un programa d'activitats, elaborat seguint el mètode i els plantejaments que proposem; algunes entrevistes realitzades a alumnes dels grups de control i dels experimentals, que s'ofereixen a mena d'exemple i la bibliografia utilitzada en l'anàlisi dels llibres de text. El treball es tanca amb les referències bibliogràfiques esmentades al llarg del mateix.

D'acord amb tot el que s'ha exposat fins ací, configurarem el present treball d'investigació segons el següent índex:

1. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA	13
1.1. L'alumnat d'Educació Secundària i Batxillerat té dificultats per assolir els conceptes bàsics de la Química, com són substància simple i composta i reacció química.....	16
1.2. La recerca en Didàctica de la Química tracta d'abordar aquests problemes amb estratègies de caire constructivista.	18
1.3. Les qüestions abordades en aquesta investigació.	21
2. FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI	25
2.1. Enunciat de la primera hipòtesi.	26
2.2. Existència de mancances conceptuals i epistemològiques a causa del desconeixement de la història de la ciència.	27
2.2.1. Aproximació històrica a la construcció dels conceptes macroscòpics de substància i de compost químic.....	29
2.2.2. La hipòtesi atòmica de la matèria permet donar una explicació microscòpica al comportament químic de les substàncies.....	42
2.3. Fonamentació teòrica de la primera hipòtesi, referent a les dificultats d'aprenentatge de les reaccions químiques, que no té en compte l'ensenyament convencional	50
2.3.1. Dificultats per diferenciar material de substància.....	51
2.3.2. Dificultats per diferenciar mescla de compost químic.....	52
2.3.3. Dificultats per diferenciar un canvi físic d'un procés químic.....	53
2.3.4. Dificultats per relacionar adequadament els nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic.....	57
2.4. Visions deformades del professorat sobre la ciència i l'activitat científica	61
3. OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI I DISSENYES EXPERIMENTALS PER POSAR-LA A PROVA.	65
3.1. Operativització de la primera hipòtesi en forma de conseqüències a posar a prova experimentalment.....	66
3.1.1. Els estudiants tenen greus dificultats d'aprenentatge de conceptes bàsics de Química com substància (simple i composta) i reacció química.....	67
3.1.1.1. Els estudiants no entenen el concepte macroscòpic de substància i el confonen amb el més inclusor de material	67
3.1.1.2. Els estudiants tenen dificultats en diferenciar mescla i compost.	69
3.1.1.3. Els estudiants identifiquen el concepte de substància "pura" amb el d'element.	70

3.1.1.4. Els estudiants tenen dificultats per diferenciar entre procés físic i químic.	71
3.1.2. Els models d'ensenyament convencional presenten deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal.	72
3.1.2.1. Mancances conceptuais i epistemològiques en l'ensenyament de la Química.	73
3.1.2.2. Mancances metodològiques en l'ensenyament convencional	76
3.1.2.3. Absència d'aspectes axiològics al currículum.....	77
3.1.3. Esquema general de les conseqüències operatives derivades de la primera hipòtesi	78
3.2. Visió general del disseny per contrastar la primera hipòtesi	79
3.3. Dissenys per mostrar les dificultats d'aprenentatge	80
3.3.1. Dissenys per mostrar que els estudiants no tenen clar el concepte de substància.....	81
3.3.1.1. Mapa conceptual sobre alguns conceptes bàsics en l'estudi de la Química.	81
3.3.1.2. Qüestionari plantejat per esbrinar si l'alumnat diferencia entre material i substància.	83
3.3.2. Disseny per mostrar que els estudiants tenen dificultats per diferenciar els conceptes de mescla i compost.....	85
3.3.2.1. Anàlisi del mapa conceptual	86
3.3.2.2. Disseny per mostrar les dificultats dels estudiants referents als aspectes macro i microscòpic de les mescles i compostos	87
3.3.3. Dissenys per mostrar que els estudiants identifiquen el concepte de substància "pura" amb el d'element químic.	89
3.3.3.1. Anàlisi del mapa conceptual en l'apartat referent a la identificació entre substància "pura" i element.....	89
3.3.3.2. Anàlisi de la qüestió 1 (document 3), referent a la classificació dels materials en substàncies i mescles.....	90
3.3.3.3. Disseny per mostrar que els estudiants identifiquen el concepte microscòpic de substància "pura" amb el d'element químic	91
3.3.4. Dissenys per mostrar les dificultats dels estudiants en caracteritzar els canvis químics i diferenciar-los dels canvis físics.	92
3.3.4.1. Disseny per mostrar que els estudiants tenen dificultats per diferenciar entre canvi físic i canvi químic.	92
3.3.4.2. Disseny per valorar el coneixement explicatiu (macro i microscòpic) dels estudiants d'ESO i Batxillerat davant de diferents experiències al laboratori	95
3.4. Dissenys per mostrar que l'ensenyament no té en compte les dificultats detectades per la recerca	97

3.4.1. Dissenys per mostrar que el professorat no dóna prou importància als conceptes de substància (simple i composta), mescla i reacció química com canvi substancial (documents 7, 8 i 9).....	97
3.4.1.1. Qüestionari per a professors en formació (document 7).....	98
3.4.1.2. Qüestionari per al professorat sobre l'ensenyament de substància i canvi químic(document 8)	99
3.4.1.3. Anàlisi de redaccions escrites per professors en situació d'examen	102
3.4.2. Disseny per contrastar la presència en els llibres de text dels continguts que puguen afavorir la construcció dels coneixements químics en els estudiants (documents 10 al 15).....	105
3.4.2.1. Sobre els conceptes macroscòpics i les interpretacions microscòpiques de substància i mescla	108
3.4.2.2. Sobre la classificació macroscòpica de les substàncies en simples i compostes i la corresponent interpretació microscòpica	109
3.4.2.3. Sobre el concepte macroscòpic i microscòpic d'element químic	110
3.4.2.4. Sobre el canvi químic en els nivells macro i microscòpic	111
3.5. Esquema general de les conseqüències operatives derivades de la primera hipòtesi i dissenys experimentals utilitzats per contrastar-les	112
3.6. Característiques de les mostres de control a les que s'han aplicat els dissenys	114
3.6.1. Mostres d'estudiants d'Ensenyament Secundari i Batxillerat als que s'ha passat els qüestionaris d'alumnes (documents 1 al 5).....	114
3.6.2. Mostra d'estudiants Universitaris	116
3.6.3. Mostra d'alumnes que han realitzat entrevistes a partir d'experiències al laboratori.....	117
3.6.4. Mostra de professorat que ha contestat un qüestionari escrit (Documents 7 i 8)	117
3.6.5. Mostra de professorat que ha redactat un text sobre els materials, en situació d'examen.....	118
3.6.6. Mostra de llibres de text analitzats.....	119
4. CONTRASTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS REFERENTS A L'APRENTATGE DELS CONCEPTES BÀSICS DE LA QUÍMICA.....	121
4.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a mostrar que l'alumnat té dificultats per entendre el concepte macro i microscòpic de substància química (documents 1, 2 i 5)	122
4.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'elaboració de mapes conceptuals (Document 1).	122
4.1.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el qüestionari referent a la identificació que fan els alumnes entre material i substància (document 2).....	125

4.1.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en les entrevistes (document 6), referents a la identificació que fan els alumnes entre material i substància	131
4.1.4. Conclusions dels resultats obtinguts en l'estudi de les respostes referents als conceptes macro i microscòpic de substància.....	140
4.2. Dificultats d'aprenentatge dels conceptes de mescla i compost (documents 1, 3 i 6)	142
4.2.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el mapa (document 1), sobre la relació entre els conceptes de mescla i compost	143
4.2.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el qüestionari (document 3) sobre la diferenciació entre mescla i substància composta	145
4.2.3. Anàlisi dels resultats obtinguts en les entrevistes (document 6), respecte de la identificació macro i microscòpica entre mescla i compost	149
4.2.4. Conclusions dels resultats obtinguts referents a la identificació entre mescla i compost.....	150
4.3. Dificultats d'aprenentatge en la diferenciació entre substància (pura) i element químic (documents 1 i 4)	151
4.3.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el mapa conceptual (document 1), sobre la relació entre substància i element	152
4.3.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la identificació macroscòpica de les substàncies (document 3)	153
4.3.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la identificació microscòpica de les substàncies (document 4)	155
4.3.4. Conclusions dels resultats obtinguts respecte de les dificultats d'aprenentatge sobre la relació entre substància (pura) i element químic.....	157
4.4. Dificultats d'aprenentatge en la diferenciació entre canvi físic i procés químic (Documents 5 i 6).....	158
4.4.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a mostrar que els alumnes no diferencien macroscòpicament entre canvi físic i procés químic (document 5)	159
4.4.2. Resultats obtinguts en les entrevistes (document 6) respecte de les reaccions químiques	165
4.4.3. Conclusions dels resultats obtinguts en els dissenys encaminats a mostrar les dificultats per diferenciar entre canvi físic i canvi químic.....	177
4.5. Síntesi dels resultats trobats en l'aprenentatge dels conceptes de substància, compost i reacció química	179

5. CONTRASTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS RELATIUS A L'ENSENYAMENT HABITUAL DELS CONCEPTES BÀSICS DE SUBSTÀNCIA, ELEMENT QUÍMIC, COMPOST I REACCIÓ QUÍMICA.....	187
5.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en qüestions realitzades a professors en formació sobre el concepte de substància (document 7)	188
5.2. Presentació i anàlisi de resultats obtinguts en el qüestionari al professorat respecte a la superposició dels conceptes macro i microscòpic de substància (document 8).....	192
5.2.1. El professorat dóna importància als conceptes macro i microscòpic de substància com prerequisit en l'estudi dels canvis químics?	193
5.2.2. En la seqüenciació de continguts, el professorat fa èmfasi en la introducció dels conceptes bàsics de substància i element químic?.....	195
5.2.3. A quines dificultats dels estudiants dóna importància el professorat?	200
5.2.4. El professorat no critica la superposició dels conceptes macro i microscòpic de substància	202
5.2.5. El professorat té dificultats amb els conceptes macro i microscòpic de substància?	204
5.2.6. Síntesi dels resultats obtinguts a partir del qüestionari de professors (document 8)	208
5.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la redacció d'un tema per professors que es presentaven a un concurs - oposició.....	211
5.3.1. El professorat no emfatitza el concepte de substància ni el diferència del concepte més general de material	212
5.3.2. El professorat no diferència suficientment els conceptes de mescla i compost	214
5.3.3. El professorat no dóna importància a les definicions microscòpiques de substància, substància simple i substància composta.....	215
5.3.4. Superposició dels models conceptuals macro i microscòpic de substància, per part del professorat.....	216
5.3.4.1. Exemple de resposta que associa l'àtom amb l'element	217
5.3.4.2. Exemple de resposta que associa la molècula amb el compost.....	218
5.3.4.3. Exemple de resposta amb transferència de les propietats de la substància a les de l'entitat elemental (àtom o molècula)	218
5.3.5. El professorat no posa de relleu la definició macroscòpica de reacció química com canvi substancial on es conserven els elements, ni tampoc la interpretació microscòpica (segons la teoria atòmica)	219
5.3.6. Síntesi dels resultats obtinguts en la redacció d'un tema per professors que es presentaven a una oposició	221
5.4. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'anàlisi dels llibres de text (documents 10 a 15).....	222

5.4.1. Sobre el concepte macroscòpic i microscòpic de substància i mescla (document 10).....	223
5.4.2. Sobre la classificació macroscòpica i la interpretació microscòpica de les substàncies simples i compostes (documents 11, 12 i 13)	226
5.4.3. Sobre els conceptes macroscòpic i microscòpic d'element químic (document 14).....	229
5.4.4 Sobre el canvi químic en els nivells macroscòpic i microscòpic (document 15)	230
5.5. Conclusions generals dels resultats obtinguts referents a l'ensenyament dels conceptes de substància, element químic i reacció química	232
6. FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESIS	237
6.1. Enunciat de la segona hipòtesi	237
6.2. Fonamentació teòrica de la segona hipòtesi.....	238
6.2.1. Seqüenciació i organització dels continguts de les unitats didàctiques d'acord amb la història i epistemologia de la química.....	239
6.2.2. Els models d'ensenyament aprenentatge basats en el canvi conceptual, metodològic i actitudinal.....	241
6.2.3. Els programes d'activitats com eina didàctica per millorar el procés d'ensenyament-aprenentatge	249
6.2.4. Coneixements i habilitats que es vol aconseguir en els estudiants sobre l'estructura dels materials.....	254
7. OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI I DISSENYS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA.....	257
7.1. Operativització de la segona hipòtesi en forma de conseqüències a provar experimentalment.....	258
7.1.1. És possible elaborar i aplicar a les aules de Secundària i Batxillerat un microcurrículum d'iniciació a l'estudi dels sistemes materials, basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada	259
7.1.2. Els currículums transformats en programes d'activitats afavoriran el desenvolupament conceptual i procedimental dels conceptes de substància (simple i composta) i canvi químic.....	259
7.1.3. L'aplicació del microcurrículum transformat, també aconseguirà un millor coneixement explicatiu en els estudiants dels grups experimentals	260
7.1.4. La utilització del programa d'activitats en la classe de Química, afavorirà les actituds positives dels estudiants dels grups experimentals envers la Ciència estudiada	262
7.2. Dissenys experimentals per contrastar la segona hipòtesi	264

7.2.1. Elaboració de programes d'activitats per a la implementació del model d'aprenentatge per investigació orientada en el cas de la introducció a la Química en Secundària.....	265
7.2.2. Disseny per contrastar si els alumnes dels grups experimentals comprenen millor els conceptes que fan referència a l'estudi dels materials i els canvis químics.....	267
7.2.3. Disseny per contrastar que l'alumnat dels grups experimentals ha adquirit un millor coneixement explicatiu i argumentatiu a l'hora d'interpretar diverses experiències.	268
7.2.4. Disseny per contrastar que entre l'alumnat dels grups experimentals milloren les actituds cap a la Química i el seu aprenentatge (Document 11).	270
7.3. Recapitulació dels dissenys experimentals per posar a prova les conseqüències derivades de la segona hipòtesi.....	271
7.4. Característiques de les mostres experimentals a les que s'ha aplicat els dissenys.....	273
8. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ EXPERIMENTAL DE LA SEGONA HIPÒTESI	275
8.1. És possible elaborar i aplicar programes d'activitats basats en el model d'aprenentatge per investigació orientada, per afavorir la construcció dels conceptes.....	276
8.1.1. Presentació d'un programa d'activitats.....	279
8.2. Presentació i anàlisi de resultats obtinguts pels grups d'alumnes experimentals, relatius a l'aprenentatge significatiu dels conceptes bàsics de química,.....	309
8.2.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a determinar si els alumnes experimentals entenen el concepte macro i microscòpic de substància química (documents 1 i 3)	310
8.2.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi del mapa conceptual (document 1)	311
8.2.1.2. Anàlisi dels resultats obtinguts en les respostes al qüestionari sobre substàncies i mescles (document 2)	313
8.2.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys adreçats a veure si els alumnes experimentals diferencien els conceptes de mescla i compost (Documents 1 i 3)	318
8.2.2.1. Anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi del mapa conceptual, referents a la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost (document 1)	318
8.2.2.2. Anàlisi dels resultats obtinguts referents a la diferenciació macro i microscòpica dels conceptes de mescla i compost (document 3)	320

8.2.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb els alumnes experimentals respecte a la diferenciació entre els conceptes de substància i element químic (Documents 2 i 4)	323
8.2.3.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la qüestió referent a la classificació de diversos materials en substàncies i mescles (qüestió 1, document 4)	324
8.2.3.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts pels alumnes experimentals sobre la conceptualització microscòpica de la substància simple (document 4)	326
8.2.4. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb els dissenys que analitzen si els alumnes experimentals diferencien el canvi físic del procés químic (Document 5).....	328
8.3. Presentació de resultats obtinguts respecte del coneixement explicatiu aconseguit pels estudiants dels grups experimentals	335
8.3.1. Representacions macroscòpiques dels estudiants sobre el terme "substància"	336
8.3.2. Representacions microscòpiques de substància dels estudiants dels grups experimentals front a les dels grups de control.....	340
8.3.3. Diferenciació qualitativa entre mescla i compost a nivell macroscòpic i microscòpic en els estudiants dels grups experimentals	342
8.3.4. Les representacions dels estudiants dels grups experimentals sobre la reacció química són de major qualitat que les dels estudiants dels grups de control	345
8.4. Presentació i anàlisi de resultats del qüestionari sobre actituds envers la ciència, obtinguts amb els grups experimentals.....	348
9. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES.....	353
9.1. Conclusions finals de recerca	355
9.2. Noves perspectives de treball	363
ANNEX I. Presentació d'un exemple de programa d'activitats.....	365
ANNEX II. Exemple d'algunes entrevistes realitzades als estudiants.....	387
ANNEX III. Referència dels llibres utilitzats en l'anàlisi de textos.....	405
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	413

1

PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.

L'espectacular avanç de la ciència i la importància social que ha adquirit en els darrers anys fa patent la necessitat de plantejar un currículum escolar amb continguts equilibrats, que permeta l'alfabetització i integració social dels futurs ciutadans i ciutadanes i done eines per comprendre millor el món que ens rodeja. És per això que l'ensenyament s'haurà de plantejar amb objectius i continguts conceptuals, però també procedimentals i actitudinals que permeten, d'una banda, aprendre què és i quins mètodes de treball utilitza la ciència, i d'altra, afavorir l'interès de l'alumnat, per a que esdevinga en actituds positives, tant en el treball a les aules com en les seues actuacions a la vida diària, al temps que els ensenye a ser crítics davant els dilemes que la ciència planteja al món modern.

Ara bé, en un moment en que les institucions educatives estan a l'abast de tothom i la ciència i la tecnologia han experimentat una eclosió com mai s'havia conegut, paradoxalment està fent-se patent una actitud negativa i un desinterès cap a temes científics, posada de manifest en nombroses investigacions (Gauld i Hukins 1980; Schibeci 1984; Escudero 1985b; Vilches 1993; Barker 1998; Collins i Osborne 1999; Campbell 1999). Ha estat també motiu d'anàlisi per part dels investigadors en Didàctica de les Ciències el decreixement de l'interès dels estudiants per l'aprenentatge de les ciències, de manera regular i notòria amb els anys d'escolarització (Yager i Penich 1986; Vilches 1993; Furió i Vilches 1997). Alguns treballs mostren que l'aplicació d'estratègies que impliquen la utilització de recursos CTS milloren els resultats d'aprenentatge (Vilches 1993; Paixao i Cachapuz 2000), però, en general es constata una crisi en l'ensenyament de les ciències, que es fa palesa pel fet que l'alumnat fuig de les aules, així com per l'alarmant xifra d'analfabetisme científic (Matthews 1988).

Una conseqüència important dels factors que acabem d'esmentar és l'evidència d'un aprenentatge poc significatiu que, d'una banda, no desperta l'interès dels estudiants cap a la ciència i, d'altra, tampoc respon a les qüestions de fons dels conceptes sobre els quals s'està

estudiant, situació que ha esdevingut a hores d'ara en un problema important, al què molts investigadors han dedicat els seus treballs. Algunes aportacions de la recerca en Didàctica han posat de manifest que el propi sistema educatiu és també, en part, responsable d'aquest desinterès i actitud negativa dels estudiants perquè, en general, centra l'ensenyament en els continguts conceptuals, que queden reduïts a una mera transmissió verbal de coneixements elaborats, sense tindre en compte allò que els alumnes ja coneixen prèviament, buidant de sentit les activitats escolars i deixant-les sense relació amb els problemes reals del món i la societat (Yager i Penick 1983 i 1986; Solbes i Vilches 1989; Duschl i Gitomer 1991; Gil et al. 1991b; Gil 1985 i 1998).

A partir d'estudis basats en els anteriors factors, s'ha arribat a la conclusió que els mateixos problemes es repeteixen amb freqüència en estudiants de diferents edats i procedència geogràfica. Açò es deu, en part, a que el coneixement de l'alumnat no es construeix únicament a l'aula, sinó que, a partir de les experiències diàries, s'indueixen construccions personals. A més a més, també és general entre els aprenents una certa tendència a extreure conclusions precipitades i a fer generalitzacions acrítiques basant-se en observacions qualitatives. Aquests raonaments superficials deriven en concepcions alternatives dels alumnes que, de vegades, són extraordinàriament resistents als canvis (Gil i Carrascosa 1985). Com afirma Viennot: *es troben extraordinàriament difoses, representant una manera de pensar que es troba en cada conversa i en moltes lectures. Tots nosaltres, de quan en quan, raonem d'aquesta manera o, al menys, ho hem fet alguna vegada* (Viennot 1979).

A més a més, estudis realitzats a partir d'entrevistes a alumnes tant d'institut com universitaris, així com a professors en pràctiques, han mostrat que, sovint, es donen respostes errònies a qüestions relativament senzilles, donant-se la circumstància agreujant que, aquells que han rebut més formació i, per tant, haurien d'estar més preparats teòricament, donen respostes errònies, igual que els joves que es troben a l'inici dels seus estudis (Viennot 1979; Driver i Erickson 1983; Osborne i Wittrock 1983; Carrascosa 1987).

La repetició de les mateixes idees errònies en gran nombre d'estudiants, de diferent edat i procedència, ha facilitat l'establiment d'un seguit de regularitats en les concepcions alternatives. Des del treball de Doran (1972), què pot ésser considerat un dels primers en aquest camp, fins el de Driver i Erickson (1983) on es defineix esquema conceptual com l'estructura mental construïda per l'alumne com resultat de les nombroses interaccions amb el medi, han anat canviant les variables de referència a estudiar, és a dir, l'estabilitat, coherència, duració i consistència de les construccions conceptuals dels alumnes. Eixes interaccions amb el medi faran que, en una primera aproximació, el pensament de l'estudiant s'acoste a les formes de pensar i actuar quotidianes. En particular, les idees i hàbits

metodològics han estat estudiats en el que es coneix com "metodologia de la superficialitat o del sentit comú" (Gil i Carrascosa 1985; Hashweh 1986; Gil et al. 1991a).

Les construccions mentals de l'alumnat, però, no són iguals en tots els camps de la ciència. Carrascosa (1987) afirma que els conceptes que s'estudien en Química no tenen massa correspondència amb activitats de la vida quotidiana i, per tant, no apareixen amb claredat obstacles epistemològics. En canvi, en Física es treballa amb conceptes relacionats molt a prop amb situacions de la vida diària, així, fenòmens naturals com xuclar, empenyar, calent, fred, pujada dels gasos, caiguda de lliures, etc. seran més universals i resistents al canvi, mentre els influïts pel llenguatge quotidià i les metàfores seran més idiosincràtics i menys estables (Furió 1986). Tal vegada degut a la seua universalitat, és en el camp de la Física (particularment en Mecànica) on podem trobar més bibliografia al respecte. Taber (1999) abunda en la mateixa idea afirmant que *és fàcil creure que els estudiants han adquirit experiència informal relativa a temes de Física, com força i moviment, calor o llum, però és menys probable que tinguin experiències en les que constrüsquen models alternatius per aromaticitat, energies d'ionització o la forma de les molècules.*

Al nostre parer, els exemples de Taber fan referència a models conceptuals microscòpics, de construcció no menys complicats que els de calor, llum o moviment en aquest mateix nivell. En canvi, sí que tenen concepcions alternatives en qüestions macroscòpiques com, per exemple, el caràcter immaterial dels gasos o l'heterogeneïtat de les substàncies (mescles). En general, és possible que no es presenten obstacles epistemològics en conceptes que requereixen un cert grau de complexitat, però els alumnes poden tindre preconcepcions errònies generades per un aprenentatge deficient (Llorens 1989). Per tot això, serà necessària una correcta presentació didàctica per a que les concepcions adquirides siguin consistents i no una possible font de confusions epistemològiques a l'hora d'interpretar els fenòmens (Driver 1981; Carbonell i Furió 1987).

En Química, malgrat no ser tan nombrosos com en altres camps de la Ciència, també hi ha alguns articles al respecte, dels que Dierks (1981) afirma que s'han centrat més en les estratègies per ensenyar els conceptes que en l'anàlisi dels esquemes conceptuals dels alumnes. Destaquen, per la quantitat existent, els que fan referència a la natura corpuscular de la matèria (Novick i Nussbaum 1978 i 1981; Gilbert et al. 1982; Furió i Hernández 1983; Ben-Zvi, Eylon i Silberstein 1986; Furió et al. 1987; Gabel et al. 1987; Renstrom et al. 1990), les relacions entre els nivells d'estudi macroscòpic i submicroscòpic (Hill 1988; Andersson 1990; Johnstone 1991b), el concepte de mol i les dificultats que comporta el seu ensenyament (Dierks 1981; Furió et al. 1993; Azcona 1997; Furió et al. 2001) i l'estudi de les reaccions químiques (Yarroch 1985; Ben-Zvi, Eylon i Silverstein 1987; de Vos i Verdonk 1985a i b, 1987a i b; Solomonidou i Stavridou 1987 i 1994).

1.1. L'ALUMNAT D'EDUCACIÓ SECUNDÀRIA I BATXILLERAT TÉ DIFICULTATS PER ASSOLIR ELS CONCEPTES BÀSICS DE LA QUÍMICA, COM SÓN SUBSTÀNCIA SIMPLE I COMPOSTA I REACCIÓ QUÍMICA.

Les concepcions alternatives que, com hem dit, semblen ésser molt resistents al canvi, continuen produint-se entre l'alumnat. Per aquesta raó, els investigadors en Didàctica de les Ciències, estan dedicant importants esforços a l'estudi d'alternatives didàctiques per superar-les. Com han mostrat Garnett et al (1995), la identificació de les concepcions alternatives dels estudiants potència una millora significativa de l'ensenyament i l'aprenentatge.

Dins de la línia d'estudi de les dificultats d'aprenentatge, un aspecte no massa estudiat fins ara ha estat el de **l'estructura dels materials i les transformacions d'unes substàncies en altres**, problema fonamental per al coneixement de la Química (Margel et al. 2001) i que planteja importants dificultats de comprensió, especialment als i les estudiants que s'inicien en el seu estudi. Particularitzant més, pensem que és molt important que l'alumnat arribi a comprendre que les propietats generals dels materials en qualsevol estat d'agregació estan relacionades amb l'estructura corpuscular i poden explicar-se, d'entrada, mitjançant la teoria atòmica clàssica (hem d'aclarir que ens centrarem únicament en els estats sòlid, líquid i gasós, per ser els més usats al planeta Terra, sense fer referència d'altres estats, com el plasmàtic, el condensat Bose-Einstein o el condensat fermiònic que es presenta a temperatures molt baixes, per allunyar-se del propòsit del present treball). A més a més, els estudiants han de saber classificar els materials en substàncies i mesclures utilitzant les propietats característiques i els medis de separació físics per arribar finalment, amb la comprensió dels processos químics, a assimilar els conceptes macroscòpic i microscòpic de compost, substància simple i element. És a partir de la comprensió d'aquests conceptes que l'alumnat serà capaç d'encarar-se amb èxit i d'adquirir la capacitat de resoldre els problemes relacionats amb les nocions que d'ells se'n deriven. La importància d'aquest tema es fa notòria en comprovar la quantitat d'articles i treballs realitzats al seu voltant, com veurem tot seguit.

Un primer aspecte que genera dificultats entre els alumnes és l'establiment d'una correcta diferenciació entre material i objecte (Krnell et al. 1998), perquè emfasitzar en un concepte o l'altre pot portar a conclusions diferents (Johnson 1996), com s'ha mostrat en veure que els estudiants tenen tendència a fer les classificacions mesclant les propietats intensives de la matèria amb les extensives de l'objecte (Krnell et al. 2003).

Altres aspectes respecte del qual es produeixen greus problemes d'aprenentatge, segons ha mostrat la recerca, és la comprensió del significat dels tres nivells (macroscòpic, microscòpic i simbòlic) de representació de la matèria, així com les relacions entre els diferents nivells en les transformacions químiques (Gabel 1998). Johnstone (1982, 1991a, 1991b, 1993) afirma que l'èmfasi en l'ensenyament de la Química s'ha centrat sobretot en el nivell simbòlic de representació, quan, en realitat, les representacions submicroscòpica i simbòlica ofereixen un suport que proporciona significat a les macroscòpiques (Treagust et al. 2003). Nombrosos estudis mostren com els estudiants no comprenen bé els tres nivells de conceptualització de la Química i no són capaços de relacionar-los adequadament (Ben-Zvi, Eylon i Silberstein 1982b, 1986 i 1988; Brook et al. 1984; Driver 1985; Gabel 1993), ni de connectar-los amb experiències de la vida diària, cosa que els ajudaria a construir significats mentals per a les representacions químiques (Hsin-Kai-Wu 2003). Una conseqüència molt corrent entre els estudiants és la transferència de les propietats macroscòpiques (color, mal leabilitat,...) a les partícules, idea que inhibeix la comprensió del canvi químic (Johnson 2002). Aquesta dualitat macro-micro també representa seriosos problemes als estudiants dels darrers anys de les Universitats i professors en pràctiques (Sawrey 1990; Bodner 1991) que, generalment, no utilitzen espontàniament el nivell microscòpic per definir els canvis (Martín del Pozo 2001).

També s'han dedicat prou estudis a les concepcions alternatives sobre la natura corpuscular de la matèria i, en particular, dels gasos i dels canvis físics, havent-se fet, fins i tot algunes recopilacions (Nakhleh 1992; Garnett et al. 1995). Dins del marc epistemològic piagetian, la dificultat que presenta per a l'alumnat la comprensió de la natura corpuscular de la matèria, ha estat reconeguda (Herron 1978) com un àrea d'especial dificultat per aconseguir una bona comprensió, a causa de la impossibilitat de visualitzar-la (Nakhleh 1992).

L'anterior dificultat porta implícita com a conseqüència no comprendre les reaccions químiques, per no considerar-les interaccions dinàmiques. És a dir, malgrat que l'alumnat afirma mecànicament que la matèria està formada per partícules que es troben en moviment al buit, no són capaços d'utilitzar el model per representar i interpretar els fenòmens químics. Així, s'ha fet patent que els estudiants de Secundària i Batxillerat, afronten grans dificultats en l'aprenentatge dels canvis químics com canvis substancials (Carbonell i Furió 1987; Andersson 1990; Furió et al. 1994c), en particular en el nivell macroscòpic de descripció d'aquests processos. Diversos treballs han estudiat aquest tema des de diferents punts de vista, oferint alternatives didàctiques (de Vos i Verdonk 1985a, 1987a i 1987b). Tot i que no han resolt el problema, permeten un punt de partida que mostra les dificultats existents en l'aprenentatge de l'estructura de la matèria, coneixement que, d'altra banda, és bàsic a l'hora d'ensenyar i aprendre els canvis químics a nivell microscòpic.

Malgrat la quantitat d'estudis desenvolupats al voltant dels temes que acabem d'esmentar, no hi ha tants respecte de l'estructura i composició de les substàncies, motiu pel qual es presenta aquest treball. A més a més, d'acord amb el plantejament de Krnel et al. (1998) considerem que, la gran quantitat d'articles publicats respecte del tema, conformen un panorama dispers en el que cada concepte és analitzat separatament, malgrat que, en realitat, estan interrelacionats. El present estudi tractarà d'explicar les dificultats de l'alumnat, al temps que cercarà punts d'unió entre ells, per donar-los una solució conjunta.

1.2. LA RECERCA EN DIDÀCTICA DE LA QUÍMICA TRACTA D'ABORDAR AQUESTS PROBLEMES AMB ESTRATÈGIES DE CAIRE CONSTRUCTIVISTA.

En l'apartat anterior hem fet un seguiment de l'estat de la qüestió respecte als problemes que s'aprecien en l'aprenentatge dels conceptes inicials en l'estudi de la Química. En ell hem vist que existeixen greus dificultats, de forma que, per tractar de solucionar-les haurem de cercar les causes que les provoquen i analitzar què està fent l'ensenyament, com factor extern fonamental que incideix en l'aprenentatge.

Un aspecte al que s'ha donat importància en els últims anys és l'efecte positiu per a l'aprenentatge que pot tindre l'ús de la història de la ciència (Monk i Osborne 1997). Aquest interès ve derivat de l'existència d'un cert paral·lelisme entre l'evolució històrica dels conceptes i els obstacles epistemològics a que han de fer front els estudiants (McCloskey 1983; Nussbaum 1983; Preece 1984; Lythcott 1985; Furió, Hernández i Harris 1987; Matthews 1987; Gil i Carrascosa 1985 i 1992; Gil et al. 1991a). Ara be, generalment el mateix professorat desconeix la història i epistemologia de com s'han construït aquests coneixements. Centrant-nos en el tema objecte d'aquest estudi, no sabran que la idea de substància (concepte estructurant dels aspectes macroscòpics de la química) i, en particular, de substància composta, fou construïda a finals del segle XVII i principis del XVIII per paracelsians continentals (Stahl, Boerhave, Geoffroy,... fins Lavoisier) contra els filòsofs mecanicistes (Boyle, Newton,...). Aquest concepte de substància trencà definitivament la tradició aristotèlica dels quatre elements metafísics i suposà el naixement d'una pre-teoria i programa de recerca on se reinterpretaren tant la composició general de la matèria, classificant els sistemes materials en *mescles*, *cossos perfectament sense mescla* i *cossos perfectament mesclats* (Holton i Roller 1963), com els canvis físics (permanència de la substància) i els químics (canvis substancials). En definitiva, fins que no s'arribà al concepte estructurant de substància, definit per oposició al de mescla (assumida pels aristotèlics com la

composició "natural" de tots els cossos presents en la natura), no fou possible arribar epistemològicament a diferenciar raonablement entre mescla i compost (el gran problema de la química pre-teòrica abans de Dalton). Com exemple anecdòtic al respecte, podem recordar que el concepte de substància era boirós fins i tot a finals del segle XIX, quan Gibbs donà per títol a la seua obra principal "*On equilibrium in heterogeneous substances*", títol que esmenà posteriorment un traductor francès, en substituir *heterogeneous substances* per *heterogeneous systems*.

Així, hem d'assumir que les concepcions aristotèlico-escolàstiques sols pogueren ésser desplaçades gràcies a un difícil canvi metodològic, que suposà un canvi en l'acceptació de les evidències de sentit comú, introduint una forma de pensament més creativa i rigorosa i una metodologia que obliga a introduir possibilitats a títol d'hipòtesi, qüestionant el que semblava obvi, per a sotmetre-les després a contrastació en condicions controlades. Cal esperar, doncs, que amb l'alumnat ocórrega de forma pareguda i que sols en ésser situats reiteradament en situació d'aplicar la nova metodologia (és a dir, en situació de plantejar problemes precisos, d'emetre hipòtesis a la llum dels seus coneixements previs, dissenyar experiències, analitzar els resultats amb cura d'acord amb l'esquema conceptual de partida, etc.) podran superar la metodologia de la superficialitat, fent possibles els canvis conceptuals que l'adquisició de coneixements científics exigeix. És a dir, les principals dificultats per aconseguir una correcta adquisició de coneixements científics no derivaran únicament de l'existència d'esquemes conceptuals alternatius sinó, a més a més i entre d'altres, de la metodologia del sentit comú que està en el seu origen, raó per la qual la literatura actual dona cada vegada més importància als aspectes epistemològics i metodològics de l'aprenentatge de les Ciències (Burbules i Linn 1991; Cleminson 1991; Duschl i Gitomer 1991).

Altre factor que afecta negativament a l'ensenyament és que, en general, no té en compte el caràcter sistèmic de les teories, és a dir, normalment es presenten els conceptes a l'alumnat de forma aïllada, sense tindre en compte que el significat d'un concepte bé limitat per l'avanç en el coneixement d'altres als quals està lligat en un nivell de formulació teòrica determinada. Un aspecte concret en el que s'aprecia el que acabem de dir és el de les relacions que cal establir entre els aspectes macroscòpics i microscòpics dels canvis físics o químics, cosa que en moltes ocasions no es fa (Ben Zvi, Eylon i Silverstein 1982a; Gabel 1993; Viiri et al. 1999). La raó d'aquesta mancança és la dificultat que comporta establir-la des del punt de vista conceptual i epistemològic, perquè implica tindre clarament elaborada, des del punt de vista cognitiu al menys, l'estructura sistèmica macroscòpica per poder "ancorar" a aquesta una explicació microscòpica a base de partícules (modelització de la composició material de la matèria) i del que passa en un canvi químic (altra modelització necessària).

Que el professorat no tinga en compte les relacions que acabem d'esmentar, produirà un seguit de deficiències i insuficiències en l'ensenyament habitual de la Química, com l'absència d'estudi del nivell macroscòpic de descripció de la matèria als nivells inicials d'estudi, de forma que no s'introdueix als estudiants els conceptes macroscòpics de mescla i substància (Stavridou i Solomonidou 1989; Solomonidou i Stavridou 2000; Johnson 2000a). La conseqüència immediata és la manca en l'establiment de relacions adequades entre els nivells macroscòpic i microscòpic d'explicació de la matèria (Gabel 1998; de Jong i van Driel 1999; Johnson 1999). Així, en no diferenciar clarament entre aquests dos nivells d'ensenyament, tampoc es faran interpretacions microscòpiques elementals per als conceptes tractats (substància simple, compost, mescla i reacció química). Aquestes mancances podrien ser catalogades com ontològiques i epistemològiques i tenen com a fonament les "visions realistes ingènues" del professorat on es superposen els dos nivells d'interpretació, ja que el professor tot ho veu amb la imatge microscòpica, que confon amb el què és "real".

D'altra banda, la recerca també ha detectat entre el professorat mancances de coneixements didàctics sobre com aprenen ciències els estudiants i sobre les noves orientacions constructivistes del procés d'ensenyament-aprenentatge de la Ciència. Aquestes mancances es posen de manifest en diferents aspectes com, per exemple, no tindre en compte les idees prèvies dels estudiants, és a dir, les formes habituals de raonar (Furió et al. 2000a). Tampoc es planteja l'ensenyament com un procés de canvi conceptual, epistemològic i metodològic (Gil et al 1991a; Wheatley 1991; Furió 1994), ni es tenen en compte els possibles problemes que es poden derivar dels diferents significats que el llenguatge quotidià atribueix als conceptes emprats (Gilbert et al. 1982; Bell i Freiberg 1985; Garnett et al. 1990; Roletto i Piacenza 1994; Johnson 1996 i 2000a; Johnstone i Selepeng 2001). A partir d'aquestes deficiències, s'ha assenyalat com possible causa del fracàs de l'aprenentatge que se'n derive d'un ensenyament que no centra els seus esforços en ajudar a que cada alumne construísca els propis coneixements i siga capaç d'integrar la cultura científica en la cultura quotidiana. Per afavorir el procés d'ensenyament-aprenentatge, Johnstone (1999) proposa organitzar millor les activitats de l'aula i el laboratori per aconseguir que la nova informació encaixe amb el coneixement previ de l'alumnat i evitar així la formació d'idees alternatives.

Per últim, s'ha mostrat que l'ensenyament tampoc té en compte altres aspectes de l'aprenentatge de les Ciències, com els interessos o la necessitat d'introduir les relacions CTS, que són importants no sols per aconseguir el canvi actitudinal (Pintrich et al. 1993), sinó per aconseguir l'alfabetització científica i tecnològica de l'alumnat de l'ESO (Aikenhead 1985; Solbes i Vilches 1989; Vilches 1993; Vilches i Gil 2003). De fet, incloure-les en l'ensenyament de les ciències, dóna una imatge més real i contextualitzada del treball científic al temps que influeix positivament en l'aprenentatge, afavorint les actituds positives de l'alumnat (Welch 1985; Pope i Gilbert 1983).

1.3.- LES QÜESTIONS ABORDADES EN AQUESTA INVESTIGACIÓ.

Com ja hem esmentat en els apartats anteriors, molts estudiants de Secundària i Batxillerat, així com altres que finalitzen estudis universitaris i, fins i tot, els propis professors, mantenen punts de vista erronis respecte de la teoria atòmica de la matèria. Alguns treballs (Vogelezang 1987; Novak i Musonda 1991; Furió et al. 1994c; Taber 1998; Barker i Millar 1999), mostren que una determinada instrucció pot millorar els resultats, però tot i això, en moltes ocasions els problemes persisteixen, perquè es tracta d'un procés molt complex. No podem oblidar que estem parlant de conceptes que no són intuïtius, sinó idees abstractes i, en conseqüència, difícils de comprendre per l'alumnat. Coneixedors i conscients de la dificultat del tema, a mena de conclusió de tot el que hem exposat en aquest capítol, volem remarcar el següent:

El problema plantejat en aquest treball, relatiu a estudiants que s'inicien en l'estudi de la Química durant l'educació secundària obligatòria, fa referència a les dificultats que sorgeixen en la comprensió i aprenentatge de l'estructura de la matèria i, en particular, al concepte de substància, que es considera fonamental a l'hora de comprendre què és un compost químic i, per tant, d'interpretar correctament les transformacions químiques. Com hem vist en l'exposició anterior, és un problema plenament vigent a l'actualitat.

És un problema didàctic fonamental, per tractar-se d'un pre-requisit necessari per a l'estudi de la Química, imprescindible per poder arribar a la idea daltoniana de canvi químic i, en conseqüència, per comprendre altres conceptes subseqüents i molt més complexes, com poden ser els de concentració, quantitat de substància i tots els problemes d'estequiometria que se'n deriven.

La manca generalitzada d'aprenentatge significatiu d'aquests temes, com s'ha vist en la recerca, ha de lligar-se necessàriament amb una anàlisi crítica de com es realitza l'ensenyament. En concret, s'ha de relacionar amb les idees del professorat i amb les que es mostren a través dels llibres de text.

Però, perquè hem decidit investigar els problemes relatius a aquest concepte? Perquè estem convençuts que el concepte de substància és estructurant, per les raons que adduïm a continuació:

- a) Considerem que la idea de substància és un pre-requisit conceptual fonamental per explicar i diferenciar els canvis físics i químics (Vogezeland 1987). Pel contrari, no assumir el concepte de substància en el sentit químic, derivarà en problemes de comprensió per

als conceptes subsegüents (Johnson 2000b). Per posar un exemple, la conservació de la substància explica els canvis físics, mentre la interacció i la no conservació de les substàncies és el fonament de l'explicació donada als canvis químics.

- b) Un bon aprenentatge del concepte de substància pot dissipar algunes ambigüitats com la identificació entre material, producte, etc. és a dir, mescla i substància que, des del punt de vista químic són conceptes oposats (Stavridou i Solomonidou 1989; Llorens 1994; Johnson 1996 i 2000a)
- c) També pot resoldre moltes de les dificultats detectades en aquest domini i apuntades per la recerca com, per exemple, la confusió entre canvi físic i canvi químic (Stavridou i Solomonidou 1989; Andersson 1990; Hesse i Anderson 1992; Prieto et al. 1989 i 1992; Wandersee et al. 1994; Krnel et al. 1998), la identificació entre mescla i compost (Sanmartí 1989; Sanmartí, Izquierdo i Watson 1995), o la identificació entre substància i element químic (Sanmartí 1989; Llorens 1991).
- d) Des del punt de vista històric i epistemològic, la construcció de la primera teoria química com a ciència moderna (l'atòmica daltoniana de principis del segle XIX) no va ésser possible fins que no convergiren dues línies de recerca (Holton i Roller, 1963) completament diferents i, de vegades oposades:
- L'estudi dels gasos, el comportament físic unitari dels quals va conduir a un model corpuscular de la matèria al que contribuïren els filòsofs mecànics com Newton, Boyle, Bernouilli, etc. Aquest model, molts anys després, ja prou avançat el segle XIX, es va extrapolar a sòlids i líquids.
 - Els estudis sobre les reaccions químiques fet inicialment pels alquimistes paracelsians, els iatroquímics, etc., com van Helmont o Paracelsus fins Priestley, Lavoisier, etc, que arribaren al concepte macroscòpic de substància contrari al de mescla (Klein 1994; Chalmers 1998). Aquests estudis arribaren a consolidar un programa de recerca que tenia per finalitat trobar els pesos de combinació de les substàncies en les reaccions químiques (paradigma equivalentista). Sense la construcció dels conceptes de substància i compost químic no hauria estat possible la teoria atòmica.

En aquest treball estudiarem més en particular les dificultats dels estudiants respecte a les idees derivades de la segona línia d'investigació. Podria donar-se el cas que, una vegada més, la història i l'epistemologia de la Química ens indicaren si hi ha alguna similitud entre els problemes històrics i les idees actuals dels adolescents extretes de la seua cultura i experiència personal.

En resum, ens proposem fer patents les principals dificultats amb que s'enfronta l'alumnat quan s'inicia en l'estudi dels canvis substancials. Suposarem conegudes les dificultats i obstacles respecte de la natura corpuscular de la matèria i, en particular, les que es presenten quan intervenen gasos en els canvis físics i químics (Stavy 1990a i b, Hernández 1997), de forma que ens adreçarem fonamentalment a les dificultats dels estudiants al voltant del concepte estructurant de substància, vista tant des del punt de vista macroscòpic com microscòpic (amb el model conceptual atomista més senzill, com pot ésser el daltonià), fins arribar a l'aprenentatge de les reaccions químiques com canvis substancials. Així, doncs, les preguntes que es volen contestar giraran al voltant de la idea de substància i conceptes derivats, com mescla o compost, i són les següents:

¿Quina visió (o visions) tenen els estudiants respecte a la composició dels materials que els envolten, després d'haver estudiat el tema? Consideren què és el mateix "material" (que quasi sempre és una mescla) què substància?

¿Tenen criteris clars per a diferenciar entre mescla i compost tant a nivell macroscòpic com microscòpic? ¿És d'esperar què, si no han entès el concepte de substància, no puguin diferenciar una mescla d'un compost?

¿Quins criteris tenen en compte els alumnes per diferenciar una substància simple d'una composta? ¿Saben identificar-les a partir d'un procés químic?

¿Podem trobar algun tipus de paral·lelisme entre els problemes que es presentaren històricament per comprendre els conceptes de substància i compost que estem tractant i els problemes que es plantegen a l'alumnat en l'estudi dels mateixos conceptes?

¿És possible elaborar una proposta d'ensenyament sobre els materials que ens envolten que facilite l'aprenentatge significatiu dels estudiants? En cas afirmatiu, ¿quins resultats s'obtidran en aplicar la innovació didàctica elaborada seguint les orientacions constructivistes?

¿Pot aportar algun benefici als professors/es conèixer els problemes que es plantejaren i resolgueren en determinats moments històrics? ¿Aquest coneixement pot ajudar a preveure les dificultats dels estudiants, organitzar i seleccionar millor els continguts i així afavorir la comprensió d'aquests conceptes?

La primera part del treball tractarà de donar resposta a les qüestions relatives a les dificultats de l'alumnat en adquirir els conceptes de mescla i substància (simple i composta) i, en conseqüència, en diferenciar el canvi físic del procés químic. A continuació, es farà un repàs als problemes històrics que es plantejaren fins arribar als conceptes abans esmentats, i tractarem de veure si existeix alguna mena de paral·lelisme amb les dificultats que tenen els alumnes per a comprendre'ls. Seguidament, farem un estudi que analitzi l'ensenyament d'aquests conceptes, tant des del punt de vista de les idees del professorat com des de la forma en que es presenta i es tracta el tema als llibres de text, que és l'eina més utilitzada a l'aula per part del professorat. Per aconseguir-ho, acotarem el problema en dos sentits, un d'ells relatiu al nivell educatiu en el que anem a limitar l'estudi i altre fent referència a les dificultats d'ensenyament-aprenentatge. Respecte a la primera acotació, es pot justificar en afirmar que, donat que un dels objectius bàsics de la Química en l'E.S.O. és que els alumnes tinguin una visió atomista dels fets naturals, en aquest treball centrarem l'atenció en el nivell educatiu de secundària obligatòria, sense deixar de fer un estudi transversal de dificultats fins als estudiants universitaris. Quan a la segona limitació, es realitzarà un estudi en les dues vessants, tant en les dificultats d'aprenentatge dels estudiants, com en les mancances de l'ensenyament d'aquests conceptes.

Per últim, la segona part del treball plantejarà una proposta concreta de disseny i desenvolupament del tema de l'estructura dels materials i el canvi químic a partir dels resultats obtinguts i de les estratègies emprades en un ensenyament de caire constructivista, tractant de provar que, amb ells, s'aconsegueix una millora significativa en els resultats de l'aprenentatge.

2

FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI.

Segons hem vist al capítol anterior, els estudiants en general, i els d'ensenyament secundari i Batxillerat en particular, tenen greus problemes per comprendre els canvis químics. La manca generalitzada d'aprenentatge s'haurà de lligar amb una anàlisi crítica de l'ensenyament, reflectit en les idees del professorat i les que es mostren als llibres de text relatives al procés d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències. Al respecte, ens hem plantejat tot un seguit de qüestions i donar-los resposta en forma d'hipòtesis, que després posarem a prova, serà l'objectiu d'aquesta investigació. Així doncs, el present treball consta de dues parts ben diferenciades, relatives a les dues hipòtesis que proposem:

La primera fa referència a determinades deficiències de l'ensenyament, que es posen de manifest en les dificultats dels estudiants i la manca d'aprenentatge significatiu. En conseqüència, farem una anàlisi crítica de l'ensenyament tradicional, en la que mostrarem que no té en compte i, per tant, no tracta, alguns aspectes fonamentals, referents a l'estructura dels materials i els canvis químics.

En la segona hipòtesi tractarem de solucionar els problemes plantejats en la primera, de manera que oferirem un model d'ensenyament diferent del tradicional, basat en concepcions constructivistes, i que proposa un canvi conceptual, procedimental i actitudinal. Aquest model es recolza en materials específics, que permeten a l'alumnat posar de manifest les febleses conceptuais, sense posar excessiu èmfasi en els conflictes cognitius. El nou model d'ensenyament-aprenentatge tractarà d'implicar als estudiants en un procés d'indagació orientat, que afavorirà un aprenentatge més significatiu i millorarà les actituds dels estudiants cap a les ciències.

Enunciem, tot seguit, la primera hipòtesi.

2.1. ENUNCIAT DE LA PRIMERA HIPÒTESI.

Les reflexions exposades fins ara ens porten a qüestionar-nos l'eficàcia del procés habitual d'ensenyament-aprenentatge de l'estructura de la matèria. Segons aquest plantejament, l'alumnat d'ensenyament secundari sembla tindre moltes dificultats per comprendre els conceptes bàsics de Química, així com el significat de les reaccions químiques. Aquestes dificultats es podrien derivar, entre d'altres, de la manca d'importància que la major part del professorat, així com els llibres de text, donen al concepte de **substància** malgrat ser un concepte estructurant, necessari per assimilar els conceptes subsumits de substància simple i substància composta. A partir d'aquesta primera dificultat serà d'esperar que, si els alumnes no entenen el concepte de substància tampoc podran diferenciar una mescla d'un compost i, al propi temps, això explicaria que no s'entenga el canvi químic com una interacció entre substàncies per formar-ne d'altres noves (concepció macroscòpica de procés químic), és a dir, que tampoc diferencien entre canvi físic i canvi químic. En base als anteriors plantejaments, formularem la primera hipòtesi de treball segons el següent enunciat:

Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat tenen serioses dificultats en l'aprenentatge de conceptes bàsics de Química, com substància (simple i composta) i canvi químic perquè, entre d'altres raons, l'ensenyament convencional presenta deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal, per no tindre en compte els resultats actuals de la recerca en Didàctica de les Ciències.

A continuació, fonamentarem la primera hipòtesi i, per fer-ho, estructurarem el treball en apartats que faran referència a aspectes diferents. Començarem per posar de manifest l'existència de mancances conceptuals i epistemològiques en l'ensenyament, a causa del desconeixement històric del desenvolupament del coneixement científic per part dels ensenyants. Tot seguit mostrarem que el professorat desconeix les dificultats d'aprenentatge que es presenten en aquesta temàtica contínuament en els estudiants. Per últim tractarem de fer patent la presència de visions distorsionades de la ciència i l'activitat científica, que estan molt difoses en l'ensenyament i dificulten notablement l'aprenentatge.

2.2. EXISTÈNCIA DE MANCANCES CONCEPTUALS I EPISTEMOLÒGIQUES A CAUSA DEL DESCONEIXEMENT DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA.

La recerca en Didàctica de les Ciències ha posat de manifest els greus problemes dels estudiants per comprendre l'estructura de la matèria (Novick i Nussbaum 1978 i 1981; Gilbert et al. 1982; Furió i Hernández 1983; Ben-Zvi, Eylon i Silberstein 1986; Furió et al. 1987; Gabel et al. 1987; Hill 1988; Andersson 1990; Renstrom et al. 1990; Johnstone 1991b). Per aconseguir que cada alumne siga capaç de superar les dificultats que es plantegen en la construcció dels coneixements, cal determinar els obstacles conceptuals, epistemològics i procedimentals que es presenten i tractar d'ajudar-li a superar-los atenent a les qüestions bàsiques sobre "què ensenyar" i "com ensenyar" els canvis substancials.

En primer lloc, cercarem la fonamentació històrica i epistemològica dels continguts conceptuals, en particular dels que es seleccionaran per a desenvolupar en l'ensenyament de la Química a nivell introductor, tant en l'aspecte macroscòpic com microscòpic. L'estudi de les dificultats que hagué de superar la Química per arribar a constituir-se en una ciència moderna es presenta com una important font d'informació des del punt de vista de la Didàctica, perquè no sols ens permet comprendre les teories actuals, sinó que també ens mostra els obstacles que dificultaren el seu desenvolupament

Una de les conclusions del primer Seminari Internacional en Idees Alternatives en Ciències i Matemàtiques, segons Nussbaum i Wandersee (veure Helm & Novack 1983, p. 3), fou que la història de la ciència podia ser una ferramenta útil per investigar les idees alternatives dels estudiants, per animar-los i ajudar-los a descobrir per ells mateix les pròpies febleses conceptuals (Gabel 1994). D'ençà, els camps en què més s'ha estudiat el paral·lelisme entre el desenvolupament històric dels conceptes i les concepcions alternatives dels estudiants són els de la física i la biologia (Wandersee 1986; Gil i Carrascosa 1987). En Química també s'han fet alguns estudis (Taylor 1963; Shanon 1976; McCloskey 1983; Nussbaum 1983; Wiser i Carey 1983; Preece 1984; Lythcott 1985; Wandersee 1986; Furió et al. 1987; Matthews 1987; Stavy 1988; Martín del Pozo 1994a i b; Wandersee et al. 1994; Sakkopoulos i Vitoratos 1996), majoritàriament referents a l'evolució del concepte d'àtom o la natura material dels gasos.

Ara bé, proposar la utilització de la Història de la Ciència no significa que suposem un paral·lelisme estricte entre les dificultats socio-històriques que impediren o frenaren determinats coneixements i el desenvolupament de la intel·ligència i el coneixement

individual. No podem oblidar que els estudiants no són científics i el context social i la forma de vida són totalment diferents a les que es donaren en la comunitat científica en un moment històric. El que proposem és utilitzar les "pistes" que ens proporciona la Història, en el sentit que, les mateixes qüestions que serviren per al desenvolupament d'un concepte poden oferir evidències que porten els estudiants a la comprensió del mateix. Les idees científiques que avui s'accepten foren en ocasions fortament rebutjades per raons similars a les que ells proposen (Saltiel i Viennot 1985; Driver i Oldham 1985; Driver et al. 1989; Monk i Osborne 1997), per tant, l'estudi en el context original del descobriment permet l'estudiant fer connexions entre les dificultats personals per aconseguir el canvi conceptual i les que patiren els grans científics en el seu moment (Solomon et al. 1992; Matthews 1997).

A més, la curiositat que aporta l'estudi de la història pot atraure els estudiants a l'estudi de les ciències (Brush 1989, Solomon 1999) al temps que, seguint la hipòtesi de Solbes i Traver (1996 i 2001), ignorar els aspectes històrics porta a oferir una imatge deformada de la construcció dels conceptes científics i de la ciència, allunyada del procés de construcció dels coneixements i deslligada del context social en què s'ha desenvolupat al llarg dels segles. Pel contrari, introduir algunes idees no vigents ajuda a mostrar el caràcter temptatiu de la ciència. No hem d'oblidar que fer-ne ús de la Història de la Ciència no vol dir introduir tot un seguit de llibres i articles al currículum de ciències, sinó acostar-se als problemes històrics, no per afirmar les conclusions ja establertes, sinó per mostrar com s'arribà a eixes solucions i per què foren les més plausibles en un moment determinat.

Des del punt de vista de l'ensenyament, l'estudi històric ens permet centrar-nos en els conceptes estructurants que han portat a la transformació de la ciència, l'elaboració de noves teories i la utilització de nous mètodes i nous instruments conceptuals (Gagliardi 1988). Però, per poder plantejar una bona selecció i estructuració dels continguts a oferir, cal que el professorat conega no sols els conceptes i teories actuals, sinó també quin ha estat el seu procés d'elaboració i els problemes que originaren la construcció dels coneixements científics (Fillon 1993; Matthews 1994a), com es convertiren en cossos coherents, com evolucionaren i quines dificultats hagueren de vèncer (Saltiel i Viennot 1985; Furió et al. 2000a). Per suposat som conscients, com Matthews (1994b) afirma, que molts dels problemes que ens ofereix la història i filosofia de la ciència són complexes i conflictius i per això cal jutjar quins aspectes de la naturalesa de la ciència es poden presentar d'una manera intel·ligible als alumnes, de forma que puguin acostar-se i motivar-se envers la ciència.

Així doncs, en aquesta part del treball plantejarem en primer lloc un recorregut històric que ens porte des de les primeres idees dels filòsofs grecs fins als descobriments que van permetre l'elaboració del concepte de substància i la primera teoria atòmica de la

matèria, prestant especial atenció als principals problemes que es plantejaren i als bots qualitatius que es presentaren al llarg de la història.

2.2.1. Aproximació històrica a la construcció dels conceptes macroscòpics de substància i de compost químic.

En aquest apartat rastrejarem la història per tal de saber quins han estat els principals problemes que ha resolt la ciència fins arribar a la idea d'unitat de la matèria que va donar lloc a la primera teoria atòmica clàssica a principis del segle XX.

a) *Un primer avanç macroscòpic cap al comportament unitari de la matèria fou l'acceptació de que els gasos són tan materials com els sòlids i líquids.*

El primer avanç precientífic fou la superació de les diferències entre la matèria corpòria (sòlids i líquids) i la matèria rara (gasos). Kuhn (1971) assenyalava que l'acceptació dels gasos com matèria va suposar l'inici del desenvolupament de la química pneumàtica. L'aire, els vapors, etc., havien estat considerats en el paradigma aristotèlic una classe de matèria quasi espiritual, mentre els sòlids i líquids eren els materials prototípics de la matèria corpòria (Furió et al. 1987).

En la teoria aristotèlica -prèviament desenvolupada per Empèdocles-, els elements terra, aire, aigua i foc eren entitats metafísiques formades per una matèria primera dotada de qualitats, que no podien ser antagòniques i que es manifestaven a través d'ella, que variava segons la proporció en què aquestes es presentaren:

Terra	=	fred	+	sequedat	+	matèria prima
Aire	=	calor	+	humitat	+	matèria prima
Aigua	=	fred	+	humitat	+	matèria prima
Foc	=	calor	+	sequedat	+	matèria prima

Segons aquest esquema totes les "substàncies reals" són considerades mescles d'elements. De fet, Empèdocles afirma que *"cap ésser té una natura, abans tan sol existeix la mescla i la separació dels elements mesclats... En el món no apareix res nou, les coses mortals no naixen ni moren, sinó que tot és una mescla i separació d'allò que està mesclat i "naixement" és sols el nom que els homes donen a aquest fet"* (Longrigg 1976). Amb aquestes paraules tan explícites, Empèdocles estava afirmant que a la natura no hi ha

substàncies, sols mescles dels elements (imaginari), formats per una matèria primitiva imperible i que no se'n deriva d'altra, els diminuts ingredients dels quals estan un al costat de l'altre sense cap tipus de canvi. Cal recordar, arribats a aquest punt, que ell no considerava aquestes diminutes partícules com a àtoms.

Empèdocles també fou el primer en mostrar la corporeïtat de l'aire. Per poder incloure'l en el grup d'elements, demostrà experimentalment que no podia entrar aigua en una clepsidra si primer no es deixava eixir l'aire que contenia, plantejant així que l'aire era un cos material ja que l'aigua no podia entrar en un espai que ja estava ocupat per ell (Longrigg 1976). Donat que no acceptava l'existència del buit, el concepte de reemplaçament mutu permetia explicar el moviment, encara que no hi haguera espais buits (Roller, 1981).

Altra contribució dels filòsofs grecs fou la teoria que cada cosa tenia el seu lloc natural de manera que l'esfera de l'aire estava per damunt de la de l'aigua i aquesta damunt de la de la terra. Seguint aquest ordre, la matèria rara, que no tenia pes i es caracteritzava per una major proporció d'aire en la seua constitució, pujava cap amunt, buscant el seu "lloc natural". Segons aquesta línia de pensament, Aristòtil va entendre la "rarefacció" com la conversió de la matèria corpòria en matèria rara que tornava al seu lloc natural.

A partir del segle XVI, els estudis dels químics pneumàtics van posar de manifest que els gasos també pesen i tenen volum, igual que la matèria corpòria. Van Helmont va recollir i caracteritzar diferents "aires", definint el gas com un tercer estat físic de la matèria. En el segle XVII s'accepta la hipòtesi del "mar d'aire" de Torricelli, Pascal, von Guericke,... contra la de l'horror al buit en demostrar l'existència de la pressió atmosfèrica i el pes dels gasos. Finalment, els treballs de Boyle ajudaren a mostrar que l'aire també era elàstic com els sòlids metàl·lics, cosa que ajudà a establir macroscòpicament el comportament unitari de la matèria i va conduir a la generalització de l'existència de tres estats físics, l'acceptació del buit i la introducció de l'elasticitat com a nova propietat general de la matèria, al temps que suposà el primer pas en la superació de la polèmica entre matèria contínua o discontinua, que portaria a l'acceptació de la natura corpuscular de la matèria (Hernández 1997).

b) La filosofia corpuscular explicava la materialitat dels cossos i portà a la definició macroscòpica d'element químic.

Al segle XVII convivia la doctrina pluralista i la mecanicista. La primera, basada en l'acceptació d'elements o principis constituïts per matèria qualitativament diferent, vindria derivada de la pràctica alquímica peripatètica i dels iatroquímics, seguidors de Paracels. La segona, en canvi, derivava de la doctrina de Demòcrit, que després de segles de silenci, seria

recuperada gràcies als versos de Lucreci. Com ja succeí a l'antiga Grècia, fou rebutjada pels teòlegs cristians, a causa de l'elevat grau de mecanicisme que concedia als àtoms, que es movien al buit sense cap tipus de control diví.

Al propi temps, en la teoria corpuscular hi havia dues branques ben diferenciades: la primera seria el **corpuscularisme** que podem anomenar **químic**, present en l'alquímia medieval i anterior a l'atomisme epicureista, que es nodria de les doctrines aristotèliques dels elements i atribuïa a les partícules qualitats químiques, donant als àtoms formes substancials determinades i materialitzant així els principis peripatètics. D'altra banda segons el **corpuscularisme físic**, la matèria estava formada per àtoms o corpuscles indivisibles als quals s'arribava mitjançant especulacions. Es considerava que aquestes partícules no posseïen qualitats, estaven constituïdes de matèria indiferenciada i dotades de formes geomètriques i moviment. Els canvis s'interpretaven a partir de la forma, grandària i moviment de partícules. Participant d'aquesta filosofia coexistien els atomistes i els plenistes, que coincidien en línies generals, sense diferències apreciables a nivell ordinari entre ambdues teories. Tant els uns com els altres explicaven les qualitats macro a partir de variacions quantitatives produïdes a un nivell no observable (vegeu quadre 2.1).

A partir del corpuscularisme físic, Boyle desenvolupà una concepció corpuscular pròpia (Solis 1985), acceptant l'existència d'una matèria uniforme formada per uns corpuscles o "mínima naturalia" que es movien en el buit. Les qualitats primàries dels diferents materials s'explicaven mitjançant ordenacions diverses i una gran diversitat de moviments. Però aquesta teoria suposava negar l'existència de famílies de corpuscles permanents, que són les que formen la base de l'anàlisi i síntesi químics, de manera que implicà una reducció i un impediment per al desenvolupament de la Química augmentada a conseqüència de la gran influència que Boyle exercí en els científics del moment. En canvi, els treballs dels corpuscularistes químics donarien els primers fruits en associar els principis químics a corpuscles, que formaven blocs fixes en la composició i la descomposició. A partir d'aquests treballs s'identificaren com a elements les substàncies que ja no eren susceptibles de ser separades mitjançant manipulacions al laboratori (Solis 1985) i es classificaren les substàncies, tabulant-se les propietats i preferències associatives, camí que portaria a les taules d'afinitats del segle XVIII.

ESTUDI DE L'ESTRUCTURA DE LA MATÈRIA				
Tradicció alquímica peripatètica	Iatroquímica (Seguidors de Paracels)	Corpuscularisme químic: Present a l'alquímia medieval	Corpuscularisme físic:	
			ATOMISTES (vacuïstes)	PLENISTES (cartesians)
<ul style="list-style-type: none"> Totes les coses estan formades per la combinació de quatre elements: terra, aire, aigua i foc. La combinació no es considera uniforme, s'admet que hi ha corpuscles que subsisteixen en els compostos. 	<ul style="list-style-type: none"> Són coneguts com filòsofs del foc. Totes les coses estan formades per la <i>tria prima</i>, sal, sofre i mercuri. 	<ul style="list-style-type: none"> S'associa amb doctrines aristotèliques respecte dels elements Atribueix a les partícules qualitats químiques, materialitzant els principis peripatètics i "químics" Les qualitats venen definides per la naturalesa íntima de les partícules últimes (els elements) Els àtoms tenen formes substancials determinades 	<ul style="list-style-type: none"> Consideren la matèria formada per àtoms o corpuscles indivisibles Els àtoms estan en el buit. Els àtoms estan dotats de moviment original <i>per se</i> (doctrina atea que enllaça amb l'epicureisme). 	<ul style="list-style-type: none"> Consideren l'univers ple de matèria formada per corpuscles divisibles en principi, encara que pràcticament són estables No accepten l'existència del buit Els corpuscles estan dotats de moviment, que és comunicat per Déu.
Enfocament PLURALISTA : basat en l'acceptació d'uns elements o principis constituïts per matèria qualitativament diferent		Enfocament MECANICISTA segons el qual els canvis s'interpreten a partir de la forma, grandària i moviment de partícules constituïdes de matèria indiferenciada.		
<ul style="list-style-type: none"> Realitzen pràctiques similars TOTS els principis entren en la composició de TOTS els cossos en proporcions diverses Tots els cossos naturals són MIXTOS compostos pels elements (més metafísics que reals) Expliquen la diversitat de substàncies existents per la infinita varietat de proporcions L'anàlisi química es realitza bàsicament pel foc. 	<ul style="list-style-type: none"> Redueixen els cossos a principis palpables mitjançant operacions de laboratori. Associen els principis químics amb corpuscles, formant blocs fixes que permeten la composició i descomposició Identifiquen com elements les substàncies que ja no es poden descompondre per anàlisi i són indestructibles mitjançant les operacions de laboratori 	<ul style="list-style-type: none"> Redueixen els cossos a entitats teòriques (àtoms, textures, moviments microscòpics) mitjançant especulacions Consideren els àtoms neutres, sense qualitats, sols els confereixen propietats geomètriques i moviment. Expliquen els fenòmens a partir dels moviments de corpuscles estables i invisibles (a nivell ordinari, les diferències entre ambdues teories no són apreciables) Expliquen les qualitats MACRO a partir de variacions quantitatives que es donen a un nivell no observable (MICRO). 		
		⇓	⇓	
		<ul style="list-style-type: none"> A poc a poc es classifiquen les substàncies segons les propietats i preferències associatives. Es preparen les taules d'afinitats per classificar els compostos (La primera fou la de Geoffroy, en 1718) 	Boyle: <ul style="list-style-type: none"> Introdueix l'experimentació sistemàtica i precisa. Les qualitats visibles s'expliquen pels moviments i agrupacions dels corpuscles. Nega l'existència de famílies de corpuscles permanents (base de l'anàlisi i la síntesi químics) <li style="text-align: center;">⇓ Influència negativa en el desenvolupament de la Química. 	
Lavoisier estableix la noció de cos simple				
Dalton concedeix a l'àtom un significat químic precís: ser la partícula representativa de l'element.				

Quadre 2.1.- Orígens de la teoria atòmica clàssica.

Tot i que les idees de Boyle l'apartaren del corpuscularisme químic, la seua contribució fou tan important, que ha estat considerat el fundador de la Química moderna per tres raons (Partington 1961):

1. S'adonà que la Química era interessant d'estudiar per ella mateixa i no sols com una ajuda a la medicina o l'alquímia.
2. Introduí un mètode experimental rigorós en Química.
3. Donà una definició clara del concepte d'element i mostrà experimentalment que els quatre elements d'Aristòtil i els tres principis dels alquimistes no mereixien ser anomenats elements perquè no es podien extraure dels cossos.

La tercera raó presenta la idea, prou estesa, que Boyle va establir el concepte actual d'element. Aquesta idea ha estat qüestionada per Boas (1952) o Ihde (1956), així com per altres historiadors més recents de la Química, com Brocks o Bensaude-Vincent. En realitat, Boyle no tractava de donar una definició raonable d'element segons la concepció que més endavant donaria Lavoisier, sinó fer explícit el seu escepticisme respecte a la definició tradicional, incloent el dubte de saber, o no, si cada "element" entra en la constitució de tots els cossos (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997).

Estudis actuals han mostrat que Boyle considerava el treball experimental de forma independent a l'atomisme i la filosofia mecànica (Chalmers 1998), de manera que no hi ha connexió entre els fenòmens mecànics i els principis amb els quals els explica. Aquesta dicotomia no és un cas aïllat; de fet, la distinció entre el punt de vista teòric dels filòsofs i la perspectiva dels que treballen amb els materials ha estat una constant al llarg de la història (Partington 1948).

Per explicar els fenòmens, Boyle pressuposà l'existència d'unes partícules, a cavall entre els "mínima naturalia" (filosofia corpuscular) i els cossos (visibles que participen en l'experiència), els *prima mixta*, formats per l'agregació de corpuscles primitius i que actuaven com unitats indivisibles en moltes reaccions químiques, assignant-los en la pràctica la funció d'àtoms o molècules. Així, Boyle explicava teòricament els fenòmens a partir de canvis físics continus, negant les propietats i els fenòmens químics: per a ell no existien els elements, de forma que, en realitat, estava qüestionant la idea de trobar unitat més enllà de la diversitat. Per aconseguir-la, al laboratori operava amb la hipòtesi de blocs estables, que es mantenien inalterats en les combinacions i que es podien recuperar posteriorment en l'anàlisi. Aquests serien els elements en el sentit modern que ell mai va definir (Solís 1985).

Així, hem de desmuntar el mite que assenyala a Boyle com el pare de la Química, passant a considerar més admissible, com afirma Fernández (1999) que, gràcies als seus

suggeriments, l'element passà a ser un tema d'investigació experimental. No podem oblidar que, al segle XVII, un element o principi era una matèria primera universalment present en tots els materials (Boas 1969), de forma que Boyle, afavorí que es començara a tractar d'identificar les substàncies que ja no podien dividir-se en altres de més simples.

També hem de recordar que els avanços en astronomia del segle XVII feren col·lapsar el sistema Tolemàic i obligaren a eliminar el quint element. En conseqüència, el concepte aristotèlic dels quatre elements es va veure exposat a la discussió i l'atac, perdent part d'autoritat (Ihde 1956 i 1969) i sent substituït per la Nova Mecànica Newtoniana que trencà la barrera cel-Terra. La nova manera de veure les coses féu dubtar de tot el que s'havia acceptat fins el segle XVII i, en particular, de la composició de l'Univers. Aquests esdeveniments junt a la successió de crítiques a la possibilitat de la transmutació i el perfeccionament del coneixement empíric, afavoriren el desenvolupament del concepte segons el qual l'element era una entitat fixa a través dels canvis químics (Ihde 1956). Fins i tot alguns químics que encara utilitzaven els "principis", modificaren les seues teories acceptant les partícules com la base de les més simples entitats químiques reals (Boas 1969, pàg 504)

c) La introducció de la idea de substància va suposar un bot qualitatiu important en el naixement de la Química com a Ciència moderna.

Com ja hem vist, segons la filosofia grega tots els sistemes materials estaven formats per la mescla dels elements metafísics: terra, aigua, aire i foc. Cadascun d'aquests quatre elements representava la mescla de dues qualitats, calent-fred i humit-sec, amb un mateix substrat material per a totes les coses i la seua presència es manifestava a partir de les propietats qualitatives (Partington 1948). Així, per exemple, segons el model aristotèlic, l'aigua (real) estaria formada per l'element aigua (majoritària en la seua composició i per això predominen en ella les qualitats de fred i humit), aire (que s'observa en començar a bullir) i terra (que és el residu que queda en el recipient després que l'aigua passa de líquid a vapor). Dins d'aquest context s'entén que s'acceptara la **transmutació** d'un element en altre sols canviant les propietats perquè, en produir-se la corrupció del sistema material (forma real), la matèria primera (entitat subjacent present en tots els cossos), assumeix una forma nova. Per exemple, la rarefacció o pas de l'estat líquid al de vapor s'entenia com una transmutació d'aigua (freda i humida) en aire (calent i humit) mitjançant el foc. Una conseqüència immediata del que acabem d'explicar és el fenomen de la **transsubstanciació**, o procés pel qual una propietat passa d'un cos a un altre (per exemple, el canvi humitat/sequedat o calor/fred). Segons aquesta idea, amb un tractament adequat, un material podia convertir-se en altre.

De les anteriors consideracions es compren que, en aquest model de matèria, no existia el concepte actual de substància en oposició al de mescla, perquè tot sistema material s'entenia com una mescla d'elements i/o principis ideals. Aquests elements i/o principis eren les substàncies pures sense mescla (simples), però ideals (inexistents empíricament), que donaven la forma a la matèria primera. És a dir, el concepte de substància estava solapat amb la idea d'element. Així, en aquest paradigma, el líquid i el gas resultant de vaporitzar-lo eren materials diferents i d'ací la idea de transmutació com una forma de canvi d'un material a un altre diferent.

Quan entren en contacte les idees filosòfiques gregues amb les tradicions pràctiques egípcies sorgeix l'alquímia, que descriu, les més de les voltes en tractats foscos, processos com els de sublimació, destil·lació o especificació de masses, de vegades ínfimes, el que indica que es feien experiments quantitius. Fins i tot, en algun d'ells es pot trobar la descripció de substàncies. Entre les contribucions pràctiques que es poden extraure dels textos alquimistes és interessant esmentar la descripció de la formació d'una substància a partir d'altres per síntesi i la posterior resolució per anàlisi. Els textos no donen una definició clara del significat d'anàlisi i síntesi en aquell moment, de manera que no ens permet conèixer la relació que guardaven amb la composició de les substàncies (Partington 1948).

Al segle XIV era acceptada la idea dels "mínima naturalia" que, oposada a la teoria de Demòcrit, considerava cada partícula portadora de les propietats macroscòpiques, idea que actualment continua sent una font important de problemes per a l'alumnat (de Vos i Verdonk 1996). Els alquimistes del segle XVI acceptaren al mateix temps els quatre elements aristotèlics i els principis àrabs: sofre, mercuri i sal, que representaven la combustibilitat, la volatilitat, la solidesa i la solubilitat. En aquest context, Paracels aconseguí sals de diversos metalls en dissolució, amb la qual cosa, per primera vegada es produïa una generalització de reaccions químiques, en lloc de considerar cada procés com un tractament individual de substàncies diferents. Angelo Sala aconseguí obtenir sempre el mateix compost a partir de quantitats exactes de determinades substàncies, i resoldre'l després en les substàncies de partida (Leicester 1971). Van Helmont també arribà a la conclusió que els metalls, en dissoldre's en àcids no es destruïen, sinó que eren recuperables i que, quan un metall precipita un altre en una dissolució, no es tracta d'una transmutació, com afirmava Paracels (Brown et al. 1998).

Els avanços del segle XVII obligaren a posar en dubte les idees derivades de la filosofia aristotèlica i considerades inamovibles fins aquell moment. En aquest segle fou introduït el concepte operacional de substància pels iatroquímics (Chalmers 1998), en el moment que la Química entra a la Universitat de la mà de la Medicina, per aconseguir remeis naturals per curar les malalties. És aleshores quan es definí la substància com cos que té un

conjunt de propietats físiques i químiques característiques (Solsona i Izquierdo 1998) i s'oposà a la idea de mescla, definició que es considera vàlida també en l'actualitat.

La introducció de la idea, o perfil conceptual macroscòpic (Mortimer 1997) de substància real, oposada a la mescla, apareix contra la noció metafísica d'element químic i suposà un bot qualitatiu important al qual tal vegada no s'ha donat prou importància i que, junt a l'estudi dels gasos constitueixen els orígens de la Química com a Ciència moderna.

d) L'aparició del concepte de compost químic qüestionà seriosament el paradigma aristotèlic.

El paradigma aristotèlic classificava els materials en mescles imperfectes (mescles heterogènies) i mescles perfectes (homogènies), que anomenava mixt. En aquest context es plantejava un fet problemàtic: si es duen a terme nombroses subdivisions hauria d'arribar un moment en què una d'elles separara les parts juxtaposades, deixant d'existir el compost, situació que en la pràctica mai no es donava. Per oferir una solució, Aristòtil plantejà l'existència dels components en potència (en oposició a la presència, en acte). La qüestió, però, no quedava resolta ja que era molt difícil pensar en un compost que tinguera una forma única i al mateix temps conservara els elements que el composaven dotats de les formes corresponents. Aquesta dificultat, que també avui es presenta als estudiants, no es va superar mai, malgrat que importants filòsofs de la ciència, tractaren d'explicar la presència de les propietats dels elements en el compost considerant que estaven virtualment i no de forma real.

Les noves idees, derivades dels estudis empírics sobre anàlisi i síntesi dels cossos naturals, sorgiren en contra d'aquest paradigma, superant la idea que totes les coses eren mescles i ajudant a establir una nova classificació dels sistemes materials. Així, Boyle, en *El Químic escèptic* (1661), classificà els cossos en *mescles*, *cossos perfectament mesclats* (que vindrien a ésser els compostos actuals) i *cossos perfectament sense mescla*, que serien les que actualment anomenem substàncies simples (Holton i Roller 1963).

Els avanços en farmàcia i metal·lúrgia al llarg del segle XVII permeteren una classificació de les substàncies conegudes atenent al que s'anomenà afinitat química, segons la reactivitat de cadascuna d'elles. Les diferents afinitats dels compostos es recolliren en taules, la primera de les quals fou la d'Etienne François Geoffroy en 1718, en què les substàncies estaven organitzades en columnes, de forma que cada compost podia ser fàcilment atacat pels situats damunt d'ell en la taula. La importància d'aquestes taules ve del fet que proporcionen una llista de quasi tots els compostos químics que podien ésser sintetitzats en aquell moment, al temps que explicitaven les possibilitats de combinació de

cadascun d'ells. Alguns historiadors de la ciència (Klein 1994; Chalmers 1998) consideren que dels comentaris que l'autor fa en la taula es desprèn un nou concepte de combinació química, compost i reacció, malgrat que hi ha alguna veu en contra, com la de Holmes (1996), que considera que fou un desenvolupament més llarg i gradual, i que no fou fins el segle XIX quan va poder ésser identificat el que avui entenem per reacció química.

El concepte de compost químic de Geoffroy conté idees de conservació de l'element a nivell macroscòpic (òbviament el que es manejava en aquell moment, no l'element químic en el sentit modern). La novetat de la idea de Geoffroy radica en un canvi en la forma de veure les transformacions. Els científics del segle XVIII consideraven els canvis químics com una transmutació o bé com una separació de les qualitats, al temps que es produïa una nova generació de substàncies des del cos inicial. Geoffroy, en canvi, assumí que les substàncies químiques enumerades en la taula eren entitats relativament estables i, en els comentaris, va descriure la formació de compostos químics i l'anàlisi química en termes de moviments de substàncies basats en un "bon enteniment". Tots els canvis foren descrits com a moviments mecànics de substàncies: en el procés de formació d'un compost, les substàncies químiques s'acosten i es lliguen unes a altres. En la separació química reversible d'aquestes substàncies a causa de l'addició d'una altra, una de les substàncies originals pot ésser remoguda del seu lloc, i passa a estar substituïda per l'última (reaccions de desplaçament, enteses dins de la idea d'afinitat química de les substàncies).

Aquesta comprensió dels canvis no requereix en absolut una teoria atòmica de la matèria, sinó més bé se'n deriva d'una comprensió de les operacions químiques de composició i descomposició de substàncies. Ara bé, açò no vol dir que la filosofia corpuscular no tinguera res a veure, ja que probablement ajudà a estabilitzar la nova concepció química i, fins i tot, podria ser que d'alguna manera haguera contribuït al seu naixement (Klein 1996). El que no es pot negar és que els escrits de Geoffroy manifesten una comprensió clara de la forma en què es produeixen les reaccions, al temps que una acceptació tàcita de l'estructura corpuscular de la matèria (Boas 1969)

La idea de compost químic definida per Geoffroy no fou acceptada immediatament per la comunitat científica, de fet tingueren lloc importants debats entre els quals és ben conegut el que es produí entre Proust i Berthollet a finals del segle XVIII. Berthollet opinava que les mescles homogènies, com les dissolucions (fins que es produïa la saturació), eren compostos químics, dels quals no es podia afirmar que tenien composició constant. Pel contrari, Proust argüia que cada mineral en tenia sempre la mateixa, independentment de la procedència. On Berthollet veia un compost que podia variar en proporció, Proust sols veia una mescla física. La controvèrsia continuà fins el 1799, any en què Proust defensà la llei de les proporcions definides, segons la qual, la proporció en pes dels elements que formaven un compost era

sempre la mateixa, mostrant que els compostos de composició indefinida de què parlava Berthollet eren, en realitat, mescles.

En resum, la superació de la idea que tots els materials presents a la natura eren mescles d'elements abstractes no es produí fins a les postrimeries del segle XVIII en què s'arribà al convenciment que les mescles es poden resoldre en substàncies i aquestes poden ser simples i compostes, formades per un nombre determinat d'elements químics, ara ja amb caràcter real, no metafísic. S'arribava així a l'acceptació del compost químic com a substància de composició definida, com ja havia plantejat Geoffroy en 1718, amb la qual cosa s'anticipà als coneixements del moment (Klein 1996).

e) *El naixement del primer cos teòric de la Química: la teoria atòmica de la matèria.*

En 1770 encara quedaven reminiscències de la teoria dels quatre elements. Molts químics del moment creien que per destil·lació prolongada de l'aigua es podia obtenir terra, com havia mostrat (erròniament) van Helmont. Lavoisier acabà amb aquesta creença, enfocant el problema des d'un punt de vista operatiu, plantejant un canvi de paradigma en establir la noció de cos simple, o substància que no pot ésser descomposta, i presentant-lo com a alternativa a la idea d'element-principi constituent dels cossos.

Al mateix temps que es desenvolupaven les tècniques de laboratori, l'element es convertí en una cosa que es podia materialitzar i acabà sent assimilat a la idea de cos simple. El concepte havia començat a gestar-se al llarg del segle XVII, però la definició operativa no es faria efectiva fins que la donà Lavoisier (Fernández 1999). Per poder descriure la Química com una ciència exacta ja sols calia relacionar els elements de Lavoisier amb les antigues tradicions corpusculars de Boyle i Newton i aquesta és la tasca que encetà en els anys següents John Dalton.

La teoria atòmica de la matèria va néixer a principis del segle XIX, però la consolidació no fou senzilla, abastant tot el segle XIX (Brock 1998), al llarg del qual es produïren contínues i profundes discrepàncies entre els representants dels dos paradigmes existents en la comunitat científica: l'equivalentista i l'atomista. El paradigma equivalentista tenia com a principal objectiu de recerca l'obtenció de les relacions ponderals de combinació de les substàncies. Richter, un dels seus representants, pensava que obtenint aquestes relacions matemàtiques s'arribaria a induir el cos teòric seguint les mateixes passes que la Física (Llei de Kepler i posterior interpretació amb la Llei de gravitació universal de Newton). Aquest paradigma, de nivell macroscòpic, treballava (en allò que Ostwald, en 1900, anomenava

Dinàmica Química) amb la idea de cercar els elements químics, d'ací que menyspreara el nucli del paradigma atomista, és a dir, la teoria atòmica daltoniana.

En l'article "Querelle à l'Institut entre équivalentistes et atomistes", Colmant (1972), presenta la lluita que tingué lloc en 1877 entre equivalentistes com Sainte Claire Deville i Berthelot i atomistes com Wurtz i Fizeau. Segons l'autor, la química havia començat a "matematitzar-se" en dues direccions: per una part la geomètrica, que proposava la divisió de la matèria en partícules ínfimes, indivisibles, infinites, idèntiques per al mateix cos simple i diferents d'un cos a un altre, agrupant-se de manera distinta segons cada compost; d'altra l'aritmètica, basada en els pesos equivalents com a invariants macroscòpics dels pesos de combinació entre substàncies en una reacció química. El primer pas cap a la convergència dels dos punts de vista el proporcionà la teoria atòmica de Dalton en 1805. En ella, els darrers invariants eren els àtoms, que al mateix temps, eren les partícules que suposava la geometria, i es distingien uns dels altres pel pes atòmic.

Malgrat que la teoria tardaria encara molts anys d'ésser acceptada, els àtoms de Dalton suposaven unificar els principis físics i els químics. Per primera vegada en la història de la Química, els darrers productes de l'anàlisi química eren, al mateix temps, unitats físiques reals que explicaven les propietats físiques dels cossos. Si bé els químics del segle XVIII havien acceptat les implicacions de les filosofies mecàniques del XVII, sols els descobriments experimentals i les implicacions d'aquesta estructura de la matèria com una teoria química feren possible un atomisme real (Boas 1969, pàg 513) i la generalització de la teoria atòmico-molecular, que no s'abastaria fins els primers anys del segle XX. Es produïa així una vinculació indissoluble entre dos conceptes que havien seguit camins diferents i, fins i tot, antagònics, al llarg de la història: cada element s'associava a un tipus d'àtoms i el nombre d'àtoms sols estava limitat pel d'elements coneguts, marcant una diferència important respecte de la creença tradicional en una infinita varietat d'àtoms (Fernández 1999).

La teoria atòmica, publicada en 1808, predeïa noves hipòtesis, com ara la llei de les proporcions múltiples, que va exposar el mateix Dalton. La hipòtesi atòmica postulada constava de les següents idees:

1. *La matèria està formada d'àtoms indivisibles.* És a dir, la matèria és extremadament divisible, però no ho és infinitament, sinó que hi ha un punt a partir del qual no podem anar més enllà en la divisió. Ara bé, per a Dalton, l'àtom o partícula menor de la substància podria, tal vegada, ésser descomposta per procediments químics en partícules menors. Per això, el terme daltonià àtom fa referència tant a allò que actualment anomenem àtoms com a les partícules de les substàncies compostes (el que Dalton anomenà àtoms compostos) (Mierzecki 1991).

2. *Cada element consta d'una classe característica d'àtoms idèntics.* Per tant, existeixen tantes classes d'àtoms com d'elements, sent els àtoms de cada element iguals en pes, grandària, forma... L'àtom de Dalton es diferencia, doncs, dels primitius atomistes en què aquests consideraven que podien haver àtoms de diferents grandàries en un mateix element.
3. *Els àtoms són immutables.* És a dir, els àtoms dels diferents elements no poden transmutar-se uns en d'altres. L'acceptació d'aquesta idea acabava amb la possibilitat de la transmutació dels metalls en or, alhora que deixava d'ésser vàlida la línia que separava les mescles físiques dels compostos químics segons la teoria de l'afinitat.
4. *En combinar-se diferents elements per formar un compost, la partícula del compost consta d'un nombre determinat d'àtoms de cada element.* A aquestes porcions de compost, Dalton les anomenà "àtoms compostos", i les imaginava de forma globular, amb els àtoms constituents mantinguts en contacte físic per una forta afinitat i rodejats d'una atmosfera comuna de calòric.
5. *En les reaccions químiques, els àtoms no es creen ni es destrueixen, sols canvien de distribució.*

Dels postulats 3 i 5 s'infereix que sempre que dos o més elements es combinen químicament, la suma de les masses dels elements combinats és igual a la massa del compost resultant. Així, el principi de conservació de la massa, postulat i comprovat experimentalment per Lavoisier, s'interpretava de forma simple i resultava part integrant de la hipòtesi de Dalton.

El segon postulat, referent a la forma dels àtoms, s'establí a partir de la discussió que plantejava els límits entre procés físic i procés químic, que en aquest moment no estava totalment definit. De fet, hi havia processos que no se sabia ben bé en quin tipus incloure'ls. Per als químics del segle XVIII, quan la mescla produïa llum, calor, efervescència o alguna altra cosa, es considerava que havia tingut lloc una unió química, és a dir, s'havia format un compost. D'altra banda, si les porcions de substàncies diferents podien veure's a ull nu, o bé podien separar-se mecànicament, es tractava d'una mescla física. Ara bé, hi havia un gran nombre de casos intermedis (la sal en aigua, els aliatges, el vidre, l'oxigen en l'atmosfera, etc.) on eixos criteris aproximats no responien amb claredat. En base al paradigma de l'afinitat electiva, segons el qual els àtoms elementals de què estaven formats tots els elements químics es mantenien units per forces d'afinitat mútua, la majoria dels químics consideraven tots eixos casos intermedis com a químics.

Els arguments a favor de la consideració de les dissolucions com a compostos eren molt nombrosos. Per exemple, la formació d'un compost explicava l'homogeneïtat observada

en una solució. Altre argument provenia de l'observació de l'atmosfera. Si l'oxigen i el nitrogen estigueren sols mesclats i no combinats, l'oxigen, per ser més pesat, s'hauria de dipositar al fons, cosa que no ocorria. La resposta vingué de la mà de Dalton, qui conclogué (contra l'opinió de Lavoisier i d'altres) que l'atmosfera era una mescla, no un compost químic.

Per finalitzar el recorregut històric que portà a la construcció de la primera teoria química presentarem, a mena de conclusió, els que considerem tres moments històrics fonamentals en l'avanç:

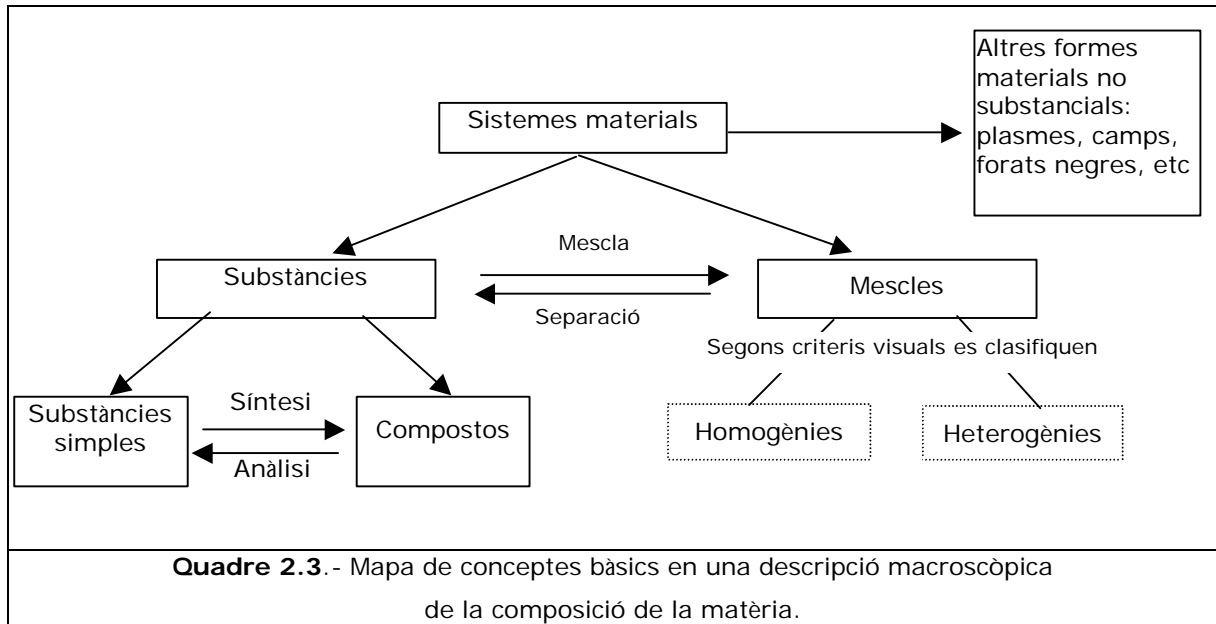
- a) El primer bot qualitatiu cap al comportament unitari de la matèria fou l'acceptació dels gasos com a cossos tan materials com els sòlids i líquids, és a dir, el pas de les diferències entre matèria corpòria i matèria rara d'Aristòtil a l'acceptació de l'estructura corpuscular de la matèria.
- b) Un segon avanç fou el pas des dels elements metafísics aristotelians als conceptes de substància simple i compost químic, formats per elements amb caràcter real i que es combinen en determinades proporcions en pes (paradigma equivalentista).
- c) Introduir la necessitat de considerar l'aïllament del sistema en processos on intervenen també gasos com l'oxigen (Lavoisier) i acceptació de la conservació de la massa en els processos químics.
- d) Per últim, la construcció de la teoria atòmica de la matèria portà a interpretar els conceptes de substància simple, compost i reacció química, així com la conservació de l'element en aquest procés.

Al quadre 2.2 es presenten tres maneres de veure les substàncies i els elements segons el context paradigmàtic (aristotèlic, equivalentista o daltonià) en què es defineixen.

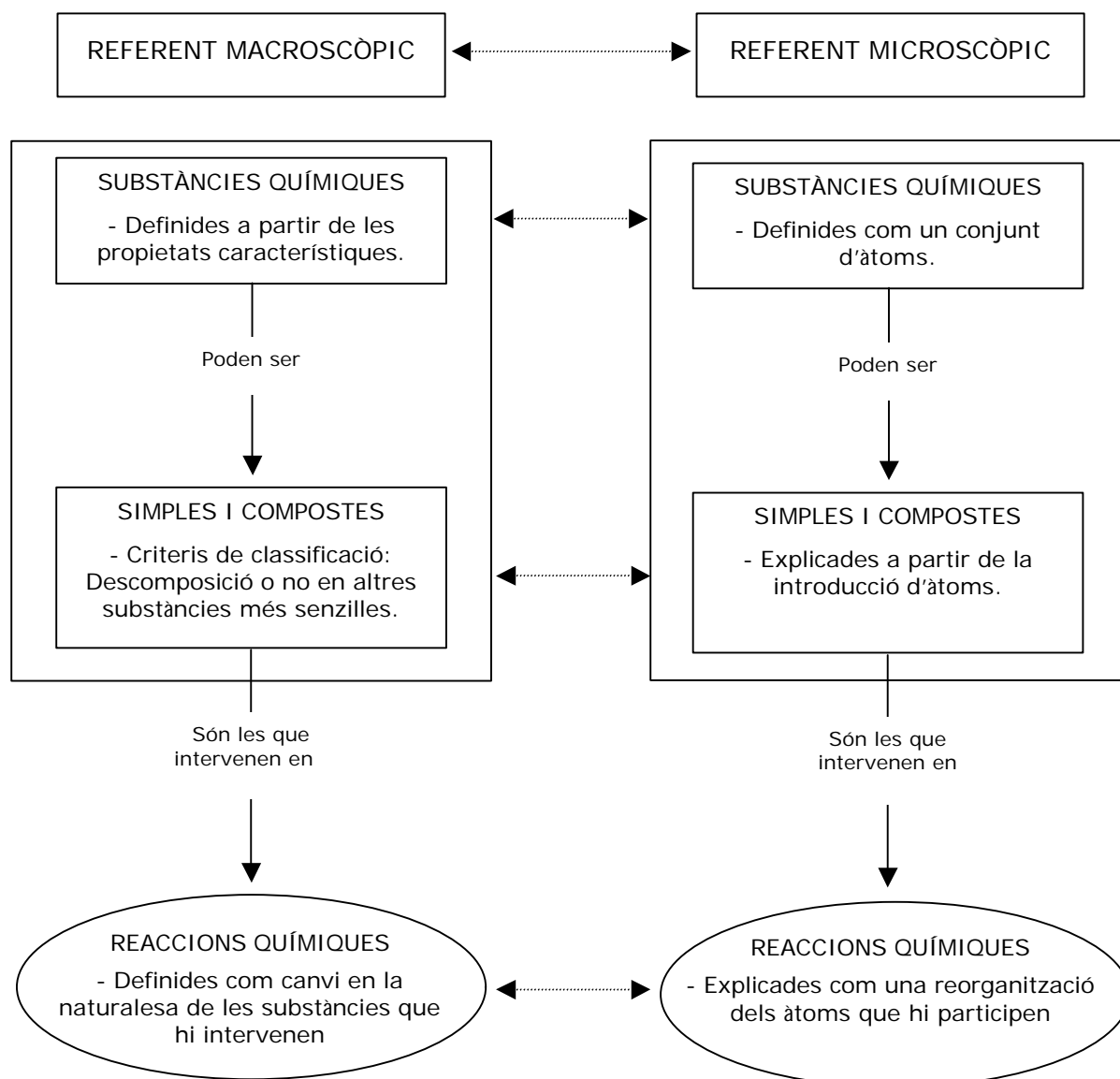
PARADIGMA ESCOLÀSTIC	PARADIGMA EQUIVALENTISTA	PARADIGMA ATOMISTA
Els elements tenen característiques metafísiques.	Renuncia al caràcter metafísic del concepte d'element.	Els elements es caracteritzen per estar formats per un sol tipus d'àtoms.
Qualsevol substància "real" és una mescla d'elements.	Les substàncies poden ésser: mescles, perfectament sense mescla i perfectament mesclades (compostes).	La matèria està formada per mescles de substàncies. Les substàncies poden ser simples i compostes.
A cada element se li associen una o dues propietats que serveixen per explicar, en general, les de la substància real.	Cada substància es defineix empíricament per un conjunt de propietats característiques.	Cada substància es caracteritza per tindre totes les partícules (àtoms o molècules) iguals.
Quadre 2.2.- TRES VISIONS HISTÒRIQUES DELS CONCEPTES DE SUBSTÀNCIA I ELEMENT.		

2.2.2. La hipòtesi atòmica de la matèria permet donar una explicació microscòpica al comportament químic de les substàncies.

Segons hem vist a l'apartat anterior, seguint el curs de la història, els sistemes materials quedaven reduïts en última instància a mescles de substàncies que, en separar-les, podien classificar-se en simples i compostes. La nova classificació permetia la unificació del comportament químic de les substàncies i de les reaccions químiques (canvis substancials), des del punt de vista macroscòpic. El següent quadre (quadre 2.3) mostra un mapa conceptual que reuneix tots els conceptes que estem tractant, i que clarifica les relacions entre ells. En ell, deixarem a banda altres formes de sistemes materials existents, com els plasmes, camps, forats negres, etc. que no tindrem en compte, per considerar que queden fora del domini d'un ensenyament introductori de la química.



La interpretació microscòpica del comportament general vindria de la mà de la teoria atòmica clàssica, que sorgí com hipòtesi per explicar aquests fenòmens des del punt de vista microscòpic i permeté la modelització de la idea de substància simple (identificada en aquell moment amb la d'element químic), substància composta i de les reaccions químiques. El següent esquema fa patent la relació entre els dos nivells de referència, macroscòpic i microscòpic, per a tots els conceptes en estudi (Furió et al 1994c).



Quadre 2.4. - Referents macroscòpic i microscòpic del concepte de reacció química

(Furió et al. 1994c)

La teoria atòmica de Dalton, a més, permetia explicar les lleis ponderals i volumètriques que, fins el moment, havien estat misterioses, com les lleis de Kepler abans de Newton, però a partir de la hipòtesi atòmica, adquireixen un significat intuïtiu immediat (Bensaude-Vincent i Stengers 1997) com veurem a continuació. Per exemple, la conservació dels àtoms en les reaccions químiques explica la llei de conservació de la massa, perquè en una reacció en la que no hi ha intercanvi de matèria amb l'ambient, la massa dels reactius ha

de ser exactament la mateixa que la dels productes, perquè el nombre d'àtoms no ha canviat, sols s'han organitzat d'altra manera.

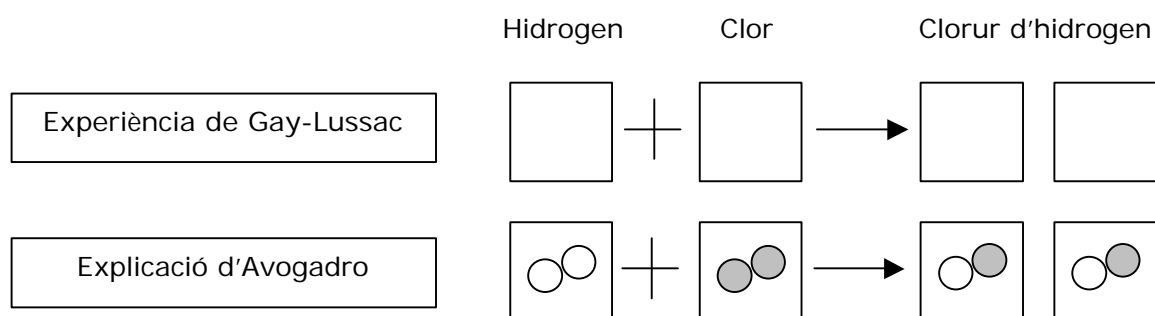
També la llei de Proust es pot explicar per medi del model atòmic de Dalton. Segons aquesta llei, les relacions de les masses segons les quals dos o més elements es combinen, són fixes i no susceptibles de continua variació. Aquesta llei estenia el concepte d'equivalent a totes les combinacions, que fins aleshores havia estat reservada sols a les reaccions de neutralització entre àcids i bases. Mentre Proust i Berthollet mantenien una llarga controvèrsia (que resultà pràcticament indiferent per als químics de l'època), el propi Dalton fa de la interpretació de la llei de Proust una prova de la capacitat de la nova hipòtesi atòmica i suggereix que les combinacions químiques tenen lloc per medi d'unitats discretes, àtom a àtom, i que els àtoms de cada element són idèntics. Aquesta interpretació portà a la introducció de la massa atòmica com una magnitud de les partícules i l'elaboració de la corresponent escala de masses atòmiques.

En la hipòtesi de Dalton, els àtoms ja són completament diferents als de Demòcrit, diferint tant en la definició com en la funció. Ara no són unitats mínimes de composició de la matèria, sinó unitats mínimes de combinació. A més, no sols expliquen allò que és visible a través del que és invisible (és a dir, allò macroscòpic en funció de partícules microscòpiques), sinó que resolen els problemes de llenguatge, de fórmules i de classificació. També expliquen les propietats dels cossos simples en termes d'una arquitectura que no és complicada, on els àtoms serien els constituents finals (Bensaude-Vincent i Stengers 1997).

En el cas de les combinacions gasoses encara quedava un problema per interpretar. Gay Lussac havia mostrat com en reaccionar dos gasos, els volums mantenien entre ells una relació senzilla, sempre que les mesures es realitzaren en les mateixes condicions de pressió i temperatura. L'explicació que va donar Avogadro ho explica utilitzant el model físic de Bernoulli, suposant que en el mateix volum sempre hi ha el mateix nombre de partícules. Si volums que reaccionaven estaven en relacions senzilles havia de significar que el nombre de molècules que reaccionaven ho estaven també. A partir d'aquest moment, es disposava d'informació experimental (les relacions entre volums) per conèixer les proporcions en que s'unien els àtoms, és a dir, per conèixer les fórmules dels compostos.

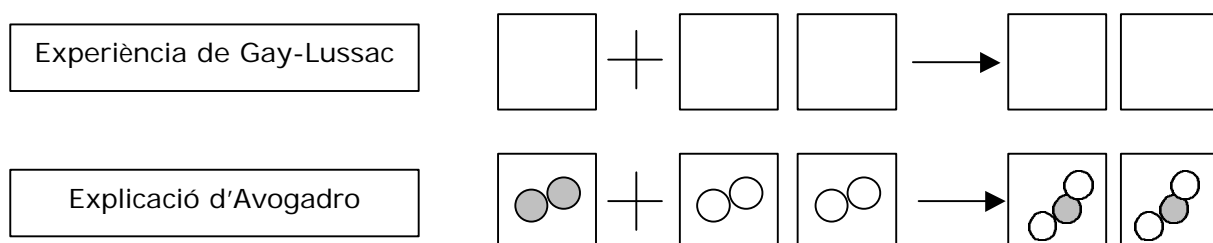
Ara bé, aquesta hipòtesi implica un altra, perquè en els gasos s'han d'acomplir dues exigències. D'una banda, una molècula composta per dues o més "*molècules elementals*" com les anomenà Avogadro (àtoms), ha de tindre una massa igual a la suma de la de les molècules; d'altra, el nombre de molècules compostes ha d'ésser el mateix que el de les molècules del primer cos (Bensaude-Vincent i Stengers, 1997). Avogadro, basant-se en el model corpuscular de la matèria gasosa de Bernoulli, ho solucionà afirmant que "les

molècules constituents d'un gas simple qualsevol [...] no estan formades per una sola molècula elemental, sinó que resulten d'un cert nombre d'aquestes molècules reunides en una sola per atracció i que quan molècules d'altra substància han d'unir-se a aquestes per formar molècules compostes, la molècula que hauria de resultar es divideix en dues o més parts" (Avogadro, 1811, p. 96)



Quadre 2.5. - Explicació d'Avogadro a l'experiència de Gay-Lussac

Aquesta explicació ajudava, a més, a deduir la fórmula dels diferents compostos gasosos, perquè permetia "contar" partícules per medi del volum. Així, per exemple, amb la hipòtesis d'Avogadro s'explicava que la fórmula de l'aigua no era HO com es pensava en un principi, sinó H₂O.



Quadre 2.6. - Deducció de la fórmula de l'aigua a partir de l'explicació d'Avogadro

A més, la hipòtesi d'Avogadro distingia, per primera vegada entre àtom i molècula, especificant que el primer era el subjecte de la combinació i la segona, el de la reacció. Malgrat la seua importància, no fou acceptada pels químics de l'època, degut a l'oposició de Dalton, entre d'altres, perquè el fet que dos àtoms iguals s'uniren en una molècula semblava impossible dins del marc de la teoria dualística de Berzelius, que explicava les combinacions per atracció d'àtoms de les substàncies distintes amb càrregues de signe diferent. La reconciliació total de les dades gravimètriques i volumètriques sols fou possible quan la teoria electroquímica del dualisme començà a perdre força a partir de 1850.

A partir de la construcció de la idea de molècula que, com hem vist, no fou acceptada fins els darrers anys del segle XIX, es permet reconèixer la diferenciació i la relació entre substància simple i element químic. La correcta col·locació del conjunt conceptual cos simple – cos compost – element, va ocupar els químics molt anys, dificultant els resultats les disputes entre atomistes i equivalentistes, però al mateix temps estimulats per la precisió de noves experiències quantitatives i per l'extensió del conjunt dels cossos i reaccions conegudes. Segons paraules de W. Ostwald (1909), *el concepte d'element ha evolucionat des de la propietat abstracta cap a la matèria concreta, però ha estat una progressió molt lenta que, finalment, ha esdevingut una llei que ha estat acceptada tàcitament sense ser formulada fins els darrers temps, sent coneguda com la llei de conservació dels elements, que ve a dir que si la massa i la natura dels cossos està determinada, cap reacció, siga de la classe que siga, pot modificar la natura o massa dels elements. En altres paraules, l'anàlisi elemental d'un sistema químic determinat condueix sempre al mateix resultat, independentment dels fenòmens físics o químics que es produeixen a l'interior del sistema.*

De l'anterior citació podem subratllar que la noció moderna d'element químic està unida de manera essencial a la conservació en les reaccions químiques. Des d'aquest punt de vista, la definició d'element com allò comú a un cos simple i els seus compostos és ambigua (Martinand 1982) i tendirà a ésser abandonada en favor de la primera, que és justament la forma de pensar que desemboca en el sistema periòdic dels elements (Cassirer 1910). Així hem pogut apreciar com la idea transversal de conservació dels elements en els canvis químics és, segons Holton, un "themata" que es repeteix en els diferents paradigmes (aristotèlic, equivalentista i atomista) perquè obeeix a una explicació de la diversitat observable en els canvis mitjançant la conservació de quelcom.

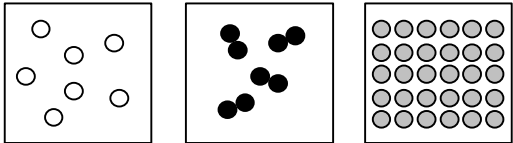
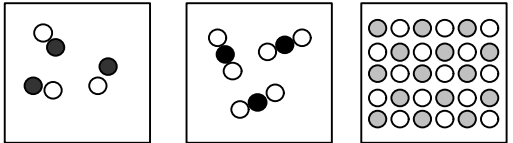
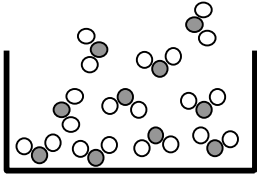
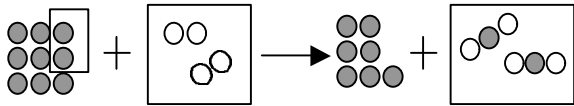
Un progrés important en la comprensió de la noció d'element és la distinció entre cos simple, terme basat en un concepte empíric, lligat a les tècniques d'anàlisi i que és la noció que realment va establir Lavoisier, i element químic o concepte abstracte, base de la interpretació teòrica de les reaccions químiques. El primer que tingué una consciència clara d'aquesta distinció fou Mendeleieff que, en la llei periòdica que publicà en 1869 plantejà la distinció entre element i cos simple, afirmant que els elements són les partícules materials que formen els cossos simples i les regularitats periòdiques els pertanyen sols a ells. Els cossos simples posseeixen propietats físiques i químiques i a ells correspon la idea de molècula o xarxa, mentre a l'element li correspon la idea d'àtom (Bensaude-Vincent i Stengers 1997). Les masses atòmiques són pròpies dels elements, mentre els cossos simples i els cossos compostos tenen les corresponents masses moleculars.

Aquesta distinció va tardar molt de temps en imposar-se (Martinand 1982). Per exemple, en l'edició de 1905 del tractat elemental de Química de Troost i Pechard diu: "...els

darrers cossos s'anomenen cossos simples o elements". La 24^é edició de 1948 modificada per G. Champetier, corregeix: "s'anomenarà element el principi material comú a un cos simple i a tots els seus compostos". Finalment, la diferenciació portà al reconeixement de substància simple com aquella que té un conjunt de propietats característiques, com punt de fusió, punt d'ebullició, densitat,... mentre que l'element és un cos ideal, compostat per molts àtoms iguals, però sense cap estructura física real. És allò que tenen en comú un cos simple i els compostos que aquest forma, i que és el que es conserva en les reaccions químiques. Igual que hem parlat de la conservació de la massa als canvis químics, parlarem ací de la conservació dels elements, és a dir, dels àtoms, però no de les substàncies simples, perquè aquestes desapareixen quan els àtoms es separen i tornen a combinar-se amb altres elements per formar noves partícules característiques de les noves substàncies.

En definitiva, les darreres aportacions de la hipòtesi molecular a la hipòtesi atòmica respecte de l'estructura de la matèria ens clarifiquen les relacions entre els dos nivells d'interpretació conceptual, que convé no superposar en l'ensenyament de la Química. Això és el que va fer Mendelejev en diferenciar al nivell macroscòpic els conceptes d'element i cos simple, que fins aquell moment havien estat superposats, i a nivell microscòpic els d'àtom i molècula. Posar de manifest aquests conceptes és el que permeté als químics franquejar l'obstacle constituït per la necessitat d'identificar i passar d'un nivell a l'altre per poder representar correctament una reacció química. El mateix obstacle que ha impedit als químics al llarg dels segles relacionar adequadament els nivells macro i microscòpic, és a dir, construir una fenomenologia dels canvis observables macroscòpicament a través d'una reorganització a nivell submicroscòpic, s'ha convertit també en un obstacle important per a l'alumnat, obstacle que es pot superar, entre d'altres raons, amb ajuda d'una organització dels continguts de l'ensenyament, sense introduir l'ajust d'equacions abans de construir la representació submicroscòpica (Laugier i Dumon 2000).

Una vegada analitzats els obstacles històrics que s'hagueren de vèncer per arribar a l'establiment dels conceptes que estem estudiant, hem de fer notar que l'ensenyament convencional no proporciona aquesta informació als estudiants. Pel contrari, posa l'èmfasi en les doctrines i lleis actualment acceptades, sense explicar quins problemes les han provocat, a quines preguntes han donat resposta, a quines altres respostes s'hagueren d'enfrontar i perquè resultaren més convincents que aquelles que foren rebutjades. Tenint aquestes qüestions en compte, és possible organitzar una seqüència de continguts com la que presentem a tall d'exemple en el quadre 2.7 (Azcona 1997). En ella es defineixen clarament els nivells de conceptualització macroscòpic i microscòpic que ha d'adquirir l'alumnat per a comprendre els canvis químics. En aquest quadre cada concepte va acompanyat de representacions icòniques senzilles i fàcilment interpretables pels estudiants.

Quadre 2.7.- Nivells de conceptualització macroscòpica i microscòpica a adquirir pels estudiants per a la comprensió dels processos químics (Azcona 1997)	
Conceptualització macroscòpica	Conceptualització atomista
<p>SUBSTÀNCIA: Material que té un conjunt de propietats característiques invariables.</p> <p>SUBSTÀNCIA SIMPLE: La que no es pot descompondre en altres.</p> <p>SUBSTÀNCIA COMPOSTA: La que es pot descompondre en altres més senzilles per procediments químics.</p>	<p>SUBSTÀNCIA: Material format per un conjunt de partícules iguals.</p> <p>SUBSTÀNCIA SIMPLE: Constituída per àtoms iguals, que poden estar aïllats o formant estructures més complexes.*</p>  <p>(*) Un mateix element químic pot donar lloc a una o varies substàncies simples.</p> <p>COMPOST: Format per partícules complexes totes iguals (amb àtoms dels elements que el formen)</p> 
<p>CANVI FÍSIC: No es formen noves substàncies i sols canvia l'estat físic de la substància.</p>	<p>CANVI FÍSIC: Les partícules constituents de les substàncies no canvien.</p>  <p>Evaporació de l'aigua</p>
<p>REACCIÓ QUÍMICA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es formen noves substàncies - La massa es conserva constant - Les substàncies que hi participen en la reacció estan en una proporció de massa constant. 	<p>REACCIÓ QUÍMICA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Els productes de reacció tenen partícules diferents que els reactius. Hi ha una reestructuració de les partícules.  <p>Reactius Limitant + O₂ (g) → Reactiu en excés + Producte de la reacció CO₂ (g)</p> <ul style="list-style-type: none"> - La conservació de la massa és conseqüència de la conservació dels àtoms en el compost - Les proporcions constants són conseqüència del que hem dit anteriorment.

2.3. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA PRIMERA HIPÒTESI, REFERENT A LES DIFICULTATS D'APRENTATGE DE LES REACCIONS QUÍMIQUES, QUE NO TÉ EN COMPTE L'ENSENYAMENT CONVENCIONAL.

En la primera part del present capítol hem presentat la construcció històrica dels coneixements científics als que han d'arribar els aprenents, ressenyant en particular, les dificultats que s'hagueren de superar històricament fins arribar a la definició dels conceptes de substància, compost i reacció química. En aquest apartat tractarem de fonamentar els obstacles epistemològics que ha detectat la recerca didàctica, en forma d'errors d'aprenentatge, respecte dels continguts que es volen ensenyar. Mostrarem que, habitualment, no es tenen en compte en l'ensenyament i tot seguit, analitzarem les visions deformades del professorat sobre la ciència i l'activitat científica en aquest context didàctic.

Al mateix temps que fem un recorregut pels problemes que es plantegen a l'alumnat, prestarem especial atenció als problemes històrics, en el sentit de veure en quina mesura avalen el paral·lelisme amb les dificultats dels estudiants que presentem com hipòtesi en aquest treball. Si tenim en compte que a la humanitat li ha costat prop de 2000 anys comprendre la natura corpuscular de la matèria, no ens han de sorprendre les dificultats de l'alumnat (Ben-Zvi et al. 1986).

Un dels temes al que la Didàctica de les Ciències ha dedicat especial atenció els darrers anys ha estat el de la natura corpuscular de la matèria. La quantitat de problemes que planteja la seua comprensió ha fet que algun autor (Fensham 1994) propose retardar el seu ensenyament. Aquesta, però, és una opinió minoritària, donat que la major part d'autors considera més adient introduir-la a l'inici de l'estudi de la química, fent-ho per etapes, d'acord amb la idea que l'alumnat arriba a la comprensió del model corpuscular a partir de diferents estadis o nivells, que han d'anar superant (Johnson 1998a).

Així, en general, hi ha consens en considerar que l'estudi detallat del model corpuscular afavoreix en els estudiants la comprensió dels conceptes subsequents, perquè proporciona un marc global per estructurar el coneixement (Gabel et al. 1987). Podem esmentar com exemples la comprensió de l'estat gasós (Johnson 1998b, 1998c), la dels conceptes d'àtom i molècula, paraules que l'alumnat utilitza sense conèixer el significat real (Ben-Zvi et al. 1986; Margel et al. 2001), el significat dels termes condensació i evaporació (Osborne i Cosgrove 1983; Lee et al. 1993) o la interpretació dels fenòmens a nivell microscòpic (Shepherd i Renner 1982; Gentil et al. 1989).

Ara bé, també s'ha mostrat que la utilització o identificació correcta de representacions corpusculars no implica una adquisició significativa de la concepció discontinua de la matèria (Fensham 1992; Tirosh i Stavy 1996; Llorens 1988 i 1996), raó per la qual en aquest apartat, revisarem les dificultats que ha trobat la recerca al voltant dels conceptes de substància, mescla, compost, element i finalment, de reacció química. A més a més, pressuposem que caldrà que el professorat les conega a fi d'enllestir un procés eficaç d'ensenyament.

2.3.1. Dificultats per diferenciar material de substància

El concepte de substància és un pre-requisit conceptual fonamental, perquè ofereix les eines necessàries per diferenciar els conceptes de mescla i compost, així com per comprendre el canvi químic i poder diferenciar-lo del canvi físic. Malgrat la seua importància, són molts els estudiants que s'inicien en Química sense tindre'l clar (Stavridou i Solomonidou 1989) i les dificultats poden derivar-se de diverses raons, que esmentarem a continuació.

Alguns autors (Smith et al. 1985; Andersson 1989; Stavy 1991a i b) han posat l'accent en que l'alumnat té dificultats per diferenciar entre material i no material, de forma que consideren matèria qualsevol cosa que podem veure, agafar,... Aquest esquema mental comporta que els gasos no siguin materials per a ells (Stavy 1988; Hernández 1997) i, per tant, tinguen problemes per comprendre la natura corpuscular de la matèria. En altres casos, el problema se'n deriva de que els alumnes caracteritzen els materials (fusta, aire, etc.) per trets relacionats amb la utilitat o algun fenomen visible especialment rellevant (Llorens 1994; Krnel et al. 1998). Una solució presentada per pal liar aquest problema se'n derivaria de l'adquisició del concepte de matèria a partir del desenvolupament del model atòmic, conclusió que ve avalada pel fet que els estudiants més majors tenen tendència a mencionar en les explicacions els àtoms i les molècules (Dickinson 1987).

Altres estudis mostren que l'alumnat te problemes en la comprensió del vocabulari científic, bé perquè, per a ells, alguns conceptes no signifiquen el mateix que per al professorat (Johnstone i Selepeng 2001), bé perquè el significat d'algunes paraules canvia en passar del llenguatge quotidià al científic, així com en el seu ús en diferents contextos o diferents països (Bell i Freiberg 1985; Maskill et al. 1997). Fins i tot, dins del propi llenguatge científic, una paraula pot tindre diferents significats (Llorens i de Jaime 1987; Johnson 1996). A títol d'exemple, en llenguatge corrent la paraula partícula significa un tros molt menut d'una substància sòlida, mentre que en Química s'utilitza amb els significats d'àtom, ió o molècula (Gilbert et al. 1982). També es planteja un problema als estudiants quan es parla de la

puresa d'una mostra (una gota d'aigua o un munt de pols) i no s'aclareix que conté més d'una substància. Per aquesta raó, cal parlar de mostres pures de substàncies, indicant que l'adjectiu pur no fa referència al terme de substància, sinó al de mostra. El fet de no fer-ho així ocasiona que l'alumnat associe el concepte de *substància pura* amb l'origen natural o l'absència de mescla d'un determinat material, de manera que, per exemple, afirmen que el suc de taronja natural és pur, però deixa de ser-ho en afegir-li additius o en tractar-lo químicament (Roletto i Piacenza 1994; Johnson 1996). Així, afegir l'adjectiu *pura* a la paraula substància, a més de no tindre sentit, perquè si no és pura no és una substància, provoca errors de comprensió en els estudiants (Johnson 2000a).

La pròpia terminologia emprada també és altra font d'equivocacions per a l'alumnat. Per exemple, la mateixa substància rep els noms de gel, aigua i vapor, mentre en altres casos, com malaquita i coure o ferro i òxid no ocorre així, per tant l'alumnat no té criteris clars per establir quan es tracta de la mateixa substància i quan no (Johnson 2000a).

Per totes les raons abans esmentades, considerem fonamental prestar molta atenció a l'ensenyament del concepte de substància i la diferenciació amb el més general de material. No es tractaria de detallar les propietats de cada substància, sinó de fer veure com es poden usar per definir-la (Johnson 2000a). Solomonidou i Stavridou (2000) consideren que l'alumnat desenvolupa el concepte de forma progressiva, des de la idea més general de substància com "una cosa inert", fins arribar a la noció de substància com cos amb unes propietats determinades. En aquest context, la utilització de les propietats de les substàncies constitueix altre problema per als estudiants, perquè les substancialitzen (Sanmartí et al. 1995), és a dir, identifiquen la propietat amb la substància. En conseqüència, pensen que una substància pot canviar de propietats mantenint la identitat (Pfundt 1981) o bé, consideren que una mateixa substància preparada de dues formes diferents són dues coses distintes, perquè assignen la identitat a través de la "història" (de Vos i Verdonk 1987a i b).

2.3.2. Dificultats per diferenciar mescla de compost químic.

Una conseqüència immediata que se'n deriva de la falta d'assimilació del concepte macroscòpic de substància, serà la dificultat per diferenciar mescla de compost. La introducció de la teoria atòmica de forma memorística i acrítica afavorirà aquest error, perquè permet definicions ambigües, que poden induir a errors posteriors (Caamaño et al. 1983). Per exemple, s'arriba a definir compost com aquell que està constituït per àtoms diferents, definició que també podria ser aplicable a les mescles.

A nivell macroscòpic, els estudiants fan ús d'un criteri estrictament visual per distingir entre substància i mescla, de manera que oposen les mescles heterogènies a les substàncies, considerant sinònims matèria i substància (Roletto i Piacenza 1994). El resultat és que sols les substàncies simples són considerades substàncies, per estar formades per un sol element, al temps que s'identifiquen els compostos amb les mescles perquè, a nivell microscòpic, tant en la mescla com en el compost intervenen, com a mínim, dos components.

L'origen d'aquest error podria vindre de no haver adquirit prèviament els conceptes macroscòpics de substància i compost, que són els que permeten distingir entre la separació dels components d'una mescla per medis físics i la separació dels elements d'un compost per medi d'un procés químic, és a dir, la font d'errors per a molts estudiants prové de considerar un compost com una addició d'àtoms (Ben-Zvi et al. 1982b). Aquesta visió comporta problemes per diferenciar entre les mescles i els compostos, així com a entendre de forma additiva les reaccions químiques (Ben-Zvi et al. 1986).

Si l'alumnat no adquireix els conceptes operacionals de mescla i compost, tampoc podran distingir entre la separació dels components d'una mescla i la separació dels elements d'un compost (descomposició), com veurem a continuació.

2.3.3. Dificultats per diferenciar un canvi físic d'un procés químic.

La primera consideració a tindre en compte al respecte és la conveniència, o no, de diferenciar entre ambdós tipus de processos. Segons un estudi desenvolupat per Palmer i Treagust (1996), aquesta distinció es troba en els llibres de text anteriors a 1870, però no en altres llibres científics de la mateixa època, raó que fa suposar que un motiu per incloure'l al currículum era pedagògic. Però també apunten com possible causa un cert conservadurisme de la teoria d'Aristòtil, segons el qual a les propietats dels elements, expressades com dues parells de qualitats oposades assimilaria l'oposició canvi físic - canvi químic.

Actualment, alguns autors consideren que no cal efectuar la diferenciació (Borsese i Esteban 1998) perquè, al seu parer, no es tracta d'una distinció fonamental, no és significativa des del punt de vista científic i, tampoc constitueix una veritable ajuda pedagògica. Altres autors recolzen aquesta opinió afirmant que es tracta d'una diferència molt subtil. Per exemple, tant els canvis d'estat com les diferents formes al·lotròpiques d'una substància s'expliquen per medi dels enllaços que uneixen les molècules o els àtoms (Gensler 1970; Brosnan 1999). La majoria d'autors, però, sí que consideren important establir una

diferenciació perquè, malgrat totes les dificultats, una introducció primerenca del concepte de reacció permet explicitar millor els objectius de l'aprenentatge (els canvis d'estat en física, l'estudi dels minerals en geologia, la respiració o digestió en biologia...) i ajuda a superar els problemes que planteja a l'alumnat la diferenciació entre canvi físic i químic (Shepherd i Renner 1982; Meheut et al. 1985; Abraham et al. 1992; Carretto i Viovy 1994).

Per distingir entre un canvi físic o un químic els científics es recolzen en la conservació: a nivell macroscòpic, en una transformació física es conserven les substàncies, mentre en les químiques unes substàncies desapareixen i es formen altres noves. A nivell microscòpic, en canvi, cal fixar-se en la conservació o no dels àtoms. En el canvi físic les unitats microscòpiques no canvien, mentre que en el canvi químic, les propietats de les noves substàncies venen determinades pels enllaços entre àtoms i la classe d'estructura que es forma, és a dir, l'explicació es basa en el concepte d'àtom (Pfundt 1981). La conseqüència que s'extrau per a l'ensenyament és que cal centrar-lo en la comprensió de dues qüestions: Què canvia? Què es conserva? (Solomonidou i Stavridou 2000).

El problema per a l'alumnat en general, és la manca de punts de referència concrets. En conseqüència, quan observen que un canvi és radical, o no reversible, consideren que es tracta d'un canvi químic, mentre que quan no és radical, és a dir, reversible, és físic. Si tenim en compte que, en les condicions apropiades, moltes reaccions químiques són reversibles, podem veure la incompatibilitat existent entre les idees de l'alumnat i els conceptes científics (Stavridou i Solomonidou 1989). Redundant en el problema, en molts casos, el professorat dóna massa èmfasi a la idea de conservació (en particular de la massa), prestant poca atenció en canvi, al concepte fonamental de substància (Johnson 2000a). El concepte de substància porta al de reacció, que es defineix com un procés en el que unes substàncies es converteixen en altres i aquests canvis s'interpreten microscòpicament amb la teoria atòmica. Per tant, conèixer el concepte de substància ajudarà els alumnes a establir correspondències satisfactòries entre els nivells macroscòpic (substància) i microscòpic (molècula) (Solomonidou i Stavridou 1987).

Un primer aspecte a tindre en compte en l'anàlisi de les dificultats de l'alumnat és que la formació del concepte de reacció química depèn d'un camp empíric d'origen científic que compren tot un seguit de paraules que el relacionen amb laboratoris, regles de manipulació, tècniques d'aïllament, etc. A partir d'aquesta idea, sembla que, en la vida quotidiana la gent categoritza espontàniament les transformacions de la matèria en fenòmens naturals i artificials (Solomonidou i Stavridou 1994). Els fenòmens químics es consideren com artificials, com si no es donaren mai fora de les parets dels laboratoris, fins el punt que s'ha arribat a considerar com un fenomen físic un bosc que es crema (Solomonidou i Stavridou 1987; Stavridou et al. 1993).

També s'ha mostrat que els estudiants consideren que són reaccions aquells processos en els que hi participen dues coses, identificant com canvis químics els canvis d'estat (per exemple, l'ebullició d'un líquid, per considerar-la la suma del líquid més la calor) o les dissolucions, com la dissolució del sucre en aigua (Osborne i Cosgrove 1983; Prieto et al. 1989; Stavridou i Solomonidou 1998). En altres casos, pel contrari, consideren que la reacció entre substàncies significa la mescla inert de les mateixes i que canvia alguna propietat (com el color, per exemple), però la substància continua sent la mateixa (de Vos i Verdonk 1985b; Driver 1985; Hesse i Anderson 1992; Solomonidou et al. 1993; Driver et al. 1994).

En general, el concepte de canvi químic dels estudiants va evolucionant a partir d'una primera etapa en la que s'associa amb manifestacions fenomenològiques, com canvi de color, formació de gasos o explosions. En una segona etapa, consideren que té lloc una reacció quan dos productes es mesclen i es produeix un tercer producte diferent dels primers. Així, deixen fora de la categoria de reacció tots aquells processos en els que inicialment sols puguen veure un reactiu, com per exemple la llet en fer-se agra (Stavridou i Solomonidou 1998). Johnson (2000b) també particularitza el problema dels canvis químics en la idea de la descomposició de les substàncies, que considera un repte per a l'alumnat en general, perquè el sentit comú (la visió entròpica diària) ens diu que les coses no es separen espontàniament. Per últim, alguns alumnes donen definicions de reacció química en termes de canvi d'estructura a nivell atòmic, però no ho fan a nivell macroscòpic. Els resultats milloren amb els anys d'escolarització, però romanen alguns errors perquè l'alumnat no entén que un canvi de propietats pressuposa un canvi de substàncies (Boo i Watson 2001). Per pal·liar aquest problema, Carretto i Viovy (1994) proposen construir per etapes el procés de reacció de forma paral·lela amb la noció de canvi físic, fent paleses les analogies i diferències entre elles i així arribar a la noció de substància química, eix d'aquesta construcció. Des d'altre punt de vista, Solsona et al. (2003) proposen que cal relacionar els nivells d'estudi macro i microscòpic, per poder aprendre a interpretar els fenòmens de canvi (de substàncies), basant-se en les entitats que no canvien (els àtoms).

D'altra banda, diversos estudis mostren com en general es dona massa importància als aspectes numèrics, de forma que la major part d'alumnes són capaços d'ajustar una reacció, però molt pocs poden donar una interpretació per medi d'un diagrama molecular (Yarroch 1985), desconeixen la informació que proporciona una reacció química i tenen una visió additiva més que interactiva d'un compost, és a dir, saben ajustar la reacció fent una manipulació matemàtica dels símbols, però no saben que els coeficients representen unitats moleculars (Ben-Zvi et al. 1987). En general, els mateixos estudiants que resolen correctament problemes numèrics no entenen el que passa en una reacció a nivell microscòpic (Nurrembern i Pickering 1987; Savoy i Steeples 1994; Huddle i Pillay 1996).

A partir de tot el que acabem de dir haurem d'afirmar, doncs, que la construcció del concepte científic de reacció química genera molts problemes a causa del bagatge teòric que requereix. És freqüent sentir definicions com les següents: "Són processos segons els quals unes substàncies es transformen en altres", "... unes molècules es transformen en altres de noves..." . És a dir, és fonamental comprendre conceptes com substància, molècula, reorganització,... però, quin significat donen els alumnes a aquestes paraules? Són necessaris el concepte previ de substància, conceptes relacionats amb la cinètica de reacció, o saber establir la distinció entre els aspectes macroscòpic i microscòpic (Briggs i Holding 1986; Andersson 1990; Lee et al. 1993; Johnson 1996). Pel contrari, en l'ensenyament no s'estableixen les relacions corresponents entre les visions macroscòpica i microscòpica dels canvis químics, impedit la conceptualització de les diferències entre el canvi físic i el canvi químic i la noció de reacció química (Ben-Zvi et al. 1987; Sanmartí 1989).

Per resoldre el problema de transferir les propietats del món macroscòpic al microscòpic, Andersson (1990) suggereix que cal distingir clarament entre el model, construït per la ment humana i l'observació de la substància a nivell macroscòpic, subratllant la dificultat dels estudiants per efectuar aquesta distinció. La comprensió del model de partícules també es revela fonamental per aconseguir una comprensió bàsica del que ocorre en un procés químic, en particular en aquells en que intervenen gasos (Johnson 1999).

Històricament, la doble interpretació dels fenòmens químics fou un problema que costà molt de temps resoldre, perquè es considerava que el canvi químic era conseqüència del canvi de forma, grandària o moviment dels àtoms, és a dir, una mena de transmutació. La dificultat es va resoldre amb l'acceptació de l'atomisme, que oferia la relació entre els nivells macroscòpic i microscòpic en presentar la correspondència: un element \rightarrow un conjunt d'àtoms amb una massa determinada (Martín del Pozo 1998). Per a l'alumnat, des del punt de vista conceptual i epistemològic, establir relacions entre els aspectes macroscòpics i microscòpics dels canvis físics i químics no és gens fàcil, perquè implica tindre clarament establerta, des del punt de vista cognitiu al menys, la interpretació macroscòpica dels conceptes de substància, substància simple, compost, mescla i reacció química. A més, també obliga a donar una explicació microscòpica a base de partícules (modelització de la composició corpuscular de la matèria) del que passa en un canvi químic (un altra modelització necessària). Eixos són els principals objectius a què han de fer front els estudiants en l'ensenyament secundari i, potser, una de les principals dificultats radica en el fet que l'avanç s'ha de produir en tots els conceptes a la vegada, perquè en cas contrari serà difícil afavorir el desitjat aprenentatge.

2.3.4. Dificultats per relacionar adequadament els nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic.

Totes les dificultats comentades als apartats anteriors estarien lligades d'alguna manera pel caràcter especial de la Química, que requereix per a la seua comprensió assimilar que existeix un nivell macroscòpic visual; un nivell microscòpic, que són tots els canvis que tenen lloc a nivell de les partícules que conformen les substàncies i un nivell simbòlic de representació microscòpica escrita dels successos que tenen lloc en els processos físics i químics. El professor, com expert, no té problemes en distingir en quin dels nivells està en cada moment, canviant d'un a altre en un moment determinat del discurs, cosa que no ocorre en els aprenents que tenen un grau d'implicació molt diferent i, en moltes ocasions, ni tan sols s'adonen que estan parlant de nivells i realitats diferents (de Jong i Van Driel 1999), raó per la qual és necessari ser molt precís en el llenguatge utilitzat (Selley 1978; Ben-Zvi, Eylon i Silverstein 1982b).

Aquesta particularitat de la Química provoca greus problemes de comprensió que també han estat estudiats amb profusió en les últimes dècades. La manca de relacions entre els aspectes macroscòpics i microscòpics ha estat prou criticada per la recerca en didàctica. S'han celebrat congressos, jornades, etc. per presentar aquestes mancances (Linjse et al. 1990) i s'ha mostrat com els estudiants milloren notablement l'aprenentatge si l'ensenyament té en compte la introducció per etapes dels nivells macroscòpic, submicroscòpic i simbòlic, en lloc de seguir el tractament tradicional (Georgiadou i Tsaparlis 2000).

La bibliografia assenyala la doble conceptualització com font d'obstacles subjacents en les dificultats que es presenten en l'ensenyament de la química, perquè en molts casos, l'alumnat superposa les explicacions macroscòpica i microscòpica (Llorens 1988; Pereira i Pestana 1991; Fensham 1992; Griffiths i Preston 1992), no sols en l'ensenyament secundari (Novick i Nussbaum 1978 i 1981), sinó també en la universitat (Sawrey 1990; Pickering 1990; Barlett i Plouin 1997; Kautz et al. 1999). Aquests obstacles s'originen per la consistència de concepcions de "sentit comú" i l'absència de "consciència microscòpica", en el sentit de la no utilització de la teoria atòmico-molecular de la matèria en l'anàlisi d'aspectes macroscòpics.

Al nostre parer, l'ensenyament no dona prou importància a la relació entre els models conceptuals macro i microscòpic (Domínguez i Furió 2001). Aquesta manca de relacions macro-micro pot explicar-se en base a l'existència de visions realistes ingènues on es superposen els models conceptuals macroscòpic i microscòpic. Els estudiants pressuposen que

una partícula és un tros diminut d'un cos i per tant, té les mateixes propietats que el tot (Furió et al. 2000a). Aquesta forma de raonar no els permet descobrir el món microscòpic, ni distingir entre les propietats macro i micro, de forma que atribueixen propietats macro als àtoms (Viiri et al. 1999), com considerar que es poden comprimir o expandir en escalfar-los (igual que va suposar Dalton), o que les diferències en els canvis d'estat són degudes a canvis en la molècula o els àtoms i no en l'organització dels mateixos; pensen que la partícula característica d'una substància, siga àtom o molècula, ha de tindre les propietats macroscòpiques de la substància: olor o color per un gas, rigidesa per un sòlid,... (de Vos i Verdonk 1987b; Ben-Zvi, Eylon i Silverstein 1986). També afirmen que la forma de les molècules depèn de l'estat de la matèria i que sols els elements són substàncies (Griffiths i Preston 1992), o que les partícules dels sòlids són més grans que les dels líquids i aquestes majors que les dels gasos (Pereira i Pestana 1991). Més preocupant és que alumnes universitaris tinguen els mateixos problemes sent incapaços de passar de l'aplicació numèrica dels problemes a resoldre qüestions conceptuals (Sawrey 1990; Pickering 1990; Barlett i Plouin 1997; Kautz et al. 1999), assignant característiques macro a entitats atòmico-moleculars o no acceptant la idea del buit (Furió i Hernández 1983).

Les dificultats de comprensió dels diferents nivells han estat motiu d'estudi en molts treballs. A nivell macroscòpic, Osborne i Cosgrove (1983) assenyalen que els alumnes consideren que les bombolles que ixen en bullir l'aigua són d'aire. En el nivell de representació, Yaroch (1985) ha mostrat que els estudiants utilitzen les fórmules sense comprendre el que signifiquen. A més, no relacionar els nivells porta a que tampoc conserven el nombre de partícules quan dibuixen diagrames (Gabel et al. 1987). Gabel (1993) planteja que les dificultats de l'alumnat que estudia Química es poden deure al poc èmfasi que es dona a l'estudi del nivell simbòlic en la resolució de problemes. Seria desitjable ensenyar els tres nivells, establint connexions entre ells i relacionant-los amb situacions de la vida diària per evitar la compartimentalització dels coneixements escolars i la societat. Així evitaríem la disfunció que es dona avui a les aules consistent en que s'utilitzen esquemes mentals diferents en funció del cas en particular d'estudi (de Posada 1993), per exemple, els àtoms s'utilitzen més per explicar el comportament dels gasos que en el cas de sòlids i líquids.

Una vegada més es fa patent una mena de similitud entre un problema històric i una dificultat epistemològica per als estudiants. En la història de la Química, l'estudi dels gasos ajudà a l'evolució del model corpuscular de la matèria (Nussbaum 1985), que no s'incorporà als sòlids i líquids fins començaments del segle XIX (Furió i Hernández 1983). També els estudiants es troben amb problemes epistemològics per adquirir la noció corpuscular de la matèria, ja que abandonar la idea de continuïtat suposa contradir en part les idees que els presenten els sentits i canviar-les per un model més coherent i abstracte (de Posada 1993).

Altre problema que s'ha produït històricament durant un període de temps molt llarg ha estat el de la identificació entre element i substància simple. Actualment és una confusió molt comú entre estudiants, i també entre professors (Bullejos et al. 1995), com ho mostra la seua presència en nombrosos llibres de text. És molt corrent definir l'element com "una substància que no es pot trencar en altres menors", definició que provoca confusió en l'alumnat, sobre tot en aquell que no té clar què és una substància (Johnson 2000a).

Una última consideració al respecte seria el problema que resulta quan els alumnes consideren la matèria com allò que resulta d'unir moltes unitats, de manera que representen cada substància com una unitat, és a dir, sols un àtom o una molècula (Ben-Zvi, Eylon i Silverstein 1986). Així, identifiquen els conceptes d'àtom i element d'un costat, i els de molècula i compost d'altre (Harrison i Treagust 1996). Una causa d'aquesta interpretació errònia pot ser què els elements, en un perfil microscòpic, es presenten com un sistema material format per una classe d'àtoms iguals però aïllats. Per tant, les molècules (tant d'àtoms iguals com diferents) en ser partícules complexes, s'associaran a les mesclades o als compostos o, encara pitjor, seran considerades com mesclades de substàncies simples (Caamaño et al. 1983).

De tot el que hem dit fins ara, podem inferir que les construccions científiques a que ens estem referint en aquest treball no estan integrades en el medi social i cultural dels estudiants, que els atorguen un significat diferent al que dona la ciència. En el llenguatge químic, cada substància es determina per les propietats que presenta i es representa mitjançant una fórmula. El concepte de substància utilitzat en la vida diària, però, és ambigu i per tant, cal fer servir els noms d'una manera més disciplinada (de Vos i Verdonk 1987a), i aproximar els conceptes d'una forma que permeta el "descobriment" dels mateixos per part de l'alumnat (de Vos i Verdonk 1987b). En altres paraules, cal familiaritzar els estudiants amb el llenguatge químic, per aconseguir que coneguen les paraules i siguin capaços d'adequar el discurs al context en el que estan treballant.

Totes les dificultats que acabem d'esmentar porten a que l'alumnat tinga problemes tant en la comprensió dels conceptes que rep com en la construcció dels propis, no sols quan entra en l'escola sinó, malauradament, també quan eix d'ella, com tractarem de provar als propers capítols. A mena de conclusió, resumirem els problemes de comprensió de l'alumnat en un conjunt de dificultats d'aprenentatge que suposem que es donen en els estudiants en finalitzar els estudis de batxillerat científic i que es poden veure al quadre 2.8.

PROBLEMES HISTÒRICS	DIFICULTATS DE L'ALUMNAT MOSTRADES PER LA RECERCA
Consideració dels gasos com matèria rara, és a dir, no corpòria, a diferència dels sòlids i líquids.	Els sòlids i líquids seran els materials prototípics de la matèria corpòria, els gasos no tenen status material en la ment de l'alumne perquè la majoria no es veuen i no poden tocar-se. Per tant, en els processos on intervinguen gasos, la major part de l'alumnat no assumirà la conservació de la massa (Stavy 1988; Furió i Hernández 1983; Hernández 1997).
El pas de les diferències entre matèria corpòria i matèria rara d'Aristòtil a l'acceptació de l'estructura corpuscular de la matèria.	Els estudiants afronten l'aprenentatge del model de partícules amb un model alternatiu prou estable segons el qual la matèria es concep com continua i estàtica (Nussbaum 1989)
Les substàncies pures són considerades com mescles d'elements metafísics que sols manifestaven la seua presència a través d'una "matèria prima" que tenia impureses unes qualitats.	L'alumnat basa el concepte de substància en característiques qualitatives observables poc objectives, i no fa servir criteris científics quantitius (De Vos 1984).
Cada partícula ("mínima naturalia") era portadora de les mateixes propietats que mostrava el material	Els estudiants atorguen a les partícules les propietats dels materials (de Vos i Verdonk 1996; Viiri et al. 1999)
La dificultat per comprendre què eren els compostos, classificant com a tals també les mescles homogènies i en particular, les dissolucions.	L'alumnat té dificultats per distingir entre mescla i compost (Ben Zvi et al. 1982b i 1986; Sanmartí 1989; Roletto i Piacenza 1994; Valdez et al. 1998)
Lligat amb el punt anterior, la dificultat per distingir un procés físic d'un químic.	Els estudiants tenen dificultats per comprendre els aspectes que fan referència a una reacció química (Ben-Zvi et al. 1987). També gran part d'ells consideren les reaccions químiques com una simple mescla entre els reactius (de Vos i Verdonk 1985b; Hesse i Anderson 1992; Solomonidou i Stavridou 1987 i 1994; Solomonidou et al. 1993; Johnson 2000b)
Fins el segle XIX la Ciència ha arrossegat la manca d'una teoria unitària que explique el comportament químic de la matèria.	Els alumnes tenen dificultats per diferenciar els nivells de conceptualització macro, micro i simbòlic (Ben Zvi et al. 1986; Pereira i Pestana 1991; Gabel 1993).
Construcció de la teoria atòmica de la matèria lligada als conceptes de substància simple, substància composta, reacció química i la conservació de l'element	Els i les alumnes tenen dificultats per comprendre a què fa referència el nivell macroscòpic i a què el microscòpic (Ben-Zvi et al. 1987). D'altra banda, associen substància i element químic (Sanmartí 1989, Llorens 1991)
Confusió entre element i substància simple	Identificació entre element i substància simple (Sanmartí 1989; Llorens 1991; Bullejos et al. 1995)
<p>Quadre 2.8. - Semblances entre els problemes que es produïren en la Història i els problemes que es plantegen a l'alumnat en l'estudi de la química.</p>	

2.4. VISIONS DEFORMADES DEL PROFESSORAT SOBRE LA CIÈNCIA I L'ACTIVITAT CIENTÍFICA.

Els problemes d'aprenentatge de l'alumnat poden derivar-se del tipus d'ensenyament impartit, centrat en la transmissió verbal de coneixements, sense una reflexió profunda sobre el seu significat i que és destinada de manera preferent a aconseguir una acceptació dels conceptes i teories de forma receptiva (Gil 1983), en la que s'ignoren les idees prèvies, malgrat representar greus barreres epistemològiques per tal d'assimilar els nous conceptes, com demostren les dificultats que els propis conceptes han tingut per obrir-se camí al llarg de la història (Saltiel i Viennot 1985; Steinberg et al. 1990).

L'ensenyament convencional s'organitza bàsicament a través d'un enfocament quantitatiu amb un excés de dades (Rañada 1995), que persegueix la repetició mecànica de fórmules sense cap reflexió prèvia de tipus qualitatiu que permeta establir els seus límits de validesa. Així s'afavoreix la imatge falsejada que les fórmules físiques i químiques i les operacions matemàtiques són, sense més, exactes i es poden utilitzar en qualsevol situació (Martínez 1987; Gil et al. 1991a). Açò contribueix a consolidar una visió rígida del mètode científic (Izquierdo 1996) com a conseqüència d'actuacions que cal repetir acuradament, on és prioritari el control rigorós i no existeix el dubte o la creativitat (Gil 1993). Aquest excés d'operativitat s'utilitza per emascarar sota l'aparell matemàtic el significat físic dels coneixements. Tampoc es fa cap esforç per fer la ciència accessible a tothom de forma que es reforça la visió elitista (Gil 1985 i 1993, Gil et al. 1991a).

Nombroses investigacions didàctiques dels darrers anys han mostrat reiteradament el fracàs de l'ensenyament de les ciències basat en la transmissió verbal dels coneixements ja elaborats. Així, malgrat l'èmfasi operativista abans criticat, s'ha posat en evidència la dificultat dels alumnes per resoldre correctament els problemes i, sobretot, per entendre el significat dels conceptes científics més elementals (Viennot 1976).

La manca quasi total de perspectiva històrica (Bybee 1991; Stinner 1995; Gil 1996) al temps que són ignorades les idees prèvies de l'alumnat (Ausubel 1978; Giordan 1978; Helm 1980; Hewson 1981; Nussbaum i Novick 1982; Gil i Carrascosa 1985; Engel i Driver 1986; Driver 1986; Hewson i Hewson 1987; Driver 1988; Gil, et al. 1991a). Tot açò crea una barrera entre el que diu el professor i el que realment està entenent l'alumnat, ja que els seus pensaments es troben en paradigmes totalment diferents i no serà fàcil per als alumnes

elaborar els nous conceptes, de la mateixa manera que no ha estat fàcil per als conceptes mateixa obrir-se camí al llarg de la història. (Saltiel i Viennot 1985; Steinberg et al. 1990).

Tampoc s'han mostrat eficaces les propostes d'ensenyament *per descobriment* (Ausubel 1978; Gil 1983; Yager i Penick 1983; Hodson 1985 i 1986) que pretenien mostrar una imatge de la ciència més pròxima a l'activitat dels científics a base de prioritzar els procediments en detriment dels continguts conceptuals. Però aquestes propostes mostraven visions empiristes-inductivistes de l'activitat científica. Superar aquesta imatge de la ciència requereix una crítica de la mateixa i la posterior superació per part del professorat que, malauradament, encara no s'ha fet. En efecte, moltes de les crítiques efectuades a l'ensenyament de les Ciències en aquell moment continuen vigents actualment, com es mostra en un abundant treball de recerca, del que podem esmentar:

- L'ensenyament habitual planteja els treballs pràctics de manera dirigida, amb el propòsit de fer patent la perfecció de les teories presentades de forma acabada, oblidant el paper essencial de les hipòtesis com focalitzadores de la investigació (Fernández et al. 2002). Així, ignoren que es poden presentar com petites investigacions obertes (Gil i Payá 1988; Payá 1991; González 1994), a partir de situacions que siguen realment problemàtiques per als alumnes i els obliguen a emetre hipòtesi, així com preparar dissenys experimentals que les puguin verificar.
- També podem parlar de la manca d'un sentit històric que mostre els problemes a partir dels quals s'originaren i avançaren la majoria d'investigacions que al llarg del temps han fructificat en contribucions al cos de coneixement científic (Otero 1985; Solbes i Vilches 1997). Esta visió històrica ajudaria a abandonar la visió empirista i atèrica (Gil 1993) de l'ensenyament, que ofereix els conceptes d'una forma en la que no caben les hipòtesis ni un marc teòric on inserir-se de forma coherent.
- Una de les línies de recerca més fructíferes en el camp de la didàctica és la de les anomenades *concepcions alternatives* (Osborne i Wittrock 1983; Carrascosa 1983; Hierrezuelo i Montero 1989; Nakhleh 1992), sovint transmeses pels mateixos llibres de text (Solbes 1986; Carrascosa 1987), que interfereixen en l'aprenentatge dels conceptes científics. Aquestes idees alternatives mostren, en ocasions, alguns paral·lelismes amb idees vigents al llarg de la història (Furió et al. 1987; Sequeira i Leite 1991; Furió i Guisasola 1993; Wandersee et al. 1994), i apareixen organitzats de forma més o menys coherent. Els resultats de la recerca han permès qüestionar les visions deformades transmeses en moltes ocasions de forma implícita (Gil et al. 1991a; Hodson 1993; Meichstry 1993; Porlan 1993; Gil i Pessoa 1994; Praia i Cachapuz 1994; Duschl 1995; Porlán i Martín 1996).

Les crítiques de les concepcions del professorat respecte de la Ciència s'estenen a altres deformacions comuns (Gil 1993 i 1996) que, per acció o omissió, transmet l'ensenyament (Fernández 2000; Furió et al. 2002; Gil et al. 2002). Es tracta de concepcions que poden obstaculitzar la correcta orientació del mateix perquè, igual que ocorre en el cas de les preconcepcions dels estudiants, no es poden contemplar com concepcions deslligades o autònomes, sinó que formaran un esquema conceptual integrat.

A continuació presentem (Fernández et al. 2002) algunes de les deformacions més comuns que proporcionen una imatge de la natura de les ciències molt allunyada del que ens mostra la història i filosofia de la ciència, però extraordinàriament difoses per l'ensenyament, a les que cal prestar especial atenció.

Visió descontextualitzada, socialment neutra: S'obliden les complexes relacions C-T-S i ambient, reduint la tecnologia a una aplicació dels coneixements científics, sense tindre en compte el seu paper en els mateixos. En canvi, quan, en ocasions, es tenen en compte les interaccions C-T-S, es queden en visions simplistes: exaltació de la ciència com factor absolut del progrés o rebuig sistemàtic a causa de la capacitat destructiva, efectes contaminants,... Al propi temps, es proporciona una imatge dels científics com genis solitaris, que parlen un llenguatge abstracte i difícil, tancats en torres de marfil i aliens a les necessàries presses de decisió.

Visió individualista i elitista: Els coneixements científics apareixen com obra de genis aïllats, ignorant-se el paper del treball col·lectiu, dels intercanvis entre equips... Es deixa creure, en particular, que els resultats d'un sol científic o equip poden verificar o falsar una hipòtesi. S'amaga el significat dels coneixements darrere de l'aparell matemàtic. No es fa un esforç per fer la ciència accessible, per mostrar el caràcter de construcció humana en la que no falten ni confusions ni errors,... com els dels propis alumnes. En el mateix sentit, es presenta el treball científic com un domini reservat a minories especialment dotades, transmetent expectatives negatives cap a la major part de l'alumnat, amb clares discriminacions de tipus social i sexual (la ciència es presenta com una activitat eminentment masculina).

Visió empiro-inductivista i ateòrica: Es ressalta el paper de l'observació i l'experimentació "neutres", sense idees apriorístiques, oblidant el paper essencial de les hipòtesis i de la construcció d'un cos de coneixements teòrics coherent. A més, malgrat la importància verbal atorgada a l'observació i experimentació, en general l'ensenyament es basa en el llibre, sense a penes treball experimental.

S'incideix particularment en la visió ateòrica en presentar l'aprenentatge de la ciència com una qüestió de *descobriments* o es redueix la pràctica als *processos*, oblidant els continguts.

Visió rígida (algorítmica, "exacta", infalible...): Es presenta el mètode científic com un conjunt d'etapes a seguir mecànicament. Es ressalta, a més, el que suposa tractament quantitatiu, control rigorós, oblidant (o fins i tot, rebutjant) tot el que significa invenció, creativitat, dubte,...

Visió aproblemàtica i ahistòrica (ergo dogmàtica): Es transmeten els coneixements ja elaborats, sense mostrar quins problemes generaren la seua construcció, quina ha estat l'evolució, les dificultats, etc. ni molt menys les limitacions del coneixement actual o les perspectives obertes.

Visió exclusivament analítica, que ressalta la necessària paralització dels estudis, el caràcter acotat, simplificador, però que oblida els posteriors esforços d'unificació i construcció de cossos coherents de coneixements cada vegada més amplis, el tractament de problemes "pont" entre diferents dominis que poden arribar a ajuntar-se, etc.

Visió acumulativa, lineal: els coneixements apareixen com fruit d'un creixement lineal, ignorant les crisis i remodelacions profundes. S'ignora, en particular, la discontinuïtat radical entre el tractament científic dels problemes i el pensament ordinari.

Per tot el que hem exposat en el present capítol, i tenint en compte que la recerca estudiada apunta en la mateixa direcció, considerem que està prou fonamentada l'existència de mancances conceptuals i epistemològiques en l'ensenyament de la Química, degut a que es desconeix la història de la ciència i a l'existència de visions deformades de la mateixa. Es pot parlar d'un cert paral·lelisme entre els problemes històrics a que s'hagué de fer front en la construcció dels conceptes de substància i compost químic i les possibles dificultats que poden tindre els estudiants en les construccions personals. Considerem que aquestes dificultats de l'aprenentatge parteixen del fet de no comprendre el concepte macroscòpic de substància que, en conseqüència, impedeix establir la diferenciació entre mescla i compost químic, així com també entre canvi físic i canvi químic.

També considerem suficientment provat que l'ensenyament convencional no té en compte les dificultats d'aprenentatge que ha detectat la recerca referents a les dificultats dels estudiants per diferenciar entre material i substància, entre mescla i compost químic, entre un procés físic i un procés químic i, per últim, per relacionar adequadament els nivells de referència macroscòpic i microscòpic.

Finalment, hem fonamentat que el professorat té una visió deformada de la ciència i l'activitat científica, que transmet a l'alumnat en forma d'una imatge de la natura de les ciències molt allunyada de la que ens mostra la història i filosofia de la ciència.

Tot seguit, tractarem d'operativitzar la primera hipòtesi en forma de conseqüències derivades, que puguen posar-la a prova més directament, al temps que presentarem els dissenys utilitzats per contrastar-la.

3

OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÓTESIS I DISSENYES EXPERIMENTALS PER POSAR-LA A PROVA.

INTRODUCCIÓ

Al capítol anterior s'ha presentat com hipòtesi una crítica a l'ensenyament habitual, segons la qual els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat tenen dificultats en l'aprenentatge de conceptes bàsics de Química (substància, substància composta i canvi químic) perquè, entre d'altres raons, l'ensenyament convencional presenta deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal per no tindre en compte els resultats actuals de la recerca en Didàctica de les Ciències.

Com la hipòtesi planteja l'existència de problemes d'aprenentatge en la Química i esmenta com una de les principals causes, que l'ensenyament no facilita la seua superació, per fer-la operativa i poder posar-la en qüestió, estructurarem un seguit de conseqüències a contrastar en dos subapartats, referits, d'una banda a l'aprenentatge i d'altra a l'ensenyament. Tot seguit, passarem a descriure els dissenys experimentals que s'han elaborat per contrastar-la, dividits, igual que en el cas anterior en els dos subapartats referits als problemes d'aprenentatge de l'alumnat i als problemes detectats en el professorat i els llibres de text.

Per últim, descriurem les característiques de les mostres a les que s'han aplicat els dissenys, separades en grups d'alumnes, professors i llibres de text.

3.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI EN FORMA DE CONSEQÜÈNCIES A POSAR A PROVA EXPERIMENTALMENT.

Al capítol 1 acotarem el problema que ens ocupa en dos sentits. Respecte del nivell educatiu, decidirem centrar-nos en les dificultats dels estudiants de Secundària Obligatoria i Batxillerat, és a dir, l'etapa que va dels 12 als 18 anys. Pel que fa a la segona acotació, presentarem un estudi dual, començant per establir els problemes d'aprenentatge dels estudiants respecte dels aspectes tractats. En una segona vessant de l'estudi tractarem les deficiències de l'ensenyament, donant per suposat que la forma d'enfocar-lo té una influència fonamental en l'aprenentatge dels conceptes i teories científiques. També ens plantejarem si conèixer els problemes històrics que es plantejaren i resolgueren en determinats moments històrics pot ajudar el professorat a organitzar i seleccionar millor els continguts de forma que s'afavorisca la comprensió dels conceptes per part dels estudiants.

Aquesta anàlisi dual ens permetrà adonar-nos de les possibles mancances didàctiques (conceptuals, procedimentals i axiològiques) que es presenten en l'ensenyament habitual dels canvis substancials i que poden derivar en dificultats per a que l'alumnat assolisca una adequada comprensió del tema. Farem referència tant a deficiències en la selecció i seqüenciació dels continguts com als aspectes psicològics, cognitius i afectius de l'aprenentatge, que l'ensenyament ha de tindre en compte a la llum del que diu la Didàctica de les Ciències. Seguint aquest anàlisi, la contrastació de la primera hipòtesi s'orientarà en dues línies diferents, en les que es tractarà de mostrar que:

- L'alumnat entre 14 i 18 anys que cursa el segon cicle d'educació Secundària Obligatoria i Batxillerat tindrà greus dificultats per respondre qüestions senzilles relatives als aspectes macroscòpic i microscòpic dels conceptes de substància, compost i reacció química fonamentalment. Els mateixos problemes es donaran en alumnes preuniversitaris malgrat haver estudiat els esmentats conceptes en diversos cursos.
- La major part del professorat que imparteix classe en centres d'Educació Secundària, així com els llibres de text, dels quals es nodreixen els professors, no tindran en compte els problemes detectats per la recerca respecte dels conceptes que ens ocupen. Així, donaran poca importància (o no faran referència) a aspectes tan importants com el concepte macroscòpic de substància, la diferenciació dels nivells macro i microscòpic per evitar superposicions, la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost o l'explicació atòmica de la reacció química. Tampoc en donaran als aspectes procedimentals i actitudinals de l'aprenentatge.

Per facilitar l'organització del treball, separarem aquestes dues línies, presentant en primer lloc l'operativització de la hipòtesi pel que fa als problemes d'aprenentatge i dedicant un apartat posterior a les mancances de l'ensenyament que, suposem que es donen habitualment. A partir del següent apartat, els títols faran referència a les conseqüències derivades de la primera hipòtesi, que poden posar-se a prova directament.

3.1.1. Els estudiants tenen greus dificultats d'aprenentatge de conceptes bàsics de química com substància (simple i composta) i reacció química.

Com hem afirmat en un apartat anterior, l'alumnat tindrà dificultats importants per respondre qüestions senzilles relatives als aspectes macroscòpic i microscòpic dels conceptes de substància, compost i reacció química. En concret:

- No tindran clar el concepte de substància química i, en general, identificaran els conceptes de material i substància química a nivell macroscòpic.
- Tindran dificultats per diferenciar macroscòpicament entre els conceptes de mescla i compost i associaran les molècules indistintament als compostos o les mescles.
- Identificaran el concepte microscòpic de substància amb el d'element i no tindran en compte que un mateix element pot donar lloc a més d'una substància diferent.
- Utilitzaran criteris qualitius superficials per distingir quan es produeix una reacció química o ha tingut lloc un procés físic.

3.1.1.1. Els estudiants no entenen el concepte macroscòpic de substància i el confonen amb el concepte més inclusor de "material".

Els estudiants tenen una visió macroscòpica del món basada en l'experiència física diària, en la manera en què perceben la realitat i en les idees i raonaments propis de la cultura quotidiana, en particular del llenguatge i la lògica del *sentit comú*. Així, segons la nostra hipòtesi, identifiquen la paraula *substància* amb *material*, *producte*, etc. donant-li a l'adjectiu *substancial* o *material* un significat oposat al d'immaterial, sobrenatural o espiritual.

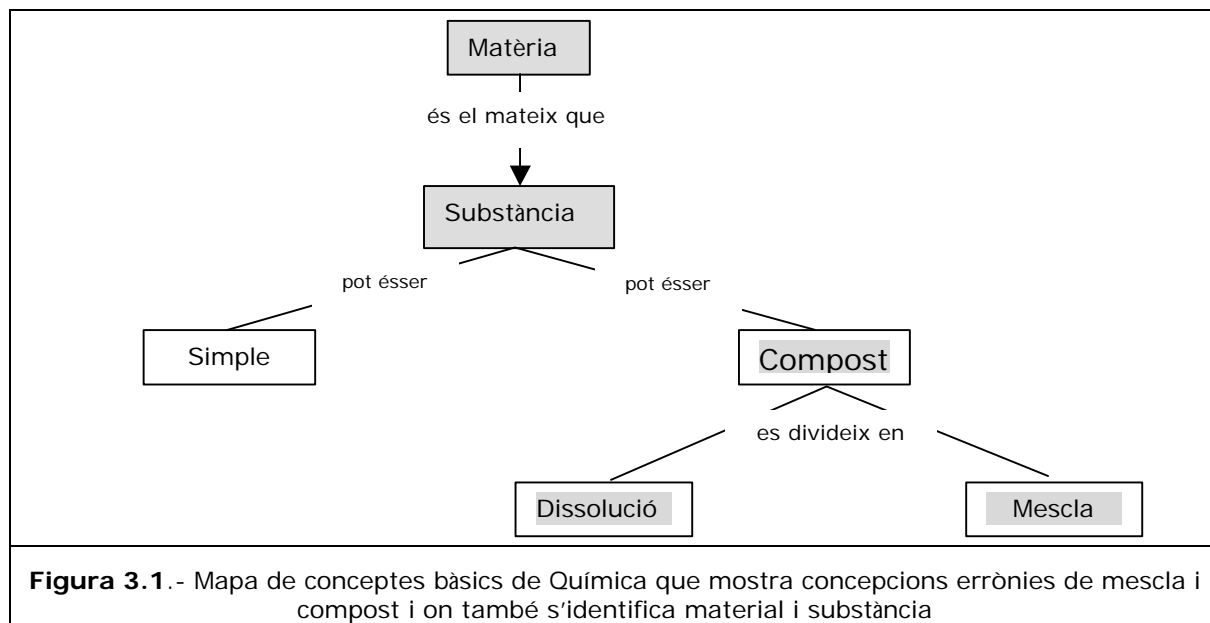
Segons aquesta estructura de pensament, tot allò que no es veu, es toca o es sent d'alguna manera es considera menys real, de forma que els gasos es consideren quasi immaterials (Hernández 1997). Així, quan el sistema gasós és estàtic i no es nota, els alumnes el consideren inexistent, resultant-los molt difícil considerar material una mostra de gas a diferència d'un tros de ferro o un got d'aigua (Johnson 1998b). Accepten culturalment l'existència de l'aire, però com que no es veu i, a més a més, flota, entenen que no pesa (Furió et al. 1987; Stavy 1988), que sols pesa quan el gas té color (Séré 1986) o que el pes depèn de la temperatura (Séré 1989). Al propi temps, quan en els canvis físics o químics desapareix (o apareix) matèria corpòria (sòlids i líquids) a conseqüència de la formació (o desaparició) de gasos, l'alumnat no accepta fàcilment la conservació de la massa (Furió et al 1987). En definitiva, els estudiants no accepten que els gasos són cossos tan materials com els sòlids i líquids i estableixen una primera classificació dels objectes en materials i no materials. A continuació, extrapolant aquesta idea arriben a considerar substancial tot allò que és material, situació que els porta a la identificació entre substància i material, en el sentit més general de mescla (Domínguez i Furió 2001).

No haver adquirit el concepte macroscòpic de substància implica com a conseqüència que, per a reconèixer un sistema material (per exemple, una substància en una mescla) utilitzen propietats qualitatives tan generals, que no permeten la caracterització, però que els estudiants consideren rellevants (color, olor, sabor, aspecte, utilitat, caràcter natural o artificial, etc.). En aquest context alguns autors (Sanmartí 1989) assenyalen la possible existència d'una substancialització de les propietats, de manera que el material o la substància és considerat com portador de la propietat i, per tant, el criteri utilitzat per saber si es conserva o no serà el de la conservació d'una d'aquelles propietats. Per exemple, Bar i Galili (1994) mostren com els estudiants consideren el vapor d'aigua com una mescla de calor i aigua. Aquesta resposta pressuposa que substancialitzen la calor, a més de ser una reminiscència de les idees aristotèliques. En conseqüència, l'obstacle essencial en el procés de construcció dels coneixements de Química és la tendència a explicar els fenòmens químics per les característiques o les propietats físiques de les substàncies (Bachelard 1973). La dificultat en aquest cas, radica en associar la substància amb una propietat qualitativa apreciable visualment i no massa específica com les que acabem d'esmentar, en compte de considerar propietats específiques i més objectives, com les temperatures de fusió i d'ebullició o la densitat (de Vos 1984).

3.1.1.2. Els estudiants tenen dificultats en diferenciar mescla i compost.

Com hem vist anteriorment, en moltes ocasions l'alumnat utilitza criteris que podríem considerar semblant als aristotèlics, derivats de la lògica del sentit comú, segons els quals consideren tots els materials com mescles, sense tindre en compte el concepte macroscòpic de substància. És per això que, per classificar les mescles tornen a tindre en compte el criteri de la percepció, dividint els materials en homogenis i heterogenis, passant a considerar com substàncies als homogenis, de manera que es torna així a incidir en la identificació material-substància.

La conseqüència immediata que se'n deriva és que si no poden saber si en un sistema material hi ha una única substància o més d'una, tampoc podran diferenciar entre mescla (més d'una substància) i compost (una única substància). Per tant, és possible que, per exemple, quan els demanem que realitzen un mapa conceptual, consideren, de vegades, el terme *compost* més inclúsor que el de *mescla*, quan des del punt de vista químic hauria de ser al contrari (figura 3.1).



3.1.1.3. Els estudiants identifiquen el concepte de substància “pura” amb el d’element.

Una derivació de la idea de que qualsevol sistema material es presenta mesclat és el significat que donen els estudiants al concepte microscòpic de substància. L’ensenyament habitual no fa referències a que, a nivell microscòpic, una substància serà un sistema format per moltíssimes partícules o entitats elementals totes iguals, ni diferència la substància del que seria una mescla des del punt de vista daltonià (Sanmartí 1989).

L’alumnat parteix del fet que, tant una mescla homogènia de materials com una substància composta estan formades per més d’un “element”. Com no tenen clar el concepte de substància, no tenen en compte que, mentre en la mescla homogènia pot haver-hi qualsevol tipus de component (diverses substàncies), en el compost sols hi ha una única substància, formada per elements. Així, a partir d’aquestes idees on es barregen les mescles i els compostos, deriven que les substàncies “pures” (materials sense mescla) són els propis elements químics (Sanmartí 1989; Llorens 1991), quedant així els compostos exclosos del concepte de substància, fet que provoca, a més, la identificació entre mescla i compost. Quan es passa al nivell microscòpic, l’alumnat associarà la idea de “*substància pura*” a un sistema que té tots els àtoms iguals (no partícules iguals), de manera que s’arribarà a la identificació dels conceptes microscòpics de substància i element.

Una última conseqüència que podem extreure és que representar sols una partícula per cada substància afavorirà la confusió entre molts alumnes respecte a que cada molècula o àtom és una substància, és a dir, superposaran els nivells de conceptualització macroscòpic i microscòpic (Ben-Zvi et al. 1987).

La idea general de l’alumnat, doncs, serà considerar les substàncies “pures” com una mena d’elements aristotèlics, però amb existència real, identificació que es reforça quan els professors presentem, en el perfil microscòpic, els elements químics com un sistema material format per una classe d’àtoms iguals, encara que aïllats. Per tant, les molècules, tant si estan formades per àtoms iguals o diferents, en ser partícules complexes s’associaran a les substàncies compostes o a les mescles d’elements químics o, el què és pitjor, a mescles de substàncies simples (Caamaño et al. 1983; Bullejos 2001).

Atenent al que acabem de dir, considerem que el problema fonamental que cal superar per assolir el concepte d’element és tindre en compte que està lligat a tots els conceptes que

el precedeixen i, per tant, si no s'han assimilats aquells, es produiran greus dificultats per comprendre aquest. Parlar d'elements, doncs, implica l'assumpció de l'existència de substàncies (i la conseqüent diferenciació entre substància i material), que no poden ésser descompostes (distinció entre procés físic i procés químic), per tant, és necessària una interiorització prèvia dels conceptes anteriors per poder fer front als que estem treballant.

3.1.1.4. Els estudiants tenen dificultats en diferenciar entre procés físic i químic.

Podem reprendre el que dèiem anteriorment afirmant que, no tindre clar el concepte estructurant de substància en els dos models conceptuals (macroscòpic i microscòpic), implicarà no poder distingir si un material és una substància o una mescla. Però encara podem anar més enllà en la hipòtesi, perquè, en entendre que una mescla és el mateix que un compost, l'alumnat considerarà que l'acte o procés de mesclar és sinònim de reaccionar i, per tant, tampoc tindran criteris per distingir si ha tingut lloc un procés físic o s'ha produït una reacció química. És a dir, no entendran que, macroscòpicament, la mescla no implica canvi substancial, mentre que la reacció sí (altra vegada torna a ésser fonamental el concepte macroscòpic de substància, d'ací que el considerem estructurant en un nivell introductor a l'estudi de la Química).

Dins d'aquest nivell, podem ampliar el coneixement d'una reacció química, definint-la microscòpicament com la reorganització d'un nombre limitat d'elements individuals, mentre que macroscòpicament la veiem com la desaparició i aparició d'un determinat nombre de substàncies (Vogelezang 1987).

Nombrosos autors han parlat de les dificultats de l'alumnat per adquirir el concepte de canvi o procés químic (Pfundt 1981; Meheut 1982; Schollum 1982; Meheut et al. 1985; Carbonell i Furió 1987; Ben-Zvi et al. 1987; Andersson 1990; Astolfi 1994; Martín del Pozo 1994a; Gaudilliere 1994; Furió et al. 1994b; Solomonidou i Stavridou 1994; Barlet i Plouin 1997; Pozo i Gómez 1998; Solsona i Izquierdo 1999; Johnson 2000b). ¿A què es pot deure la presència de tants problemes, fins i tot després d'anys d'instrucció? Segons la nostra opinió, la causa se'n deriva de no tindre assimilats els conceptes operacionals (macroscòpic) de substància com un cos caracteritzat per un conjunt de propietats específiques. Pel contrari, tenen una idea ambigua segons la qual associen la idea de material a la de substància. Per tant, és de suposar que, en demanar-los si es conserva o no la substància en un canvi,

tractaran de concloure si aquest és físic o químic fent-ne ús d'algun criteri superficial, com pot ser la caracterització per medi d'una propietat qualitativa observable. A més, si en la qüestió no apareix una substància coneguda i el text no proporciona qualitats característiques de la mateixa, els resultarà molt difícil oferir respostes correctes. Ara bé, fins i tot quan les substàncies són conegudes, els percentatges d'error són molt elevats, com ho mostra per exemple que, en un 50% l'alumnat de BUP no sap diferenciar entre la vaporització i la combustió de l'alcohol (Carbonell i Furió, 1987) o bé que identifiquen els processos de combustió de l'alcohol i evaporació de l'aigua (Pfundt 1981). En definitiva, **el concepte de substància és fonamental** perquè permet definir les reaccions químiques com un procés en què certes substàncies desapareixen al temps que altres s'hi formen. En aquestes interaccions substancials serà important cercar alguna relació entre les substàncies que hi intervenen.

Després d'explicar les dificultats d'aprenentatge a què ha de fer front l'alumnat, passem a continuació a especificar els problemes i deficiències que considerem que es donen en l'ensenyament convencional.

3.1.2. L'ensenyament convencional presenta deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal.

El procés d'aprenentatge està interrelacionat amb el d'ensenyament, de manera que serà aquest el que determinarà en gran part a aquell, raó per la qual la recerca està dedicant-li cada vegada més interès. El pensament del professorat respecte d'allò que ensenyen i dels estudiants als que han d'ensenyar influenciarà la seua actitud, de forma que, determinar les concepcions dels professorat en l'ensenyament de les ciències té considerables implicacions en la recerca i en la pràctica per a la millora de l'ensenyament i aprenentatge. L'argument que presentem és que si volem millorar l'ensenyament de les ciències i l'ensenyament depèn de la forma de pensar i actuar del professorat, hem de suposar que les concepcions d'aquest podran afavorir o no l'aprenentatge.

Com hem dit, la finalitat última d'investigar les concepcions del professorat és millorar l'ensenyament de la Química. Per aconseguir-ho, és fonamental saber què fem els professors i perquè ho fem, és a dir, conèixer el pensament que guia les nostres accions perquè, segons l'orientació constructivista, els professors construïm estructures conceptuais en les que incorporem els successos de classe, els conceptes, els comportaments socialment acceptats i camins per a les explicacions en una forma que els donen sentit (Hewson et al. 1995). Per

conèixer en profunditat les concepcions a les que fem referència, en aquest treball tractarem de lligar les paraules del professorat amb les representacions de la concepció que tenim d'ensenyar la ciència, facilitant la comparació entre allò que diguem i allò que no diguem i es considera important en la Didàctica de les Ciències.

La hipòtesi de treball de la què partirem per detectar les mancances didàctiques en l'ensenyament de la hipòtesi atòmica de la matèria serà que, en la major part dels casos, l'ensenyament actual de la física i química segueix mètodes convencionals de transmissió verbal, amb les limitacions que això comporta, que potser no faciliten massa l'aprenentatge de l'alumnat. A continuació, particularitzarem més, dedicant sengles apartats a l'anàlisi de les mancances de tipus conceptuals i epistemològic, les metodològiques i, per últim, les de tipus axiològic

3.1.2.1. Mancances conceptuals i epistemològiques en l'ensenyament de la Química.

El primer punt que analitzarem es centra en la pròpia ciència i fa referència al fil conductor seguit en el desenvolupament dels continguts científics del tema, que presentarà mancances conceptuals i epistemològiques, com les que analitzarem a continuació.

- a) En primer lloc, considerem que s'utilitzarà la paraula substància de forma ambigua, donant-li diferents significats segons el context d'ús, de forma que pot rebre el significat genèric de matèria, material, producte o mescla. En concret, pensem que l'ensenyament convencional no introduirà el concepte macroscòpic de substància, oposat al de mescla i definit per un conjunt de propietats que el caracteritzen. Aquest concepte permetrà tindre criteris clars a l'hora de classificar els sistemes materials en mescles i substàncies, a partir de la definició operacional de substància. També permetrà separar les mescles i aïllar les substàncies per medi dels mètodes físics i químics de separació al laboratori.

Pel que fa a la consideració microscòpica del concepte de substància, considerem que no es presentarà com aquell sistema material que està format per moltes partícules totes iguals. En general, no es tindrà massa en compte la hipòtesi atòmica, sense presentar-la com una necessitat per clarificar els coneixements adquirits i com una eina útil per explicar el comportament i propietats de les substàncies, al temps que l'existència dels elements. S'afavoreix així, la utilització ambigua del concepte de substància, en particular

en afegir-li l'adjectiu "pura", donant-li la connotació d'element, com component més simple dels cossos.

Per últim, no s'efectuarà una relació adequada entre els nivells de representació (mental) macroscòpic i microscòpic de les mescles i les substàncies, de manera que l'ensenyament no aportarà a l'alumnat les ferramentes necessàries per relacionar les propietats de les substàncies amb l'estructura submicroscòpica. Aquesta manca de relació, que ja ha estat estudiada (Brook et al. 1984, Griffiths i Preston 1992), es traduirà en una visió acumulativa lineal de la construcció de coneixements utilitzant ambdós nivells sense delimitar el camp de validesa de cadascun d'ells. Aquesta situació porta a l'alumnat a consideracions incorrectes a partir de la seua visió ontològica del món (realisme ingenu): si consideren que una partícula és un tros menut del material, suposaran que té les mateixes propietats, de forma que aquesta superposició pot arribar a situacions extremes en què es dóna a les molècules les propietats de les substàncies (dilatació a conseqüència de la calor, fusió i vaporització de les partícules, etc.).

- b) No es presentarà la definició macroscòpica de substància simple com el producte final de l'anàlisi d'una substància composta, com ja afirmà Lavoisier. Abans d'introduir el concepte d'element químic cal presentar la classificació de les substàncies en substàncies simples i compostes. Després és quan es podrà dir que l'element químic és un cos ideal que pot conformar tant substàncies simples com compostes, però ha de quedar clar que el compost no és la mescla de les substàncies simples, sinó el resultat d'una combinació dels elements químics que configuraven les substàncies simples que han reaccionat (síntesi química).
- c) Tampoc es donarà una definició macroscòpica clara del concepte d'element, que pugui eixir al pas de la superposició macro-micro on s'associa l'element amb un àtom o el compost amb una molècula (Caamaño et al. 1983). El concepte general d'element en el nivell macroscòpic és anterior a la hipòtesi atòmica, (per exemple, ja existia en la filosofia aristotèlica) i obeeix a la solució genèrica donada al problema de la diversitat dels materials existents. La cerca d'aquests elements és el problema que ha guiat a la Química des de l'antiguitat. En tot canvi hi ha quelcom que roman (Holton i Roller 1963). En els canvis químics, la relació macroscòpica entre els reactius i els productes del procés s'explica a partir d'allò que es conserva: els elements. A partir d'aquesta presentació, el concepte d'element químic queda convenientment distingit del de substància simple. Aquesta interpretació permet relacionar fenòmens macroscòpics com, per exemple, les oxidacions i reduccions de metalls amb les combustions de materials orgànics (com va fer en el seu moment la teoria del "calòric"). L'absència de la conservació dels elements macroscòpics per part dels estudiants ja ha estat manifestada per exemple en l'article de

Solsona i Izquierdo (1998), així com la idea de transmutació consta ja en l'esmentat treball d'Andersson (1990) o en el de Carbonell i Furió (1987), on alumnes excel·lents consideren que, en cremar Mg en l'aire, s'obté CO_2 .

També considerem que l'ensenyament no aportarà una interpretació microscòpica d'element químic en el context de la hipòtesi atòmica, com un sistema material ideal, format per un conjunt d'àtoms iguals entre ells, i sense cap estructura molecular, d'ací que no es pugui identificar element amb substància simple (òbviament, el camp de validesa d'aquest concepte d'element seria el de la hipòtesi atòmica daltoniana, no el del segle XX). En canvi, el concepte d'àtom podrà ser introduït associant a cada element químic un sistema material format per molts àtoms que són tots del mateix tipus (Llorens 1989).

Per últim, hem de remarcar que, quan parlem d'element, ho fem en sentit virtual perquè, en principi, es pot identificar amb les substàncies simples "reals", però en els canvis ja no i en els composts, on segueix existint, es troba de manera "ideal", no en forma de substància simple sinó formant part d'una substància composta amb propietats característiques específiques (no oblidem que el compost no és una mescla d'elements químics).

- d) No introdueixen explícitament el nivell macroscòpic de definició del canvi químic com interacció substancial que dona lloc a noves substàncies, que no poden ésser qualsevol, sinó que han d'estar relacionades amb les inicials mitjançant la conservació dels elements que formen les substàncies que reaccionen (contra la idea de transmutació) i, per tant, les substàncies produïdes no poden ésser qualsevol perquè estan relacionades amb les inicials. És a dir, no familiaritzaran els estudiants en la idea de la conservació dels elements (que no de les propietats) que formen les substàncies que reaccionen. Per tant, la idea macroscòpica de canvi químic no sols dona compte del canvi substancial operat, sinó també introdueix la idea que existeix una relació entre les substàncies inicials i les finals a través de la conservació dels elements químics. Aquest anàlisi macroscòpic ha d'ésser anterior a la conservació dels àtoms, que es farà a nivell microscòpic.

No s'emfasitzarà el significat microscòpic de la reacció química com redistribució dels àtoms que hi ha originalment en les substàncies que reaccionen. La vessant pràctica d'aquesta manca de significat és que les reaccions no s'estudiaran de manera comprensiva, perquè es limitaran a definir-les de manera operativa i a ajustar-les matemàticament, sense fer reflexionar a l'alumnat sobre el concepte íntim d'allò que estan fent. Tampoc es fa èmfasi en establir relacions entre aquest nivell de definició a base de boletes i el macroscòpic.

No estableixen explícitament les diferències macro i microscòpiques entre el canvi físic i el químic (Furió et al. 1994c), clarificant a l'alumnat que, en els canvis físics, les substàncies es mantenen encara que tinga lloc un canvi d'estat, mentre que en el canvi químic desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves (relacionades mitjançant la conservació de l'element) a partir de la mescla i posterior interacció de les substàncies inicials. Més en concret, no donaran una explicació microscòpica als fets macroscòpics (Bullejos et al. 1995; Benarroch 2000).

Per últim, també hem de recordar que, el concepte de substància és estructurant i, si no s'ha interioritzat bé el seu significat, també serà difícil que els estudiants compreguen les diferències entre els canvis físics i químics (Johnson 1996; Rahayu i Titler 1999; Furió et al. 2000a; Bullejos 2001).

3.1.2.2. Mancances metodològiques en l'ensenyament convencional.

El segon aspecte a tractar fa referència als aspectes metodològics que pot tindre en compte l'ensenyament per afavorir l'aprenentatge. Entre les mancances més significatives podem destacar el fet de no tindre en compte les dificultats que ha detectat la investigació en didàctica de les ciències respecte del pensament quotidià i formes de raonar dels estudiants en particular en el que fa referència a:

- a) La poca materialitat que donen als gasos i a la no conservació de la massa en els canvis substancials on desapareix matèria corpòria (sòlids i líquids), de manera que l'alumnat manté la tendència a considerar-los com una cosa immaterial, quasi espiritual, sense existència real, raó per la qual no cal tindre en compte la massa, per exemple (Furió i Hernández 1983).
- b) L'ensenyament no tindrà en compte les dificultats conceptuals que tenen els estudiants per diferenciar mescla de compost químic o substància composta (Sanmartí 1989). Per aquesta raó, no farà èmfasi en mostrar les diferències a nivell macroscòpic entre mescla i substància composta o compost, (diferència que ja suposà un problema per les tesis aristotèliques en no poder explicar l'existència dels mixts). Tampoc puntualitzarà que, a nivell microscòpic, tant en les mescles com en els compostos hi ha partícules de dos o més tipus, però amb diferent composició i estructures.

- c) Altres dificultats metodològiques serien formes de raonament de “sentit comú” relacionades amb la metodologia de la superficialitat en aquest domini, com per exemple el que diu la recerca sobre què signifiquen per a l'alumnat els conceptes de substància i reacció química (Andersson 1990) o les concepcions que tenen respecte del canvi químic i les dificultats que se'ls presenten per classificar un fenomen com canvi físic o canvi químic.

3.1.2.3. Absència d'aspectes axiològics al currículum.

Per últim, tractarem de l'absència en l'ensenyament d'aspectes axiològics, centrats en aspectes afectius dels aprenents, com les relacions Ciència, Tecnologia i Societat, actituds discents cap a l'aprenentatge de les ciències, etc.

- a) No es plantejarà una situació problemàtica oberta d'interès que porte a saber quin és el problema general que s'intenta resoldre en aquesta unitat didàctica: Cercar una explicació general o unitària a la diversitat de materials ordinaris i als canvis químics que ocorren en aquests materials a fi de poder-los transformar, crear-ne de nous i cobrir les necessitats humanes en aquest domini, al temps que aprofiten aquest coneixement per tractar de solucionar els problemes socials que el desenvolupament científic i tecnològic ens està creant. La cerca de regularitats en aquest cas implica imaginar com hipòtesi general, que tots els materials (per molt diferents que siguen) estan formats estructuralment per uns pocs materials més simples als que anomenem elements químics, que són el que es conserva en el canvi químic.
- b) No es tindran en compte els aspectes actitudinals de l'aprenentatge de les ciències (interessos, etc.) i la necessitat d'introduir els aspectes de les relacions CTS per aconseguir l'alfabetització científica i tecnològica dels estudiants de l'ESO. Ometen el context històric global de la ciència al segle XIX en el moment en que Dalton va proposar la teoria que porta el seu nom, donant peu a què l'alumnat considere que es tracta de la idea genial d'un científic, aïllada de qualsevol altra consideració, necessitat o concepte, sense fer referència a totes les altres persones que participaren en el desenvolupament científic necessari per arribar-hi.

3.1.3. Esquema general de les conseqüències operatives derivades de la primera hipòtesi.

Per concloure aquest apartat, resumirem en un esquema (figura 3.2) el conjunt de dificultats trobades en el procés d'ensenyament-aprenentatge i per a les que, tot seguit, elaborarem dissenys que permeten contrastar-les.

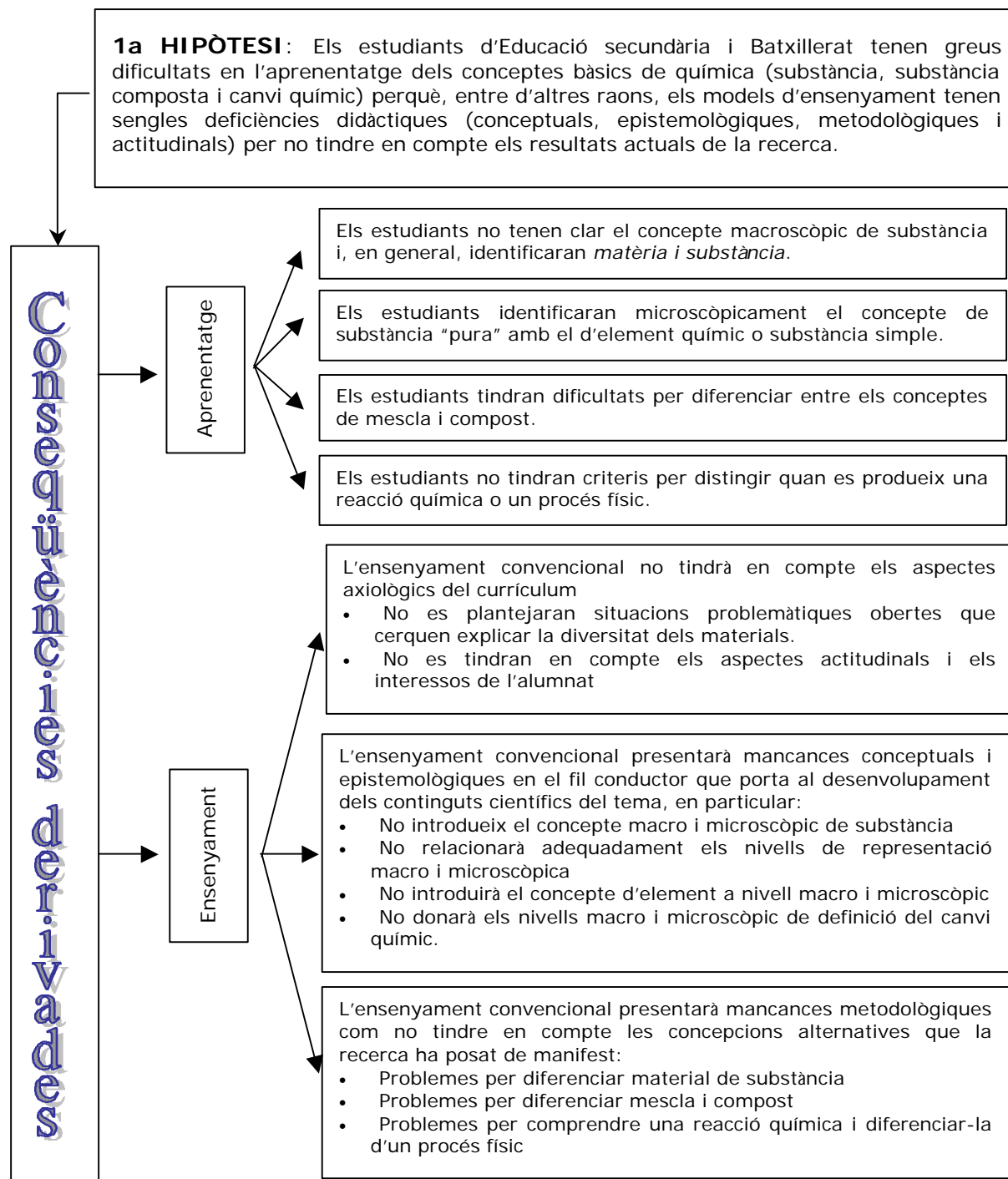


Fig. 3.2: Conseqüències derivades de la primera hipòtesi

3.2.- VISIÓ GENERAL DEL DISSENY PER CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÒTESI

Abans de presentar una panoràmica general del disseny experimental, hem de fer notar que la recerca en Didàctica de les Ciències és diferent de la que es fa en altres camps de la ciència, com ara la sociologia o la psicologia. En aquest camp no es busquen resultats globals de dades objectives ni explicar diferències particulars o nímies entre resultats de diferents mostres d'alumnes. Aquests dos factors simplifiquen notablement les investigacions, perquè permeten no utilitzar mostres molt nombroses d'estudiants i no requerir massa exigències estadístiques. La Open University (1979) aconsella sotmetre a enquesta entre 30 i 50 persones com quantitat estadística significativa, mentre altres tipus d'estudis, apunten que no hi ha un nombre determinat i basta amb que la mostra siga representativa (Fox 1987).

Contràriament a altres camps de la Ciència en els que es busquen mostres estadísticament representatives de la població escolar, el que interessa a la Didàctica és el grau de coherència de les respostes obtingudes en tractaments múltiples, però convergents. Això significa utilitzar dissenys variats, amb instruments distints i moltes proves, amb mostres no massa grans, però amb mecanismes d'exploració que oferisquen resultats complementaris (Larkin i Rainard 1984). Açò implica que la generalització dels resultats obtinguts es deixi a la replicació del treball per altres investigadors, raó per la qual, l'elaboració dels dissenys ha de permetre tornar a contrastar les hipòtesis en condicions distintes i amb diferents mostres de població. Per últim, cal ressenyar que la validació dels resultats no només ha de tindre consistència interna (és a dir, encreuament de dades en un disseny variat) sinó també coherència externa amb el cos teòric de partida. Aquest és el plantejament que hem utilitzat en el present treball.

A continuació, presentarem els dissenys elaborats per fer operativa la hipòtesi, concretant els problemes i dificultats que pensem tindran els alumnes en l'aprenentatge dels conceptes bàsics de la teoria atòmica clàssica i transformant-los en conseqüències susceptibles de ser contrastades per medi de la investigació, o hipòtesis derivades de la hipòtesi principal, referides tant a l'ensenyament com a l'aprenentatge.

Per contrastar la hipòtesi que proposem, s'han elaborat diferents instruments d'observació i recollida d'informació, consistents en l'elaboració, assaig i aplicació de diferents qüestionaris, entrevistes, mapes conceptuals i protocols d'anàlisi de textos, destinats a posar de manifest els aspectes concrets que assenyalàvem en l'apartat anterior com conseqüències derivades de la hipòtesi principal. Els instruments utilitzats s'han dirigit a diferents col·lectius,

amb propostes d'activitats i mostres diferents, segons les finalitats particulars que es perseguien en cada conseqüència.

El conjunt d'instruments que hem utilitzat per posar de manifest les conseqüències derivades de la primera hipòtesi, venen resumits a continuació, en la figura 3.3.

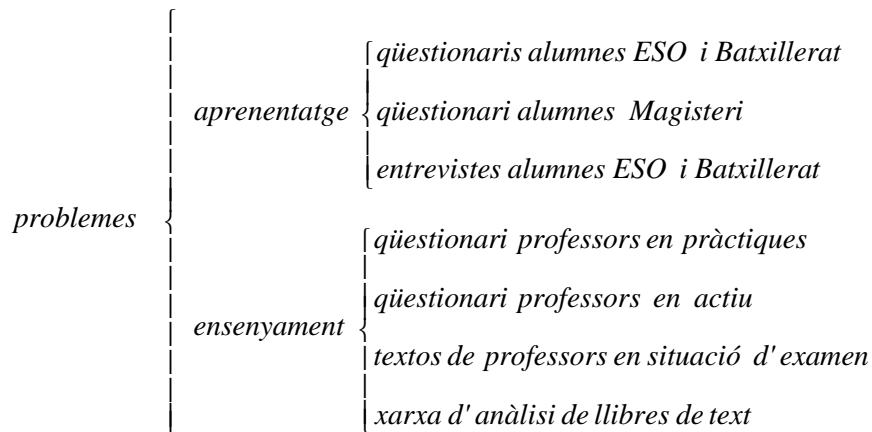


Fig. 3.3. Esquema general dels dissenys que es van a utilitzar

3.3. DISSENY PER MOSTRAR LES DIFICULTATS D'APRENTATGE

Per posar a prova la hipòtesi de partida referent a les dificultats d'aprenentatge, hem elaborat diversos dissenys en els que es posarà a l'alumnat en situació d'enfrontar-se a diverses activitats (qüestions, redaccions, observacions, etc.) per reflexionar al respecte i respondre el que consideren més adient. Amb l'anàlisi d'aquestes respostes tractarem de conèixer el pensament de l'alumnat.

Respecte de l'elaboració d'aquests instruments, ens hem basat en treballs anteriors al nostre, com els de Sanmartí (1989) i Bullejos (2001), així com algunes activitats d'ús general transformades de forma que s'ajustaren millor als objectius que havia de cobrir cadascuna d'elles. Com ja hem dit a l'apartat anterior, es tracta de dissenys variats, coherents i múltiples, que abarquen tots els aspectes relacionats en el present treball, en concret:

- Dissenys per contrastar les dificultats en la comprensió del concepte de substància

- Dissenys per contrastar les dificultats per diferenciar els conceptes de mescla i compost
- Dissenys per contrastar la identificació que fan els estudiants entre el concepte de substància "pura" i el d'element químic.
- Dissenys per mostrar les dificultats dels estudiants en caracteritzar els canvis químics i diferenciar-los dels canvis físics.

Passem a continuació a desenvolupar cadascun dels instruments elaborats.

3.3.1. Dissenys per mostrar que els estudiants no tenen clar el concepte de substància.

La comprovació de les hipòtesis s'ha fet per mitjà de l'anàlisi detallada de les respostes de l'alumnat en un seguit d'instruments en els que s'estudia la comprensió dels aspectes relacionats amb el concepte de substància. Considerem que es tracta d'un concepte fonamental per comprendre els conceptes subseqüents de substància simple, composta i de reacció química, tant a nivell macroscòpic com microscòpic.

Els instruments que utilitzarem en aquest apartat són dos: en el primer, els estudiants hauran d'elaborar un mapa conceptual, relacionant un conjunt de paraules que se'ls oferiran en l'enunciat de la qüestió. El segon disseny consisteix en un qüestionari format per tres qüestions, a partir de les quals, els alumnes hauran d'explicar què entenen per substància, des dels punts de vista macro i microscòpic.

3.3.1.1. Mapa conceptual sobre alguns conceptes bàsics en l'estudi de la Química.

En el primer dels instruments que utilitzarem en aquest apartat, es demana als estudiants que elaboren un mapa conceptual a partir d'un seguit de paraules que se'ls ofereixen i que hauran d'organitzar segons consideren que s'han de relacionar els conceptes. Per facilitar la tasca i que la dificultat pròpia que presenta l'elaboració d'un mapa no alteri els resultats, els alumnes participants en la prova han sigut entrenats prèviament en l'elaboració de mapes en l'assignatura de Ciències Naturals.

Quadre 3.1. - Mapa conceptual sobre alguns conceptes bàsics en l'estudi de la Química.

(Document 1)

1.- Fes un mapa conceptual utilitzant les següents paraules: heterogènia, sofre, compost (o substància composta), mescla, sulfurant, aire, aigua, substància simple, homogènia, matèria, substància, coure, llet, dissolució, bicarbonat sòdic.
Utilitza totes les connexions que calen, **explicant en què et bases** per establir aquestes relacions o connexions.

Com es pot veure, es tracta d'una qüestió oberta i de caràcter general, que té com finalitat que l'alumnat structure les pròpies idees i relacione entre ells tots els conceptes indicats. En ella es pretén, no tant veure si fan una estructuració totalment correcta des del nostre punt de vista, com esbrinar quins són per a ells els conceptes clau, així com veure quins consideren més inclusors (és a dir, quins poden englobar a altres) i quins estan subordinats a altres més generals. Es suposa que no estaran clares les relacions de subordinació entre els conceptes de material i substància ni tampoc entre mescla i compost.

En el moment de realitzar la prova s'havia posat l'èmfasi en què havien d'explicar en què es fonamentaven per establir les classificacions, indicant per a cadascuna de les sagetes si la consideraven una divisió, una relació, un exemple o què significava en cada moment. És per això que en el text es va posar, subratllat i en negreta la frase "explicant en què et bases", per a que no passara desapercebuda. A més a més la prova havia de passar-la la pròpia investigadora, que hauria de demanar que no s'oblidaren d'escriure les explicacions pertinents.

Per valorar els mapes conceptuals, es farà un estudi de les connexions que els estudiants establisquen entre els diversos conceptes. Ara bé, en tractar-se d'una qüestió que recull l'organització de tots els conceptes que estem tractant, l'anàlisi de les respostes no es pot limitar simplement a dir si el mapa és correcte o incorrecte, de manera que l'estudi analitzarà més be les relacions conceptuals establertes. En particular, tindrem en compte com apareixen relacionades les paraules matèria i substància. A més a més, estudiarem la posició relativa que ocupen i el connector que les uneix, per veure si les entenen com una sola cosa o com dues coses diferents. En la figura 3.4 es dona un exemple de resposta que ens poden oferir i que tindria valoració positiva.

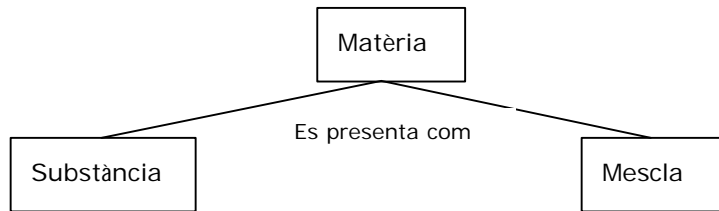


Figura 3.4.- Exemple d'un mapa conceptual amb valoració positiva.

Pel contrari, valorarem negativament la possible associació dels conceptes de matèria i substància, per a la qual cosa comprovarem si en el mapa sols apareix una de les dues paraules. És possible que desaparega la paraula *substància*, molt més problemàtica i que no es pose perquè, segurament, la engloben dins del concepte de matèria. Altra possibilitat és que aquest mot aparega explícitament lligat i identificat amb matèria (figura 3.5). En el cas que no aparega cap connector entre els dos termes, es preguntarà directament a l'alumne o alumna què volia dir i si lligava els conceptes perquè entenia que matèria i substància era la mateixa cosa.

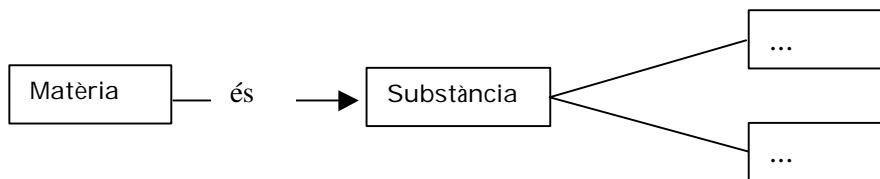
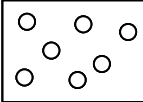
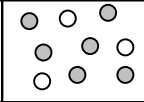
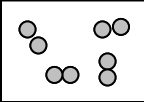
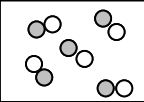


Fig. 3.5.- Exemple de mapa conceptual amb valoració negativa.

3.3.1.2. Qüestionari plantejat per esbrinar si l'alumnat diferencia entre material i substància.

El qüestionari que es presenta al quadre 3.2 (Document 2) té els següents objectius:

- esbrinar si els estudiants reconeixen una substància entre un conjunt de materials
- saber si coneixen algun procediment per determinar davant d'un determinat material si és una mescla o es tracta d'una substància.
- saber si els alumnes poden reconèixer microscòpicament les substàncies.

Quadre 3.2.- Qüestionari per esbrinar si l'alumnat diferencia entre material i substància (Document 2).	
Objectius	Qüestió
Saber si l'alumne utilitza les propietats característiques com criteri per identificar una substància i selecciona l'aigua com única substància que hi ha en un conjunt de materials substancials i no substancials.	1.- Avui en dia tothom ha sentit parlar de: llum, aire, aigua, foc, granit, ona de ràdio. Subratlla els que creus que estan formats per <u>una substància</u> . Explica en què et bases i per què creus que els altres no ho són_____
Diagnosticar si els i les estudiants utilitzen, al menys, una propietat característica per reconèixer macroscòpicament una substància o bé es basen en propietats qualitatives poc específiques com color, olor, etc.	2.- ¿Què podries fer per saber si la naftalina (boles de color blanc que es posaven antigament a l'armari per matar les polilles) és una substància o una mescla?_____
Determinar si l'alumnat té criteris microscòpics per identificar una substància des del punt de vista daltonià.	<p>3.- Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una substància.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">A B C D</p> <p>Justifica la teua resposta: _____</p>

La primera de les qüestions fa referència al concepte macroscòpic de substància. En l'enunciat està subratllada la frase "una substància" per a que es fixen millor en el què estan responnent. La nostra idea però, és que tot i que s'insisteix en el que es demana, els alumnes faran una associació mental entre substància i matèria, de manera que en compte de donar com resposta aquells que estan formats per una substància, assenyalaran tots els sistemes que consideren que estan formats per matèria. Segons el que consideren què és o no material pot haver-hi una gran varietat de respostes. Per exemple, una de les possibles combinacions de "sentit comú" seria la corresponent als quatre elements grecs segons la qual serien materials l'aire, aigua, granit i foc, mentre la llum i l'ona de radio s'assimilarien més al que Aristòtil anomenava com l'èter. També poden entrar en joc altres combinacions lògiques si fan la classificació entre matèria i energia que tan erròniament s'utilitza en l'ensenyament de la ciència.

Exposarem a continuació els criteris que hem seguit per valorar les respostes que ens han donat a cadascuna de les qüestions plantejades en aquest document:

Pel que fa a la qüestió 1, considerarem correcta la resposta si indiquen que l'única substància del conjunt de paraules citades és l'aigua. En cas que donen altres respostes, s'estudiaran en conjunt per analitzar el seu raonament i determinar si estan identificant matèria i substància. En aquest darrer cas, una resposta esperada és que diguen que tots els sistemes presentats són substàncies perquè són mescles d'altres més simples.

Respecte de la qüestió 2, la resposta serà considerada correcta si fa alguna referència explícita –tot i que siga ambigua- a la utilització de, al menys, una propietat específica per a considerar la mostra com una substància. Amb aquesta qüestió analitzarem si l'alumnat disposa d'algun coneixement procedimental necessari per identificar empíricament una substància.

En la qüestió 3 considerarem que la resposta és correcta quan assenyalen que són substàncies les respostes A, C i D, encara que no facen referència explícita al fet que són les que tenen iguals totes les partícules (àtoms o molècules). També ens fixarem si consideren que sols són substàncies els exemples A i C (obviant la D, que representa un compost), amb la qual cosa ens estan indicant que identifiquen substància i substància simple, en un raonament que és coherent amb la consideració dels compostos com mescles.

3.3.2. Dissenys per mostrar que els estudiants tenen dificultats en diferenciar els conceptes de mescla i compost.

El present apartat presenta els dissenys elaborats per analitzar les idees de l'alumnat i els criteris que utilitzen per diferenciar els conceptes de mescla i compost. En apartats anteriors s'ha fet l'estudi macroscòpic i microscòpic del concepte de substància. Per tal de comprovar el grau de coherència en les respostes, ara tractarem d'aprofundir en el mateix, des d'altra perspectiva. Pensem que, si consideren que una substància és qualsevol material, el compost s'assimilarà a les mescles. Els instruments que farem servir per provar la hipòtesi són:

- a) el mapa conceptual descrit a l'apartat 3.3.1.1. (Document 1)

- b) un qüestionari format per dues qüestions, de les que la primera fa referència a l'aspecte macroscòpic dels conceptes de mescla i compost i la segona és relativa a la diferenciació dels mateixos a nivell microscòpic.

3.3.2.1. Anàlisi del mapa conceptual

En l'anàlisi del mapa (Document 1), ara ens centrarem en la part corresponent als conceptes de mescla i compost. Partint de la base que estem referint-nos a la matèria ordinària, valorarem positivament totes aquelles respostes que consideren el concepte de mescla com oposat al de substància i també aquelles en les que mescla i substància es troben en branques diferents, estant el concepte de compost inclòs en el més general de substància. Farem una interpretació restrictiva, per tal d'evitar que altres aspectes emmascaren els resultats d'aquest apartat, de forma que acceptarem que poden considerar que substància és una classe de material i, llavors, considerarem com correctes aquestes respostes. Un exemple del que estem dient podria ser el següent:

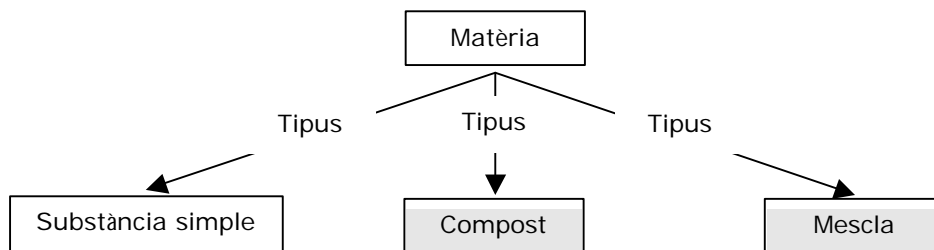


Figura 3.6. Exemple de mapa conceptual amb valoració positiva.

Pel contrari, tindrà una valoració negativa que mescla i compost es troben en la mateixa branca, així com aquelles respostes en les que les mescles o dissolucions apareguen enllaçades amb la paraula substància, i aquelles en les que el compost no és valorat com una substància.

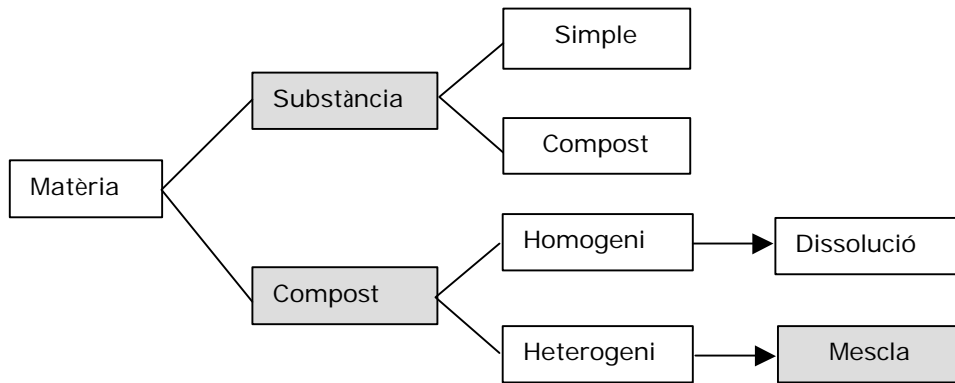
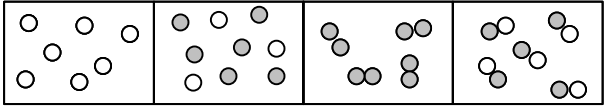


Fig. 3.7. - Exemple de mapa conceptual amb valoració negativa.

3.3.2.2. Disseny per mostrar les dificultats dels estudiants referents als aspectes macro i microscòpic de les mescles i compostos.

El qüestionari que presentem al quadre 3.3. (document 3) té per finalitat analitzar el pensament dels estudiants respecte de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost, tant a nivell macroscòpic com microscòpic.

Quadre 3.3.- Qüestions plantejades per esbrinar si l'alumnat diferencia els conceptes de mescla i compost (Document 3).													
Objectius	Qüestió												
<ul style="list-style-type: none"> • Contrastar si identifiquen mescla amb compost en els casos del bicarbonat, alcohol etílic, sucre i sal comú. • Contrastar si identifiquen substància i element en els casos de l'or, sofre i coure (aquest objectiu servirà també per al disseny de l'apartat 3.3.3 relatiu a la identificació entre mescla i compost). 	<p>1.- A continuació tens una llista de productes quotidians. Classifica'ls en dues columnes segons penses que són substàncies o mescles de diverses substàncies. En el cas de les mescles, indica de quines substàncies creus que estan formades: or, sofre, aire, sulfumant, bicarbonat sòdic, vi, sucre, sal comú, coure i alcohol etílic.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%; text-align: center;">Substàncies</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Mescles</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Formada per:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="border-right: 1px solid black; text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table> <p>Explica quin criteri has utilitzat per establir la classificació</p>	Substàncies	Mescles	Formada per:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Substàncies	Mescles	Formada per:											
_____	_____	_____											
_____	_____	_____											
_____	_____	_____											
<p>Esbrinar si l'alumnat té criteris correctes per diferenciar microscòpicament una mescla d'un compost.</p>	<p>2.- Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una mescla:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">A B C D</p> <p>Justifica la teua resposta. _____</p>												

En la qüestió 1 s'ha presentat a l'alumnat un seguit de materials entre els que hi ha mescles, substàncies simples i compostes. En l'anàlisi de la qüestió, s'acceptaran com correctes aquelles respostes que classifiquen com mescles l'aire, sulfumant i vi, entenent que la resta són substàncies. Considerarem que la resposta és vàlida encara que no sàpiguen de què estan formades les mescles, sempre que indiquen que ho són. També ens fixarem en la classificació general, de forma que, si en les respostes s'aprecia que consideren que el bicarbonat, sal comú, alcohol etílic i sucre són mescles, podríem pensar que estan identificant els conceptes de mescla i compost

Pel que fa a la qüestió 2, té per objectiu determinar què entenen els alumnes per mescla i compost a nivell microscòpic. En la valoració de la qüestió, s'acceptarà com resposta correcta la que indique que sols hi ha una mescla en el dibuix D, encara què no ho justifiquen. Si la resposta a aquesta qüestió és B i D, ens estaran indicant que identifiquen microscòpicament els conceptes de mescla i compost.

3.3.3. Dissenys per mostrar que els estudiants identifiquen el concepte de substància “pura” amb el d'element químic.

El present disseny està compost per dos instruments, que tractaran de posar a prova la tercera conseqüència operativa, segons la qual l'alumnat identifica el concepte de substància “pura” amb el d'element químic (o substància simple), sense considerar el compost com una substància i assimilant-lo per tant, amb les mescles. Aquests instruments són:

- a) el mapa conceptual (document 1), pel que fa a la ubicació de les paraules *sofre* i *coure*, que apareixen entre les que han de relacionar, per veure a quins conceptes estan connectades directament.
- b) Una segona lectura de la qüestió 1 del document 3, en la que analitzarem si únicament han identificat com substàncies l'or, sofre i coure.
- c) Un qüestionari (document 4), que exposem a continuació en el quadre 3.4, format per una única qüestió que fa referència a l'aspecte microscòpic dels conceptes de substància.

3.3.3.1. Anàlisi del mapa conceptual en l'apartat referent a la identificació entre substància “pura” i element.

En aquest apartat ens centrarem en la ubicació de les paraules *sofre*, *coure*, bicarbonat sòdic i aigua, per veure si totes elles es fan derivar de la paraula substància o si, pel contrari, sols deriven d'aquesta el *sofre* i el *coure*, identificant així les substàncies “pures” amb els elements.

En la valoració d'aquesta qüestió tindrem en compte que es tracta de la part final del mapa i les respostes vindran determinades per la ubicació de totes les paraules que els precedeixen. Per aquest motiu, serem molt restrictius i únicament considerarem que es produeix la identificació entre els conceptes de substància i element quan estiguen en la

mateixa branca i en ella no apareguen més paraules. Un exemple del que estem dient podria ser el següent:

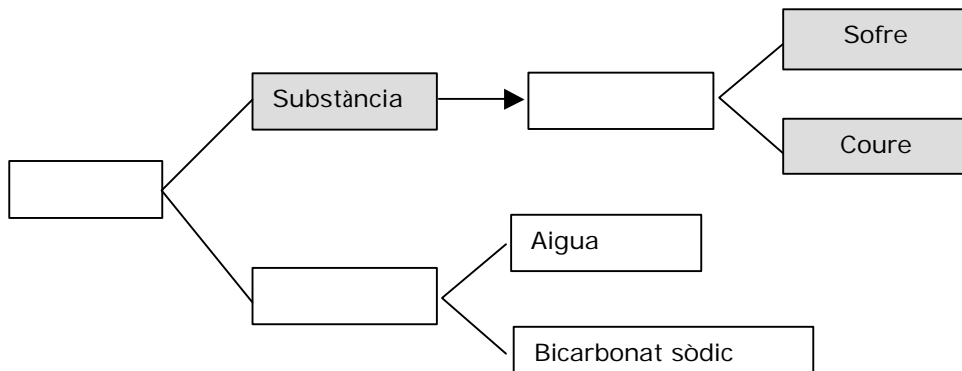


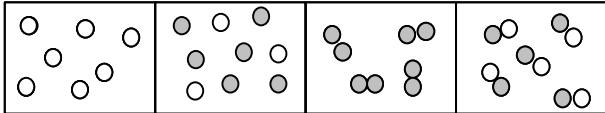
Fig. 3.8.- Possible exemple de mapa conceptual amb valoració negativa.

3.3.3.2. Anàlisi de la qüestió 1 (document 3), referent a la classificació dels materials en substàncies i mesclades.

Aquesta qüestió ja ha estat utilitzada a l'apartat anterior per veure les dificultats dels estudiants en la diferenciació de les mesclades i els compostos. L'anàlisi que desenvoluparem en aquest apartat tindrà com objectiu veure si sols classifiquen com substàncies l'or, sofre i coure, considerant com mesclades el bicarbonat sòdic, l'alcohol etílic, el sucre i la sal.

3.3.3.3. Disseny per mostrar que els estudiants identifiquen el concepte microscòpic de substància "pura" amb el d'element químic.

L'última prova de la que farem ús en el present apartat fa referència a l'aspecte microscòpic del concepte de substància i es mostra, a continuació, en el quadre 3.4:

Quadre 3.4.- Qüestions plantejades per esbrinar si l'alumnat identifica els conceptes de substància "pura" i element químic (Document 4).	
Objectius	Qüestió
Determinar si l'alumnat associa la substància simple sols a una estructura d'àtoms iguals i aïllats (A) i no ho fa quan hi ha molècules d'àtoms iguals (C).	<p>1.- Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una substància simple:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">A B C D</p> <p>Justifica la teua resposta _____</p>

Aquesta qüestió torna a incidir en el concepte de substància, ara des del punt de vista microscòpic. En ella es demana que indiquen quines de les quatre proposades són substàncies simples. Pensem que, si no tenen clar el concepte de substància com aquella que està formada per moltíssimes partícules totes iguals, en parlar de substància simple, la identificaran únicament amb els àtoms aïllats, deixant fóra d'aquesta categorització a les substàncies simples formades per molècules. En la valoració de la qüestió, sols acceptarem com vàlides aquelles respostes que trien les dues estructures A i C, malgrat que no ho justifiquen.

3.3.4. Dissenys per mostrar les dificultats dels estudiants en caracteritzar els canvis químics i diferenciar-los dels canvis físics.

Per analitzar en profunditat si els estudiants comprenen què significa una reacció química, s'ha realitzat un disseny variat, tant en els continguts com en la forma i el tipus d'alumnat que ha participat en ell. A continuació exposem les diferents proves, amb explicació dels objectius que es ressegueixen en cada cas:

- a) Un qüestionari, amb preguntes ja validades en altres investigacions, on es tracta d'analitzar el coneixement declaratiu macroscòpic sobre la comprensió del significat del procés químic.
- b) Una entrevista, estructurada davant de diverses experiències senzilles de laboratori, que s'aplicarà a estudiants d'ESO i Batxillerat, amb la finalitat d'aprofundir en el coneixement explicatiu macroscòpic i microscòpic respecte de processos físics i químics.

3.3.4.1. Disseny per mostrar que els estudiants tenen dificultats per diferenciar entre canvi físic i canvi químic.

Tot seguit, tractarem de contrastar la quarta conseqüència derivada, referent al fet que els alumnes tindran dificultats per identificar un procés químic com canvi substancial, de forma que no podran distingir un procés físic d'un químic. Segons hem explicat en l'operativització de la hipòtesi, considerem que, no saber identificar una substància a nivell macroscòpic, farà que no tinguin criteris per determinar si, després de mesclar els reactius, es conserven les substàncies inicials o s'han produït altres noves, és a dir, si ha tingut lloc o no un procés químic. Utilitzarem per mostrar-ho el qüestionari que es presenta en el quadre 3.5 (Document 5).

Quadre 3.5. - Qüestionari per esbrinar si l'alumnat diferencia entre canvi físic i procés químic (Document 5).	
Objectius	Qüestió
<ul style="list-style-type: none"> Saber reconèixer una reacció de descomposició per medi de la qual un compost es descompon en una mescla de gasos. Diferenciar entre la reacció i la simple mescla dels reactius. 	<p>1.- L'aigua és una substància que es pot descompondre per electròlisi en oxigen i hidrogen. Si en descompondre-la, repleguem els gasos al mateix recipient, passat un temps:</p> <p>a) Els dos gasos seguiran junts sense que passe res. b) Tornarà a formar-se aigua líquida quan es refreden els gasos. c) No ho se</p> <p>Explica per què has escollit aquesta resposta _____</p>
<ul style="list-style-type: none"> Saber reconèixer que ha tingut lloc una reacció segons la qual s'ha format un compost nou on intervenen el Cu i l'oxigen de l'aire. Podria donar-se el cas que els estudiants no feren intervindre l'oxigen per ser un gas (Hernández 1997) 	<p>2.- Una làmina roja de coure que pesa 5 g s'escalfa fortament una estona fins que es recobreix d'un producte de color verd, que es reconeix com òxid de coure. Quant creus que pesarà el producte obtingut?</p> <p>a) 5 grams; b) més de 5 grams; c) menys de 5 grams; d) no ho sé.</p> <p>Explica per què has escollit aquesta resposta _____</p>
<ul style="list-style-type: none"> Saber reconèixer que ha tingut lloc una reacció segons la qual s'ha format un compost nou a partir de dues substàncies simples. Identificar una substància a partir de les propietats característiques. Saber que el compost no té les mateixes propietats que les substàncies simples de les quals prové. 	<p>3.- Al laboratori, posem en un recipient un poc de ferro en pols amb un poc de sofre, també en pols. Si ho escalfem obtenim un sòlid negre, el sulfur de ferro. Com creus tu que podríem fer per separar, en el sòlid negre que hem obtingut, el ferro del sofre?</p> <p>a) Amb un imant ben potent podria separar-se el ferro. b) Dissolvent el sofre amb un dissolvent, i després separant per filtració. c) Escalfant fortament el sulfur de ferro fins que es descomponga. d) No ho se</p> <p>Explica el perquè de la teua resposta _____.</p>

Amb aquest qüestionari tractarem de conèixer les dificultats dels estudiants per diferenciar entre procés físic i procés químic. Per evitar distractors innecessaris, s'han elegit processos químics molt senzills (Bullejos 2001), com la descomposició de l'aigua o la síntesi de dos compostos binaris, en aquest cas l'òxid de coure i el sulfur de ferro.

En la primera qüestió, on un compost es descompon en els seus elements constituents, es pretén esbrinar si els estudiants utilitzen o no els criteris macroscòpics adients per veure si ha canviat la substància original o es manté, és a dir, si es tracta d'un canvi físic o químic. També es vol analitzar si consideren que la mescla dels reactius és el mateix que el compost. La resposta es considerarà correcta (o contrària a la hipòtesi) si donen una explicació microscòpica de reacció química com un canvi en l'organització dels àtoms inicials per a formar noves estructures que explicarien l'aparició de noves substàncies amb propietats diferents.

La segona qüestió no planteja obertament el procés com una reacció química, sinó que en ella s'explica el procés d'oxidació superficial d'una làmina de coure i es demana a l'alumnat que determine les conseqüències i opine respecte al que allí ha succeït. El problema que presenta és què, per comprendre que ha tingut lloc un procés químic, han de ser conservatius de la massa reconeixent al mateix temps la intervenció de l'oxigen de l'aire en el procés i, tenint en compte, per últim, que les dues substàncies inicials són diferents i tenen propietats macroscòpiques diferents a les de l'obtinguda.

En la tercera qüestió, una mescla de dues substàncies reacciona per formar un compost i es demana que determinen com es podran separar els components. Les dues primeres respostes estan basades en mètodes físics de separació de mescles, per veure si tenen clar que les propietats no són les mateixes en una mescla i en un compost. Considerem que els alumnes pensaran que allí hi ha una mescla, on romanen les característiques pròpies dels components i, per tant, afirmaran que els dos productes encara es poden separar fent-ne ús de les propietats específiques (imantació i filtració).

Els criteris de valoració que tindrem en compte per aquestes qüestions són els següents: en la qüestió 1 sols acceptarem com vàlida la resposta A, en la qüestió 2, la resposta B i en la tercera, la C. Per posar-nos en el cas més desfavorable per a la verificació de la hipòtesi, donarem com correcta la resposta encara que no donen explicacions, malgrat que es demanen específicament.

3.3.4.2. Disseny per valorar el coneixement explicatiu (macro i microscòpic) dels estudiants d'ESO i Batxillerat davant de diferents experiències al laboratori.

Per aprofundir més en les idees dels adolescents obtingudes a partir dels qüestionaris, s'ha dut a terme un estudi transversal amb alumnes dels últims cursos d'ensenyament secundari obligatori i batxillerat. L'estudi ha consistit en la realització d'entrevistes, estructurades al voltant de diverses experiències. Al llarg de les mateixes es plantejaren algunes qüestions generals, similars a les que apareixien als qüestionaris seguides de tres experiències, a realitzar en presència de l'alumne. Durant l'activitat, al temps que l'entrevistadora (la pròpia investigadora) prepara i desenvolupa les diferents experiències, cada participant, per separat, ha de verbalitzar el que suposa que està passant davant d'ell al temps que s'ajuda amb dibuixos per representar el que suposa que ocorre a nivell microscòpic en cadascuna de les experiències.

Durant l'experiència, s'ha procurat no donar indicacions que pogueren esbiaixar les respostes, al temps que s'han evitat les preguntes tancades en les que l'estudiant sols ha d'escollir entre una o dues respostes. També s'ha deixat a l'alumne que rectifiqui sempre que ha considerat que una resposta anterior no era correcta. Per últim, s'ha tractat d'incidir especialment en la correcta utilització dels conceptes que considerem clau en aquest treball, de manera que cada vegada que utilitzaven la paraula element, compost, molècula,... se'ls demanava que aclariren exactament el que volien dir.

Totes les converses foren gravades en cassette i després transcrites per analitzar-les. A continuació, el quadre 3.6 mostra el model general d'entrevista (document 6) que s'ha utilitzat.

Quadre 3.6. MODEL D'ENTREVISTA (Document 6)

Es presenta a l'alumne una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, òxid de plom, carbó, aigua, vi, àcid clorhídric, aire, alcohol etílic, la llum d'una flama i llum d'una llanterna.

Prof1: De totes aquestes coses, quines penses que poden ser una substància?

P2: Per què dius que eixes són substàncies?

P3: Si et donaren un producte i hagueres de determinar al laboratori si es tracta o no d'una substància, com ho faries?

P4: Imagina que es poguera veure una substància a nivell submicroscòpic, pots dibuixar el que veuries?

Experiència de la descomposició del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumne que expliqui el què ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

P5: Pots explicar el què està passant?

P6: Què és el que ix?

P7: D'on penses que ha eixit el gas?

P8: Perquè abans no se n'eixia?

P9: Què creus què és el que ha quedat al fons del tub?

P10: Podries fer un dibuix que represente les partícules del sucre abans de cremar-lo?

P11: Teníem sucre, que ha desaparegut i, en canvi, ens ha eixit molt de fum i ha quedat carbó al fons del tub d'assaig, com ho expliques?

P12: Quin tipus de substància penses que pot ser el sucre, simple o composta? Per què?

Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumne que expliqui el que ha tingut lloc a l'interior del tub.

P16: Pots explicar el que passa?

P17: On estava abans el gas?

P18: Quin tipus de canvi penses que ha tingut lloc?

P19: Podries fer un dibuix que represente el que teníem abans i el que tenim ara?

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumne que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe. Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

P20: Què li passa a l'alcohol en bufar? On està ara?

P21: Què vol dir que s'ha evaporat?

P22: Quin tipus de canvi creus que ha tingut lloc?

P23: Podries dibuixar el que ha passat a nivell submicroscòpic?

L'entrevista suposa un disseny obert, que no es pot valorar únicament com sí o no, correcte o incorrecte, raó per la qual farem una anàlisi dual de la mateixa. En primer lloc, presentarem resultats qualitius amb exemples i transcripcions de part de les entrevistes, així com la interpretació que de les mateixes han fet els investigadors. Tot seguit, a partir de les coincidències, es procedirà a quantificar els resultats.

3.4. DISSENYS PER MOSTRAR QUE L'ENSENYAMENT NO TÉ EN COMPTE LES DIFICULTATS DETECTADES PER LA RECERCA

Després de desenvolupar els dissenys dedicats a l'aprenentatge, passarem a descriure els corresponents a l'ensenyament. Per posar en qüestió la primera hipòtesi principal, s'han fet enquestes a professors i professores per analitzar què i com ensenyen en classe, així com quines dificultats específiques dels estudiants tenen en compte en aquesta temàtica. En tots els casos ens centrarem en els mateixos aspectes que ja s'han analitzat com deficiències d'aprenentatge. Per últim, com que l'ensenyament convencional es recolza fonamentalment en el llibre de text, sent aquesta la principal eina utilitzada pel professorat, altra forma d'analitzar el contingut de l'ensenyament que rep l'alumnat serà examinar els textos més utilitzats a les aules de Secundària i Batxillerat.

3.4.1. Dissenys per mostrar que el professorat no dóna prou importància als conceptes de substància (simple i composta), mescla i reacció química com canvi substancial (documents 7, 8 i 9).

Per determinar si el professorat dóna importància als aspectes que estem treballant, com són els de substància (simple i composta) i reacció química, s'han preparat tres dissenys diferents, que tracten de complementar-se, per obtenir resultats més amplis i variats:

- Un qüestionari (document 7) format per dues qüestions i que es presenta a professors en formació. La primera és un mapa conceptual que inclou errors conceptuals i els professors han de detectar i la segona és la mateixa que s'ofereix als estudiants (qüestió 1, document 2) respecte de la identificació d'una substància.
- Un qüestionari (Document 8) format per cinc preguntes obertes, que presentem a continuació en el quadre 3.8.
- Una redacció oberta en la que cada professor participant ha desenvolupat per escrit un tema (document 9).

Passem a continuació a la descripció de cadascun dels dissenys utilitzats.

3.4.1.1. Qüestionari per a professors en formació (document 7).

El present disseny s'ha plantejat a estudiants de 4t i 5é de Ciències Químiques, és a dir, estudiants que s'han decantat per l'especialitat de Didàctica de les Ciències que, després de formar-se com Químics han començat la seua formació en Didàctica, perquè volen dedicar-se a l'ensenyament.

<p>Quadre 3.7. - Mapa conceptual sobre alguns conceptes bàsics en l'estudi de la Química. (Document 7)</p>
<p>1.- Avui en dia tothom ha sentit parlar de: llum, aire, aigua, foc, granit, ona de ràdio. Subratlla els que creus que estan formats per <u>una substància</u>. Explica en què et bases i per què creus que els altres no ho són _____ Dóna una definició dels que consideres que és una substància.</p>
<p>2.- Un alumne de Magisteri ha realitzat el següent mapa conceptual per fer una revisió de la teoria atòmica de la matèria. Comenta les dificultats conceptuals que penses que pot tindre, per medi de l'anàlisi del mapa.</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD Matèria --> Substància Substància --> Simple Substància --> Composta Simple --> Coure Simple --> Sofre Composta --> Mescla Composta --> Dissolució Mescla --> Homogènia Mescla --> Heterogènia Homogènia --> Llet Homogènia --> Aire Heterogènia --> Butà Heterogènia --> Aigua Dissolució --> Salfumant </pre> </div>

La finalitat de la primera qüestió és saber si els futurs professors utilitzen les propietats característiques com criteri per identificar una substància i selecciona l'aigua com única substància que hi ha en un conjunt de materials substancials i no substancials

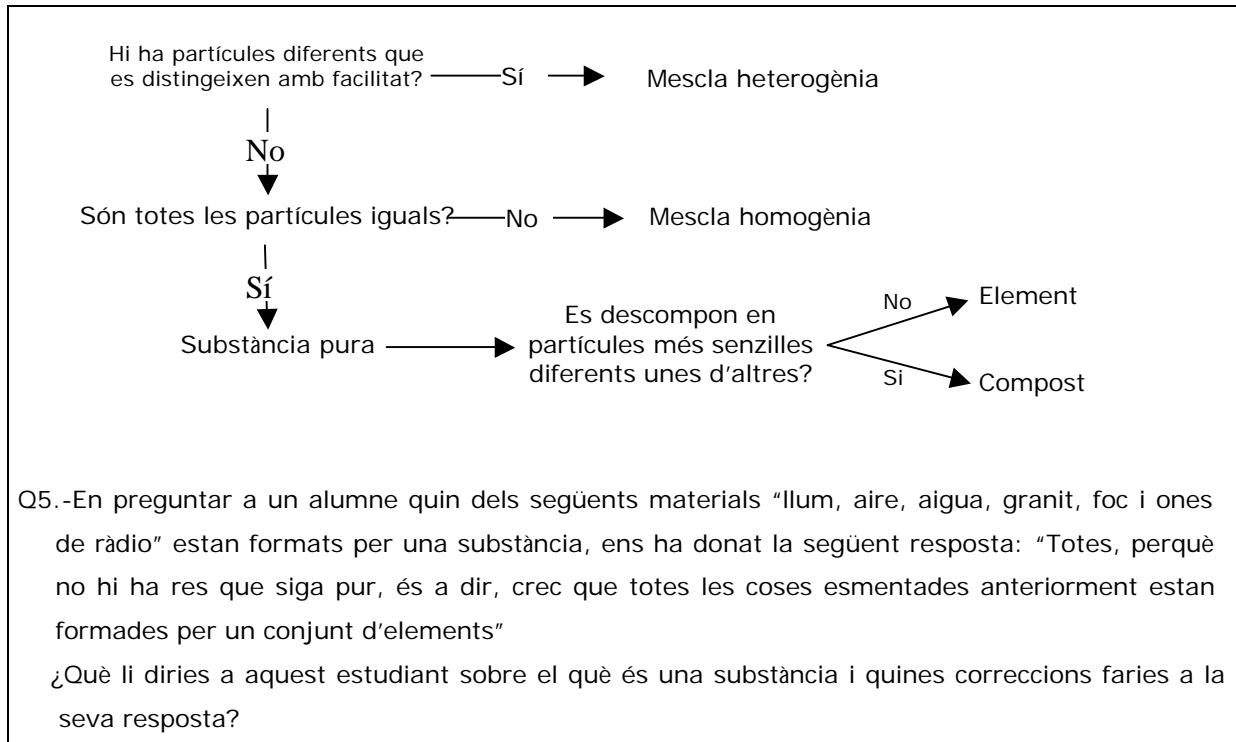
La segona qüestió pretén detectar si són capaços d'adonar-se dels errors conceptuals que conté. Igual que en el cas anterior, la resposta no es considerarà correcta o incorrecta en la totalitat, sinó que s'estudiaran un seguit d'ítems que posen de manifest si l'alumne aprecia o no les dificultats conceptuals que es manifesten en el mapa ofert. L'estudi i valoració de la qüestió serà similar al que hem exposat anteriorment en l'apartat dedicat a l'aprenentatge (document 1), tenint en compte que els futurs professors han de fer patent que el quadre

identifica explícitament entre material i substància (i per tant, considera que tots els materials esmentats són substàncies) i que afirma que les mescles i les dissolucions són dos tipus de compostos.

3.4.1.2. Qüestionari per al professorat sobre l'ensenyament de substància i canvi químic

El segon disseny destinat al professorat consta de cinc qüestions obertes, que tracten diferents aspectes dels conceptes que estem estudiant i presentem al quadre 3.8 (document 8).

Quadre 3.8.- Qüestionari per al professorat (Document 8).
Q1.- Abans d'iniciar l'ensenyament dels canvis químics, és aconsellable que el/la professor/a s'adone si els estudiants dominen els pre-requisits (coneixements més senzills) necessaris per poder comprendre un concepte complex com és el de les reaccions químiques. Quins pre-requisits consideres que caldria revisar a l'inici de l'estudi dels canvis químics?
Q2.- En tercer curs d'ESO hi ha una unitat dedicada a l'estudi dels canvis químics. Comenta quina seqüència de continguts (a manera de fil conductor) et sembla que seria la millor per explicar el tema.
Q3.- Quan es dona ciències en l'ESO es comprova que l'aprenentatge del tema "Els materials que ens envolten" no és gens fàcil. Quines creus que són les principals dificultats que tenen els estudiants en aquesta temàtica?
Q4.- El següent esquema està extret d'un llibre de text i, amb ell, es pretén que l'alumnat aprengui a classificar els diferents sistemes materials ordinaris. Indica què opines del mateix, explicant què veus de positiu i què de negatiu en ell.



A continuació es descriuen els objectius que es pretén assolir amb cadascuna de les qüestions. Per valorar-les, analitzarem la presència o no dels aspectes indicats en els objectius com importants per a que es tinguen en compte i, per aconseguir-ho, prepararem una graella que abarque els objectius que exposem a continuació i explicitarem el percentatge de professors que ha tingut en compte cadascun dels ítems.

Qüestió 1:

- Veure si fa èmfasi en la definició operacional i microscòpica de substància.
- Veure si fa èmfasi en les relacions macro-micro com, per exemple, que la composició fixa dels compostos (nivell macro) s'explica a nivell microscòpic introduint un símbol (fórmula), que representa una de les moltíssimes unitats elementals que formen la substància.

Qüestió 2:

- Veure si ofereix la necessitat de tractar la definició macroscòpica de substància per diferenciar-la de la mescla i també, si planteja la importància de diferenciar la mescla del compost.
- Veure si introdueix la classificació de les substàncies en simples i compostes a nivell macroscòpic utilitzant com criteri les reaccions de descomposició i de síntesi.
- Veure si posa l'èmfasi en les definicions de substància simple, compost i mescla a nivell microscòpic.

- Veure si presenten el concepte macroscòpic de reacció química com canvi substancial (a diferència del canvi físic, on es conserven les substàncies) i defineixen l'element a nivell macroscòpic com allò que es conserva en el canvi químic.
- Veure si introdueixen el concepte microscòpic de reacció química i el presenten com un model que explica els canvis.
- Veure si comparen macro i microscòpicament els canvis físics i químics.

Qüestió 3: Amb aquesta qüestió pretenem adonar-nos de la importància que dona el professorat als problemes d'aprenentatge detectats per la recerca, com poden ser:

- Presentar el problema que s'intenta resoldre com la cerca d'una estructura unitària de la matèria malgrat la diversitat de materials que ens envoltem.
- Utilitzar la teoria atòmica per explicar els fets macroscòpics que observem, és a dir, explicar microscòpicament el comportament químic (macroscòpic) dels materials i els seus canvis.
- No entendre el concepte de substància.
- Confondre mescla i compost.
- No entendre les reaccions químiques com canvi substancial en les que es conserven els elements.
- Donar una explicació microscòpica a les reaccions químiques com reorganització dels àtoms per formar noves substàncies.

Qüestió 4: En ella haurem d'analitzar si destaquen aspectes tant positius com negatius. Veurem si entre els aspectes negatius destaquen els següents:

- No té en compte el concepte macroscòpic de substància.
- No diferencia entre el nivell macroscòpic i el microscòpic, utilitzant la paraula partícula per ambdós.
- No indica què fa per descompondre les substàncies en altres més senzilles i tampoc diferencia entre processos físics i químics.

Entre els aspectes positius, serà interessant que indiquen:

- Els esquemes ajuden a clarificar les idees.
- Pot ser correcta la última part quant associa "substància" a partícules iguals i la classifica en elements (o substàncies simples) i compostos (a aquest nivell és acceptable la divisió).

Qüestió 5:

- Veure si esmenten les diferències entre material (habitualment una mescla de substàncies) i substància (cos amb propietats característiques definides i constants).

- Veure si tenen en compte la definició macroscòpica de substància: les substàncies es poden classificar en simples i compostes segons que es descomponguen en altres més simples o no.
- Veure si esmenten la definició microscòpica de substància (totes les partícules iguals), substància simple (formada per àtoms iguals) i substància composta (formada per partícules iguals però complexes, és a dir, que cadascuna té més d'una classe d'àtoms).

3.4.1.3. Anàlisi de redaccions escrites per professors en situació d'examen.

Altre disseny utilitzat per analitzar el pensament del professorat sobre els materials i els canvis químics, consisteix en l'anàlisi de redaccions escrites pel professorat referents al tema especificat a continuació al quadre 3.9.

Quadre 3.9. Redacció sobre el tema "L'estructura dels materials. Mètodes de separació dels sistemes materials." (Document 9)

Desenvolupa per escrit el tema: <i>Sistemes materials. Mescles, substàncies pures i elements. Transformacions físiques i químiques. Procediments de separació dels components d'una mescla i d'un compost. Llenguatge químic: normes IUPAC.</i>

L'autora de la present investigació va formar part d'un tribunal d'oposicions per al cos de professors d'ensenyament secundari en juliol de 2001, en el que participaven professors i professores de tot el territori nacional amb diferent experiència. La primera prova consistia en desenvolupar per escrit un tema (escollit entre dos, eixits per sorteig), mitjançant una redacció en la que l'opositor havia de mostrar tots els seus coneixements al respecte. Un dels dos temes que va eixir en aquest tribunal era el que ve indicat al quadre 3.9 (document 9). Amb permís del president del tribunal, l'autora ha utilitzat per analitzar-los aquells que l'escolliren, sempre dins del respecte, sense fer públic els seus noms ni criticar en cap moment a les persones, sinó cercant els aspectes d'interès per al nostre treball, per extreure conseqüències contrastables respecte al tema que ens ocupa en aquesta tesi.

Volem fer constar que considerem aquests escrits d'una gran importància perquè reflecteixen amb prou exactitud els coneixements dels autors que, amb la pressió que rodeja qualsevol oposició, han posat tot el seu interès i han tractat de fer el millor que saben, donat que es tracta d'una prova fonamental per passar a la següent fase de l'oposició.

A partir de l'anàlisi de les redaccions tractarem d'establir els models mentals o representacions d'aquesta mostra de professors (com hem fet amb els estudiants en altres casos). Per altra part, com venim afirmant, seguir un model d'introducció i estudi dels conceptes basat en l'evolució històrica, pot ajudar a comprendre millor el model científic actualment acceptat (Albanese et al. 1997). És per això que, tenint en compte els problemes detectats en l'aprenentatge, dedicarem especial atenció als models històrics que expliquen l'estructura de la matèria, tant el macroscòpic, basat en la descripció física dels fenòmens, com el microscòpic, més predictiu, que tracta de donar una explicació als fets macroscòpics.

Per últim, tractarem d'establir les possibles disfuncions apreciables entre els models mentals del professorat en relació als models històrics de referència (Justi i Gilbert 2000). No podem oblidar que el llenguatge que utilitzem (fórmules, símbols) està tan introduït en l'estudi de la Química que tant els estudiants com els professors els poden confondre amb la realitat, quan únicament són models explicatius (Harrison i Treagust 2000). Aquesta identificació també s'ha donat en la història de la ciència, com ho posa de manifest la resistència a acceptar els nous conceptes teòrics construïts en un moment determinat, confonent-los amb els objectes reals del món, tal com es pot veure per exemple, en els diàlegs de Galileu. A més, és un obstacle que es presenta en el naixement de la Ciència moderna, ben documentat per historiadors i filòsofs (Matthews 1994a i 1994b)

Les preguntes a que ha de respondre el professorat venen explicitades a l'enunciat i poden reduir-se a dues: Com es presenten els materials a la natura? Com poden separar-se els diferents components que formen aquests materials? Com el tema respon a un enunciat sobre el que podríem anomenar estàtica química, en aquest apartat no analitzarem les representacions sobre la reacció química.

En primer lloc, farem un anàlisi des del punt de vista macroscòpic, amb un poder explicatiu concret, analitzant cercant en les redaccions la resposta a les següents qüestions:

- Què és una substància?
- En què es diferencia una substància d'una mescla?
- Com es diferencia una substància d'un altra?
- Com es poden separar les substàncies que formen una mescla? (o al contrari, com podem mesclar-les per obtenir un material amb una propietat específica que ens interessa?)
- Com es classifiquen les substàncies?
- Què és una substància composta?
- Què és un element químic des del punt de vista macroscòpic?

Totes aquestes idees macroscòpiques tenen un referent explicatiu en el model conceptual daltonià sobre l'estructura de la matèria a base de partícules microscòpiques i les interaccions entre elles. A partir d'aquest model microscòpic, podrem analitzar els següents aspectes:

- Com es caracteritza una substància a nivell microscòpic?
- Com s'expliquen microscòpicament les substàncies simples i compostes?
- Com es diferencia una mescla d'un compost a nivell atòmic?
- Què és un element químic a nivell microscòpic?
- Com s'explica un canvi químic tant a nivell macro (canvi substancial) com a nivell microscòpic (interpretació daltoniana).

Igual que s'ha fet en el qüestionari per a professors, es prepararà una graella contenint tots aquells aspectes que es considera important ressaltar i amb ajuda d'aquesta xarxa d'anàlisi, extraurem els percentatges d'aquells que els han tingut en compte o no. Exposem a continuació tots els aspectes que s'analitzaran, cercant les mancances que hi puguem haver en les redaccions:

Referents al concepte macroscòpic de substància:

- Explica la unitat d'estructura de la matèria en la diversitat de materials que ens envolten
- Fa èmfasi en la materialitat dels gasos
- Identifica explícitament material amb substància
- Ofereix la definició operacional (macroscòpica) de substància
- Explicita les diferències entre material i substància (cos amb propietats característiques constants i definides) a nivell macroscòpic

Referents a la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost:

- Esmenta les dificultats indicades en la recerca didàctica respecte de la identificació errònia que fa l'alumnat entre mescla i compost
- Explicita les diferències macroscòpiques entre mescla i compost
- Identifica explícitament mescla i compost

Referents al model microscòpic de substància:

- Explicita la definició microscòpica de substància (la substància té totes les partícules -àtoms o molècules- iguals)
- Fa èmfasi en el fet que les substàncies simples estan formades per àtoms de la mateixa classe i les substàncies compostes per àtoms diferents en proporcions fixes

Superposició dels models conceptuals macroscòpic i microscòpic:

- Hi ha alguna identificació o transposició incorrecta entre els dos nivells d'estudi macro i microscòpic, com per exemple identificació entre un àtom i un element, una molècula amb un compost o donar a les partícules les mateixes propietats que a les substàncies.

Aspectes generals respecte de les substàncies i les reaccions químiques que poden no ser considerats pel professorat

- Indica que les substàncies es poden classificar en simples i compostes, segons que es descomponguen en altres més simples o no (definició macroscòpica).
- Interpreta la substància simple, composta i mescla a nivell microscòpic.
- Fa èmfasi en mostrar que, d'acord amb el model atòmico-molecular de la matèria, la composició constant dels compostos es tradueix en una fórmula química.
- Explica les diferències entre substància simple (o element) i compost a nivell microscòpic
- Hi ha algun exemple en el qual s'interprete una substància o un canvi substancial mitjançant la teoria atòmico-molecular de la matèria.
- Explica el concepte macroscòpic de reacció química (reconeixement d'aquests canvis com canvis substancials).
- Dóna una definició del què entenem macroscòpicament per element químic.
- Incideix en què les reaccions químiques són canvis substancials (macroscòpics) en els que es conserven els elements però no les substàncies.

3.4.2. Disseny per contrastar la presència en els llibres de text dels continguts que puguen afavorir la construcció dels coneixements químics en els estudiants.

L'anàlisi de llibres de text és una ferramenta útil per mostrar si es diferencia prou els nivells macro i microscòpic, perquè, com ja apuntava Jensen (1998b) *el fet que la major part dels textos introductoris a la Química continuen usant el que són, en essència, definicions residuals del segle XIX respecte dels conceptes d'àtom, element i molècula, al mateix temps que descriuen desenvolupaments del segle XX, és una contradicció aparent feta possible per la generalitzada compartimentalització dels aspectes tractats en eixos llibres.* Així, doncs, una anàlisi detallada dels llibres de text ens permet apreciar les tendències en l'ensenyament i a quins aspectes es dóna més importància, de la mateixa manera que, com diu Jensen (1998a i

c), les revolucions químiques es poden mesurar, entre altres factors per canvis significants i explícits en el context, vocabulari i organització dels llibres de text abans i després del període en qüestió.

La principal font de continguts que s'ensenya en classe prové dels llibres de text. S'han realitzat estudis a partir de les dificultats conceptuals que poden crear els propis llibres de text en els que s'ha mostrat deficiències de caràcter general i errors d'importància en alguns conceptes (Harmes i Yager 1981). En un treball d'Abraham et al (1992) es mostra com els estudiants no aconsegueixen la comprensió d'un concepte a partir de l'estudi d'un llibre de text, en moltes ocasions perquè no els permet expressar i discutir les pròpies idees.

Per mostrar l'atenció prestada pels llibres de text als aspectes que estem abordant en aquest treball, tractarem d'identificar-los a partir d'un seguit de detalls susceptibles de ser contrastats. Per aconseguir el nostre propòsit examinarem una ampla i variada mostra dels llibres de text més comercialitzats els darrers anys per als nivells de 2n i 3r de BUP i COU, així com de Secundària i Batxillerat, en els que s'estudien els aspectes que estem tractant. En ells esperem trobar reflectides algunes de les dificultats que acabem d'esmentar. En un annex al final del treball es donen les dades referents a títols, autors, any de publicació, nivells,... dels textos utilitzats en el present treball.

Tenint en compte que es tracta d'una investigació de caràcter didàctic volem remarcar que els aspectes sotmesos a crítica ho són únicament des del punt de vista de les hipòtesis de treball proposades, de manera que en cap moment s'ha pretès posar en dubte els aspectes teòrics i les orientacions donades pels autors, cosa que respectem. L'objectiu de l'anàlisi és posar de manifest que, en general, l'ensenyament no dóna prou importància al concepte estructurant de substància, de manera que es dóna peu a què l'alumnat el confonga a nivell macroscòpic amb el de material i a nivell microscòpic amb el d'element. Açò portarà com a conseqüència que no tinguin clars i confonguen els conceptes de mescla i compost així com els de procés químic i canvi físic.

Amb l'objectiu d'anar més directament als aspectes que volem estudiar i poder quantificar la presència o absència, utilitzarem un protocol format per un seguit d'ítems que reflectiran de manera detallada els aspectes particulars que volem provar. Per posar en qüestió l'existència d'aquestes mancances, hem estructurat el protocol en subapartats, de manera que cadascun d'ells se centre en un únic aspecte que permeta un estudi exhaustiu, al temps que facilite l'avaluació de la presència o absència dels aspectes en estudi, evitant sempre el plantejament de qüestions dobles, perquè un ítem molt ampli pot portar-nos a la circumstància que el text es faci ressò d'una de les parts de la qüestió sense fer-ne referència a l'altra, impossibilitant la valoració que es pretén.

Per últim, pel que fa a les concepcions alternatives de l'alumnat i l'ús de l'experiència històrica per a la introducció dels conceptes, així com la referència a teories vigents en altres moments històrics, no es van a plantejar com qüestions generals, sinó que apareixeran en cadascun dels apartats, encara que adaptades a l'aspecte en qüestió que s'estiga tractant en eixe moment.

El qüestionari consta de 26 qüestions distribuïdes en 4 subapartats que fan referència als següents aspectes:

- Sobre els conceptes macroscòpics i les interpretacions microscòpiques de substància i mescla
- Sobre la classificació macroscòpica de substàncies en simples i compostes i la corresponent interpretació microscòpica.
- Sobre el concepte macroscòpic i microscòpic d'element químic
- Sobre el canvi químic a nivell macro i microscòpic

Les qüestions s'han formulat expressant negativament la presència dels elements que es consideren importants per a la correcta comprensió dels conceptes que estem tractant. De manera general, el fet que no introduïska les diferents nocions que venen plantejades en cada qüestió, donarà una resposta positiva, és a dir, validarà la hipòtesi que proposem respecte de les mancances en l'ensenyament tradicional.

En tots els casos ens hem posat en la posició més desfavorable per la investigació, de forma que basta una somera insinuació o un sol exemple per a que considerem que tracta l'aspecte que estem considerant.

En l'anàlisi hem tractat de recollir tots els aspectes que fan referència al tema que estem estudiant, tenint en compte que la teoria atòmica i el desenvolupament de les idees d'Avogadro les deixem per altre treball posterior. Exposem a continuació el qüestionari en els quadres 3.10 a 3.15 (Documents 10 a 15), referits als apartats que hem esmentat anteriorment.

3.4.2.1. Sobre els conceptes macroscòpics i les interpretacions microscòpiques de substància i de mescla.

Presentem en primer lloc les qüestions que fan referència als aspectes macroscòpics i microscòpics dels conceptes de substància i mescla.

Quadre 3.10. PROTOCOL PER A L'ANÀLISI DELS LLIBRES DE TEXT

(Document 10).

- 1.- Introdueix el problema a estudiar com una situació problemàtica que s'intenta resoldre? Especificant més, tracta de cercar una regularitat que done explicació general a la diversitat de materials que ens envolten i els canvis que es produeixen en ells? Planteja, doncs, que tots els materials estan formats estructuralment per uns pocs materials més simples als que anomenem elements químics i que seran els que es conserven en el canvi químic?
- 2.- Introdueix la noció macroscòpica de substància com sistema material no mesclat (cos,...), que posseeix un conjunt de propietats característiques fixes i invariables?
- 3.- Diferència clarament els conceptes oposats de substància i mescla a partir de la invariabilitat, o no, de les propietats del sistema material en qüestió?
- 4.- Utilitza les propietats específiques com mètode per caracteritzar, i també separar, substàncies al laboratori?
- 5.- Exposa que en els canvis físics (per exemple, canvis d'estat), les substàncies no canvien de natura?
- 6.- Presenta la substància microscòpicament, segons la interpretació atomista clàssica, com un sistema material format per moltes partícules totes iguals?
- 7.- Presenta microscòpicament el concepte de mescla mitjançant la teoria atòmica?
- 8.- Es fa cap referència o comentaris històrics sobre el concepte de substància?
- 9.- Fa referència a que els estudiants identifiquen el concepte de substància amb la idea més general de material (que, quasi sempre, és una mescla)?

El protocol consta de 9 qüestions que fan referència als conceptes macro i microscòpic de substància i mescla, així com la diferència entre ambdós conceptes a partir de l'estudi dels canvis físics i el coneixement de les propietats característiques de les substàncies. També es recorden aspectes com el coneixement històric i els problemes dels estudiants quan a la dificultat per identificar entre material i substància detectats per la recerca.

3.4.2.2. Sobre la classificació macroscòpica de les substàncies en simples i compostes i la corresponent interpretació microscòpica.

Aquest apartat consta de tres protocols diferents, que faran referència als diversos aspectes a estudiar. En primer lloc, un document amb un únic ítem, per determinar com s'estableix la classificació de les substàncies en els llibres de text .

Quadre 3.11. Classificació de les substàncies (Document 11).

- 1.- Classifica les substàncies:
- en simples i compostes
 - en elements i substàncies compostes
 - identifica explícitament element i substància simple
 - no classifica

Després d'esbrinar quina classificació de les substàncies ofereixen els llibres de text, passarem a estudiar l'anàlisi macroscòpic de la classificació de les substàncies, per medi d'un protocol (document 12), que es detalla al quadre 3.12

Quadre 3.12. Classificació macroscòpica de les substàncies (Document 12).

- 1.- Classifica les substàncies a partir de l'estudi de reaccions d'anàlisi i síntesi, introduint criteris empírics de classificació (descomposició o no, mitjançant la calor o l'electricitat)?
- 2.- Incideix en les diferències procedimentals per diferenciar una mescla d'un compost?
- 3.- Té en compte al menys un dels problemes històrics que s'hagueren de vèncer per a la introducció del concepte macroscòpic de compost, o alguna de les controvèrsies que calgué superar fins diferenciar les mescles dels compostos?

Per finalitzar el present apartat, el protocol (document 13) que es detalla a continuació en el quadre 3.13, tracta els aspectes microscòpics dels conceptes de substància simple i composta.

Quadre 3.13. Classificació macroscòpica de les substàncies (Document 13).

- 1.- Interpreta els conceptes microscòpics de substància simple i compost des del punt de vista de la teoria atòmica?
- 2.- Fa referència a l'habitual tendència de l'alumnat a identificar, a nivell microscòpic, els conceptes de mescla i de compost, associant les mescles d'àtoms indistintament a les mescles i els compostos?
- 3.- Explica que la paraula molècula fa referència a grups formats per dos o més àtoms, iguals o diferents?
- 4.- Delimita el camp de validesa dels nivells d'estudi macro i microscòpic, eixint al pas de que s'extrapolen les propietats de les substàncies a les de les molècules que les formen?

3.4.2.3. Sobre el concepte macroscòpic i microscòpic d'element químic.

Dedicarem a continuació un apartat a analitzar el tractament que atorguen els llibres de text el concepte macroscòpic i microscòpic d'element químic, en un protocol que consta de dues qüestions (document 14) i es mostra en el quadre 3.14

Quadre 3.14. Sobre el concepte d'element químic (Document 14).

- 1.- Es dóna la idea macroscòpica d'element químic com l'últim component de l'anàlisi de les substàncies, que pot formar una o varies substàncies simples diferents i també formar part d'una composta?
- 2.- Es defineix microscòpicament l'element químic com un cos ideal, format per moltíssims àtoms iguals?

3.4.2.4. Sobre el canvi químic en els nivells macro i microscòpic.

Per posar fi a l'anàlisi dels llibres de text, utilitzarem el protocol (document 15), que es mostra a continuació en el quadre 3.15 i en el que s'analitzarà el tractament que atorguen els textos a la presentació de les reaccions químiques, tant des del punt de vista macroscòpic com des del microscòpic.

Quadre 3.15. Anàlisi dels canvis químics (Document 15).

- 1.- Presenta el concepte macroscòpic de reacció química com un canvi, on desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves, amb propietats diferents però relacionades amb les inicials (que pot facilitar l'activació de l'esquema mental de la conservació dels elements en la reacció)?
- 2.- Estableix, a nivell macroscòpic, la idea d'element químic com resposta a la qüestió de què es conserva en un canvi químic. És a dir, no fa intervindre la conservació dels elements en la reacció química per a trobar la relació entre les substàncies inicials amb les formades? Explica que les noves substàncies formades no poden ésser qualsevol sinó que estan relacionades amb les que hi havia inicialment (contra la idea de transmutació)?
- 3.- Explicita la diferenciació entre els processos de mescla (procés físic) i reacció entre substàncies (procés químic)? Indica què la mescla dels reactius és necessària per a que interaccionen les substàncies, però no és suficient?
- 4.- Fa referència explícita a què el compost és diferent a la mescla de substàncies simples a partir de les quals es pot obtenir, o en les quals es pot resoldre per descomposició?
- 5.- Explicita la diferència entre canvi físic i procés químic a nivell microscòpic, atenent a les dificultats de l'alumnat detectades per la recerca?
- 6.- Utilitza la teoria atòmica per interpretar processos químics senzills, d'interès per a l'alumnat?
- 7.- Esmenta que la teoria de Dalton no assumeix la possibilitat de la transmutació dels metalls en or (els àtoms són immutables)?

3.5. ESQUEMA GENERAL DE LES CONSEQÜÈNCIES OPERATIVES DERIVADES DE LA PRIMERA HIPÒTESI I DISSENYIS UTILITZATS PER CONTRASTAR-LES.

Per sintetitzar tot el que acabem de dir, resumirem els diferents dissenys en un esquema, relacionant-los amb les conseqüències contrastables previstes en aquest treball.

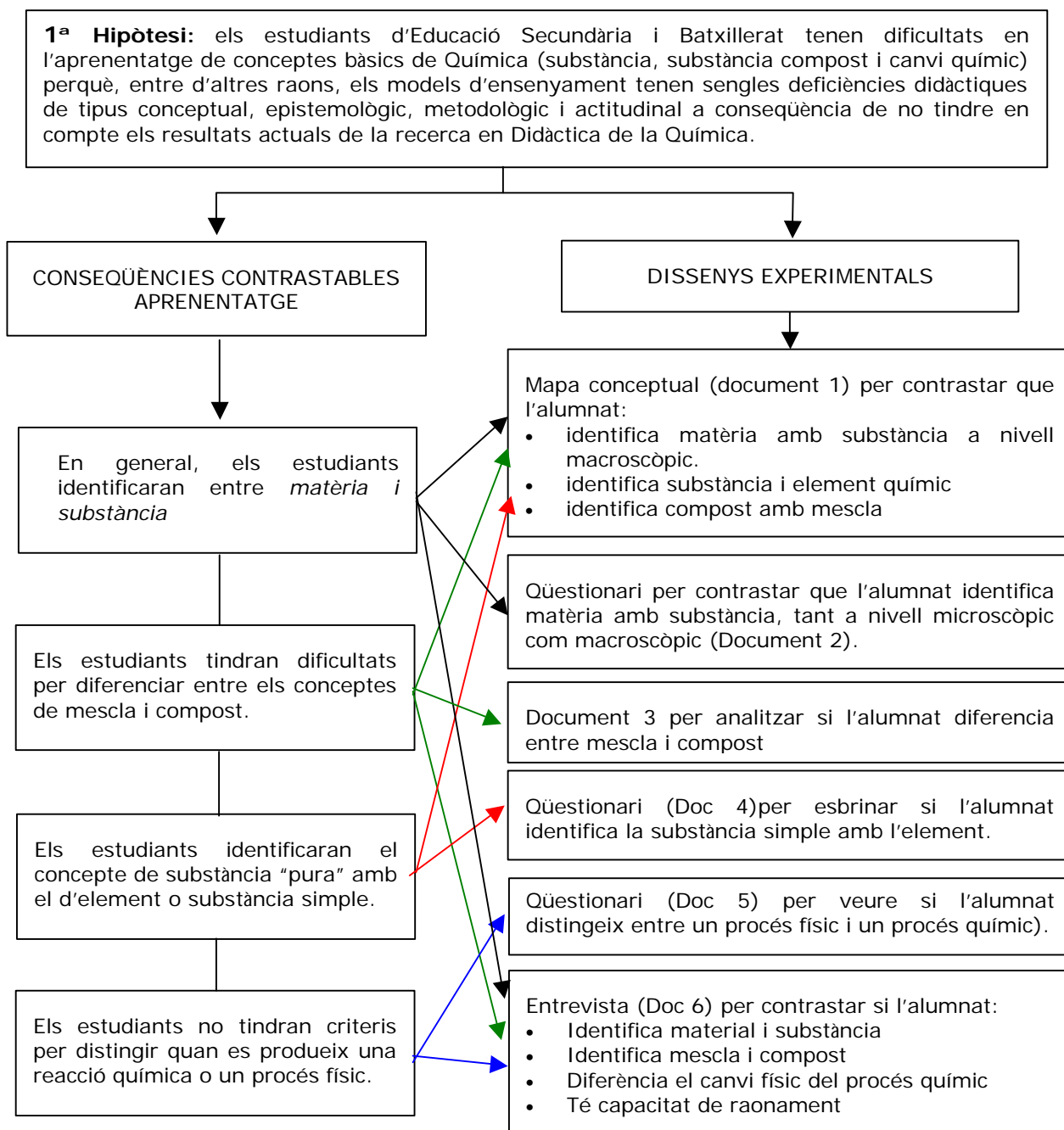


Fig. 3.9. Conseqüències contrastables respecte de l'aprenentatge

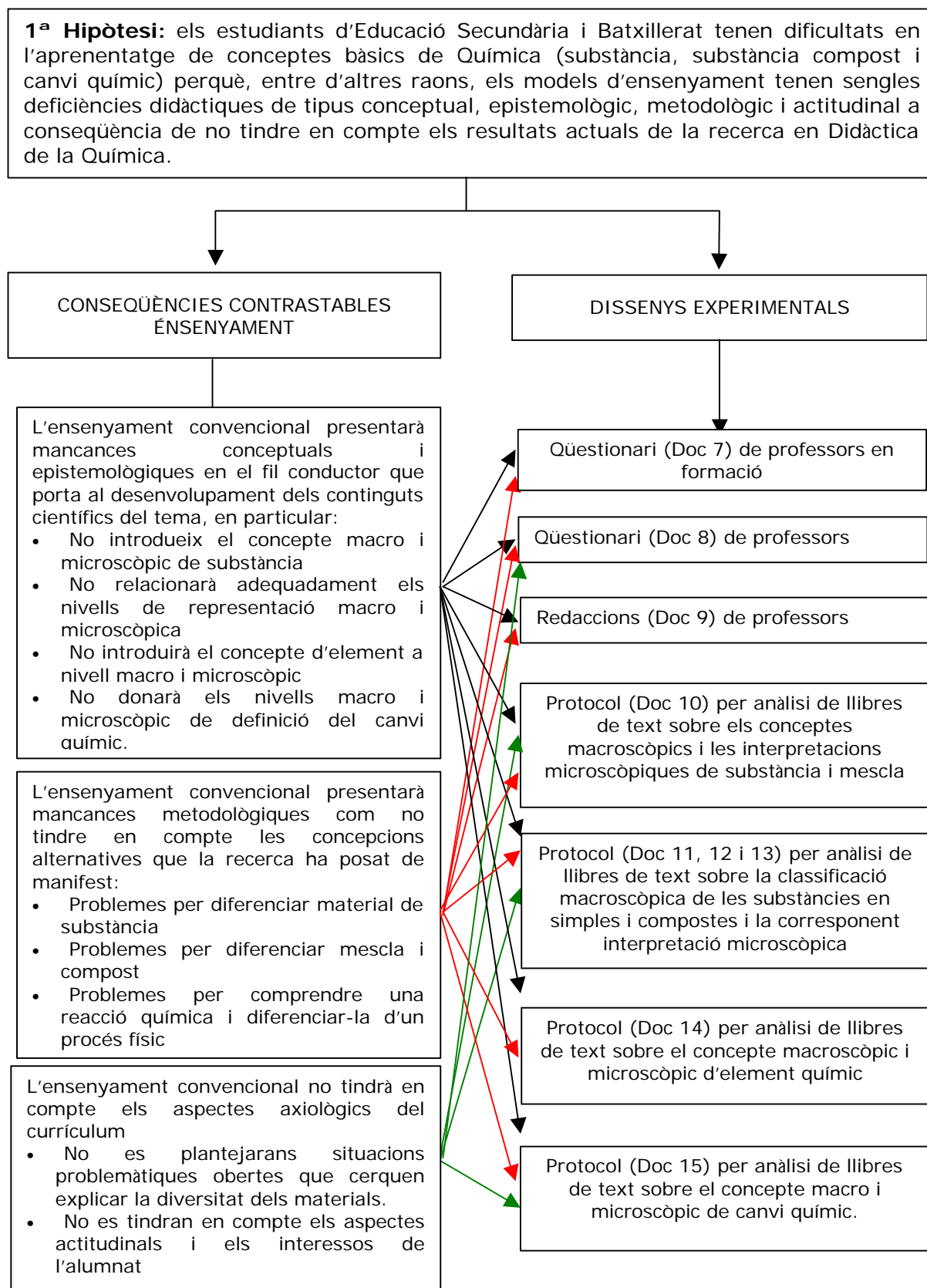


Fig. 3.10. Conseqüències contrastables respecte de l'ensenyament

3.6. CARACTERÍSTIQUES DE LES MOSTRES DE CONTROL A LES QUE S'HAN APLICAT ELS DISSENYS.

Els dissenys que acabem de descriure han estat preparats de forma que permeten observar i recollir les dades necessàries per contrastar la hipòtesi, i s'han dirigit a diferents col·lectius d'alumnes i professors, així com a una ampla i variada mostra de llibres de text. Resumim a continuació totes les mostres:

- Alumnes d'Ensenyament Secundari i Batxillerat als que s'ha passat els qüestionaris d'alumnes 381
- Alumnes de Magisteri 33
- Alumnes que han realitzat entrevistes a partir d'experiències al laboratori. 45
- Professors en formació que han contestat un qüestionari..... 78
- Professorat en actiu que ha contestat el qüestionari escrit 88
- Professorat que ha redactat un tema escrit. 42
- Llibres de text analitzats. 128

3.6.1. Mostres d'estudiants d'Ensenyament Secundari i Batxillerat als que s'ha passat els qüestionaris d'alumnes (Documents 1 al 5).

El total d'estudiants als que s'ha demanat la col·laboració en aquest treball ha estat una mostra aleatòria de 381 alumnes de BUP, COU i Batxillerat de diferents instituts d'Educació Secundària del País Valencià escollits únicament en funció de la proximitat al lloc de treball de la investigadora. S'ha procurat que en el conjunt de la mostra estigueren ben representats els diferents nivells d'ensenyament en que s'ha dut a terme la investigació. El nombre de participants i curs en què estaven en el moment de portar a terme la investigació s'ofereix a continuació (quadre 3.16).

Quadre 3.16.-Distribució per cursos de les mostres d'alumnat que ha participat en la investigació.

Curs	Edat	N	TOTAL
2n BUP	15-16 anys	60	60
3r BUP	16-17 anys	36	140
1r Batxillerat	16-17 anys	104	
COU	17-18 anys	47	181
2n Batxillerat	17-18 anys	134	
TOTAL ALUMNES CONTROL.....			381

Els alumnes de BUP i COU procedeixen d'un mateix centre públic on la reforma de la LOGSE no havia arribat encara als cursos superiors en el moment de fer les proves. Els alumnes de 1r i 2n de Batxillerat procedeixen d'altres centres on ja estava aplicant-se l'ensenyament secundari alguns anys. Per facilitar l'anàlisi estadístic, unirem en un mateix grup els alumnes de 3r de BUP i 1r de Batxillerat perquè corresponen a estudiants de la mateixa edat i un nivell de coneixements semblant. Farem el mateix amb els grups de COU i 2n de Batxillerat.

Respecte a les característiques particulars de cada curs, els alumnes de 3r de BUP havien cursat Física i Química en el curs anterior (2n de BUP) de forma obligatòria i havien escollit voluntàriament l'opció de Ciències durant el present curs, sent la Física i Química una de les matèries obligatòries d'aquesta opció. Igualment, els alumnes de 1r de Batxillerat havien donat l'assignatura al llarg dels cursos de 3r i 4t de l'ESO (obligatòriament en 3r i escollida com optativa en 4t). Els i les alumnes de COU, d'altra banda, havien estudiat Física i Química en els cursos de 2n i 3r de BUP i, dins de l'opció de Ciències havien escollit l'assignatura de Química com optativa en COU. Els estudiants de 2n de Batxillerat estaven cursant la modalitat de Ciències de la Salut i havien estudiat Física i Química durant l'ESO i en el 1r curs de Batxillerat de la modalitat.

Els qüestionaris es passaren al llarg del més de març dels cursos 1998/99 i 1999/00, després que els alumnes implicats havien estudiat els temes de Química corresponents a l'estructura de la matèria, l'estructura interna de l'àtom, l'estequiometria i les reaccions

químiques. En tots els casos es va explicar abans de la prova de què es tractava i per a què es feia, així com la importància de que les respostes foren sinceres i raonades. Es va contar amb la col·laboració dels professors i professores que donaven classe a eixos grups i l'alumnat va disposar sempre de temps suficient per contestar les qüestions.

Abans de passar els qüestionaris, es va demanar al professorat de Ciències Naturals i/o Biologia, que impartia docència en els grups que anaven a participar en la prova, que realitzaren alguns mapes conceptuals d'aspectes relacionats amb aquella matèria, de manera que, sense interferir en els resultats de la experiència, ajudaren els alumnes a conèixer la tècnica de fer mapes.

Per evitar que els primers enunciats de les qüestions contaminaren les respostes dels estudiants, les qüestions es varen barrejar i es dividiren en cinc qüestionaris per a passar-los en dues sessions diferents de classe. Al mateix temps s'aconseguia que els participants disposaren de prou de temps per respondre. En el primer dels qüestionaris es posà el mapa conceptual per ajudar-los a centrar el tema, havent-los entrenat prèviament amb la realització d'altres mapes centrats en una classificació d'éssers vius coneguda pels estudiants.

3.6.2. Mostra d'estudiants universitaris.

En el present treball han participat 33 estudiants de l'Escola Universitària de Magisteri de la Universitat de València, que cursaven el 3r curs de l'antiga especialitat de mestres de Ciències.

Igual que en l'alumnat dels instituts, es va explicar als alumnes en què consistia la prova, disposaren de suficient temps per respondre les qüestions i la realitzaren després d'haver estudiat les matèries corresponents al llarg del Batxillerat i els cursos de Química dels corresponents estudis universitaris.

3.6.3. Mostra d'alumnes que han realitzat entrevistes a partir d'experiències al laboratori.

Per aprofundir més en les idees de l'alumnat i veure si les respostes que hem obtingut en els qüestionaris són coherents, s'ha dut a terme un estudi transversal a alumnes dels últims cursos d'ensenyament secundari obligatori i batxillerat. L'estudi ha consistit en la realització d'entrevistes davant fenomen, en les que es demanava a l'alumne que explicara allò que pensava que havia succeït en les experiències que es realitzaven davant d'ell, com s'explica al quadre 3.6 (Document 6). Totes les explicacions dels alumnes foren gravades en cassette i després transcrites per analitzar els seus comentaris. A més de les explicacions se'ls demanà que feren dibuixos del que consideraven que havia ocorregut a nivell submicroscòpic en cadascuna de les experiències.

Les entrevistes foren realitzades al llarg dels cursos 1999/2000 i 2001/2002, i en elles participaren alumnes del segon cicle d'ESO i Batxillerat, així com alguns que encara estudiaven els cursos de 3r de BUP i COU, d'alguns centres de la Comunitat Valenciana. Tingueren lloc durant el tercer trimestre del curs, quan l'alumnat ja havia estudiat en tots els casos els temes corresponents a l'estructura de la matèria i els canvis químics. El total d'alumnes entrevistats és de 45, escollits únicament per raó de la seua disponibilitat a realitzar l'entrevista i classificats com s'indica segons grups d'edat:

3r ESO i 4t ESO	13 alumnes
1r Batx i 3r BUP	10 alumnes
2n Batx i COU	22 alumnes

3.6.4. Mostra de professorat que ha contestat un qüestionari escrit (Documents 7 i 8)

Per esbrinar si algunes de les dificultats de comprensió detectades en l'alumnat també es posen de manifest, encara que de manera diferent, entre el professorat, s'han dissenyat dos qüestionaris (documents 7 i 8), que s'han passat a grups diferents de professors.

El qüestionari 7 s'ha passat a un grup d'estudiants de 4t i 5é de Ciències Químiques que, després d'acabar la formació en Química, han escollit en el segon cicle l'assignatura de

Didàctica de les ciències, és a dir, estan preparant-se per ser professors d'aquesta especialitat. En l'experiència han participat un total de 78 professors en formació.

El qüestionari que s'ha detallat en el document 8 s'ha passat a dos grups diferents de professors. El primer està format per 49 professors en actiu de diversos instituts de la Comunitat Valenciana, mentre el segon el conformen 39 professors en formació, que estaven realitzant el CAP en el moment de realitzar l'enquesta, al llarg dels cursos 2000/2001 i 2001/2002.

3.6.5. Mostra de professorat que ha redactat un text sobre els materials, en situació d'examen

Com ja hem explicat abans, la mostra de professors que ha redactat un tema escrit és variada, tant per la procedència com per l'experiència personal, donat que a l'oposició es presentaven llicenciats de tot el territori nacional, amb diferents anys d'experiència docent.

La primera prova del concurs-oposició, que va tindre lloc al llarg del mes de juliol de 2001, consistia en desenvolupar per escrit un tema (escollit entre dos, eixits per sorteig), per medi d'una redacció en la que l'opositor havia de mostrar tots els seus coneixements al respecte. El títol del tema està recollit al quadre 3.9 (document 9). De tots els participants, l'escolliren i desenvoluparen un total de 42 professors. A fi d'identificar-los sense donar la seua identitat, els hem numerat i cadascun d'ells es reconeix per un nombre de l'1 al 42.

3.6.6. Mostra de llibres de text analitzats

Per verificar les hipòtesis operativitzades al capítol 3, s'ha fet una anàlisi de 128 textos de Física i Química entre els que s'utilitzen més habitualment a les aules de Secundària i Batxillerat, amb anys de publicació que abasten des de 1977 fins el moment actual. A conseqüència del canvi de plans d'estudi durant aquest període, hi ha llibres tant de l'anterior BUP i COU com dels actuals Ensenyament Secundari i Batxillerat. No s'han utilitzat llibres de 4t d'ESO i 2n de Batxillerat perquè el tema que ens ocupa no forma part del temari oficial dels mateixos. Tampoc ho és en el cas dels textos de 3r de BUP, però en aquest cas hi ha una part de reaccions que sí que s'estudia i per tant, s'utilitzaran en aquest apartat, agrupant-los amb els de 1r de Batxillerat, per ser el grup d'edat i nivell equivalent. Els autors i editorials dels llibres de text utilitzats venen relacionats a l'annex I al final d'aquest treball.

3r ESO	38
2n BUP	26
3r BUP	19
1r BATX	28
QUÍMICA COU	17
<hr/>	
TOTAL	128

Per a l'anàlisi i valoració de les qüestions, ens hem posat en tots els casos en la posició més desfavorable per la investigació, de forma que basta una somera insinuació o un sol exemple per a que considerem que es tracta l'aspecte que estem analitzant.

4

CONTRASTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS REFERENTS A L'APRENTATGE DELS CONCEPTES BÀSICS DE LA QUÍMICA.

INTRODUCCIÓ

Per contrastar la primera hipòtesi presentarem els resultats obtinguts en aplicar els diferents dissenys descrits al capítol anterior. Com ja hem dit, seguint la tendència actual de la investigació educativa, hem procurat utilitzar dissenys diferents, convergents i múltiples, que atorguen coherència interna als resultats.

El treball de recerca s'ha fet en dues direccions, fent referència al punt de vista de l'aprenentatge i al de l'ensenyament, per tant, hem dividit l'estudi en dues parts per facilitar la lectura. En el present capítol analitzarem els resultats obtinguts en els dissenys dedicats a l'aprenentatge, mentre que posposarem al capítol 5 la presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en els dissenys relacionats amb l'ensenyament.

Per afavorir la visió de conjunt del treball, dedicarem apartats específics per a cadascun dels objectius plantejats en la recerca, raó per la qual, un mateix disseny, o una mateixa qüestió, podrà ser utilitzat en diferents apartats, amb objectius distints.

Els resultats obtinguts en l'aplicació dels diversos dissenys vindran agrupats com s'indica a continuació:

- En primer lloc es presentaran els resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys que tenen per objectiu detectar les dificultats de l'alumnat en la comprensió del concepte de substància (documents 1, 2 i 6).

- Passarem a continuació a fer un estudi similar, per analitzar les dificultats referents als conceptes de mescla i compost (documents 1, 3 i 6).
- Tot seguit presentarem els resultats referents als problemes de l'alumnat en la diferenciació dels conceptes de substància i element químic (documents 1, 3 i 4).
- A continuació, dedicarem un apartat a mostrar els resultats obtinguts en analitzar les dificultats dels estudiants per diferenciar els canvis físics i químics (documents 5 i 6)
- Finalment farem un resum de tots els resultats que s'han trobat en l'anàlisi dels diferents dissenys, relatius als conceptes de substància, compost i reacció química.

4.1. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN L'APLICACIÓ DELS DISSENYS ENCAMINATS A MOSTRAR QUE L'ALUMNAT TÉ DIFICULTATS PER ENTENDRE EL CONCEPTE MACRO I MICROSCÒPIC DE SUBSTÀNCIA QUÍMICA (Documents 1, 2 i 6).

Com hem explicat al capítol anterior, per veure si els estudiants entenen el concepte de substància química, hem preparat tres dissenys diferents:

- Elaboració d'un mapa conceptual (document 1), presentat a grups diferents d'estudiants d'Ensenyament Secundari, Batxillerat i Magisteri.
- Qüestionari per esbrinar si els estudiants oposen el concepte de substància al de mescla (document 2), tant a nivell macroscòpic com microscòpic.
- Entrevista (document 6), en la que s'analitza les respostes dels alumnes en els aspectes que fan referència als conceptes macro i microscòpic de substància.

4.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'elaboració de mapes conceptuais (document 1).

Començarem per presentar els resultats obtinguts en l'anàlisi dels mapes conceptuais elaborats per les diferents mostres d'estudiants indicades al capítol 3 (document 1). A títol d'exemple que mostre les possibilitats del present disseny, reflectim en la figura 4.1 el mapa conceptual elaborat per un alumne de COU. En ell es pot apreciar que identifica matèria i substància, al temps que inverteix els conceptes de mescla i compost, inversió de la que tornarem a parlar més endavant.

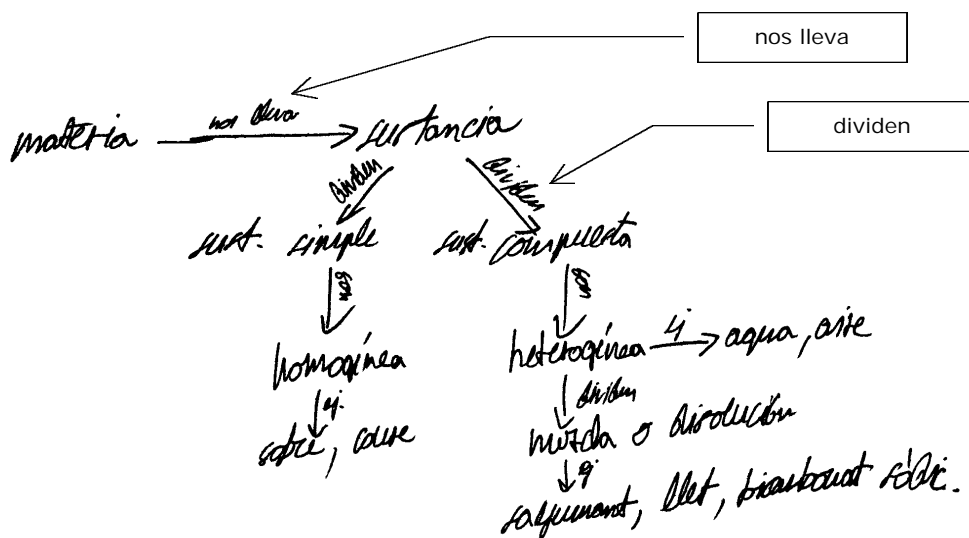


Figura 4.1.- Mapa elaborat per un alumne en resposta a la qüestió plantejada al document 1.

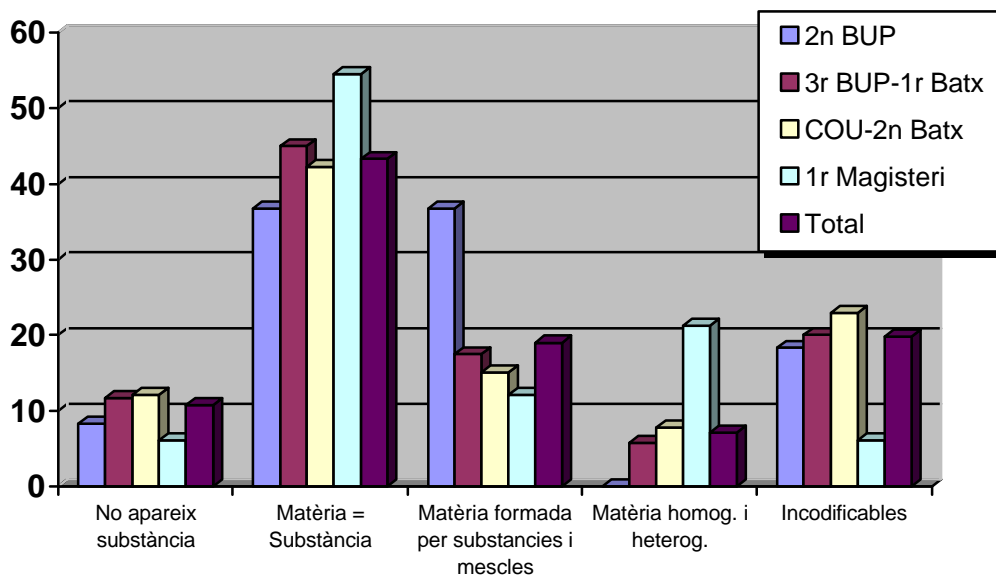
En el mapa de la figura s'aprecia com aquest estudiant ha explicat en què consistia cadascuna de les divisions que ha fet, posant títols en les fletxes. En la major part de casos, però, no ha estat així i, malgrat haver-ho demanat repetidament, molts dels estudiants no han indicat en les fletxes a què feien referència, ni han donat explicacions del què volien dir, indicant en alguns casos que "pensaven que era així, però no saben per què".

Els resultats obtinguts s'exposen a continuació a la taula 4.1 i la gràfica 4.1

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r BATX (N=120) %	COU 2n BATX (N=166) %	1r Mag. (N=33) %	Total (N=379) %
Classifiquen la matèria en substància i mescla(*)	36'7	17'5	15'1	12'1	19'0
Identifiquen matèria i substància	36'7	45'0	42'2	54'5	43'3
No apareix la paraula substància	8'3	11'7	12'1	6'1	10'8
Divideixen la matèria en homogènia i heterogènia, identificant explícitament la primera amb substància i la segona amb mescla i compost	--	5'8	7'8	21'2	7'1
Incodificables	18'3	20'0	22'9	6'1	19'8

(*) Resposta correcta

Taula 4.1.- Resultats extrets del mapa conceptual i que fan referència a la identificació entre matèria i substància.



GRÀFICA 4.1. Resultats que es poden extraure del mapa conceptual i que fan referència a la identificació entre matèria i substància (taula 4.1).

Com ja havíem suposat, el concepte de substància comporta un grau de dificultat important en tots els casos, com ho mostra que quasi la meitat de l'alumnat l'identifica amb el concepte de matèria. Hem de ressaltar que les diferències entre els diferents grups d'edat no són apreciables significativament.

També hem fixat l'atenció en que molts alumnes comencen a fer divisions seguint un criteri d'observació macroscòpic. Hem pogut comprovar com, en aquests casos, a continuació associaven les paraules homogènia i substància, així com la paraula heterogènia amb els conceptes de mescla i compost. És a dir, tot i que aquesta classificació pot considerar-se inicialment correcta, condueix finalment a errors perquè tant les substàncies compostes com les pròpies dissolucions són sistemes homogenis. Podem aprofitar per recordar que, en el paradigma aristotèlic, els compostos i les dissolucions constituïen una part important del gran problema dels mixtos.

Per últim, considerem important destacar la mínima quantitat d'alumnes (sols el 19'0%) que donen una resposta correcta, la qual cosa significa que la gran majoria no té clara la distinció entre material (habitualment sistema mesclat) i substància, que és el que es volia contrastar.

4.1.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el qüestionari referent a la identificació que fan els alumnes entre material i substància (document 2).

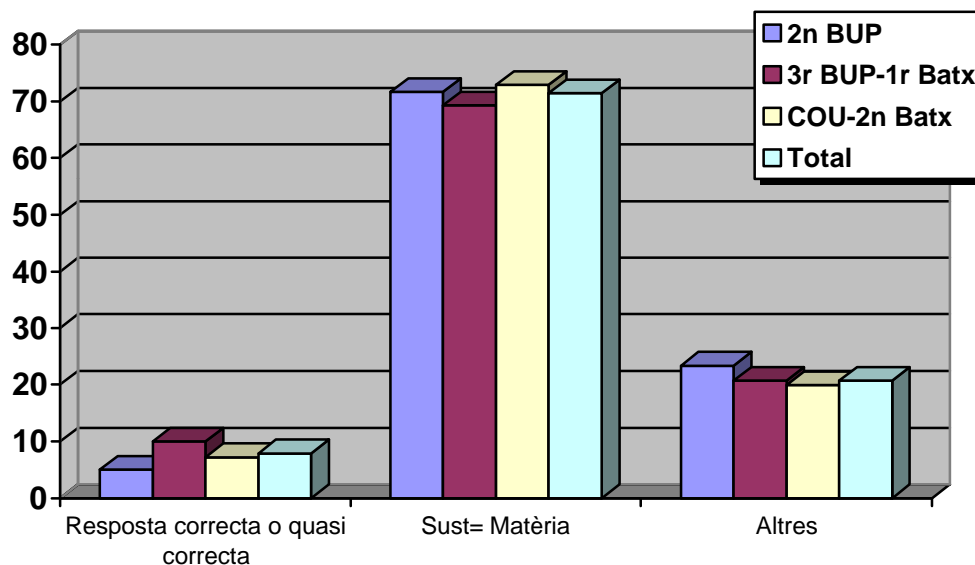
El document 2 consta de tres qüestions, relatives a la identificació que fan els estudiants entre els conceptes de material i substància, de les que veurem si ofereixen resultats coherents entre elles i els obtinguts amb el disseny anterior. Començarem analitzant les respostes donades a la qüestió 1:

- 1.- Avui en dia tothom ha sentit parlar de: llum, aire, aigua, foc, granit, ona de ràdio. Subratlla els que creus que estan formats per una substància.
Explica en què et bases i per què creus que els altres no ho són_____

La taula 4.2 i gràfica 4.2, que s'exposen tot seguit, mostren els resultats obtinguts en les diferents mostres d'alumnes.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r BATX (N=140) %	COU 2n BATX (N=181) %	Total (N=381) %
Donen una resposta correcta o quasi correcta teòricament, encara que mal aplicada	5'0	10'0	7'2	7'9
Identifiquen substància i material	71'7	69'3	72'9	71'4
Altres respostes	23'3	20'7	19'9	20'7

Taula 4.2. - Percentatge d'estudiants que identifiquen substància i matèria (Q1, doc. 2)



GRÀFICA 4.2. Percentatge d'estudiants que identifiquen substància i matèria (Taula 4.2)

En l'anàlisi de la qüestió, hem considerat correctes totes aquelles respostes en les que s'indicava que l'única substància era l'aigua, malgrat que no ho explicaren. A més, per posar-nos en la situació més desfavorable per a la investigació, també hem considerat correctes aquelles en les que, en l'explicació s'apreciava que la resposta havia estat aleatòria o s'apreciaven incorreccions conceptuals. Malgrat tot, el primer aspecte a destacar dels resultats és el baix nombre de respostes correctes obtingudes en les diferents mostres d'estudiants, entre les que no s'aprecien diferències significatives. Es pot extreure algun exemple significatiu de resposta, com el següent, en el que les expressions que no estan en cursiva han estat introduïdes per l'autora:

- (Són substàncies) *Totes, perquè no hi ha res que siga pur, és a dir, crec que tots els elements (vol dir materials) esmentats anteriorment estan formats per un conjunt de substàncies (ací vol dir elements).* (3r BUP)

La interpretació que fem d'aquesta resposta fa èmfasi en la primera proposició, respecte a que tots els materials es presenten com mescles. Segons aquesta idea, l'alumne considera que tot està mesclat (no hi ha res pur) i les mescles (a les que ell fa referència com elements) estan formades per substàncies sense mescla, que serien els elements químics (i que l'estudiant anomena, paradoxalment, substàncies). Pensem, doncs, que l'explicació ve determinada per un model mental dels alumnes que, en el fons, consideren que tots els materials que es presenten a la natura són mescles (o substàncies), formades per altres substàncies (més simples o pures) que són els elements. Altra resposta qualitativa, donada per un estudiant de COU és:

- *Sols són una substància la llum i l'ona, que són radiacions electromagnètiques formades per electrons. La resta són substàncies compostes.* (COU)

De les paraules d'aquest alumne interpretem que, per a ell, la llum i l'ona serien les substàncies (o els materials) més pures, perquè estan compostes per les partícules més simples (els electrons) i la resta de materials serien mescles o "substàncies compostes". Llavors, segons l'esquema mental d'aquest estudiant, tots els materials esmentats són substàncies, més simples o més complexes.

Una tercera resposta, també d'un estudiant de COU, que sembla a simple vista, contrària a les anteriors, és la següent, en la que el subratllat s'ha afegit per visualitzar millor els diferents usos que fa de la paraula substància:

- *Cap dels exemples esmentats és una substància, perquè l'aire està format per N_2 , O_2 , C i varies substàncies més, l'aigua per H i O, el foc per C, O, N_2 , etc., el granit per molècules de C, Fe, O, Ca i la llum i les ones no ho sé, perquè són substàncies que estan formades per varies substàncies.* (COU)

Malgrat semblar una contradicció respecte de la primera contestació, aquesta resposta pot interpretar-se com que l'estudiant ha fet un ús semàntic diferent de la paraula substància segons la part de la resposta en què l'utilitza. Així doncs, s'interpreta que, la paraula "substància" de la primera línia s'associa amb la idea "d'element químic" que ha après en la classe de Química. Per tant, l'aigua, l'aire, el granit i el foc serien materials (mescles o compostos) que no són "substàncies pures" o elements químics. En canvi, el significat que li dona el mateix estudiant a "substància" en la tercera línia, quan es refereix a la llum o les ones, és el de material. Llavors, també, per a aquest estudiant tots els exemples presentats són materials o substàncies (però no substàncies pures o elements).

Passem a continuació a efectuar l'anàlisi de la qüestió 2 (document 2), en la que es demana com saber si un material donat és o no una substància.

- 2.- ¿Què podries fer per saber si la naftalina (boles de color blanc que es posaven als armaris per matar l'arna) és una substància o una mescla? _____

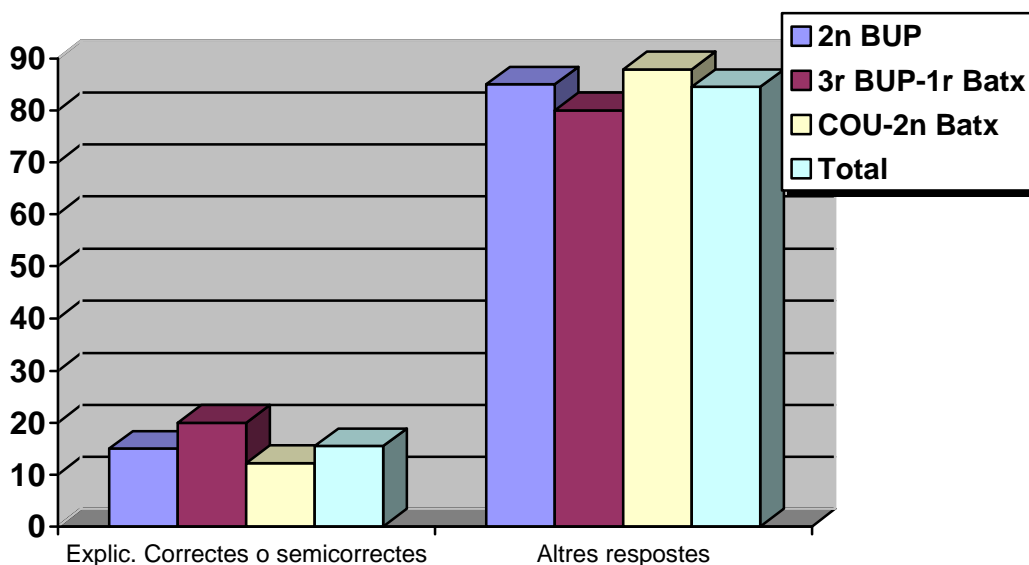
En l'anàlisi de les respostes hem procurat posar-nos en la situació més desfavorable per a la investigació, de forma que hem considerat correctes, totes aquelles respostes en les que s'aprecia una somera idea del concepte, malgrat que ho faça d'una manera imprecisa o vaga, com en els exemples que s'exposen a continuació.

- *La triture i la col loque en una dissolució d'aigua. La fique en la centrifugadora del laboratori, després observe si hi ha substàncies al fons, si floten o si es queden en mig. Si totes es queden baix, vol dir que pesen el mateix i, per tant, serà una substància. (3r BUP)*
- *Escalfar-lo al foc i evaporar-lo per veure si es tracta de dos o més elements diferents, seria una mescla, pel contrari, si tinguera un element seria una substància. (2n Batx)*

Malgrat que les anteriors explicacions no ofereixen mètodes vàlids per separar les possibles substàncies existents en una mostra, les hem acceptat com correctes, igual que altres semblants, per assegurar-nos que el criteri de correcció és molt desfavorable a la contrastació de la hipòtesi.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Dóna explicacions correctes o bé presenta alguna referència vaga a una propietat característica.	15'0	20'0	12'2	15'5
Altres respostes	85'0	80'0	87'9	84'5

Taula 4.3- Percentatge d'estudiants que coneixen el concepte macroscòpic de substància com cos que té unes propietats característiques constants (Q2, doc. 2).



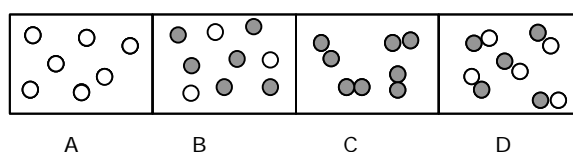
GRÀFICA 4.3.- Percentatge d'estudiants que tenen clar el concepte macroscòpic de substància i que saben caracteritzar-ne una per mètodes físics de determinació (Taula 4.3).

El primer que s'observa en analitzar les respostes és que l'alumnat no té criteris clars per caracteritzar macroscòpicament una substància, com ho prova que més de les tres quartes parts (taula 4.3) no fa cap referència (per ambigua que siga) a la determinació d'alguna propietat específica de la substància, per poder contrastar-la després amb un llibre de dades i així reconèixer-la. A més, entre les respostes classificades com incorrectes, s'han apreciat problemes que es repeteixen en molts casos, com la superposició de les descripcions macro i micro de substància que es mostra al següent exemple:

- Escalfar-la o dissoldre-la en un líquid i observar al microscopi si hi ha diferents substàncies o no. (1r Batx)

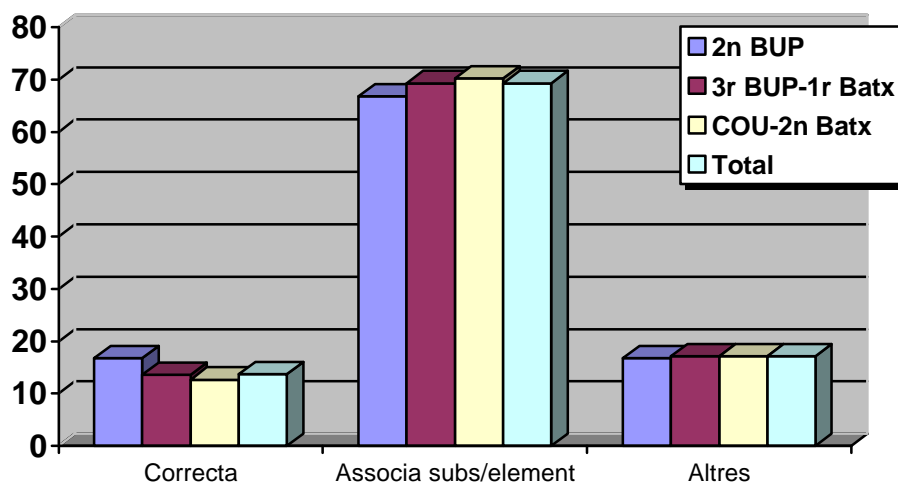
Per finalitzar el present apartat, tractarem d'esbrinar què entén l'alumnat per substància des del punt de vista microscòpic, analitzant les respostes a la qüestió 3 del document 2:

- 3.- Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una *substància*. Justifica la teua resposta: _____



Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Resposta correcta	16'7	13'6	12'7	13'7
Associa substància pura amb element	66'7	69'3	70'2	69'3
Altres respostes	16'7	17'1	17'1	17'1

Taula 4.4.- Percentatge de respostes obtinguts al preguntar directament als alumnes què entenen per substància des del punt de vista microscòpic (Q3, doc. 2).



GRÀFICA 4.4. - Resultats obtinguts al preguntar directament als alumnes què entenen per substància des del punt de vista microscòpic (Taula 4.4)

Com es pot apreciar en els resultats de la taula 4.4., quasi un 70% d'estudiants consideren que sols són substàncies les respostes A i/o C, és a dir, els elements, afirmant-ho així en les respostes:

- *Són substàncies A i C perquè estan formats per àtoms de la mateixa substància (3r BUP)*

Altre aspecte al que volem fer referència és la manca de seguretat dels estudiants per fer un ús correcte dels diferents conceptes, com s'aprecia quan l'alumne parla *dels àtoms de la mateixa substància*, quan en realitat vol dir del mateix element.

- *Perquè sols són substàncies pures les que tenen el mateix tipus d'àtoms, sense importar que reaccionen entre ells o vagen separats. (2n BUP)*
- *Perquè sols estan els mateixos àtoms, sense barrejar-se amb ningú. (COU)*

Hem de fer notar que, a nivell macroscòpic, la major part de les respostes incidien en que una substància era qualsevol cosa material, és a dir, qualsevol cosa que tinguera àtoms, però en passar al nivell microscòpic el discurs sembla que canvia i, en aquest cas, els àtoms han d'ésser iguals, reduint així el concepte de substància al d'element. Els anteriors exemples fan una simplificació incorrecta perquè, quan parlen d'àtoms *"que reaccionen entre ells o vagen separats"* o àtoms *"sense barrejar-se"*, estan donant una definició que podria servir també per a una mescla de dues substàncies simples del mateix àtom, com per exemple O₂ i O₃, és a dir, no tenen assumit el concepte d'element, distint al de substància simple.

4.1.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en les entrevistes (document 6), referents a la identificació que fan els alumnes entre material i substància.

Abans d'exposar les interpretacions que hem fet del pensament de l'alumnat sobre els diferents conceptes, volem indicar que hem tractat d'aportar exemples de tots els grups d'alumnes, intercalant respostes d'alumnes d'ESO amb les d'alumnes de COU i Batxillerat. També hem d'aclarir que, sense canviar el context en que es feien les afirmacions dels alumnes, sols hem agafat els fragments de les entrevistes que posen de manifest allò que s'està analitzant en cadascun dels apartats. En l'annex II, al final d'aquest treball, es mostren exemples de les entrevistes completes utilitzades.

També volem recordar que les expressions que utilitza l'alumnat es basen més en el llenguatge quotidià que en el científic, raó per la qual el seu significat serà prou ambigu. En *La filosofia del no*, Bachelard (1973b), denominà *perfil epistemològic* al conjunt de diferents significats que un subjecte dona a un mateix concepte. Anys després Mortimer (1995) redefiní el concepte denominant-lo *perfil conceptual*. En l'anàlisi de les entrevistes hem pogut constatar com un mateix estudiant pot utilitzar la paraula substància amb significats diferents i, de vegades contraris, en la mateixa proposició o paràgraf, fins i tot en el mateix context, generalment macroscòpic. Per aquesta raó, hem tingut molta cura en *veure no sols el context* en el qual s'utilitzava la paraula, sinó també el sentit que l'alumne li dona en una mateixa proposició. Podem esmentar com exemple del que estem dient el següent paràgraf en el que, davant d'un seguit de materials diferents, Sergi ha d'indicar quins considera que són substància.

- *Són substàncies totes excepte les que són energia, que són la llum i el foc. Perquè la llum i el foc són energia que no és res factible i la resta són elements que són una mescla d'elements, que s'han fet a partir d'altres coses. [...] una substància és una barreja d'elements o elements en sí mateixa. [...] Una cosa que no siga substància serà energia simplement (Sergi, 2n Batx)*

En el text anterior és fàcil apreciar les diferents accepcions que utilitza l'estudiant per referir-se als conceptes d'element i substància. En efecte, Sergi afirma que, excepte la llum i el foc, tots els ítems són substàncies *perquè són elements* (interpretem que vol dir materials), *que són una mescla d'elements* (en aquest cas, amb la mateixa paraula vol dir substàncies més simples). Respecte a la paraula substància, afirma que és *una barreja d'elements*, però també pot ser un *element en sí mateixa*. Per últim, acaba contraposant el concepte de substància a energia quan diu: *una cosa que no siga substància serà energia simplement*.

La primera qüestió que es planteja en l'entrevista és similar a la que es va demanar en el qüestionari, però ampliant la mostra d'objectes amb altres materials que s'utilitzen durant la mateixa:

Es presenta a l'alumne/a els següents ítems: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, carbó actiu, aigua, vi, àcid clorhídric, aire, alcohol etílic, la llum d'una flama i llum d'una llanterna. Tot seguit, es demana que indique, de totes eixes coses, quina o quines considera que poden ser una substància.

Els resultats obtinguts, referents al concepte macroscòpic de substància, són els que s'exposen a continuació en la taula 4.5.

Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
Identifica material i substància	66'7
Considera que la substància és l'element	8'9
Considera la substància oposada al concepte d'element	13'3
Altres	11'1

Taula 4.5: Conceptualitzacions macroscòpiques sobre el concepte de substància

Com ja es posà de manifest en els qüestionaris, la pregunta posa en evidència les dificultats que planteja a l'alumnat la comprensió del concepte de substància, per al qual ens ofereixen un ampli ventall de respostes diferents, amb la particularitat de que cap d'elles pot considerar-se correcta.

A continuació, presentem alguns exemples de les respostes dels estudiants, ordenades des del valor d'ús social més general al més específic. En primer lloc, exposarem aquelles en que l'alumne utilitza criteris excessivament ambigus o superficials, que correspondran a diferents conceptualitzacions, com aquells que consideren que substància és qualsevol material que es pot veure o agafar, en una idea que podria assimilar-se a la matèria corpòria dels aristotèlics. En aquest cas tindríem també aquells que, per considerar la substància com qualsevol cosa material, l'oposen a la idea d'immaterial, recordant així a la idea aristotèlica de matèria rara: els gasos, els vapors, etc.

- Són substàncies totes menys el foc i la llum, perquè la llum i el foc són energia i lo altre és matèria... Què és una substància? Matèria en estat sòlid, líquid o gasós. (Clara, 2n Batx)

En aquesta resposta, Clara distingeix entre materials i energia (també en el llenguatge corrent i en molts llibres de text s'utilitza el concepte d'energia com idea antagònica a matèria).

Altres tipus de respostes serien aquelles que atorguen al concepte de substància connotacions d'element (sobretot en afegir-li l'adjectiu pura), com l'exemple que presentem a continuació:

- 1 **Prof:** Quina o quines consideres que poden ser una substància?
- 2 **Andrea:** Pura? El zinc, el carbó actiu i ja està, perquè són substàncies en sí, no estan
- 3 formades per més de dos. Una substància pura és un element, conforme estiga, però un
- 4 element soles... substància és un mateix igual d'àtoms, que siguin tots iguals, que no
- 5 siguin diferents... les altres també són substàncies, però són compostes, no?
- 6 **Prof:** l'aigua, l'alcohol, el vi, tot són substàncies?
- 7 **Andrea:** sí, totes serien substàncies, però jo faig referència a substància pura quan és un
- 8 element, un element de la taula periòdica. Quan es combinen seran substàncies compostes,
- 9 crec. I dins de les compostes hi ha barreges de moltes maneres, que poden ser homogènies,
- 10 heterogènies... l'aire és una barreja de gasos. (Andrea, COU)

En principi, Andrea afegeix a la paraula substància l'adjectiu "pura", i afirma que les substàncies "pures" són els elements. S'ofereix així la possibilitat d'existència de "substàncies impures", com mescla d'altres més simples, a les que anomena *substàncies compostes* i de les que pensa que poden ser de moltes maneres, incidint així en la identificació entre mescla i compost, altre error molt comú al que farem referència més endavant.

Per últim, hem trobat respostes en les que s'oposa el concepte de substància al d'element, és a dir, la substància seria una mescla de cossos simples (els elements, que serien les diferents parts que conformen el tot), podent ser qualsevol cosa com compostos, mescles heterogènies, dissolucions, etc. En aquestes respostes es fa evident l'existència generalitzada d'un criteri que recorda a l'aristotèlic, segons els quals totes les coses estan formades per mescles d'altres components més simples: els elements. Un exemple d'aquesta forma de pensar seria el següent:

- 1 **Cristina:** Una substància és una cosa que està composta per alguna cosa, que no és... jo
- 2 què sé, un element químic no és una substància. La sal sí que és... A veure, un element
- 3 químic, de la taula periòdica, i el foc no el veig una substància. L'aigua és un element, a
- 4 veure si m'entens, aire, foc,... no elements químics, els elements de la natura.
- 5 **Prof:** Anem a centrar-nos, què entens per substància?
- 6 **Cristina:** un element químic no és una substància, la substància és tot allò que està
- 7 compost, tant els compostos químics com mescles, dissolucions,... (Cristina, 2n Batx)

Cristina defineix el concepte de substància per oposició amb els elements, que serien "purs" i en mesclar-se formarien les substàncies que, per a ella, són tot allò compost (com diu

en la línia 7, en la que realment vol dir format) per elements, incloent en la mateixa categoria els compostos, mescles i dissolucions.

Aquesta part de l'entrevista també s'ha fet servir per veure si els alumnes tenen algun mecanisme per caracteritzar una substància al laboratori. Després d'explicar quins dels materials que se'ls han presentat són substància i quins no, el professor els pregunta:

P3: Si et donaren un producte i hagueres de determinar al laboratori si es tracta o no d'una substància, com ho faries?

Els resultats obtinguts respecte de la capacitat per determinar si una determinada mostra és o no una substància, són els que s'indiquen a continuació en la taula 4.6:

Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
No sap respondre o bé dona criteris generals o ambigus	88,9
Dóna algun criteri basat en reconèixer la substància a través d'alguna propietat quantitativa característica	11,1

Taula 4.6: Coneixements empírics per reconèixer una substància

En aquest cas, hem considerat que la resposta és correcta o quasi correcta si l'alumne explicita al menys alguna propietat específica i objectiva (per exemple la temperatura de fusió) per definir la substància. Mentre les anteriors eren definicions de tipus general i ontològic, aquestes són de tipus particular i procedimental, impliquen tindre criteris empírics per saber quan tenim una substància o una mescla i és el referent macroscòpic de substància que hem de ressaltar inicialment en l'ensenyament de la Química. Aquesta idea, que és la que es pretén ensenyar, correspondria històricament al criteri emprat en la classificació dels sistemes químics pels filòsofs mecànics: *mescles*, *cossos perfectament sense mescla* (substàncies simples) i *cossos perfectament mesclats* (compostos químics). Observades les dificultats de l'alumnat en general per esbrinar què és una substància, suposem que difícilment la podran caracteritzar quan estan al laboratori, com ho fan notar en les entrevistes, quan tracten de respondre aquesta qüestió.

La major part dels adolescents entrevistats no saben què respondre, o utilitzen criteris superficials, generalment fonamentats en alguna de les definicions que han donat abans per determinar si els materials que els havien presentat eren o no substàncies, com podem apreciar en la següent resposta:

- *Està clar que és una substància si me la porten i puc manejar-la. Ja ho he dit (Rafa, 2n Batx)*

Altres tracten de cercar algun criteri científic, però sols donen alguna idea molt ambigua, intentant, en molts casos, recordar els conceptes sentits a classe i buscant paraules tècniques, però sense donar coherència al seu discurs:

- *No ho sé. Descompondre-la supose, per a veure si és més d'una substància. Depèn de la substància que fora es descompondria d'una manera, però no sé com. Primer descompondria l'element i després el miraria al microscopi, però no sé com descompondre'!! (Amparo, 1r Batx)*

La resposta d'Amparo ens ofereix una bona reflexió quan diu que la descompondria, com si avançara cap a l'anàlisi d'una substància, però a continuació parla de descompondre l'element com si es tractara de separar les substàncies d'una mescla heterogènia.

Cap dels estudiants als que s'ha plantejat la pregunta ha donat una resposta utilitzant criteris basats en alguna propietat específica. Alguns s'han aproximat, encara que els seus raonaments estiguen mal expressats, i són els que hem classificat com que aporten algun criteri basat en reconèixer la substància a través d'alguna propietat quantitativa característica. Un exemple d'aquest grup podria ser el següent, on sembla que José Luis associa la temperatura de fusió amb la pròpia substància:

- *Si em diuen de quins elements està compost... si no, primer l'escalfe, si es divideix en diferents temperatures de fusió, doncs ja sabem que és una mescla, val? ... aleshores si té les mateixes propietats en tots els punts... això, no? (José Luis, 2n Batx)*

Tot seguit, passarem a presentar els resultats que mostren la **visió microscòpica** que tenen els estudiants **del concepte de substància**. Per saber com representen les substàncies a nivell microscòpic s'ha demanat en cada experiència que feren un dibuix del que pensaven que estava tenint lloc davant dels seus ulls. Els resultats que s'han obtingut a partir de les respostes analitzades, s'exposen a continuació en la taula 4.7

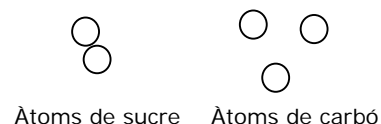
Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
De forma explícita o implícita, indiquen que cada substància és el mateix que la seua entitat (partícula)	15'6
Consideren que una substància està formada per moltes partícules	66'7
No codificables	17'8

Taula 4.7: Interpretació microscòpica del concepte de substància en els estudiants entrevistats

Com es pot apreciar, la idea més estesa entre l'alumnat és considerar que una substància està formada per moltes partícules. Ara bé, com que els estudiants, en general, no tenen la noció de molècula (o àtom compost) amb una proporció constant d'àtoms, dibuixen una barreja d'àtoms en quantitat indeterminada, en particular quan no coneixen la fórmula i sols saben de quins elements està compost (idea coherent amb la suposició de que mescla i compost són la mateixa cosa), així, cada substància (sense importar que siga simple o composta), es suposa formada per una mescla d'àtoms dels elements que la formen.

Segons aquesta visió, en el pensament de l'alumne la paraula àtom pot significar en moltes ocasions "àtom compost", com s'aprecia en el fet que molts d'ells parlen dels àtoms d'àcid clorhídric, àtoms de sucre, etc. en una idea que s'acosta al model daltonià, on els àtoms de les substàncies eren àtoms compostos, dels que també parlaven els equivalentistes, com per exemple Ostwald que, en un llibre sobre ensenyament de Química publicat en 1930, parlava de *l'àtom d'àcid clorhídric*. Podem veure un exemple semblant en paraules d'una alumna, extretes de les explicacions que ha donat davant de l'experiència de la descomposició tèrmica del sucre :

- *El fum seria l'oxigen que estava formant el sucre, i després ja no tenim sucre, s'ha evaporat. Una part està ahí i l'altra s'ha evaporat. Primer tindriem sucre, àtoms de sucre, i després carbó, perquè el fum se n'ha anat, no hi ha res.* (Bibiana, 1r Batx)

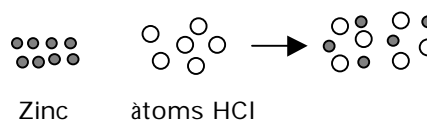


Per a Bibiana tot està format per àtoms ("àtoms compostos" en el cas del sucre), dibuixant-los iguals per al sucre i per al carbó (encara que això no vol dir estrictament que

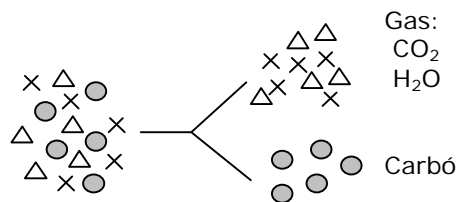
per a ella siguen iguals) i sense dibuixar el fum, perquè segons afirma, *se n'ha anat, no hi ha res*, en una idea coherent amb la consideració de la immaterialitat dels gasos.

La "visió" de la substància com una mescla d'àtoms serà la que determinarà la comprensió que assoliran respecte del procés: si consideren que es tracta d'una síntesi dibuixaran el producte format com un compost o una mescla dels "elements" (substàncies que reaccionen). En canvi, si el procés s'entén com una descomposició, imaginaran que tenen una substància composta o una mescla. Ho veurem més clarament en els exemples que adjuntem a continuació:

- *El zinc s'haurà desfet. S'haurà convertit en... que abans estava més compacte i ara s'ha desfet, no sé. Les partícules per ahí estan dissoltes. [...] com són tan xicotetes, si no estan compactes l'ull no arriba a veure-les. Ara s'han soltat d'una en una. El zinc està dissolt pel mig de l'àcid (Carlos, 2n Batx)*



- *S'ha cremat el sucre... al tub ara tenim el que queda del sucre després de cremar-lo, la part sòlida que no s'ha evaporat. [...] El fum estava mesclat amb el carbó... després es produeix diòxid de carboni i vapor d'aigua... hi ha àtoms de dues classes, cada àtom representa diòxid de carboni i vapor d'aigua. Davant en el sucre, igual. (Vicente, 2n Batx)*



En el primer exemple, Carlos considera que la reacció del zinc amb el clorhídric és una dissolució, de forma que veu la interacció entre les dues substàncies com una síntesi, on el producte és la mescla d'àtoms de les substàncies que reaccionen i en el que el gas que s'ha obtingut no compta. Pel contrari, Vicente identifica el procés amb una descomposició i per tant pensa que el sucre és una "substància composta" formada per una mescla d'àtoms distints, tants com substàncies ixen després de la reacció, sense proporció determinada i entenent el que ha passat com una separació dels components que ja hi eren. En qualsevol cas, sembla que els estudiants utilitzen, com diu Resnick, una *primitiva fenomenològica* segons la qual modelitzen el procés que ha tingut lloc davant d'ells atenent al que "veuen", és a dir, allò al que donen més importància de tot el que ha ocorregut mentre observaven.

En la relació entre els nivells de representació macro-micro també es mostren moltes dificultats, com es veurà a continuació. La taula 4.8 ens mostra com la major part dels alumnes que han participat en les entrevistes han fet, en algun moment del discurs, alguna identificació dels nivells de representació macroscòpic i microscòpic.

Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
Dóna als àtoms alguna propietat macro de manera explícita	88'9
No fa cap identificació explícita entre propietats macro i microscòpiques.	11'1

Taula 4.8: Superposició dels nivells de representació macro i micro en les respostes dels estudiants entrevistats

El nombre tan elevat d'estudiants (88'9%) que fa alguna identificació macro-micro al llarg de l'entrevista, pot vindre derivat de considerar que cada substància és el mateix que la seua entitat elemental, siga àtom, molècula o qualsevol partícula i ho fan notar de manera explícita o implícita. Per extensió, en un reduccionisme del món microscòpic al macroscòpic, consideren que les propietats de la substància seran també les propietats de la partícula. A partir d'aquesta identificació serà fàcil trobar, per exemple, que els estudiants utilitzen com sinònims els conceptes "element" i "àtom", "substància" i "partícula" o "àtom" i "àtom compost".

La conseqüència lògica d'identificar la substància amb l'entitat elemental (àtom o partícula) serà transmetre les propietats macroscòpiques de les substàncies a les partícules, de forma que un dels criteris generals emprats pels estudiants per interpretar la conservació o no de les substàncies en el canvi químic serà la conservació d'aquestes propietats. Com exemples d'aquesta superposició dels nivells representacionals macro i micro, s'han registrat els següents:

- a) Identificar un àtom amb un element. En molts casos, els alumnes mesclen els conceptes referents a les observacions fetes en el món real amb els conceptes teòrics necessaris per a les explicacions, usant així el mateix mot per a l'element i l'àtom (Ahtee i Varjola 1998). Conseqüentment amb l'anterior afirmació, la separació de substàncies es veurà com una separació d'àtoms.
- **Prof.** Pots esmentar una cosa que no siga una substància?
Encarna. Una cosa que no siga una substància? O siga un element, l'àtom d'un element. Bé sí, un àtom soles serà un element. (Encarna, 2n Batx)
 - Què és una substància? Substància és qualsevol cosa que es pot tocar. [...] El sucre com és una substància que no és pura, no és un element, s'han separat els àtoms i uns s'han evaporat i el carbó s'ha quedat cremat. Primer ha hagut un canvi físic perquè ha passat a líquid i després a gas i després s'han separat els àtoms. El fum es produeix en el canvi d'estat, quan passa a gas. (Hèctor, 1r Batx)

Encarna contraposa directament el concepte de substància al d'element, mentre Hèctor dóna una explicació prototípica i coherent del procés de descomposició del sucre. Per a ell, el canvi químic és sols un procés físic en el que els àtoms es separen i després, uns s'escapen i altres es cremen. En aquesta apreciació podem veure una superposició macro-micro en la que la separació de substàncies (a les que ell denomina *elements*) és considerada com una separació d'àtoms, que s'identifica amb una separació d'elements. A continuació extrapola les propietats macroscòpiques, com l'evaporació i la capacitat de cremar-se, donant una peculiar explicació microscòpica. Com diuen Kempa i Ward (1988), davant de diferents observables es fixa i tracta d'explicar allò que li sembla més important, en aquest cas la formació de gran quantitat de fum.

En un treball de l'any 1983, Caamaño et al. afirmaven que l'alumnat associava les idees element-àtom i compost-molècula. El present estudi va més enllà de l'esmentada associació en fer notar que, en realitat, els alumnes identifiquen la substància amb l'àtom a partir d'una superposició macro-micro, coherent amb la representació macroscòpica que tenen del món.

b) Els àtoms tenen les mateixes propietats que els objectes macroscòpics, de forma que tindran color, es podran cremar, s'evaporen, etc:

- *Tots els àtoms de carbó seran iguals, però a lo millor hi ha algun que no s'ha cremat tant com els altres, saps el que vull dir? Si es queden tots exactament igual de cremats sí, o siga, teòricament són iguals, però en la pràctica segur que hi ha algú que no, que s'ha quedat a meitat camí.* (Cristina, 2n Batx)

- **Prof:** Pots explicar el que passa en escalfar el sucre?

Selegna: És una reacció, perquè abans era tot blanc i era una substància i ara ja no, ara és sucre cremat. En agafar l'aire que li entra pel tub, l'oxigen ha fet una transformació i han eixit totes negres "churrascaes".

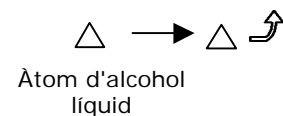


Prof. Vols dir que els àtoms, en cremar-se, també s'han fet negres?

Selegna. Sí, eren blancs i ara són negres. (Selegna, 3r ESO)

- **Prof:** Pots explicar què ha passat amb l'alcohol? On està ara?

Encarna: L'alcohol s'ha evaporat. Continua sent alcohol, però en altre estat, en lloc d'estar líquid està en gas. Dibuixa primer un àtom d'alcohol líquid que després s'evapora... pel contacte amb l'oxigen serà. (Encarna, 2n Batx)



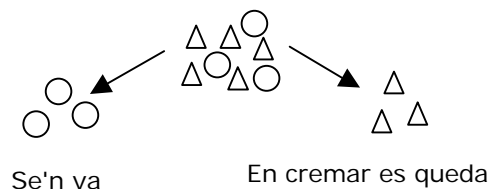
En el primer cas, Cristina considera que els àtoms es cremaran més o menys, de forma semblant al que ha vist que ocorre en una foguera, per exemple, en la que els diferents troncs no es cremen per igual. En el segon text seleccionat, per a Selegna el color de les partícules és el del cos de forma que, si el sucre en cremar-se es fa negre, també ho faran les partícules que el constitueixen, sent així conservativa del color. Per últim, Encarna parla d'un àtom d'alcohol en estat líquid que, en contacte amb l'oxigen s'evapora.

c) També hi haurà interpretacions de caràcter realista ingenu com, per exemple, considerar que els àtoms es poden veure com es veu el propi cos mitjançant un potent microscopi. Aquesta interpretació és coherent amb la idea que l'àtom és una part molt menuda del cos material (ontològicament s'explica així que es done la superposició macro-micro).

- *Com sabria si es tracta o no d'una substància? Mirar a veure si estava composta... amb ajuda d'un microscopi o... no sé... (Carlos, 2n Batx)*

d) Altre exemple el trobaríem en el pensament d'aquells que, a causa del diferent ús que fa el llenguatge quotidià de la paraula substància i de la visió que tenen del món, associen la substància amb una propietat qualitativa no massa específica (color, olor,...), de manera que qualsevol producte portador d'una mateixa qualitat és la mateixa cosa. Aquesta determinació està en contra de la definició operacional de substància com cos amb un conjunt de propietats característiques invariables i oposat al concepte de mescla.

- **Prof:** *Pots explicar què ha passat en escalfar el sucre? Què tenim ara al tub?*
- *Això que hi ha ara fa gust a carbó, però és sucre. Encara que no faça gust dolç és sucre. La part que li dona la dolçor se n'ha anat, però el que queda encara és sucre. Abans el gas estava junt en el sucre, no se n'anava, perquè estava sòlid. [...] El sucre és composta, perquè està formada pels dos. (Antonio, 4t ESO)*



En aquest cas, Antonio considera que el carbó residual al tub no és dolç, per tant, suposa que la dolçor del sucre ha passat al gas que se n'ha anat.

4.1.4. **Conclusions dels resultats obtinguts en l'estudi de les respostes referents als conceptes macro i microscòpic de substància.**

Els resultats obtinguts en les diferents qüestions són coherents amb l'afirmació que fem sobre les deficiències en l'aprenentatge del concepte de substància. Hem pogut veure com en el mapa conceptual (document 1), un 43'3% de l'alumnat identifica els conceptes de material i substància. De forma coherent amb els anteriors resultats, quan se'ls ofereix un seguit de productes per a que indiquen quin o quins d'ells són una substància, consideren que tots són substàncies en uns percentatges prou elevats, amb un 70'5% d'estudiants que identifiquen material i substància. Conseqüentment amb les anteriors respostes, un 84% no sabia que fer per caracteritzar una substància al laboratori.

Pel que fa a l'aspecte microscòpic, un 86'4% dels estudiants no sap que una substància és aquella que té totes les partícules iguals. Hem de ressaltar que aquells que saben, per exemple, quina és la fórmula de l'aigua o del gas carbònic, en general no associen àtoms diferents als distints elements que hi ha en un mateix compost sinó a tota la substància (considerant-la com simple), i quan la consideren composta, estarà formada per una mescla més o menys íntima dels àtoms de les substàncies més simples (per tant, no existeix el concepte de molècula). En altres paraules, **no es plantegen quin és el problema fonamental de la composició macroscòpica de les substàncies: trobar uns pocs elements dels quals estan formades totes les substàncies simples i compostes.**

Amb totes les dades anteriors, a mena de resum podem afirmar que:

- En la visió general, o de "sentit comú", dels alumnes predomina una visió realista ingènua segons la qual la materialitat d'un sistema ve donada per la possibilitat de ser percebut pels nostres sentits (es veu, es toca, etc.).
- De forma semblant a com ocorria en el paradigma aristotèlic, els estudiants es basen en l'observació qualitativa i consideren que tot està mesclat, de manera que classifiquen els materials en homogenis i heterogenis (segons el que veuen), considerant als homogenis com substàncies compostes o mescles més íntimes.
- Consideren que les mescles estan formades per substàncies que al propi temps estarien formades per substàncies més simples o pures que serien els elements químics.
- Una conseqüència important de no tindre clar el concepte macroscòpic de substància és que, conseqüentment, quan se'ls demana com caracteritzar-ne una al laboratori, la major part dels alumnes no saben què respondre, o utilitzen criteris superficials, classificant els materials en base a propietats qualitatives observables no específiques (color, olor, sabor,...), amb la qual cosa no disposen de criteris macroscòpics adients per distingir una substància d'una mescla (Sanmartí 1989; Carretto i Viovy 1994; Llorens 1991; Furió et al. 2000a; Bullejos 2001).
- A nivell microscòpic, no relacionen el concepte de substància amb el fet de tindre totes les partícules iguals. La majoria considera que una substància està formada per moltes partícules, però en fer un dibuix representatiu, ofereixen una mescla dels àtoms corresponents als elements que formen el compost que tracten de representar, sense guardar proporcions ni pensar en molècules, en una idea coherent amb altre problema que tractarem més endavant, com és la identificació entre els conceptes de mescla i compost.
- En general, superposaren les dues visions macroscòpica i microscòpica de substància, parlant de les partícules com si foren fragments diminuts de la substància i es pogueren

veure al microscopi. De forma implícita o explícita, indiquen que cada substància és el mateix que la seua entitat elemental, és a dir, els alumnes identifiquen la substància amb l'àtom a partir d'una superposició macro-micro, coherent amb la representació macroscòpica que tenen del món.

En definitiva, una conclusió important que considerem que es pot extreure de l'anàlisi d'aquestes observacions és que la **idea macroscòpica d'element ha de ser un organitzador previ de la idea microscòpica d'element químic** format per molts àtoms iguals, cosa que pareix molt simple, però ací es comprova que no ho és. Per aquesta raó, és important establir **una relació adequada entre els nivells de representació macro-micro**.

4.2. DIFICULTATS D'APRENTATGE DELS CONCEPTES DE MESCLA I COMPOST (Documents 1, 3 i 6).

En el present apartat exposarem els resultats de l'anàlisi realitzat als dissenys que fan referència a la dificultat dels alumnes per diferenciar entre mescla i compost. Els dissenys utilitzats són els següents:

- Un segon anàlisi del mapa conceptual (document 1), en el que es revisa la part corresponent a la classificació dels conceptes de mescla i compost.
- El document 3, la primera qüestió del qual és referent a l'aspecte macroscòpic dels conceptes de substància i mescla, i en la que han de classificar un seguit de materials en substàncies i mescles. La segona qüestió del mateix document, és relativa a la caracterització microscòpica de les mescles.
- Per últim, la part dedicada a la caracterització dels compostos en les entrevistes (document 6)

4.2.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el mapa (document 1), sobre la relació entre els conceptes de mescla i compost.

En l'anàlisi del mapa realitzat pels estudiants, s'ha efectuat un tercer estudi per tal d'analitzar la relació que fan entre els conceptes de mescla i compost. Per entendre millor com hem portat a terme la correcció, adjuntem el mapa conceptual elaborat per un alumne de 2n de Batxillerat (figura 4.2), com un exemple de resposta incorrecta o identificació (en aquest cas explícita), dels conceptes de mescla i compost. A més a més, en ell s'aprecien els mateixos problemes que ja hem analitzat en apartats anteriors, com són la identificació entre material i substància i la reducció del concepte de substància simple al d'element.

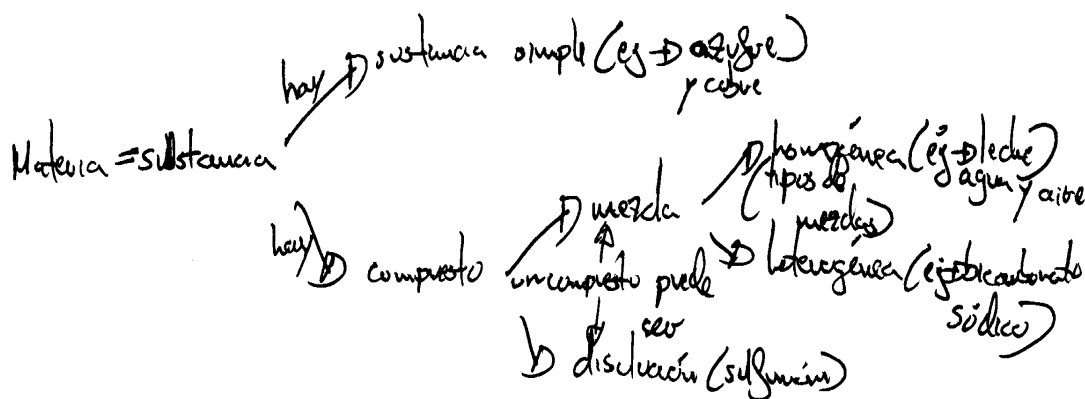


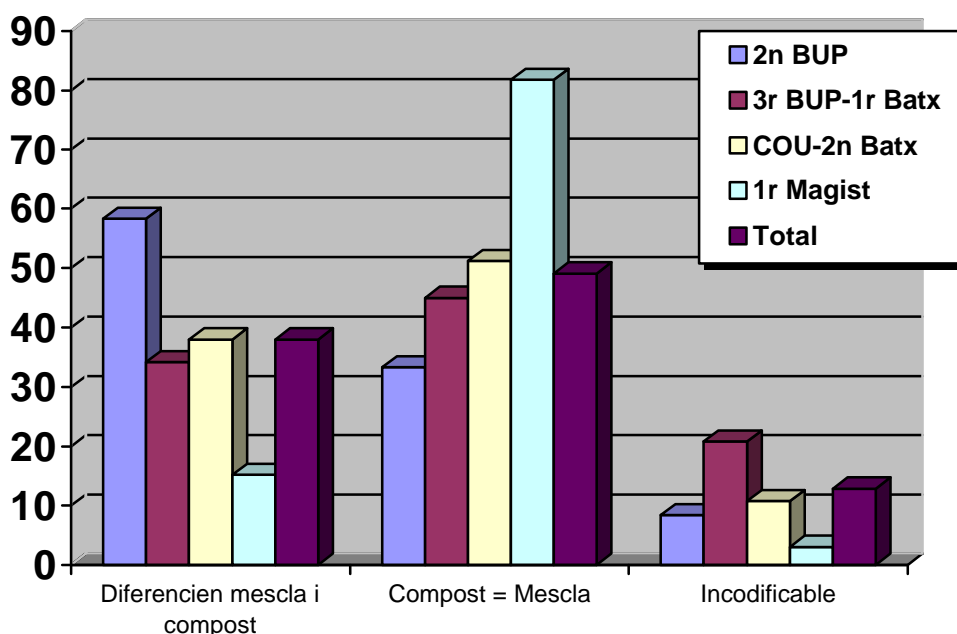
Figura 4.2.- Mapa conceptual d'un alumne de 2n Batxillerat.

Pel que fa a l'aspecte que analitzem en aquest apartat, el mapa explica que hi ha substàncies simples i compostes. A continuació afirma que els compostos poden ésser mescles o dissolucions, és a dir, per aquest alumne, en qualsevol cas, el compost sempre és una mescla.

Els resultats obtinguts en l'anàlisi dels mapes conceptuals s'exposen a continuació a la taula 4.9.

Categoria considerada	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=120) %	COU 2n Batx (N=166) %	1r Mag. (N=33) %	Total (N=379) %
Diferencien entre mescla i compost	58'3	34'2	38'0	15'2	38'0
Deriven la mescla i/o les dissolucions del compost (identificant-los implícitament).	33'3	45'0	51'2	81'8	49'1
Incodificable	8'3	20'8	10'8	3'0	12'9

Taula 4.9.- Percentatge d'estudiants que associen mescla i compost en el mapa conceptual (document 1).



GRÀFICA 4.5. Percentatge d'estudiants que associen mescla i compost en el mapa conceptual (Document 1).

Els resultats de la taula 4.9 mostren les dificultats de l'alumnat per diferenciar entre una mescla i un compost, amb pràcticament la meitat dels alumnes que identifica ambdós conceptes. Aquest fet corrobora l'argumentació que exposàvem a l'apartat anterior sobre la importància de la comprensió del concepte de substància. Si per a ells, matèria i substància té el mateix significat, no li donaran importància al fet que els elements estiguen formant una mescla o que formen part de la mateixa substància quan es tracta d'un compost.

4.2.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el qüestionari (document 3) sobre la diferenciació entre mescla i substància composta.

En el segon disseny del present apartat, analitzarem la primera qüestió del document 3, dirigida a la diferenciació macroscòpica de les substàncies i les mescles, per veure si associen la idea de substància amb la d'element químic.

- 1.- A continuació tens una llista de productes quotidians. Classifica'ls en dues columnes segons penses que són substàncies pures o mescles de diverses substàncies. En el cas de les mescles, indica de quines substàncies creus que estan formades: or, sofre, aire, sulfumant, bicarbonat sòdic, vi, sucre, sal comú, coure i alcohol etílic.

Substàncies	Mescles	Formada per:
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Explica quin criteri has utilitzat per establir la classificació

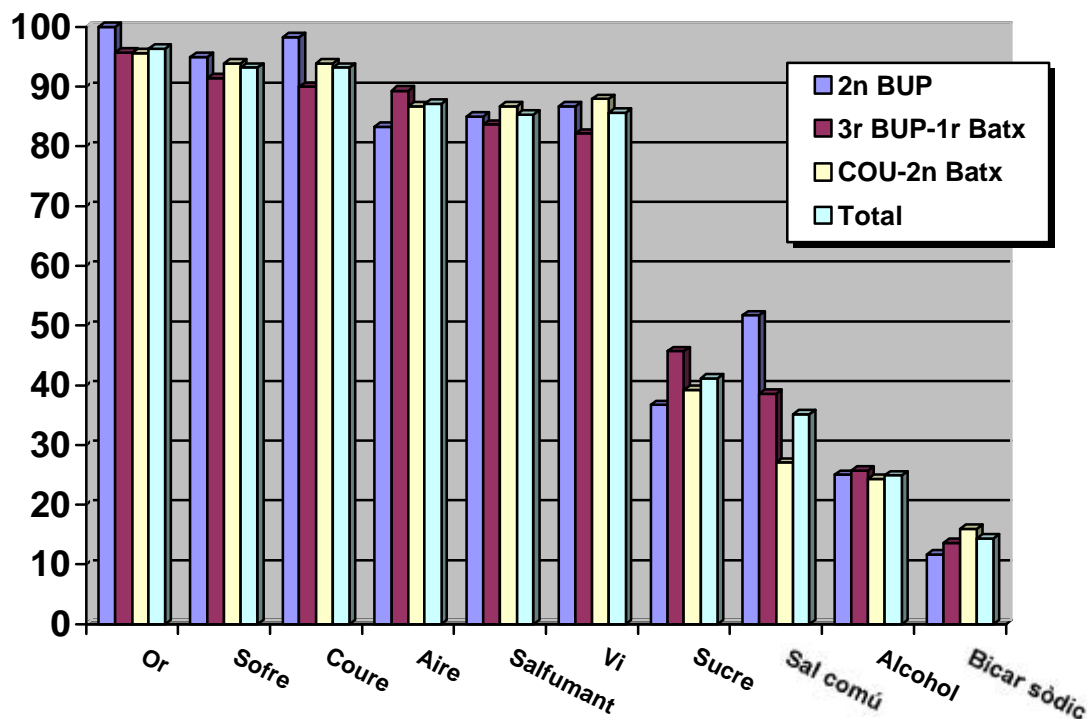
Presentem en primer lloc (taula 4.10) els resultats obtinguts en l'anàlisi de la qüestió:

Aspecte considerat		2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Consideren que són substàncies.	or	100'0	95'7	95'6	96'3
	sofre	95'0	91'4	93'9	93'2
	coure	98'3	90'0	93'9	93'2
Consideren que són mescles.	aire	83'3	89'3	86'7	87'1
	sulfumant	85'0	83'6	86'7	85'3
	vi	86'7	82'1	87'9	85'6
Consideren que són substàncies.	sucre	36'7	45'7	39'2	41'2
	sal comú	51'7	38'6	27'1	35'2
	alcohol etílic	25'0	25'7	24'3	24'9
	bicarbonat sòdic	11'7	13'6	16'0	14'4

Taula 4.10.- Percentatge d'estudiants que identifiquen correctament com substància o mescla cadascun dels materials que es presenten en la qüestió 1 del document 3.

A partir de les respostes obtingudes, hem agrupat els ítems en tres blocs diferents. En els dos primers s'han situat prototips molt corrents de substàncies (els elements: or, sofre i

coure) i mescles (aire, sulfumat i vi). En el tercer grup s'han posat la resta d'ítems, que són compostos amb els que els alumnes estan familiaritzats per l'experiència diària.



GRÀFICA 4.6.- Percentatge de respostes correctes dels diferents grups d'estudiants al classificar com substància o mescla cadascun dels materials presentats.

Com podem apreciar a la taula 4.10 i la gràfica 4.6, els percentatges de respostes correctes per al primer grup són molt elevats (en tots els casos superiors al 90%), mostrant que els estudiants no tenen problemes per classificar-los, resultat que concorda amb els de l'anterior disseny, referent a l'aspecte microscòpic del concepte de substància, en la que consideraven que sols eren substàncies els elements. També són molt elevades les respostes correctes en el segon grup, superiors en tots els casos al 82%. El problema es presenta en els quatre compostos restants, dels que una majoria d'estudiants considera que són mescles. Les explicacions que ofereixen fan patent la confusió que mantenen entre mescla i compost, com s'aprecia en les respostes que es mostren a continuació. Aquests alumnes han classificat correctament els dos primers grups, però s'han equivocat en l'últim.

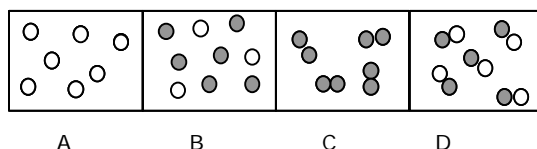
- Les mescles són substàncies compostes que es formen a partir de dos o més substàncies comuns i les substàncies pures són substàncies que no són mesclades. (2n Batx)
- Les mescles són compostos formats per dos o més elements o àtoms distints. Les pures formades per un element. (3r BUP)

Hem escollit una resposta que dóna una explicació macroscòpica i l'altra microscòpica, però en els dos casos s'aprecia com identifiquen els dos conceptes de forma explícita.

Per explicar les dificultats de classificació de l'últim grup (sucre i sal, alcohol i bicarbonat sòdic), suposem que es poden deure a dues causes: pel que fa al sucre i la sal, són productes que proporciona la pròpia natura i, de forma similar a com han contestat les qüestions anteriors, consideren que són mesclades d'altres coses més simples. En el cas del bicarbonat i l'alcohol, els consideren productes de laboratori i, seguint un raonament de "sentit comú", es recolzen en la fórmula (que consta de dues paraules en els dos casos), en compte de fer-ho en la pròpia definició de substància. En ambdós casos hi ha un percentatge molt elevat d'alumnes que consideren que es tracta de mesclades, sent en el cas dels compostos químics dels quals es dóna el nom, on el percentatge de respostes errònies és major, amb més d'un 75% de les respostes que consideren que es tracta de mesclades.

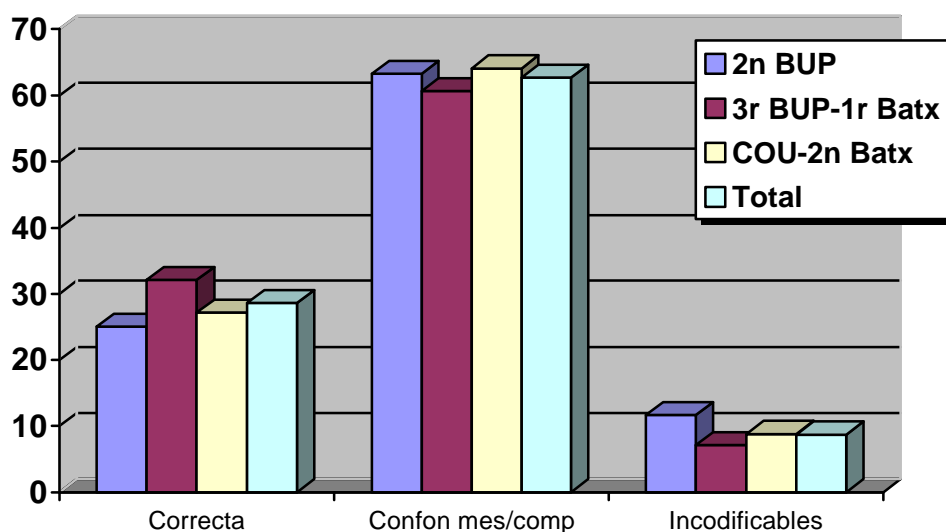
Per últim, per conèixer el pensament de l'alumnat respecte de la caracterització microscòpica de les mesclades i els compostos, s'ha utilitzat la segona qüestió del mateix document 3:

2.-Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una *mescla*. Justifica la teua resposta _____



Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx (N=181) %	Total (N=381) %
Resposta correcta	25'0	32'1	27'1	28'6
Identifiquen mescla i compost	63'3	60'7	64'1	62'7
Incodificables	11'7	7'1	8'8	8'7

Taula 4.11.- Percentatge d'alumnes que identifiquen una mescla amb un compost a nivell microscòpic.



GRÀFICA 4.7. - Percentatge d'alumnes que identifiquen una mescla amb un compost a nivell microscòpic (taula 4.11).

L'anàlisi dels resultats exposats a la taula 4.11 mostra que, en aquest cas, ens trobem amb més d'un 60% d'alumnes que identifiquen mescla i compost. Es pot apreciar com no hi ha diferències significatives entre diferents grups, malgrat que els alumnes de COU han fet més cursos de Química que la resta. Igual que en casos anteriors, les explicacions que donen deixen clar que no és un error casual sinó que són conscients del que estan afirmant quan diuen que hi ha una mescla en:

- *B i D perquè estan formats per àtoms diferents (vol dir partícules), ja siguin simples o compostos.*
- *B i D perquè estan formats per àtoms blancs i negres, cosa que me diu que cadascú té una composició i tots junts formen una mescla.*
- *B són àtoms solts i en la caixa hi ha mescla d'àtoms diferents. En D són partícules diatòmiques formades per àtoms de diferents elements, són mescles.*

És interessant fixar l'atenció en el primer dels exemples en el que parla d'àtoms simples o compostos per referir-se a les molècules, en un llenguatge similar al que usà Dalton quan publicà la teoria atòmica. La segona resposta fa referència en els dos casos a la composició, és a dir, que aquest alumne considera que les mescles tenen una composició, igual que els compostos. Per últim, el tercer exemple descriu el pensament de l'estudiant a nivell microscòpic, mostrant explícitament com identifica la *mescla d'àtoms diferents de la caixa B* amb les *partícules diatòmiques* de la caixa D.

4.2.3. Anàlisi dels resultats obtinguts en les entrevistes (document 6), respecte de la identificació macro i microscòpica entre mescla i compost.

A continuació, analitzarem les respostes que ens han donat en les entrevistes (document 6) respecte dels conceptes de mescla i compost. Recordarem que, al llarg de l'entrevista, es realitzaven tres experiències (dos processos químics i un canvi físic), que l'alumne havia d'explicar. A partir d'aquestes explicacions, hem tret els resultats que s'ofereixen a continuació, sense fer diferents classificacions per als diferents fenòmens, sinó que únicament s'ha tingut en compte que en alguna de les explicacions l'alumne fera la identificació entre mescla i compost. Si bé és cert que no tots els alumnes han repetit la identificació en totes les experiències, també ho és que la major part d'ells ho ha fet en diversos moments del seu discurs.

Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
Identifica explícitament mescla i compost	71'1
Diferència correctament entre mescla i compost	17'8
Altres	11'1

Taula 4.12: Percentatge de respostes sobre la identificació i diferenciació dels conceptes de mescla i compost en l'experiència de la descomposició tèrmica del sucre

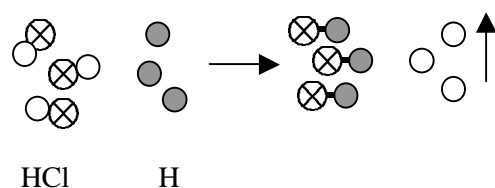
En l'anàlisi de les entrevistes hem pogut constatar que, una gran majoria d'alumnes consideren que una substància és una barreja "d'àtoms simples o compostos", sense proporció ni composició fixa. Des d'aquest punt de vista, si totes les coses són substàncies formades per la mescla d'altres coses més elementals (els elements), no trobaran cap diferència entre els conceptes de *mescla* i *compost*. El raonament que fan és que en els dos casos hi ha més d'un element i, com no estan acostumats a relacionar adequadament els aspectes macro i microscòpic, els resulta irrellevant saber si les partícules són iguals o no i si estan, o no, unides formant un compost. Algunes de les respostes que ens ofereixen al llarg de les entrevistes reflecteixen aquesta forma de pensament:

- 1 ...El sucre s'està cremant, dins tenim sucre pur,... no ho sé,... sucre cremat, està un poc
- 2 socarrat. Una substància que té el sucre s'ha evaporat. Serà una barreja de substàncies i el
- 3 que tinga el punt de fusió més baix serà el que s'ha evaporat i ha passat a gas i el carbó serà
- 4 que una de les coses que forma el sucre és carbó. Aleshores el sucre serà compost, perquè
- 5 està format de diverses coses i una d'elles és el carbó. (Andrea, COU)

Andrea dona una resposta prototípica de la identificació entre mescla i compost quan afirma que el sucre és una barreja de substàncies, de la que se separa la que té el punt de fusió més baix. Per aquesta alumna, la separació dels components d'un compost és equivalent a la separació de les substàncies que conformen una mescla. En l'últim paràgraf (línia 4) ho diu més explícitament quan afirma que el sucre és un compost, després d'haver dit al principi que el sucre era una barreja de substàncies.

Pel contrari, sols un 17'8% d'alumnes estableix una diferenciació correcta entre els conceptes de mescla i compost, com ocorre en el cas que transcrivim a continuació:

- Jacob:** Ha hagut una reacció entre l'àcid clorhídric i el zinc... el gas ha eixit quan has trencat l'enllaç... s'han trencat els enllaços... el zinc s'ha transformat... en clorur de zinc o alguna cosa pareguda.
Prof: però continua estant ahí?
Jacob: l'element sí, però el que hi havia ja no... ara estarà en altres... s'haurà ajuntat en altre àtom (Jacob, COU)



A més d'establir una diferenciació correcta entre el compost i la mescla, Jacob, dona una explicació satisfactòria de la conservació de l'element en la reacció química, explicant la formació de les noves substàncies a partir d'una reorganització dels elements que hi participen.

4.2.4. Conclusions dels resultats obtinguts referents a la identificació entre mescla i compost

A mena de resum d'aquest apartat, ressenyarem que el mapa conceptual (document 1) ofereix resultats molt elevats, amb quasi la meitat dels estudiants (49'1%), que posen en la mateixa branca els conceptes de mescla i compost.

En la qüestió on es demana que classifiquen alguns productes quotidians com substàncies o mescles, hem pogut apreciar que la major part dels alumnes considera que són mescles un grup de substàncies compostes molt conegudes i utilitzades al laboratori. La causa pot ser no fer-ne ús de la definició macroscòpica del concepte de substància per classificar els materials. També a nivell microscòpic es produeix la confusió entre mescla i compost, amb un 71'1% d'alumnes que no diferencia ambdós conceptes. En resum, podem afirmar que els

estudiants, en general, tenen greus dificultats per diferenciar entre mescla i compost. Més concretament:

- La major part d'estudiants considerarà que el terme compost és sinònim o més general que el de mescla, quan des del punt de vista químic no té aquest significat.
- Des del punt de vista microscòpic, consideraran que un compost és qualsevol cosa formada per més d'un tipus d'àtoms i, en conseqüència, no els diferenciaran de les mescles.
- La darrera conseqüència que exposem és que la manca de diferenciació entre mescla i compost deriva de la no comprensió del concepte de substància. Si els estudiants no saben definir macroscòpicament una substància, davant d'un material determinat no tindran criteris per saber si hi ha una substància o més d'una, per tant, no podran diferenciar entre mescla (més d'una substància) i compost (una única substància) (Sanmartí 1989). En aquest sentit no serà difícil trobar que els adolescents consideren les dissolucions com exemples de compost, com va ocórrer històricament en el cas de Berthollet (Bensaude-Vincent i Stengers 1997)

Considerem doncs, que aquests resultats avalen la nostra hipòtesi, com també considerem confirmacions externes del que estem estudiant els resultats obtinguts en el treball de Valdez et al (1998), en el que ha mostrat que un percentatge molt elevat (70%) d'estudiants mexicans de Batxillerat opina que, en dissoldre una substància en aigua (com sucre, sal comú, etc.), s'obté un compost. En aquest treball, els alumnes consideren que es conserva el sabor, malgrat fer al lusió, paradoxalment, a l'augment de volum. Per tant, són conservatius de la propietat qualitativa observable.

4.3. DIFICULTATS D'APRENTATGE EN LA DIFERENCIACIÓ ENTRE SUBSTÀNCIA (PURA) I ELEMENT QUÍMIC (Documents 1 i 4).

Exposarem a continuació els resultats obtinguts en aplicar els dissenys que tenen per finalitat mostrar la identificació que fan els estudiants, a nivell microscòpic, entre els conceptes de substància (pura) i element químic. Es tracta de tres instruments, que detallem a continuació:

- Anàlisi de les respostes donades en el mapa conceptual (document 1) en la part que hi fa referència.

- Una segona lectura de la qüestió 1 del document 3, relativa a la caracterització macroscòpica de les substàncies.
- L'única qüestió del document 4, referida al concepte microscòpic de substància simple.

4.3.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el mapa conceptual (document 1) sobre la relació entre substància i element.

Començarem analitzant el mapa conceptual per veure on han col·locat les paraules sofre, coure, aigua i bicarbonat sòdic. Segons la hipòtesi que defensem, els estudiants les separaran, connectant sofre i coure amb la paraula substància, mentre aigua i bicarbonat estaran en altres llocs.

A mena d'exemple, incloem el mapa conceptual elaborat per un alumne de 2n de Batxillerat.

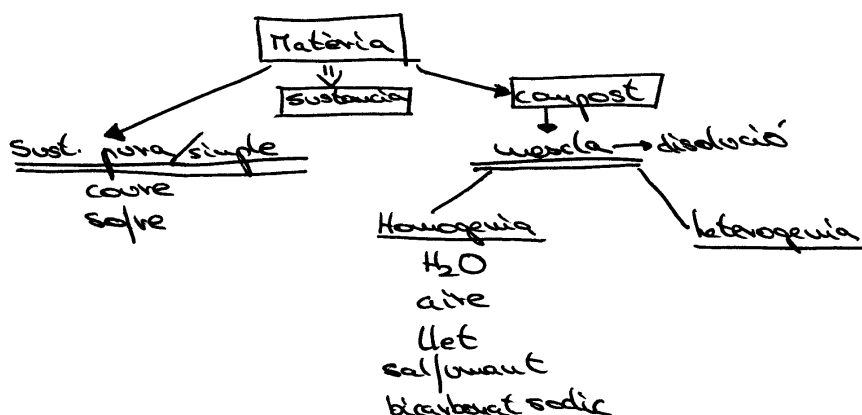


Figura 4.3.- Exemple de mapa elaborat per un alumne de 2n de Batxillerat.

En la figura 4.3 es pot apreciar com l'estudiant divideix la matèria en substància pura/simple i compost, en una divisió que indica que considera el concepte de matèria sinònim de substància. Aquesta idea ve recolzada per la situació de la paraula substància, directament dependent de matèria i sense relacionar-se en cap altra paraula. També estan identificats els conceptes de mescla i compost, sent considerat aquest més incloent que la pròpia mescla. Per últim, referent a l'aspecte que ens ocupa en aquest apartat, podem veure

com en la classificació inicial escriu substància pura/simple i d'ella deriva el coure i el sofre, excloent l'aigua i el bicarbonat, als que classifica com mescles.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=120) %	COU 2n Batx (N=166) %	1r Mag (N=33) %	Total (N=379) %
Són substàncies sofre i/o coure, mentre no ho són (estan en una rama distinta) aigua i/o bicarbonat sòdic.	20'0	15'0	24'1	--	18'5

Taula 4.13. - Resultats que es poden extraure del mapa conceptual i què fan referència a la identificació entre substància i element.

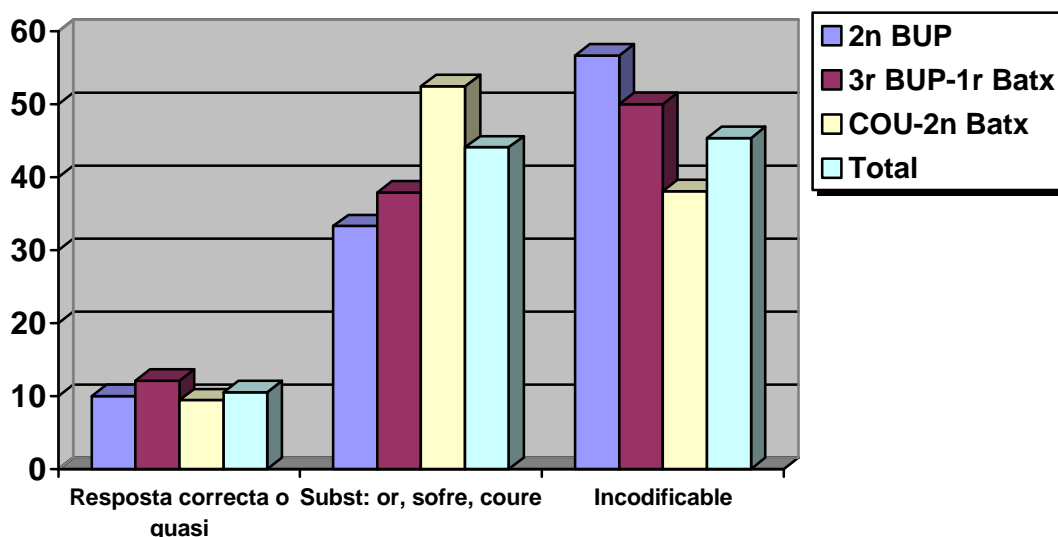
Els resultats obtinguts a partir d'aquest estudi sols podem considerar-los com indicatius d'una tendència, perquè són diferents en cada alumne i depenen de les respostes donades als apartats anteriors, per tant, no podem establir classificacions concloents. De fet, únicament un 18'5% de l'alumnat estableix aquesta classificació malgrat que podem afirmar que, per a aquest grup d'alumnes, únicament són substàncies les substàncies simples.

4.3.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la identificació macroscòpica de les substàncies (doc. 3).

En aquest apartat farem menció als resultats obtinguts en la qüestió 1 del document 3, en la que es demana classificar alguns productes en substàncies i mescles. Aquesta qüestió ens ha permès un estudi dual. D'una banda, s'ha pogut establir classificació individual per a cada resposta, cosa que férem a l'apartat anterior, on s'analitzava la identificació entre mescla i compost. En segon lloc ens permet obtindre una visió de conjunt, segons la qual podem esbrinar les idees generals de l'alumnat al voltant del concepte de substància, al temps que veurem si associen aquesta idea amb la d'element químic. Aquest és l'estudi que presenta, tot seguit, la taula 4.14.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Resposta correcta o quasi correcta	10'0	12'1	9'4	10'5
Són substàncies or, sofre i coure i la resta, mescles	33'3	37'9	52'5	44'1
Incodificables	56'7	50'0	38'1	45'4

Taula 4.14.- Estudi comparatiu de les respostes de l'alumnat a la classificació de diversos productes en substàncies i mescles. (Qüestió 1, document 3)



GRÀFICA 4.8.- Estudi comparatiu de les respostes de l'alumnat a la classificació de diversos productes en substàncies i mescles (taula 4.14)

El primer aspecte del que cal fer menció, com en apartats anteriors, és la poca quantitat d'alumnes que dona una resposta correcta a la qüestió. De fet, i posant-nos en la situació més desfavorable per a la investigació, hem comptabilitzat en el mateix apartat les respostes d'aquells que han donat la resposta correcta i els que han considerat que eren substàncies l'or, sofre, coure, sucre i sal, mentre la resta eren mescles. També és apreciable l'elevat percentatge de respostes incodificables, factor que podem explicar basant-nos en què, la identificació que fan entre mescla i compost (com veurem tot seguit), influeix notablement en les respostes errònies.

Altres punts interessants a ressenyar és l'elevat percentatge (44'1%) d'alumnes que consideren que són substàncies únicament or, sofre i coure, mentre la resta són mesclades. Algunes de les raons que addueixen per fer aquesta classificació, i que abunden més en la nostra hipòtesi són:

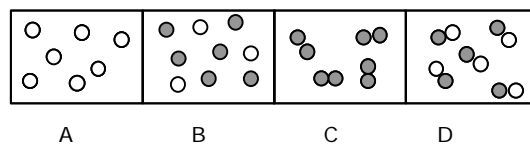
- *Si estan a la taula periòdica són substàncies (2n BUP)*
- *Les substàncies pures són aquelles formades per àtoms de la mateixa espècie (3r BUP)*
- *Les substàncies pures són elements i les mesclades són compostos (COU)*

Com podem apreciar, les respostes van en el sentit d'afirmar que sols són substàncies les substàncies simples que, a més, són els elements de la taula periòdica.

4.3.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la identificació microscòpica de les substàncies (document 4)

Per tractar del reconeixement microscòpic d'una substància simple, utilitzarem l'única qüestió del document 4, que s'exposa a continuació.

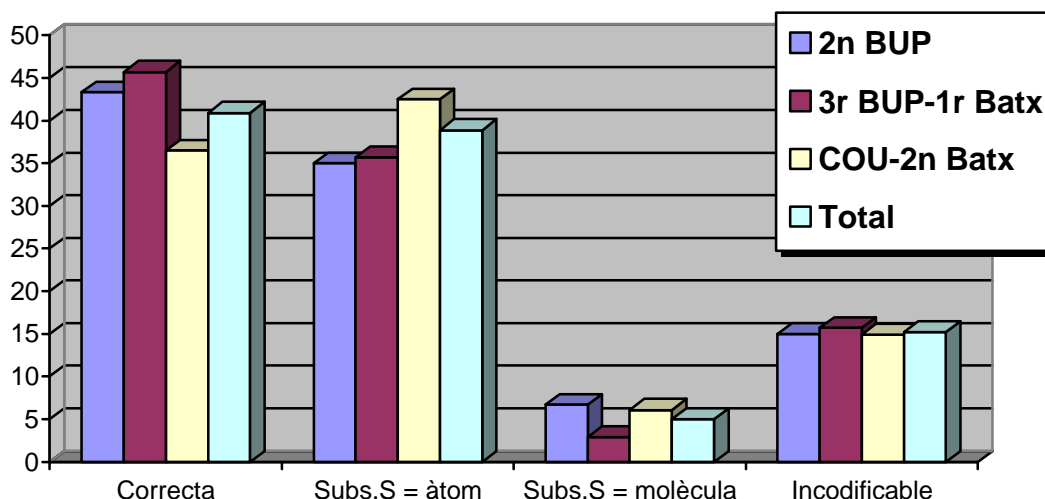
- 1.-Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una *substància simple*. Justifica la teua resposta. _____



L'anàlisi de les respostes dels estudiants ens porta a la següent classificació:

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Resposta correcta	43'3	45'7	36'5	40'9
Identifiquen substància simple amb àtoms aïllats	35'0	35'7	42'5	38'9
Identifiquen substància simple amb molècules, i no accepten que estiga formada per àtoms lliures.	6'7	2'9	6'1	5'0
Incodificables	15'0	15'7	14'9	15'2

Taula 4.15.- Estudi de les respostes dels estudiants referents al concepte de substància simple a nivell microscòpic (document 4)



GRÀFICA 4.9.- Estadística de les identifikacions més freqüents dels estudiants de Secundària respecte del concepte microscòpic de substància simple (taula 4.15)

De l'anàlisi de respostes s'observa que un 38'9% de l'alumnat entén que les substàncies simples són els àtoms, és a dir, els elements. Si en el seu esquema mental, *substància pura* significa element químic, era d'esperar que, en demanar-los que caracteritzaren una substància simple, la identifiquessin amb els àtoms aïllats. Algunes de les respostes que donen per justificar aquesta elecció són:

- perquè són àtoms iguals i no estan units (1r Batx)
- perquè està formada sols per un element (2n Batx)

4.3.4. Conclusions dels resultats obtinguts respecte de les dificultats d'aprenentatge sobre la relació entre substància (pura) i element químic.

A mena de resum del present apartat, recordarem que hem treballat amb dos instruments diferents, que han validat les hipòtesis de les que partíem. En primer lloc, en el mapa (document 1), hem mostrat que, en un 18'5% de les respostes, la paraula substància està unida a sofre i coure, però es troba en rames diferents de l'aigua i el bicarbonat. D'altra banda, les respostes a la qüestió 1 del document 3 mostren com més d'un 40% dels alumnes de tots els grups consideren que sols són substàncies l'or, sofre i coure, mentre el sucre, la sal, l'alcohol etílic i el bicarbonat sòdic no ho són. Per últim, l'anàlisi de la qüestió 2 del mateix document mostra com el 38'9% de l'alumnat considera que les substàncies simples són els àtoms.

En definitiva, considerem que els anàlisis anteriors mostren que un gran percentatge d'alumnes tenen dificultats per comprendre el concepte de substància, donant-li un significat molt general i ambigu (sinònim de material) i diferenciant-lo clarament del que li donen a substància pura, concepte que consideren sinònim d'element químic. Així, les respostes van en el sentit d'afirmar que sols són substàncies les substàncies simples que, a més, són els elements de la taula periòdica. Més concretament, podem resumir les conseqüències extretes en els següents punts, que confirmen la hipòtesi que proposem en el present treball:

- Els estudiants afirmaran que les substàncies "pures" (sense mescla) són els elements químics (afirmació que s'aproxima d'alguna manera al concepte d'element aristotèlic, però amb la diferència que els alumnes li donen existència real, mentre els elements aristotèlics eren metafísics).
- No reconeixeran microscòpicament una substància com aquella formada per moltíssimes partícules totes iguals. Pel contrari, suposaran que les substàncies simples són els àtoms, és a dir, els elements. En concret, per caracteritzar una substància simple la identificaran amb els àtoms aïllats.
- El mateix ensenyament reforçarà la idea que les substàncies "pures" són els elements en presentar en el perfil microscòpic els elements químics com un sistema material format per una classe d'àtoms iguals, però aïllats. En conseqüència, les molècules, en tant que partícules complexes (d'àtoms iguals o diferents), s'associaran amb els compostos o les mescles (Caamaño et al. 1983).

- Com que normalment es presenta el perfil microscòpic dels elements químics com un sistema material format per una classe d'àtoms iguals i aïllats, els estudiants no assimilaran que un mateix element pot donar lloc a diferents substàncies simples. En aquest sentit, quan oferisquen exemples d'elements sempre dibuixaran els àtoms aïllats i no els relacionaran amb la idea de molècula. Una dificultat semblant es va donar amb la segona hipòtesi d'Avogadro, que deia que les substàncies simples gasoses podien estar formades per molècules poliatòmiques. La hipòtesi dels gasos diatòmics, malgrat oferir una explicació a les experiències de Gay-Lussac, no fou acceptada pels químics de l'època perquè, en el marc de la teoria electroquímica de Berzelius, totes les combinacions s'explicaven per atraccions entre càrregues elèctriques oposades, factor que no tenia explicació en el cas de dos àtoms iguals.

4.4. DIFICULTATS D'APRENTATGE EN LA DIFERENCIACIÓ ENTRE CANVI FÍSIC I PROCÉS QUÍMIC (Documents 5 i 6).

Per analitzar les dificultats de l'alumnat entorn a la comprensió de les diferències entre canvi físic i procés químic s'han utilitzat dos dissenys diferents, que es descriuen a continuació:

- Un qüestionari (document 5), format per tres qüestions, que fan referència a les dificultats que tindrà l'alumnat per distingir quan ha tingut lloc un procés químic o quan s'ha produït un canvi físic.
- Una entrevista (document 6), en la que els alumnes han d'explicar el que ocorre a la vista de diverses experiències de laboratori que es realitzen davant d'ells, al temps que fan un dibuix que ho represente microscòpicament.

4.4.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a mostrar que els alumnes no diferencien macroscòpicament entre canvi físic i procés químic (document 5).

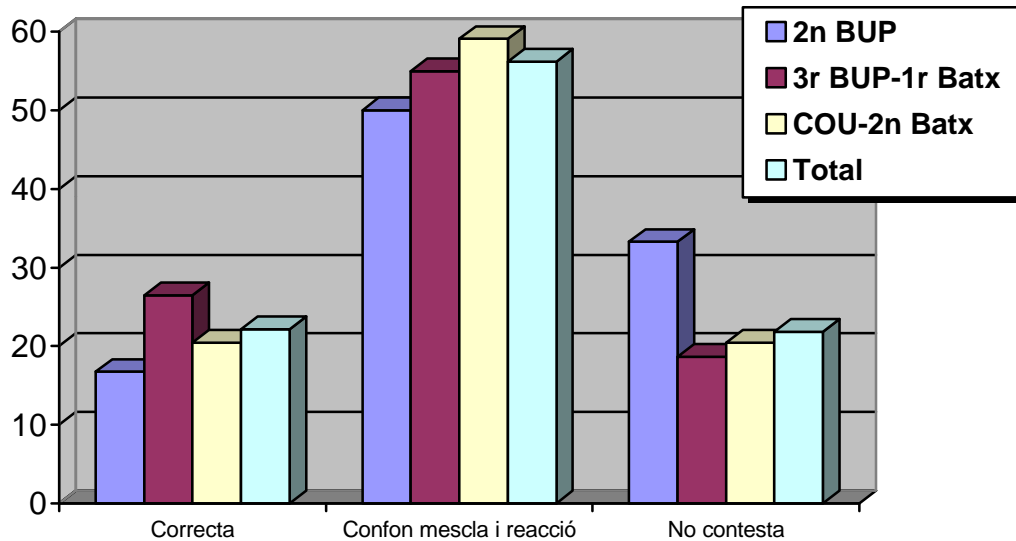
A continuació exposarem els resultats obtinguts en analitzar les respostes a les tres qüestions del document 5, que es detallaran tot seguit. Partint de la base que una reacció química és un canvi substancial en el que es formen noves substàncies, amb propietats diferents de les de partida, haurem d'enllaçar la possibilitat de donar una resposta correcta a aquestes qüestions amb la comprensió del concepte de substància (oposat al de mescla), que es pot reconèixer per unes propietats característiques. Començarem per exposar els resultats de la qüestió 1, que diu el següent:

- 1.- L'aigua és una substància que es pot descompondre per electròlisi en oxigen i hidrogen. Si en descompondre-la, repleguem els gasos al mateix recipient, passat un temps:
- Els dos gasos seguiran junts sense que passe res.
 - Tornarà a formar-se aigua líquida quan es refreden els gasos
 - No ho se
- Explica per què has escollit aquesta resposta _____

La qüestió planteja la possibilitat que els gasos procedents de la descomposició de l'aigua tornen a formar aigua líquida una vegada es refreden, és a dir, l'anàlisi de la mateixa ens permetrà veure si l'alumnat considera que la mescla dels gasos hidrogen i oxigen és el mateix que la reacció química entre els dos.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Resposta correcta	16'7	26'4	20'4	22'1
Confonen mescla amb reacció química	50'0	55'0	59'1	56'2
No contesten	33'3	18'6	20'4	21'8

Taula 4.16.- Percentatge de respostes referents a la diferència entre la mescla d'O₂ i H₂ o la reacció entre ells (Q1, Document 5).



GRÀFICA 4.10. - Percentatge de les respostes a la qüestió 1 (Document 5) referents a la diferència entre la mescla d'O₂ i H₂ i la reacció entre ells.

Una vegada més, el primer resultat que hem de mencionar és que, un percentatge del 80%, contesta en forma incorrecta o no contesta. A més, torna a fer-se patent que els resultats són similars en tots els casos. Altre aspecte important és que, fins i tot alumnes que han escollit l'opció correcta, mostren el seu desconeixement en les explicacions posteriors (malgrat que hem considerat aquestes respostes com correctes, per posar-nos en el cas més desfavorable a la investigació):

- *Perquè en l'aire els gasos estan junts i no passa res, però quan es refreden passen a fer-se aigua i per això plou. (1r Batx)*
- *Perquè per a que es converteixen altra vegada en aigua cal congelar-los. (2n BUP)*

L'últim aspecte que volem destacar és la forma en què l'alumnat barreja els processos físics i químics, utilitzant-los indistintament, com si es tractara de fenòmens similars, com podem comprovar en les següents respostes:

- *Perquè en bullir l'aigua es forma el vapor que és un gas que en refredar-se torna a convertir-se en aigua. (COU)*
- *La resposta és la b (tornarà a formar-se aigua líquida quan es refreden els gasos) perquè l'oxigen necessita formar un enllaç covalent amb l'hidrogen per a ser estable i a més, si no s'ajuntaren, com podria haver-se format aigua a la Terra? (COU)*

Passem tot seguit a efectuar l'anàlisi de la segona qüestió del mateix document 5, en la que els estudiants han de reconèixer que ha tingut lloc una reacció química entre el coure i l'oxigen de l'aire, i s'ha produït un compost nou.

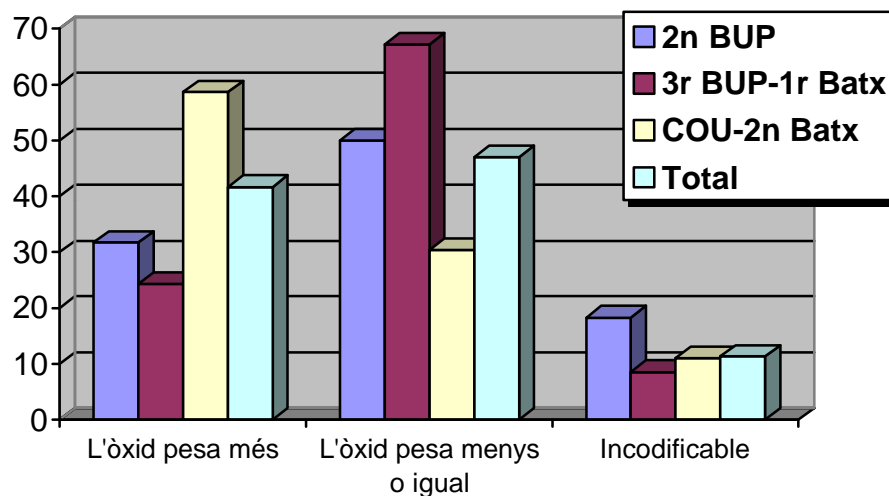
- 2.- Una làmina roja de coure que pesa 5 g s'escalfa fortament una estona fins que es recobreix d'un producte de color verd, que es reconeix com òxid de coure. Quant creus que pesarà el producte obtingut?
- a) 5 grams
 b) més de 5 grams
 c) menys de 5 grams
 d) no ho sé.
- Explica per què has escollit aquesta resposta _____

La qüestió aprofundeix en tot el que s'ha començat a veure en l'anterior pregunta. En aquella es posava l'accent en que no és suficient la mescla dels reactius per a que es produísca la reacció, mentre en aquesta, cal tindre en compte que el coure ha de combinar-se amb l'oxigen de l'aire per oxidar-se i produir la reacció, motiu pel qual la làmina de coure resultant ha de pesar més que un sol dels reactius.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
L'òxid pesa més que el coure (*)	31'7	24'3	58'6	41'7
L'òxid pesa igual o menys que el coure	50'0	67'1	30'4	47'0
Incodificable	18'3	8'6	11'1	11'3

(*) Resposta correcta

Taula 4.17. - Percentatge de respostes a la qüestió sobre el pes d'una làmina de coure (Q2, doc. 5).



GRÀFICA 4.11. - Respostes dels alumnes referents al reconeixement o no d'una reacció química en l'oxidació del coure (Taula 4.17).

En primer lloc és important destacar que sols responen correctament un 41'7%, és a dir, hi ha un percentatge molt elevat d'estudiants que no s'adonen que en la reacció química intervé l'oxigen de l'aire i per tant, no consideren l'augment de pes. A més, corroborant la tesi d'Hernández (1997), són molts els que afirmen que els gasos no pesen:

- *Perquè continua sent la mateixa substància amb oxigen. I l'oxigen no pesa res.* (2n BUP)

Igual que en el cas anterior, alguns dels adolescents que escullen l'opció correcta confonen la mescla de substàncies amb la reacció química entre elles, com s'aprecia a partir de les explicacions que ofereixen (malgrat això, a efectes de percentatges els hem comptabilitzat en el grup de la resposta correcta). Així, per exemple, diuen:

- *Perquè si abans era coure i ara el coure s'ha mesclat amb l'oxigen per donar òxid de coure, el coure no canvia però es mescla altre element i aquest també ha de pesar alguna cosa.*

També són nombrosos els que identifiquen el procés com una reacció química, però responen que la làmina pesarà igual que el coure que teníem inicialment, perquè en una reacció química s'ha d'acomplir la llei de conservació de la massa:

- *Perquè la matèria no es crea ni es destrueix, sols es transforma. L'òxid no pot aparèixer del no res, és una part del coure canviada.* (1r Batx)
- *Crec que pesa 5 grams perquè s'ha produït una reacció química, desapareix una cosa i apareix un altra, per això ha de pesar igual.* (2n Batx)

- *Perquè ha reaccionat, però crec que es conserva, per la llei de conservació de la massa.* (COU)

Com hem indicat abans, hem considerat aquestes respostes correctes a efectes de percentatges, però no podem deixar d'esmentar que, la primera fa referència a una mena de transmutació, en la que *"una part del coure està canviada"*, mentre la segona i la tercera recorden de memòria el que han sentit a classe, però no apliquen pràcticament allò que ells mateixa estan explicitant.

Per últim, analitzarem la qüestió 3 (document 5), en la que dues substàncies simples reaccionen, formant un producte nou.

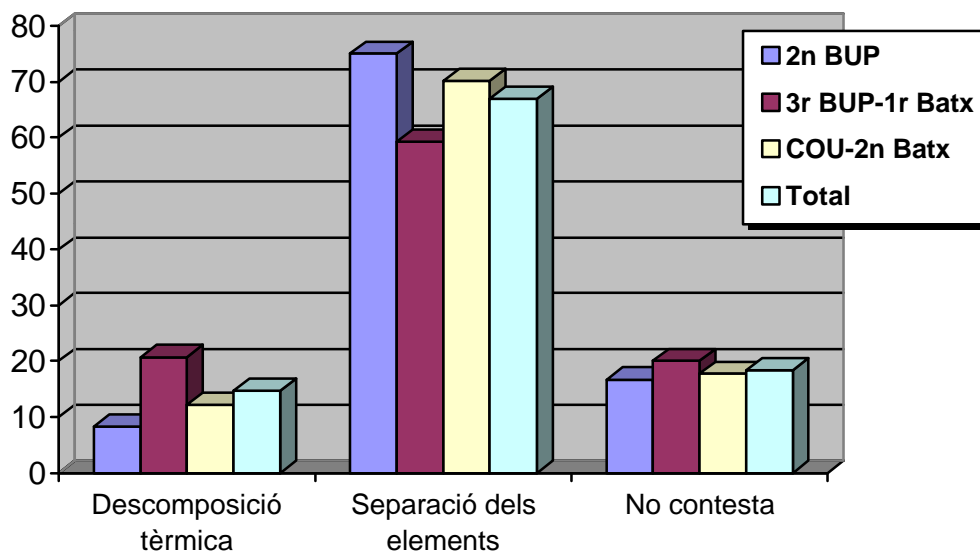
- 3.- Al laboratori, posem en un recipient un poc de ferro en pols amb un poc de sofre, també en pols. Si ho escalfem obtenim un sòlid negre, el sulfur de ferro. Com creus tu que podríem fer per separar, en el sòlid negre que hem obtingut, el ferro del sofre?
- Amb un imant ben potent podria separar-se el ferro
 - Dissolvent el sofre amb un dissolvent, i després separant per filtració
 - Escalfant fortament el sulfur de ferro fins que es descomponga
 - No ho se
- Explica el perquè de la teua resposta _____

L'objectiu en aquest cas és veure si utilitzen el concepte macroscòpic de substància com cos amb propietats característiques específiques i tenen en compte que, el compost format, en aquest cas el sulfur de ferro, ja no tindrà les propietats de les dues substàncies de partida.

Categories de resposta	2n BUP (N=60) %	3r BUP 1r Batx (N=140) %	COU 2n Batx. (N=181) %	Total (N=381) %
Descomposició tèrmica (*)	8'3	20'7	12'2	14'7
Separació física dels elements combinats en el compost	75'0	59'3	70'2	66'9
No contesten	16'7	20'0	17'7	18'4

(*) Resposta correcta

Taula 4.18.- Respostes a la qüestió referent a la separació dels elements d'un compost com reacció química (Q3, doc. 5).



GRÀFICA 4.12.- Gràfica que mostra l'anàlisi percentual de respostes a la qüestió referent a la separació dels components d'un compost (taula 4.18).

És de destacar la coherència de les respostes en tots els cursos, on una gran majoria d'alumnes considera correctes les respostes que pressuposen que els components d'un compost es poden separar per mètodes físics, donant a més, explicacions en les que mostren que no aprecien la diferència entre un canvi físic i un procés químic o bé, que no comprenen que un compost ja no és el mateix que la mescla dels reactius de què procedeix. Oferim a mena d'exemple algunes de les respostes:

- *Perquè el ferro al ser un metall es quedaria a l'imant mentre el sofre no es mouria.* (2n BUP)
- *Perquè el ferro és una substància difícil de dissoldre i si dissolem el sofre ens quedarà el pols de ferro que podem obtenir per filtració.* (2n Batx)

Com en qüestions anteriors, també hi ha casos en els que aquells que responen l'opció correcta donen a continuació explicacions que indiquen que, per a ells, no hi ha diferència entre canvi físic i procés químic, com tampoc n'hi ha entre compost i mescla (aquestes respostes s'han comptabilitzat com correctes per als percentatges):

- *La resposta correcta és la c, perquè si és sòlid serà una massa uniforme que no es podrà separar amb un imant, però si escalfes el sulfur de ferro fins que es descomponga, tindràs la substància líquida i amb un imant podràs separar.* (COU)
- *Si escalfem durant més temps el sofre s'evaporarà perquè el seu punt d'evaporació és més baix que el del ferro.* (2n Batx)

A mena de resum general d'aquest apartat, recordarem que hem analitzat tres qüestions amb l'objectiu d'esbrinar si l'alumnat distingeix si s'ha produït una reacció química a partir d'una mescla de diferents substàncies. En la primera d'elles, un 56% considera que la mescla dels gasos hidrogen i oxigen és el mateix que la reacció química. En la segona, en que han de reconèixer que el coure s'oxida a conseqüència de la reacció química amb l'oxigen de l'aire, hi ha un 58% d'alumnes que contesten de forma incorrecta o no donen cap resposta. Per últim, en la tercera qüestió, en la que es demana què caldria fer per separar els elements d'un compost, per veure si responen que caldrà una reacció química per descompondre el compost, el percentatge de respostes incorrectes és superior al 85%. A partir d'aquests resultats, considerem que es confirma la nostra hipòtesi, referent a que els i les alumnes no diferencien entre canvi físic i procés químic a nivell macroscòpic.

4.4.2. Resultats obtinguts en les entrevistes (document 6) respecte de les reaccions químiques.

El segon disseny que hem utilitzat per estudiar les conceptualitzacions que fan els estudiants de les reaccions químiques ha consistit en una entrevista, de la que utilitzarem en aquest apartat la part corresponent a les reaccions químiques, consistent en la visualització de tres experiències (dos canvis químics i un procés físic) i la posterior explicació de les mateixes per part de l'estudiant. La categorització de les respostes en aquest cas ha estat més complicada que en l'anàlisi dels qüestionaris, perquè han eixit modelitzacions complexes en les que es mesclen els dos nivells macro i micro de representació mental. Malgrat no haver models senzills excloents que puguin fer fàcilment comparable el pensament dels estudiants, hem pogut establir els resultats que exposem a continuació.

Començarem per detallar els resultats de la primera experiència, de la que s'exposa el format general (únicament amb les qüestions que plantejava l'entrevistadora) per recordar en què consistia (en l'annex II, al final del treball, es presenten alguns exemples d'entrevistes completes, que permeten adquirir una visió de conjunt).

Experiència de la descomposició del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumne que expliqui el què ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

P5: Pots explicar el què està passant?

P6: Què és el que ix?

P7: D'on penses que ha eixit el gas?

P8: Perquè abans no se n'eixia?

P9: Què creus què és el que ha quedat al fons del tub?

P10: Podries fer un dibuix que represente les partícules del sucre abans de cremar-lo?

P11: Teníem sucre, que ha desaparegut i, en canvi, ens ha eixit molt de fum i ha quedat carbó al fons del tub d'assaig, com ho expliques?

P12: Quin tipus de substància penses que pot ser el sucre, simple o composta? Per què?

Després d'analitzar les respostes donades en cada entrevista, hem trobat les categories de resposta que s'exposen a la taula 4.19:

Categories de resposta	Percentatge (%) N=45
Donen respostes pròximes a la interpretació daltoniana*	11'1
Pensen que el sucre és la mescla de dos components que es separen, un s'evapora i l'altre es queda al tub	40
Consideren que s'ha produir un canvi dràstic, a mena de transmutació	20
Consideren que el producte és el mateix que tenien al principi, però ha canviat de forma	6'7
Donen una descripció superficial del canvi	6'7
Incodificables	15'6

* Resposta considerada correcta

Taula 4.19: Anàlisi percentual de la interpretació de la descomposició tèrmica del sucre

Començarem per analitzar les respostes més senzilles, d'aquells que donen una descripció superficial del canvi, acceptant l'evidència empírica per medi de "raonaments de sentit comú". Enquadrem en aquest apartat les respostes d'aquells alumnes que fan un raonament descriptiu provatiu, basant-se en evidències sensorials, com en el cas següent, en el que es reproduïx part de l'entrevista a un alumne de COU. Les diferents intervencions s'han numerat i, a més, s'indiquen les de la professora entrevistadora per medi d'una P inicial, mentre les de l'alumne estan marcades amb una A.

- 1 **P.** Podries dir el que ha passat?
 2 **Jacob.** Està desfent-se. Està cremant-se. S'ha transformat, abans era líquid i ara em
 3 pareix que ja no.
 4 **P.** D'on penses que eix el fum?
 5 **Jacob.** del sucre.... El fum es fa quan es crema... perquè açò és una reacció... el fum
 6 ix de la reacció mateixa. (Jacob, COU)

En altres casos, l'estudiant pensa que el canvi químic és una modificació de les substàncies que han reaccionat, però sense canvi de natura. En la resposta que analitzem a continuació, es posa de manifest la dificultat que tenen per entendre la diferència entre el canvi d'estat i el canvi substancial i com contínuament els associen.

- 1 **P.** Podries dir el que ha passat?
 2 **Antonio.** Està eixint un gas, serà oxigen o així. Està reaccionant el sucre i canvia..
 3 **P.** I què és el que ha quedat al fons del tub??
 4 **Antonio.** No sé. Sucre... és sucre
 5 **P.** Vols tastar-ho per veure quin sabor té?
 6 **Antonio.** Fa mal sabor.
 7 **P.** És sucre?
 8 **Antonio.** Sí, però que ha canviat. Ara fa gust a cremat, a terra, ...
 9 **P.** Teníem sucre al tub i en escalfar ha eixit molt de fum i ara tens carbó dins. Pots explicar
 10 el que ha passat?
 11 **Antonio.** Que encara que no faça gust a sucre, és sucre. La part que li dona la dolçor se
 12 n'ha anat, però el que queda encara és sucre.
 13 **P.** O siga que el gas que se n'ha anat era el que li donava la dolçor al sucre. I on estava
 14 abans?
 15 **Antonio.** Junt en el sucre. Abans no se n'anava perquè estava sòlid
 16 **P.** Vols dir que ha hagut un canvi d'estat?
 17 **Antonio.** Sí, el sucre ha passat de sòlid a gas i el sabor ha canviat perquè abans era un
 18 conjunt del gas i el que queda ara i per això no se n'anava i feia gust a sucre. Ara ha
 19 quedat sols una part. (Antonio, 4t ESO)

En primer lloc podem veure com, malgrat el canvi de color i de sabor, Antonio pensa que el que queda al fons del tub continua sent sucre. Ho afirma al principi en la línia 4, ho repeteix en la 8 i torna a insistir més endavant en la 11 i 12. Tot seguit, explica el canvi com un procés físic en el que el sucre, que estava format pel gas i el que queda ara al tub, canvia d'estat i el gas, que estava sòlid, pot alliberar-se.

Un tercer tipus de resposta seria el d'aquells que consideren la reacció com una transmutació substancial sense limitacions entre les substàncies inicials i els productes obtinguts, de forma que es pot produir un canvi dràstic. Quedaran incloses en aquesta categoria totes aquelles respostes en les que es considera que en la mescla dels reactius es pot obtenir qualsevol producte que mantinga una certa relació de similitud amb qualsevol propietat d'algun dels reactius. Podem veure com es posa de manifest en el següent exemple:

- 1 **P.** Pots explicar el que ha passat?
2 **Ana.** Va escalfant-se bullint... està diluint-se, s'ha diluït... al bullir. Eix fum, s'està pegant
3 el sucre, s'ha fet caldós, s'ha diluït. Ha hagut una reacció i ara ja no és sucre, ara ja és
4 altra cosa diferent... però no sé què. Ha reaccionat en el foc, en l'aire....
5 **P.** Què creus que ha quedat en el tub?
6 **Ana.** Pareix cendra. És carbó.
7 **P.** Havíem posat sucre al tub, hem escalfat i ens ha quedat carbó, d'on creus que ha eixit?
8 **Ana.** Ha reaccionat. El carbó ha eixit de la unió dels dos reactius, no? Dels sucre i del foc...
9 en l'aire....
10 **P.** El sucre conté carbó abans d'escalfar?
11 **Ana.** No.
12 **P.** I el fum, d'on ha eixit?
13 **Ana.** En escalfar-se. Però no sé què ha passat. Sempre que escalfes eix fum. En el sucre
14 encara no estava... (Ana, 3r BUP)

Ana explica els canvis observats a partir d'una transmutació causada pel foc. Explícitament afirma que el carbó eix de la unió dels dos reactius (línia 8) i, a continuació, quan la entrevistadora li pregunta si el sucre contenia carbó li contesta sense dubtar que no. És a dir, per Ana, s'ha obtingut una cosa que no havíem posat inicialment i ho explica senzillament com el producte de la reacció, igual que el fum, del que afirma que eix sempre que escalfes (línia 13), sense preguntar-se d'on ve o de què està compost.

Donant un pas més en l'explicació dels resultats, altres alumnes consideren que el sucre és una mescla de dos components (el fum i el carbó), que es separen en escalfar-lo. L'explicació que ens dona Ida és molt representativa d'aquest tipus de respostes.

- 1 **Prof:** Podries explicar el què ha passat en escalfar el sucre?
2 **Ida:** Com te ho explicaria? Pues, per exemple, si mescles la sal i el sucre estan juntes però
3 són dos substàncies que són diferents, que no es mesclen, però si poses dos coses que sí que
4 es poden mesclar, pues formen un altra substància.
5 Ha hagut una reacció i el fum estaria mesclat en el sucre abans. El carbó s'ha quedat pegat a
6 la paret. És un altre element, en escalfar s'ha produït una reacció i han format aquest
7 element... [...] en mesclar-se dos components, si es mesclen i perden les seues propietats es
8 forma un altre (Ida, 4t ESO)

La resposta d'Ida està a cavall entre la transmutació, de la que acabem de parlar i la consideració del compost com una mescla de components. Pel que fa a la transmutació l'explica molt clarament quan afirma que *en mesclar-se dos components perden les seues propietats i es forma un altre* (línies 7 i 8). Però al principi, en un discurs molt didàctic, Ida diferencia clarament entre "substàncies que no es mesclen" (com la sal i el sucre) i "substàncies que sí que ho fan, perquè formen un altra substància" (línies 2 a 4). La base de l'error ens la proporciona ella mateixa en continuar dient que el "fum estaria mesclat amb el sucre abans", és a dir, està confonent el compost sucre en la mescla dels components que es formen en la reacció.

Igualment ocorre en el cas de Pau, que dóna una resposta més elaborada, que transcrivim a continuació:

1 **P.** Pots explicar el que ha passat?

2 **Pau.** Hi ha una reacció en la que es separen... no, en la que es crema el sucre. Hi ha una
3 oxidació, una reacció química. Es separa una substància, que s'evapora i baix es queda
4 una substància líquida o no queda res perquè està negre i no es veu res.

5 **P.** Què creus que ha quedat en el tub?

6 **Pau.** És carbó, no? Sí. És sucre cremat.

7 **P.** Si és sucre cremat, estarà dolç, no?

8 **Pau.** No té perquè. Igual el compost que endolça el sucre, l'element que endolça el sucre
9 s'ha evaporat en cremar-lo.

10 **P.** Vols tastar-ho?

11 **Pau.** És cendra. No és sucre!

12 **P.** Si sols havíem posat sucre dins del tub, d'on ha eixit el carbó?

13 **Pau.** Ha eixit de separar-se... o siga, el sucre estarà compost de carbó i de sacarosa, o
14 glucosa o algun producte que li dóna el sabor dolç i en evaporar-se lo altre, ha quedat
15 el carbó.

16 **P.** Quin tipus de procés penses que ha tingut lloc?

17 **Pau.** Una separació. Una reacció. S'ha separat un gas d'un... s'ha separat un sòlid que s'ha
18 transformat en gas i en un sòlid.

19 **P.** I el gas d'on ha eixit? On
20 estava abans?

21 **Pau.** En el sucre. Dins del sucre

22 **P.** Podries fer un dibuix que
23 represente el que dius?

24 **Pau.** En principi tenim sucre i
25 baix el carbó. Cada bola
26 blanca és un àtom de carbó.

27 I el fum són les boles que

28 tindran una temperatura d'ebullició més baixa i per això s'ha evaporat.

29 **P.** Estàs dibuixant els àtoms de carbó. I el gas, no té àtoms?

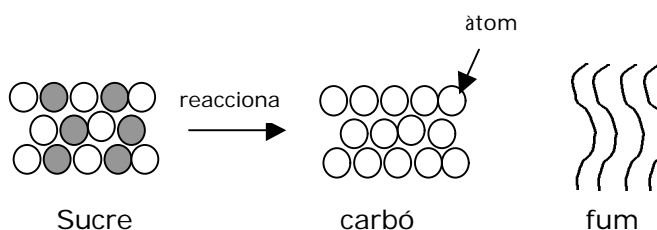
30 **Pau.** Sí que té àtoms, però no pots veure'ls. Si això ho passes a líquid un altra volta,
31 podràs veure els àtoms.

32 **P.** O siga, que els àtoms sols es poden veure en cas que siga sòlid o líquid i en els gasos
33 no, és així?

34 **Pau.** Sí, això és el que he dit.

35 **P.** penses que el sucre és simple o composta?

36 **Pau.** Compost, perquè es queda el carbó baix i s'evapora el fum (Pau, 1r Batx)



Com podem veure en la transcripció anterior, Pau comença dient que es separa una substància, eix el fum i baix queda altra substància negra (línies 2 a 4). Torna a repetir-ho en les línies 13 a 15 quan diu que el sucre estarà compost de carbó (que queda després de cremar), sacarosa (que li dóna la dolçor) i "lo altre, que s'evapora". Per últim, en el dibuix que fa per representar microscòpicament el que ha passat, torna a fer la distinció entre dues parts que estaven inicialment i es separen en cremar-lo. Es tracta d'una explicació molt rica en matisos, referents a altres problemes que hem esmentat en altres apartats d'aquest treball. Per exemple, considera que els àtoms del fum "no es poden veure", però sí que podríem fer-ho "si els passem a líquid altra volta" (línies 31 i 32). Aquesta afirmació està d'acord amb la tesi d'Hernández (1997) segons la qual els gasos no són considerat com materials.

A més a més, substancialitza el sabor quan afirma: *"Igual el compost que endolça el sucre, l'element que endolça el sucre, s'ha evaporat en cremar-lo"* (línies 8 i 9). També podem apreciar la manca de seguretat en l'ús de les paraules perquè diu que el sucre l'endolça un compost, però rectifica i diu que és un element, és a dir, sap que és una part, però no sap ben bé de què es tracta.

D'altra banda, tornem a veure, com en tants altres casos, la confusió entre mescla i compost. Per representar el sucre fa un dibuix format per boles blanques i negres juntes (pot simbolitzar un compost) i, per explicar microscòpicament el procés afirma que *"en principi tenim sucre i baix el carbó. Cada bola blanca és un àtom de carbó. I el fum són les boles que tindran una temperatura d'ebullició més baixa i per això s'ha evaporat"*, és a dir, considera que els diversos components d'un compost es separaran de la mateixa manera que ho farien els components d'una mescla.

La segona qüestió d'aquest apartat utilitza la reacció entre l'àcid clorhídric i el zinc. És una experiència molt vistosa perquè eix una gran quantitat de gas, que es produeix espontàniament, amb la qual cosa, el foc no actua com distractor per als alumnes. Exposem a continuació la part de l'entrevista que hi fa referència.

Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumne que expliqui el que ha tingut lloc a l'interior del tub.

P16: Pots explicar el que passa?

P17: On estava abans el gas?

P18: Quin tipus de canvi penses que ha tingut lloc?

P19: Podries fer un dibuix que represente el que teníem abans i el que tenim ara?

Després d'analitzar les respostes donades en cada entrevista, exposem, a la taula 4.20, les categories de resposta que hem obtingut:

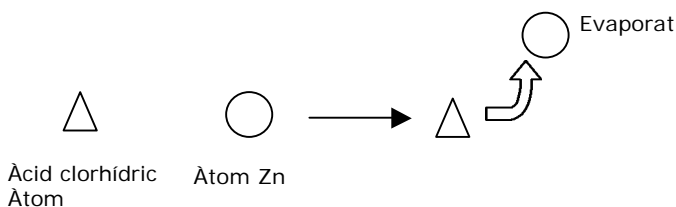
Categories de resposta	Percentatge (%) N=36
Consideren que ha hagut un canvi d'estat i s'ha evaporat el Zn	30'6
Pensen que el Zn s'ha mesclat amb l'àcid	36'1
Donen respostes pròximes a la interpretació daltoniana	27'8
Incodificables	5'6

Taula 4.20: Anàlisi percentual de la interpretació de la reacció del HCl i el Zn

Una vegada més són majoritàries les respostes d'aquells que no poden diferenciar entre el canvi físic i el químic, confonent la reacció entre dues substàncies amb la formació d'una nova, que a temperatura ambient és gas, amb l'evaporació (sense participació de cap font de calor) d'un dels components que, a més, és un metall.

Començarem exposant l'exemple d'una alumna que considera que el Zn s'ha evaporat, és a dir, ha canviat d'estat:

- 1 **P.** Pots explicar el que ha passat?
 2 *passat?*
 3 **Encarna.** Estan reaccionant
 4 l'àcid clorhídric i el zinc. Ha
 5 eixit un gas.
 6 **P.** D'on ha eixit? On estava
 7 abans?
 8 **Encarna.** l'àcid clorhídric. No,
 9 l'àcid clorhídric no és un gas. De la reacció entre els dos, no sé...
 10 **P.** I el zinc, on està ara?
 11 **Encarna.** El gas que s'ha... no ho sé. El zinc, que s'haurà evaporat.
 12 **P.** Podries fer un dibuix que represente el que ha passat?
 13 **Encarna.** Un àtom d'àcid clorhídric i un àtom de zinc. Després és que també l'àcid
 14 clorhídric es queda igual i el zinc s'evapora. L'àtom de clorhídric està per obligar-lo a
 15 evaporar-se (Encarna, 2n Batx)

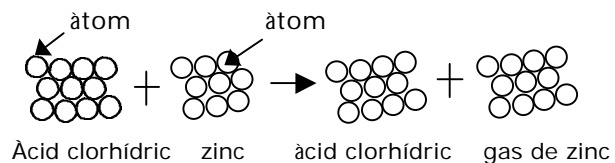


Encarna tracta d'explicar el fum que veu aparèixer a partir del que ha vist i per ella, el més plausible és una evaporació. Com ha vist l'àcid clorhídric en estat líquid, no pensa que pugui ser el gas i, malgrat dir que s'ha produït una reacció (línies 3 i 9), afirma que el gas produït serà el Zn que s'ha evaporat (línia 11). Una prova més de la manca de seguretat en la comprensió dels canvis és l'afirmació que fa respecte de que l'àcid clorhídric no és un gas (línia 9), com si l'estat físic fóra una característica específica de les substàncies amb independència de la temperatura a què es troben.

També és interessant l'afirmació que fa respecte que "un àtom d'àcid" reacciona amb "un àtom de zinc", fent una identificació que ja hem esmentat anteriorment entre un àtom i un element. Per últim, com sap que el zinc és un metall, que es troba en estat sòlid a temperatura ambient, intercanvia el discurs macroscòpic i microscòpic quan diu que l'àtom de clorhídric està per "obligar" al zinc a evaporar-se, en una frase que recorda a l'animisme de temps pretèrits.

Altres respostes suposen que ha tingut lloc una mescla del zinc amb l'àcid per explicar que el zinc ja no es veu després de la reacció, com ens ho mostra Ana en el següent exemple:

- Experiència del zinc:
- 1 **P.** Pots explicar el que ha passat?
 - 2 **Ana.** Ha hagut una reacció, s'ha diluït el zinc....
 - 3 **P.** Què vol dir que s'ha diluït?
 - 4 **Ana.** Que hi haurà més àcid que zinc,
 - 5 no? Que s'ha desfet... s'ha cremat
 - 6 el zinc, perquè eix fum...
 - 7 **P.** On estava abans el fum?
 - 8 **Ana.** Ha eixit de la reacció
 - 9 **P.** I el zinc, on està ara?
 - 10 **Ana.** El zinc encara està ahí, però
 - 11 s'ha mesclat,... no, s'haurà evaporat,... a lo millor en mesclar-se, com l'àcid és més
 - 12 fort,(el zinc) ha pujat cap amunt i s'ha evaporat, se n'ha anat en el fum, s'ha convertit
 - 13 en gas (Ana, 3r BUP)



En un primer moment, Ana no troba una resposta que explique el que ha passat i, per això, dóna una resposta superficial i contradictòria, com s'aprecia en les línies 5 i 6, quan afirma que el zinc s'ha desfet, o s'ha cremat perquè ha eixit fum. Tot seguit abundant en la superficialitat, considera el fum com el producte natural que s'obté quan es produeix una reacció.

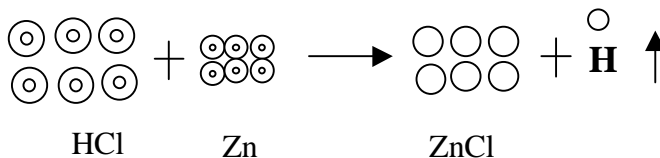
Més endavant explica que hi ha el mateix abans i després de la reacció, associant el canvi a un canvi d'estat i conservant les substàncies. De fet afirma que *el zinc encara està ahí* (línia 10). Ho corrobora dibuixant, en un llenguatge atomista primari, cercles iguals per a tots els àtoms, encara que això no significa que per a ella ho siguin, perquè parla igual de l'àtom de fum que de l'àtom d'àcid clorhídric. També s'aprecia un cert animisme en la resposta, semblant insinuar que el zinc "vol escapar-se" de l'àcid que és "més fort". En el procés, Ana no uneix les dues substàncies en una única, sinó que les mescla i aquest procés (*a lo millor en mesclar-se...*) és el que fa canviar l'estat d'un d'ells degut a que el zinc "fuig" del HCl "més fort". Per últim, en la línia 11 podem veure com, també incideix en la identificació entre mescla i compost, on es veu que per a ella "mesclat" vol dir que ha reaccionat.

Hem d'esmentar que tots els alumnes que han utilitzat aquest model per identificar els canvis havien identificat prèviament els conceptes de substància i element. L'explicació que trobem és que pensen que la mescla dels dos elements que tenien al principi és el mateix que la reacció, per tant, en finalitzar aquesta tindran els mateixos elements que al principi i, en conseqüència, per a ells, no s'ha produït un canvi de natura.

Per últim, exposarem un exemple de les respostes que més s'han acostat a la interpretació daltoniana, en les que es pot apreciar una mena de canvi substancial limitat a les possibles relacions entre reactius i productes, que seria el que entenem per canvi químic a nivell macroscòpic. En aquest cas, l'estudiant pot fer explícit el seu argument fent ús tant de la conservació dels elements en el canvi (argument macroscòpic), com de la conservació dels àtoms de les substàncies inicials en els productes, però canviant la distribució, que seria l'argument atomista daltonià.

Malgrat ser les respostes més encertades, posant-nos en la situació més desfavorable possible per a l'investigador, hem acceptat algunes que sols s'acosten relativament al que podríem considerar una resposta correcta, com ho mostra la resposta que veurem a continuació.

- 1 **P.** Pots explicar el que ha passat?
 2 **Enrique.** Que en posar-los en contacte.. què has posat, zinc?
 3 S'ha després oxigen més...
 4 **P.** On estava abans el gas?
 5 **Enrique.** En tirar-li el zinc reacciona amb l'àcid... i es desprèn el gas.
 6 **P.** Ara tampoc es veu el zinc, on penses que està?
 7 **Enrique.** El zinc està dins del tub... no es veu perquè s'ha unit a l'àcid clorhídric i s'ha format altra cosa que no és àcid... en unir-se a l'àcid s'ha format un gas i el gas s'ha evaporat..
 8 **P.** Quina classe de procés penses que ha tingut lloc?
 9 **Enrique.** Ha hagut un canvi d'estat. Ha passat de sòlid a líquid. Però també és una reacció, però abans ha passat a líquid... no sé, les dos coses.
 10 **P.** Podries fer un dibuix que represente el que ha passat a nivell submicroscòpic?
 11 **Enrique.** Cada cercle seria un àtom d'àcid clorhídric, cada bola un àtom de clorur de zinc i, a més, àtoms de zinc i àtoms d'hidrogen. (Enrique, 2n Batx)



Malgrat haver-la considerat una resposta correcta, podem trobar alguns aspectes per reflexionar en les respostes d'Enrique. En primer lloc, considera que es dona al mateix temps una reacció química i un canvi físic (línies 13 i 14). Són molts els estudiants que, quan en una reacció es produeixen fums visibles, consideren que tenen lloc els dos processos simultàniament o un darrere de l'altre, ajuntant en la mateixa explicació raonaments que

afirmen que ha hagut una reacció química amb altres que assegurin que s'ha produït una evaporació.

Respecte dels productes de la reacció, afirma que s'ha produït clorur de zinc, però en el dibuix es pot apreciar que no és conservatiu de l'element, perquè els àtoms que s'obtenen no són els mateixos que havia al principi, han desaparegut i s'han format altres nous, és a dir, aquest dibuix pressuposa una mena de transmutació dels àtoms. A més a més, també parla de l'àtom de clorhídric igual que de l'àtom de zinc o l'àtom de clorur de zinc, sense fer distinció entre àtom i molècula.

En darrer lloc, mostrarem la informació obtinguda en l'experiència de l'evaporació de l'alcohol

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumne que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe. Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

P20: Què li passa a l'alcohol en bufar? On està ara?

P21: Què vol dir que s'ha evaporat?

P22: Quin tipus de canvi creus que ha tingut lloc?

P23: Podries dibuixar el que ha passat a nivell submicroscòpic?

En aquesta qüestió, a diferència de les anteriors, presentem als alumnes un canvi d'estat per a que l'analitzen i donen una explicació al procés d'evaporació. Amb açò, tractarem de veure si fan distinció entre el canvi físic, com canvi en el que es mantenen les substàncies i el canvi químic, com aquell en el que es modifiquen les substàncies participants. Les respostes que hem obtingut en aquest apartat s'ofereixen a continuació a la taula 4.21

Categories de resposta	Percentatge (%) N=36
El canvi físic és també un canvi químic	36'1
Dóna una interpretació correcta del canvi	30'6
Incodificable	33'3

Taula 4.21: Anàlisi de la interpretació de l'evaporació de l'alcohol

Començarem examinant alguns exemples de respostes en les que s'aprecia com, per a ells, el canvi físic és també un canvi químic, com es posa de manifest en la següent explicació:

- 1 **P.** Pots explicar què ha passat
 2 amb l'alcohol?
 3 **Cristina.** S'està absorbint.
 4 S'ha eixugat. No sé. S'ha
 5 evaporat a l'atmosfera.
 6 Ha passat de líquid a gas.
 7 **P.** Aleshores, quin tipus de
 8 procés penses que ha
 9 tingut lloc?
 10 **Cristina.** No sé com es diu aquest procés. Ha hagut un canvi d'estat, no ha hagut una
 11 reacció.
 12 **P.** Pots fer un dibuix que represente el que ha passat a nivell microscòpic?
 13 **Cristina.** Bé, els carbonis,... l'hidrogen... i l'oxigen. El puntet de dins és el nucli de l'àtom.
 14 Estan units. Val. Ara bufe. Com és aire calent, pose calor. Era líquid i ha passat a gas,
 15 però no crec que l'alcohol estiga surant per ahí, passarà per un costat a hidrogen i per
 16 l'altre a CO₂. (Cristina, 2n Batx)

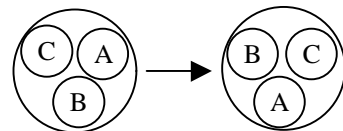


Podem veure com Cristina comença dubtant, però després d'algunes vacil·lacions, indica que l'alcohol s'ha evaporat a l'atmosfera (línia 5). Tot seguit indica que ha hagut un canvi d'estat i remarca que no es tracta d'una reacció (línia 10). Però, a continuació, en dibuixar la representació microscòpica, considera improbable que l'alcohol mantinga l'estructura i suposa un canvi químic (línies 15 i 16), representant una reacció en la que es forma hidrogen i diòxid de carboni.

L'explicació que donem a aquesta resposta és que no té clara la diferència entre canvi físic i químic i, per tant, utilitza un procés o altre indistintament per explicar el que ha ocorregut. Cristina pensa que l'alcohol ha passat a vapor, però ella sempre ha "vist" l'alcohol en estat líquid i la seua experiència li diu que els líquids no suren en l'aire, per tant, transforma l'alcohol en diferents gasos i així pot explicar que estiguen a l'ambient.

Altre exemple que està en la mateixa línia de considerar els canvis físics i els químics indistintament, el podem trobar en les paraules de Sigfrido:

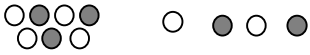
- 1 **P:** On està l'alcohol?
 2 **Sigfrido:** S'ha evaporat.
 3 **P:** Què vol dir que s'ha evaporat?
 4 **Sigfrido:** Bé, serà alcohol igualment, però estarà d'altra
 5 forma,... haurà canviat la forma en què estan
 6 col·locats els àtoms. Ha reaccionat en l'aire i els
 7 àtoms hauran canviat la seua disposició i s'ha
 8 convertit en un gas. (Sigfrido, 1r Batx)



La interpretació de Sigfrido sobre l'evaporació de l'alcohol és molt interessant, perquè mostra que ha observat un canvi macroscòpic, visible, segons el qual l'alcohol ha canviat de

lloc, passant de la mà a l'ambient. Sembla que l'alumne té clar que es tracta d'un canvi d'estat perquè considera que l'alcohol líquid és la mateixa substància que el vapor d'alcohol però, en voler donar una explicació microscòpica al procés, l'identifica amb una reacció química amb l'aire i ho resol canviant la disposició dels àtoms en l'alcohol (per a nosaltres, aquest seria un exemple d'isomeria on les substàncies serien diferents, no degut a la composició de les partícules sinó a causa de la seua estructura). En resum, no associa la natura de la substància amb una estructura molecular determinada i aquesta, per a ell, depèn de l'estat de la substància.

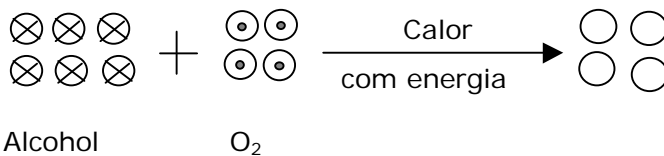
Dins d'aquest apartat estarien també aquells que indiquen que s'ha produït un canvi físic, una evaporació, en la que l'alcohol ha passat a l'atmosfera, però ho representen com un canvi químic en el que els àtoms que conformen una molècula es separen, és a dir, es trenquen els enllaços que formen la pròpia molècula. Un exemple del que estem dient ens l'ofereix Sergi:

- | | |
|---|--|
| <p>1 P: On està l'alcohol?
 2 Sergi: L'alcohol estava a les mans, li he donat calor i
 3 s'ha evaporat
 4 P: Què vol dir que s'ha evaporat?
 5 Sergi: Evaporar-se vol dir que s'ha... ha rebut energia i
 6 ha fet que se separen els... àtoms que el
 7 componen. El conjunt seria la molècula d'alcohol i cada bola serien els àtoms, que
 8 després es separen. (Sergi, 2n Batx)</p> |  |
| | <p>Molèc. alcohol àtoms</p> |

Al principi, sembla que Sergi sap el que significa una evaporació i que necessita energia per tindre lloc, però en demanar-li que explique més detalladament el que ha ocorregut, suposa una molècula d'alcohol formada per diversos àtoms que, en rebre energia, es separen. Segons el nostre plantejament, no tindre clar el concepte de substància com un cos format per infinitat de partícules totes iguals, fa que tampoc puguen donar explicació als fenòmens que pateixen les substàncies, com és el cas dels canvis, als que identifiquen per igual com físics o químics.

En altres casos, es produeix la identificació directa del canvi amb un procés químic en el que l'alcohol reacciona amb alguna cosa, que sol ser l'oxigen de l'aire en la major part dels casos.

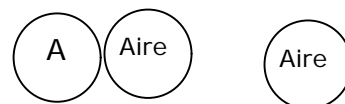
- 1 **P:** On està l'alcohol?
 2 **Enrique:** S'ha evaporat.
 3 **P:** Què vol dir que s'ha evaporat?
 4 **Enrique:** L'alcohol, en donar-li
 5 calor, ha pillat temperatura
 6 i, s'han evaporat,... s'han
 7 fet gas i han passat a... Alcohol O₂
 8 **P:** els àtoms han passat a gas?
 9 **Enrique:** no,... els àtoms, l'element en si, no el compost,...
 10 **P:** D'acord, però, com s'evapora el compost?
 11 **Enrique:** en donar-li calor es trenquen els enllaços i tenen tendència a escampar-se i
 12 s'evapora,... tenim alcohol, oxigen,... ha agafat energia i s'ha després... hi ha una
 13 reacció i es forma altra cosa. (Enrique, 2n Batx)



A més de la dificultat pròpia de la qüestió com explicació de l'evaporació d'una substància, en aquest cas Enrique no sap tampoc quina és la paraula que defineix el concepte que busca. Té clar que l'alcohol ha passat a estat gasós, però per poder explicar que es separen les molècules, parla d'àtoms, element, compost,... amb una patent manca de resolució a l'hora d'utilitzar els diferents conceptes.

Entre les respostes que hem considerat incodificables estarien aquelles en les que no saben respondre o bé donen explicacions "de sentit comú", sense cap relació amb el que podríem considerar una resposta científica, com l'exemple següent, en el que Amparo considera que l'alcohol simplement ha desaparegut:

- L'alcohol s'ha evaporat, està en l'aire. Abans estan l'alcohol i l'aire i després no queda res, queda aire. (Amparo, 1r Batx)



4.4.3. Conclusions dels resultats obtinguts en els dissenys encaminats a mostrar les dificultats per diferenciar entre canvi físic i canvi químic.

En aquest apartat hem utilitzat dos dissenys: un qüestionari format per tres qüestions i una entrevista, en la que es demana a l'alumne que explique tres experiències que es realitzen davant d'ell.

Podem fer notar, com resultats generals, els següents:

- Hi ha un important percentatge d'alumnes (que es troba, per terme mig, al voltant d'un 70%) que no contesten o ho fan de forma incorrecta, sense diferències significatives entre els dels diferents cursos, fet que expliquem com que no hi ha avanç, malgrat haver donat més cursos de Química.
- Hem pogut notar que l'alumnat barreja els processos físics i químics, utilitzant-los indistintament per explicar els fenòmens, utilitzant ambdós en alguns casos al mateix temps. Per posar un exemple concret, en la qüestió de la descomposició de l'aigua, un 56'2% d'estudiants confonen la mescla de substàncies amb la reacció química (taula 4.16).
- En la qüestió referent a la làmina de coure, hem pogut veure com els alumnes no tenen en compte que s'han d'ajuntar els reactius per a que tinga lloc la reacció, de forma que sols un 41'7% (taula 4.17) responen de forma correcta a la qüestió.
- Molts estudiants que consideren que s'ha produït una reacció química, expliquen el fenomen com una mescla entre les substàncies que han reaccionat. També hem apreciat que un 66'9 % dels estudiants (taula 4.18) considera que els elements combinats en el compost es podrien separar per mètodes físics.

Pel que fa a les entrevistes, els resultats són molt similars als obtinguts en els qüestionaris, amb algunes variacions, a conseqüència de la major expressivitat que es permet en els entrevistes.

- En primer lloc, en la reacció del sucre, en la que es forma molt de fum i queda un residu de carbó al fons del tub, un 40% d'estudiants considera que el sucre és una mescla d'aquests dos materials, a més d'haver un percentatge important d'alumnes que no contesten o donen respostes incodificables.
- En l'experiència de la reacció de l'àcid clorhídric amb el zinc, torna a ser visible la formació de fum i, a continuació, s'aprecia la "desaparició" del zinc, raó per la qual un 30'6% pensa que ha hagut un canvi d'estat i s'ha evaporat el Zn, al temps que un 36'1% considera que el Zn s'ha mesclat o s'ha dissolt en l'àcid (taula 4.20).
- Per últim, l'experiència de l'evaporació de l'alcohol ens ha mostrat una vegada més la dificultat que tenen per efectuar una diferenciació, perquè un 36'1% d'estudiants (taula 4.21) consideren que s'ha produït un canvi químic i sols un 30'6% dóna una interpretació correcta del canvi.

En definitiva, considerem que els resultats que acabem de presentar avalen la hipòtesi que proposem, és a dir, els alumnes no saben distingir entre un canvi físic i un canvi químic. L'explicació que donem és que, si no tenen clar el concepte de substància, tampoc sabran caracteritzar-ne una a nivell macroscòpic, per tant, no sabran si en un procés determinat ha

canviat la substància que tenien al principi o encara es manté la mateixa. En resum, considerem que, sense comprendre el concepte de substància, no podran determinar de quin tipus de canvi es tracta.

4.5. SÍNTESI DELS RESULTATS TROBATS EN L'APRENTATGE DELS CONCEPTES DE SUBSTÀNCIA, COMPOST I REACCIÓ QUÍMICA.

Per finalitzar el present capítol, farem un resum de totes les mancances que hem trobat en l'aprenentatge. En primer lloc, recordarem que hem utilitzat diversos qüestionaris, així com entrevistes davant fenomen, en les que els alumnes han explicat el que consideraven que estava ocorrent davant d'ells. Així, les entrevistes ens han permès completar la informació que es va extreure dels qüestionaris, per conèixer en profunditat les dificultats dels estudiants i poder incidir millor sobre elles en l'ensenyament, facilitant l'aprenentatge comprensiu. Pot considerar-se que els resultats han estat semblants en tots els casos. Les conclusions generals a les que hem arribat després d'un anàlisi detallat són les següents:

- Hem apreciat en totes les respostes, des de les dels alumnes més joves fins els que estan a l'últim curs del batxillerat, certes semblances en punts importants del seus raonaments, sense observar diferències empíriques entre els principiants i aquells que han estudiat més cursos de química, raó per la qual els hem pogut agrupar i donar els resultats obtinguts en forma de percentatges.
- En general, hem pogut constatar que, en moltes ocasions, els estudiants no havien pensat mai sobre el tema i es sentien obligats per primera vegada a relacionar el que ocorria davant els seus ulls amb els conceptes que havien estudiat en la teoria, encara que reflexionaven respecte de la qüestió i donaven una resposta sincera.
- També considerem que la dificultat per respondre a les qüestions plantejades pot respondre en general a una forma de pensar alternativa a la científica, a causa d'un problema semàntic, perquè en el llenguatge quotidià substància, material, producte, etc., solen utilitzar-se indistintament. També es dona el cas contrari, és a dir, l'ús polisèmic d'una paraula a la que es donen significats diferents segons el context (Solsona et al. 2000).
- El fet de no concedir materialitat als gasos (Hernández 1997) ens porta a considerar la necessitat d'una visió ontològica dels gasos com cossos tan materials com els sòlids i líquids per poder interpretar els canvis físics i químics.

Respecte dels aspectes concrets de la present recerca, començarem per fer una anàlisi de les conclusions obtingudes respecte de la utilització per part dels estudiants del concepte de substància. S'han trobat diferents models de representació, que exposem des del model més general al més concret dins de les representacions macroscòpiques:

1.- El primer nivell ha pogut obtindre's perquè la qüestió en què es demanava classificar diversos materials, incloïa com ítems la llum, el foc i les ones de ràdio. Es tracta d'un nivell de caire filosòfic i reproduiria el debat de principi del segle XX entre materialistes i energetistes. S'han trobat les següents representacions:

- La més general, de matèria, definida com allò que es pot agafar, tocar, veure, etc. (en una idea que s'aproximaria a la "matèria corpòria" dels grecs).
- La idea que oposa l'energia a la definició de matèria, com una cosa que no es pot veure, agafar, etc. (una forma de pensar que podria acostar-se a la "matèria rara" dels grecs i que també està present a l'ensenyament).

2.- Hi ha un segon nivell de definició més concret, que entraria en la definició de material des del punt de vista de la composició química i classifica els materials en:

- Matèria, material o substància, com aquell sistema format per elements o substàncies més simples que, per tant, es pot descompondre.
- Elements químics o substàncies pures (més simples), que ja no es poden descompondre en altres. És a dir, aquests sistemes materials s'oposen a material o substància (composta).

Hauríem de clarificar en aquest apartat que matèria, material o substància (composta) són inclusivament de substància (pura) o element, per tant, és molt possible que s'utilitzi el terme substància com element químic (en el fons com substància pura). Llavors, l'ambigüitat serà una característica de l'ús del terme substància per part dels estudiants.

3.- Finalment, hi ha un tercer nivell de representació pel que fa a la definició operacional del que és una substància a l'hora de reconèixer-la.

- Substància, oposat al concepte de mescla, i definit com un cos amb alguna propietat observable no específica (color, olor, sabor,...), que serveix per reconèixer-lo (criteri molt ambigu). En aquest cas no disposaran de criteris macroscòpics adients per

distingir una substància d'una mescla (Sanmartí 1989; Carretto i Viovy 1994; Llorens 1991; Furió et al. 2000a; Bullejos 2001).

Quan els preguntem què farien per caracteritzar una substància al laboratori, parlen en algun cas de fer algun experiment, però sense especificar a què fan referència i donant conceptes molt generals com analitzar, descompondre,... En aquest sentit no serà difícil trobar que els estudiants consideren les dissolucions com exemples de compost, com va ocórrer històricament en el cas de Berthollet (Bensaude-Vincent i Stengers 1997)

- Substància, oposat al concepte de mescla i definit com un cos que té un conjunt de propietats invariables i, en particular, quantitatives fixes (punts de fusió i ebullició, etc.)

Considerem, doncs, que els estudiants utilitzen la paraula substància amb una gran ambigüitat, com reflectim en el mapa conceptual que s'exposa tot seguit.

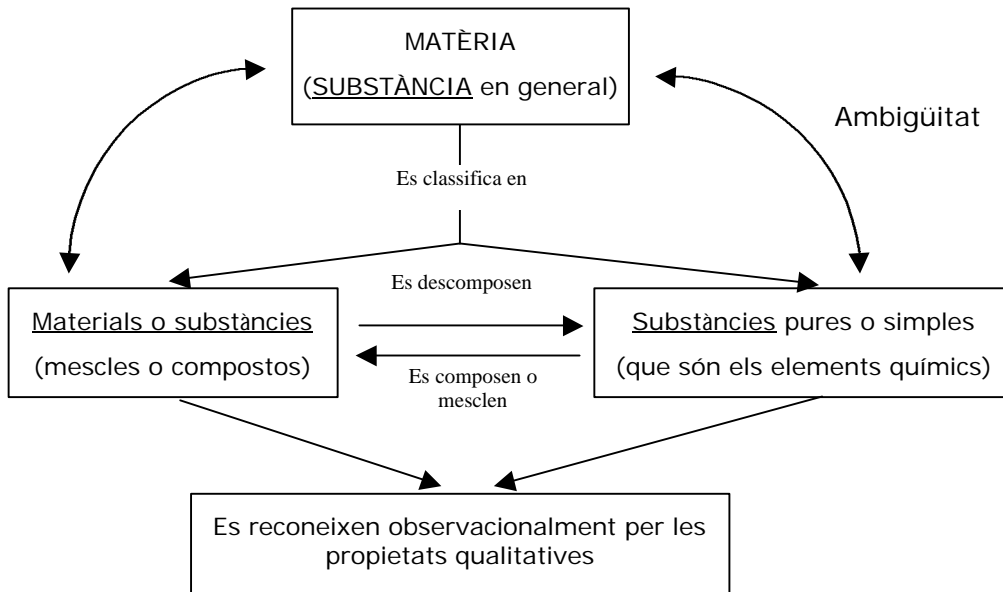


Figura 4.4. L'ambigüitat és consubstancial amb el terme "substància", que es troba en tots els conceptes presents al mapa (matèria, material i element)

També oferim, a continuació, una representació dels tres nivells de representació que hem trobat en les respostes dels estudiants:

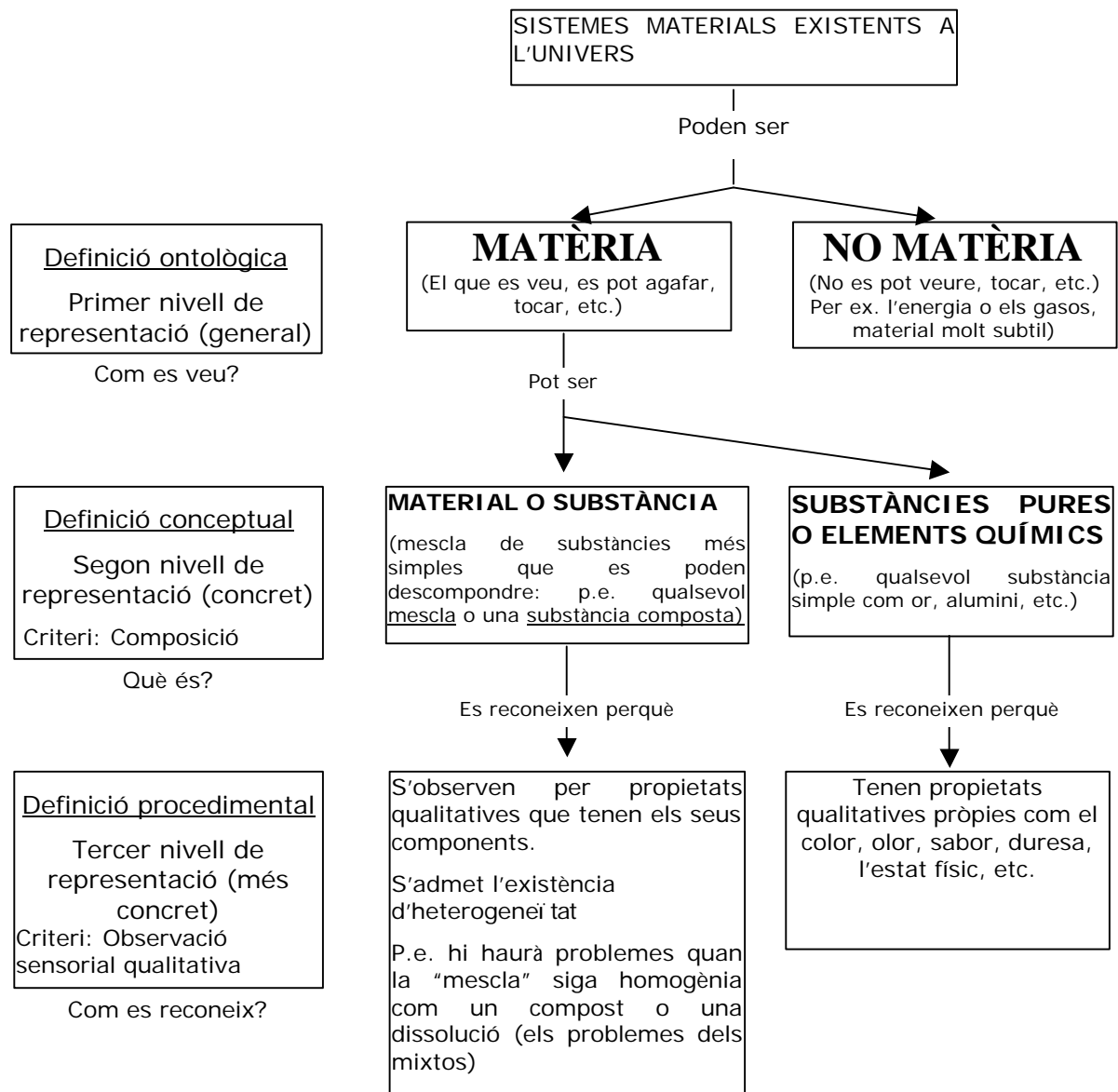


FIGURA 4.5. Possible mapa de les representacions dels estudiants sobre la composició dels materials

Pel que fa a les conceptualitzacions microscòpiques de substància dels adolescents, si partim de la base que, en general, consideren que els conceptes de mescla i compost són el mateix, per estar formats per més d'un tipus de partícula, afirmaran que les substàncies "pures" (sense mescla) són els elements químics (afirmació que s'aproxima d'alguna manera al concepte d'element aristotèlic, però amb la diferència que els alumnes li donen existència real, mentre els elements aristotèlics eren metafísics). En general podem destacar els següents patrons de pensament:

1. El d'aquells que consideren que cada substància és el mateix que la seua entitat elemental, de forma que identifiquen substància i partícula elemental (àtom, molècula,...). A causa d'aquesta identificació, s'atribuirà a l'entitat elemental les mateixes propietats que a la substància.
2. Altre model de pensament seria el d'aquells que consideren la substància formada per moltes partícules, sense distingir de quin tipus de partícula es tracta. Així, es pot comprovar en les representacions que fan de les substàncies, que és molt general que parlen de l'àtom d'un determinat material, independentment que estiga format per un element o més, és a dir, parlen igual de l'àtom de sucre o d'àcid clorhídric que de l'àtom de fum o l'àtom de zinc, dibuixant en tots els casos un cercle i indicant que es tracta de "l'àtom de..." tant en els casos de les substàncies simples com en el dels compostos. Per aquests alumnes no hi ha noció de molècula (o àtom compost) amb una proporció constant d'àtoms, en una forma de pensar coherent amb la suposició de que mescla i compost són la mateixa cosa

Aquest seria el prototipus del que podria denominar-se principi d'economia ontològica, segons el qual interpreten l'àtom com la part més menuda del material de què es tracte, com si fos el propi material en xicotet, reduint el nivell microscòpic o atomista al macroscòpic que és el que realment té significat per a ells. Per evitar-ho, caldria que l'ensenyament els familiaritzara amb les hipòtesis atòmica i molecular de la matèria, així com el que significa fer-ne ús d'ella com un model per explicar com canvia el món extern o macroscòpic.

L'última conclusió, però no per això la menys important, és que, no tindre assimilat el concepte operacional (macroscòpic) de substància com cos caracteritzat per posseir un conjunt de propietats específiques, porta a associar la idea de material a la de substància, situació que també planteja sèries dificultats en el domini de les reaccions químiques. En particular:

1. No tindran criteris per distingir quan s'ha format un compost a partir d'una reacció química i, fins i tot, el confondran amb la mescla de les substàncies simples corresponents. Succeirà el mateix a l'inrevés: quan en una reacció un compost es descomponga en la mescla de dues substàncies simples, pensaran que el compost inicial es podrà regenerar en qualsevol circumstància.
2. Des del punt de vista microscòpic, per expressar el que ha passat per medi de dibuixos, no donaran importància al nombre d'àtoms que participen en la reacció, obtenint aleatòriament més o menys dels que havien inicialment. Es podria dir que aquests estudiants "no pensen en àtoms" quan estan interpretant els canvis que se'ls presenta. El que es manifesta és que els models mentals que estan utilitzant no són els científics que volem que aprenguen i el que tenen en el cap (la "primitiva fenomenològica") interacciona amb el que tracta d'ensenyar-li el o la professora.
3. Si no poden distingir quan tenen una substància i quan una mescla, tampoc podran determinar si s'ha format una substància nova (compost) a partir d'una mescla inicial i, per tant, no podran saber si en un canvi es conserva la substància (canvi físic) o es transforma (canvi químic). Així, explicaran el canvi químic de diverses formes segons el grau de comprensió al que arriben:
 - Fent ús d'algun criteri superficial, acceptant l'evidència empírica mitjançant "raonaments de sentit comú" o tractant de caracteritzar-lo per medi d'una propietat qualitativa observable no massa rellevant.
 - En altres ocasions, l'estudiant pensa que el canvi químic és una modificació de les substàncies que han reaccionat, però sense canvi de natura.
 - Els adolescents no tindran en compte la conservació de l'element en el procés químic, de forma que consideraran que es pot formar qualsevol substància, fins i tot substàncies amb àtoms que no estaven presents en els reactius, al temps que fan desaparèixer dels productes els elements de partida. En aquest cas, l'alumne pensa en una transmutació substancial sense limitacions entre substàncies inicials i productes obtinguts, de forma que accepta un canvi dràstic.

Com una mostra més de la importància de la comprensió del concepte de substància per comprendre els canvis químics, hem pogut comprovar que aquells estudiants que accepten la transmutació consideren sinònims substància i material.

- Finalment, altres estudiants accepten una mena de canvi substancial limitat a les possibles relacions entre reactius i productes, que seria el que entenem per canvi químic a nivell macroscòpic. En aquest cas, l'estudiant pot fer explícit el seu argument

fent ús tant de la conservació dels elements en el canvi (argument macroscòpic), com de la conservació dels àtoms de les substàncies inicials en els productes, però canviant la distribució, que seria l'argument atomista daltonià.

Com hem dit, una conseqüència de la manca de comprensió del concepte de substància serà la identificació que es produirà entre els conceptes de mescla i compost. Hem pogut comprovar que tots els alumnes que han donat respostes properes a la interpretació daltoniana, identificant la reacció química amb un procés de canvi substancial limitat a les relacions entre els reactius i els productes, havien distingit prèviament de forma correcta els conceptes de mescla i compost. Aquesta és una conclusió lògica des del punt de vista que, si diferencien la mescla dels reactius del compost que pot formar-se a partir d'ells, han d'interpretar-lo com un canvi substancial.

També volem esmentar que aquests alumnes no havien donat una definició correcta del concepte de substància, però hem de recordar que tampoc les respostes podien considerar-se correctes, sinó que simplement s'acostaven, raó per la qual hem de tornar a insistir en la importància de la comprensió del concepte de substància per comprendre els conceptes subseqüents referents als canvis químics.

Després d'estudiar totes les conseqüències obtingudes amb els dissenys dedicats a la contrastació de la primera hipòtesi, referents a l'aprenentatge, podem afirmar que els resultats obtinguts en els diferents dissenys referents a l'aprenentatge dels conceptes de substància, substància simple i composta, element i reacció química, validen la hipòtesi que proposàvem en aquest treball. Passarem, doncs, a continuació, en el capítol 5, a la presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en aplicar els dissenys relatius a l'ensenyament.

5

CONTRASTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS RELATIUS A L'ENSENYAMENT HABITUAL DELS CONCEPTES DE SUBSTÀNCIA, ELEMENT QUÍMIC, COMPOST I REACCIÓ QUÍMICA.

INTRODUCCIÓ

Per completar la contrastació de la primera hipòtesi oferirem a continuació els resultats obtinguts en aplicar els diferents dissenys descrits al capítol 3 i que fan referència a l'ensenyament. Com ja hem dit, seguint la tendència actual de la investigació educativa, hem procurat utilitzar dissenys diferents, convergents i múltiples, que atorguen coherència interna als resultats.

Per analitzar les mancances de l'ensenyament tradicional, farem un estudi en dues vessants: començarem per presentar els resultats dels dissenys que fan referència al professorat (qüestionaris i redacció) i, tot seguit, passarem a efectuar l'anàlisi dels llibres de text.

- En primer lloc mostrarem els resultats obtinguts en l'anàlisi del document 7, format per dues qüestions. La primera és similar a la qüestió 1 del document 2, passada a estudiants de Secundària i Batxillerat, i en ella es pregunta quins dels materials presentats són una substància, al temps que es demana que donen una definició del concepte de substància. La segona qüestió es tracta d'un mapa conceptual ja elaborat, del que es demana que indiquen les errades que conté.
- A continuació, presentarem i analitzarem els resultats obtinguts en el qüestionari de professors (document 8), amb ajuda del qual tractarem de mostrar el pensament dels mateixos, en particular pel que fa a la importància que donen a la introducció del concepte macro i microscòpic de substància, així com la identificació que fan els alumnes entre

substància i element químic, la superposició dels conceptes macro i micro de substància i les dificultats en general dels estudiants en aquest camp.

- Seguidament utilitzarem una redacció realitzada per professors en situació d'examen (document 9), en la qual s'analitzaran els mateixos aspectes.
- Finalment es presentaran i analitzaran els resultats obtinguts en l'anàlisi als llibres de text (documents 10 al 15), referent als conceptes macro i microscòpic de substància i mescla, la classificació de les substàncies en simples i compostes i la interpretació microscòpica de les mateixes, així com la utilització del concepte d'element químic en els textos. Per últim, s'analitzarà també en aquest apartat el canvi químic en els nivells de referència macro i microscòpic.

5.1. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN QÜESTIONS REALITZADES A PROFESSORS EN FORMACIÓ SOBRE EL CONCEPTE DE SUBSTÀNCIA (Document 7).

La següent qüestió, similar a la que respongueren els estudiants de segon cicle de Secundària i Batxillerat, s'ha passat a un grup de 50 estudiants de 4t i 5é de Ciències Químiques, de la Facultat de Química de la Universitat de València, que estan cursant la matèria de Didàctica de les Ciències. En ella es presenta un seguit d'ítems i es demana que indiquen quin o quins d'ells poden ésser una substància.

- 1.- Avui en dia tothom ha sentit parlar de: llum, aire, aigua, foc, granit, ona de ràdio. Subratlla els que creus que estan formats per una substància.
Explica en què et bases i per què creus que els altres no ho són _____
Dóna una definició del que entens per substància.

Per mantindre l'anonimat dels autors, s'han numerat els qüestionaris, identificant-los amb un nombre de l'1 al 50. Igual que es va fer en la qüestió dirigida als estudiants més joves, les paraules *una substància* es presenten subratllades, per afavorir visualment la comprensió de la pregunta que s'està formulant. Tot seguit, la taula 5.1 ens mostra les respostes obtingudes.

Categories de resposta	4t-5é Quím. (N=50) %
Donen una resposta correcta o quasi correcta teòricament, encara que mal aplicada	10'0
Identifiquen substància i matèria	64'0
Altres respostes	26'0

Taula 5.1.- Percentatge d'estudiants que identifiquen substància i matèria:

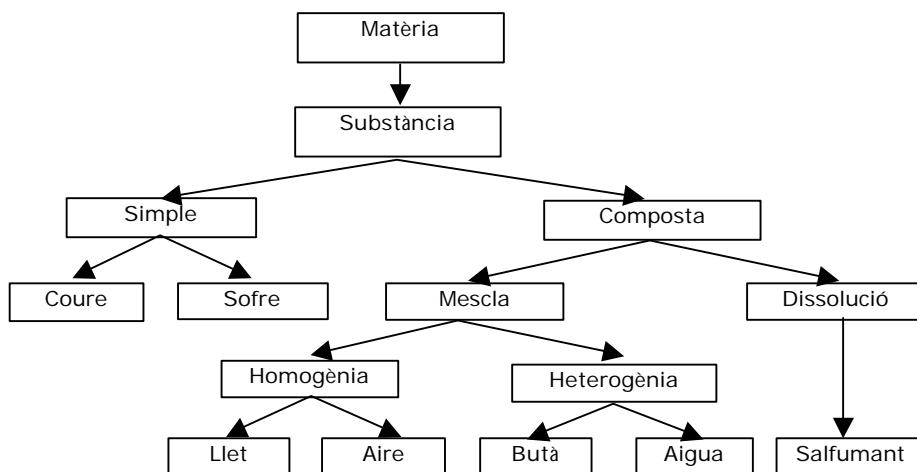
En principi, cal fer menció de l'escàs 10'0% de respostes correctes entre les que, recordarem, que hem acceptat també aquelles que indicaven que l'única substància era l'aigua, malgrat que després, l'explicació fora incorrecta o no hi haguera. També és apreciable l'elevat percentatge (64'0%) de respostes que identifiquen els conceptes de material i substància, malgrat tractar-se d'un grup que, després de finalitzar els estudis de Química, està cursant l'especialitat de didàctica. Analcem a continuació, a mena d'exemple, la definició de substància, exposada per un estudiant de 5é de Química:

- *Tot allò que existeix i té una composició determinada és una substància, malgrat no ser palpable o ser invisible. El granit i l'aigua és evident que són substàncies perquè són palpables i tenen una composició coneguda. L'aire, el foc, la llum i les ones de ràdio no són palpables, però sí que són substàncies perquè tenen una composició determinada que podem conèixer.* (qüestionari 38)

Aquest estudiant, associa substància a material, perquè explica que qualsevol cosa que tinga una composició, és a dir, que tinga existència, és una substància. A més, l'explicació mostra una divisió semblant a l'aristotèlica entre materials corporis (*el granit i l'aigua és evident que són substàncies perquè són palpables i tenen una composició coneguda*) i la resta (la matèria rara, que deien els grecs), que per a ell *no són palpables*, però també són substàncies perquè estan formades per alguna cosa que, d'una forma o altra, podríem conèixer, és a dir, perquè són materials.

La segona qüestió d'aquest apartat mostra una qüestió complementaria a la que s'ha proposat als grups d'estudiants d'ESO i Batxillerat i consisteix en l'estudi d'un mapa conceptual que s'ofereix ja elaborat, amb alguns errors conceptuals. Es tracta de veure si els identifiquen o si, pel contrari, no s'adonen de la seua presència.

2.- Un alumne de Magisteri ha realitzat el següent mapa conceptual per fer una revisió de la teoria atòmica de la matèria. Comenta les dificultats conceptuals que penses que pot tindre, per medi de l'anàlisi del mapa.



Igual que es va fer en el mapa elaborat pels alumnes, la resposta no es considerarà correcta o incorrecta en la totalitat, sinó que s'estudiaran per separat els diferents aspectes que posen de manifest si s'aprecien o no les dificultats conceptuals que hi ha al mapa. En particular, farem l'anàlisi des de dos punts de vista diferents: l'estudi de la confusió entre material i substància i l'estudi de les dificultats per diferenciar entre mescla i compost.

Pel que fa al primer aspecte a estudiar, podem veure que en el mapa ofert es produeix una identificació incorrecta entre els conceptes de material i substància, que obligarà als estudiants a interpretar-los. Per posar-nos en el cas més desfavorable per a la investigació, considerarem de forma separada les contestacions que no fan incidència de l'error, d'aquelles que identifiquen explícitament ambdós conceptes.

Categories de resposta	4t i 5é Químiques (N=28) %
Fan una anàlisi correcta	21'4
No ixen al pas de la identificació entre matèria i substància.	60'7
Incideixen explícitament en l'error, identificant material i substància	17'9

Taula 5.2.- Resultats extrets de l'anàlisi del mapa conceptual (Document 7), que fan referència a la identificació entre matèria i substància.

En la taula 5.2 s'aprecia com sols un 21'4% dels participants fan menció de que en el mapa s'identifica erròniament els conceptes de material i substància, malgrat tractar-se d'alumnes dels últims cursos de la llicenciatura de Químiques. En canvi, un 60'7% dels estudiants no fan cap menció al respecte, indicant així que aquest error no és significatiu per a ells, bé per que no s'han adonat, bé perquè als seus ulls és una identificació correcta.

A títol d'exemple de valoració dels que no ixen al pas de la identificació entre substància i matèria, incloem a continuació el text d'un estudiant enquestat:

- *L'elecció de paraules a ordenar en l'exercici no em sembla adequada. Crec que manquen termes molt bàsics i definits, com "element" i, en canvi, abunden termes molt generals (massa generals en la meua opinió), com matèria i substància, que tenen fins i tot accepcions diferents segons el context, especialment el terme substància (Qüestionari 28).*

En la redacció queda patent com el futur professor accepta que el concepte de substància s'utilitza amb accepcions diferents segons el context, però no s'adona del problema i l'eludeix al no dir quines són, afirmant que matèria i substància són termes massa generals.

El segon error que ofereix el mapa és la classificació de les substàncies compostes en mescles i dissolucions, és a dir, una identificació explícita del compost amb qualsevol tipus de mescla homogènia o heterogènia. Els resultats obtinguts a l'anàlisi s'ofereixen a continuació en la taula 5.3

Categories de resposta	4t i 5é Químiques (N=28) %
Diferencien entre mescla i compost	39'3
Consideren que el compost és el mateix que la mescla	46'4
Incodificable	14'3

Taula 5.3.- Professors en formació que associen mescla i compost en el mapa conceptual (document 7).

Novament podem apreciar com menys d'un 40% dels professors en formació s'adonen del problema, oferint una correcta diferenciació dels dos conceptes, malgrat tractar-se d'alumnes que estan a punt d'obtindre la llicenciatura en químiques. En molts casos, en l'explicació que donen deixen clara aquesta confusió, com en els següents exemples:

- *Les substàncies compostes són una mescla de diferents substàncies simples, poden ser una mescla heterogènia i homogènia (també anomenada dissolució), dins de les últimes es poden esmentar el sulfumant (aigua i HCl), l'aire (O₂, H₂, CO₂,...) i la llet (lactosa, proteïnes, aigua,...) (Qüestionari 3).*

- *Dins de les substàncies compostes existeixen les que formen una mescla i les que són simplement compostes (substàncies formades per més d'un element, com és el cas de l'aigua i el butà) (Qüestionari 5).*

El primer text (qüest. 3) comença identificant el compost amb una mescla de substàncies simples (que hem de suposar que seran les substàncies simples formades pels elements que integren el compost). Tot seguit, classifica els compostos en homogenis i heterogenis i dóna com exemples diferents mescles. El segon exemple (qüest. 5), mostra una diferència respecte de l'anterior i podria interpretar-se com que considera que les substàncies compostes poden formar mescles o simplement estar aïllades o separades.

En resum, hem pogut veure que un 64% de respostes identifiquen els conceptes de material i substància, malgrat tractar-se d'una mostra d'estudiants que estan a punt de finalitzar els seus estudis. A més a més, en el mapa conceptual en què han de eixir al pas de la identificació incorrecta entre material i substància, un 60'7% dels estudiants no s'adona del problema. Per últim, el mapa identifica explícitament el compost amb les mescles i dissolucions, identificació que no detecta un 46'4% d'estudiants.

5.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN EL QÜESTIONARI AL PROFESSORAT, RESPECTE A LA SUPERPOSICIÓ DELS CONCEPTES MACRO I MICROSCÒPIC DE SUBSTÀNCIA (document 8).

A continuació exposarem el qüestionari al professorat (document 8), amb una anàlisi dels resultats obtinguts, remarcant que en cap moment hem tractat de menysprear la capacitat del professorat o criticar els seus coneixements, sinó fer patent la necessitat d'impulsar l'ensenyament d'uns determinats conceptes, que es consideren fonamentals, per aconseguir la comprensió del tema que ens ocupa.

El present apartat es constituirà en cinc subapartats, fent referència cadascun d'ells a una de les qüestions del document. En concret, cadascun d'ells analitzarà un dels següents aspectes:

- Importància que el professorat concedeix als conceptes macroscòpic i microscòpic de substància química, com pre-requisits en l'estudi dels canvis químics.

- Anàlisi de la diferenciació que fa el professorat entre els conceptes de substància i element químic.
- Estudi dels aspectes als quals el professorat dóna importància en relació a les dificultats específiques que es plantegen als estudiants en aquest tema.
- Estudi del grau de crítica que fa el professorat respecte de la superposició dels nivells macroscòpic i microscòpic del concepte de substància.
- Anàlisi de la presència o no de possibles dificultats del propi professorat respecte dels nivells macroscòpic i microscòpic del concepte de substància.

5.2.1. El professorat dóna importància a la introducció macro i microscòpica de substància com pre-requisit en l'estudi dels canvis químics?

A continuació mostrarem els resultats de la primera de les qüestions que ha hagut de respondre el professorat. En ella es demana que reflexionen sobre els aspectes i coneixements que consideren previ a l'estudi de les reaccions químiques.

Q1.- Abans d'iniciar l'ensenyament dels canvis químics, és aconsellable que el/la professor/a s'adone si els estudiants dominen els pre-requisits (coneixements més senzills) necessaris per poder comprendre un concepte complex com és el de les reaccions químiques. Quins pre-requisits consideres que caldria revisar a l'inici de l'estudi dels canvis químics?

L'objectiu d'aquesta qüestió és determinar la importància que, en general, dóna el professorat als pre-requisits conceptuals que es consideren fonamentals per entendre el canvi químic con un canvi substancial, que es vol explicar amb la teoria atòmico molecular de la matèria. En particular, s'analitzarà l'èmfasi posat en els conceptes macro i microscòpic de substància, substància simple i composta.

Ítem	Pre-requisit no considerat	% Professors en formació (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
1	No fa èmfasi en la definició macroscòpica de substància	89'7	85'7
2	No fa èmfasi en la definició microscòpica de substància	89'7	91'8
3	No fa èmfasi en l'existència de dos nivells de representació (macroscòpica i microscòpica), que cal relacionar per explicar els canvis químics.	100'0	98'0
4	No explica microscòpicament el significat de substància simple i composta, fent èmfasi en el fet de tindre una composició fixa –macro- s'explica mitjançant la hipòtesi de que les partícules que els formen tenen sempre el mateix nombre d'àtoms de cada element –micro-	98'0	100'0

Taula 5.4: Percentatges de professors en formació (N= 39) i en actiu (N= 49) que no fan èmfasi en les definicions macro i microscòpica del concepte de substància.

En general, són significatius els alts percentatges que reflecteixen la manca d'importància que s'ha donat en les respostes a conceptes tan fonamentals com els que hem considerat a la taula 5.4, amb resultats iguals o superiors al 85% en tots els casos. D'altra banda, hem de ressenyar també que, en les respostes aportades pels docents, es fan patents algunes de les dificultats que ja havíem apreciat en l'alumnat, com comentarem a continuació. A mena d'exemple adjuntem uns pre-requisits que el professorat ha considerat important revisar a l'inici de l'estudi dels canvis químics. Al final de cada paràgraf i entre parèntesi, s'indica el nombre assignat al qüestionari, acompanyat d'una P per indicar professor/a en actiu o una Pf per indicar professor/a en formació:

- *Element químic (àtom); compost químic (molècula) (P1)*
- *Distinció entre substàncies pures i no pures (Pf 22)*

La primera resposta és significativa d'una associació entre els conceptes d'element i àtom per una banda, i els de compost i molècula d'altra, que també s'ha comprovat en els estudiants (Caamaño et al. 1983). En la segona es fa patent la importància del coneixement de la definició operacional de substància per poder distingir-la del concepte més general de material. El professor corresponent no l'ha tingut en compte i això l'ha portat a la necessitat d'inventar el terme substància pura (que vol dir en realitat substància), per diferenciar-lo de les substàncies no pures (quan en realitat caldria que diguera materials o mesclades de substàncies).

Seguidament, passem a veure si tenen en compte aquest concepte en la selecció de continguts que es tracta en la següent pregunta del qüestionari.

5.2.2. En la seqüenciació dels continguts, el professorat fa èmfasi en la introducció dels conceptes bàsics de substància i element químic?

Com hem vist en la qüestió anterior, en alguns casos es dona una associació entre els conceptes d'element i àtom, així com entre els de compost i molècula. La present qüestió aborda el tractament d'aquesta dificultat per part del professorat.

Q2.- En tercer curs d'ESO hi ha una unitat dedicada a l'estudi dels canvis químics. Comenta quina seqüència de continguts (a manera de fil conductor) et sembla que seria la millor per explicar el tema.

En l'anàlisi d'aquesta qüestió no s'entrarà a qualificar la seqüenciació dels continguts del currículum, que pot ésser variada i tindre moltes solucions adequades, no necessàriament en l'ordre que nosaltres indiquem. El que tindrem en compte és en quina mesura es fa èmfasi en els conceptes bàsics com, per exemple, la definició macroscòpica de substància, que podrien no haver segut considerats com pre-requisit conceptual (com es demanava en la qüestió 1), sinó com concepte a introduir dins de la unitat didàctica sobre el canvi químic.

Abans d'analitzar les diferents respostes del professorat, farem una somera introducció amb els continguts que, al nostre parer, són importants per aconseguir una correcta comprensió del tema.

- En primer lloc, considerem que cal donar importància als aspectes axiològics i procedimentals de l'aprenentatge, és a dir fer plantejaments de tipus motivacional i actitudinal, que inciten a l'alumnat a implicar-se en el problema i descobrir l'interès que pot tindre per a ell l'estudi del tema concret que se li presenta. També caldria plantejar estratègies de treball científic, com l'anàlisi de situacions problemàtiques, acotació de problemes, plantejament d'hipòtesi o de dissenys experimentals...

En particular, una situació problemàtica d'interès en aquesta unitat didàctica seria posar de manifest el problema general que s'intenta resoldre: cercar una explicació unitària per a la diversitat dels materials ordinaris, així com per als canvis químics que ocorren en ells.

- La recerca de regularitats en aquest cas implica imaginar que tots els materials (per molt diferents que siguin) estan formats estructuralment per uns pocs materials (ideals) més simples als que anomenem *elements químics*, que són el que es va a conservar en el canvi químic.
- Arribats al punt anterior, caldria explicar què entenem per element químic per a poder definir macroscòpicament el compost, com en el seu moment va fer Lavoisier.
 - ✓ A nivell macroscòpic representaria la substància simple en potència que s'obtindria si descomponguérem el compost (Lavoisier deia *els últims cossos simples que ens dona l'anàlisi química del compost*) i és el que es conserva en els canvis químics. És a dir, en els canvis químics no es conserven les substàncies simples, sinó els elements.
 - ✓ Ara bé, la representació microscòpica dels elements químics serà un conjunt d'àtoms tots iguals, que es poden trobar com un dels components més senzill possibles en diferents substàncies, simples o compostes, però sense que es considere estructuralment com una substància amb les propietats específiques que la caracteritzen. Sols en aquells casos en que el material estiga format per àtoms sense lligar, és a dir, sense estructura, coincidirà l'element químic amb la substància simple, com per exemple, en la majoria dels gasos nobles.
- D'entrada s'acotarà el problema de la composició dels materials en saber quins elements i en quina proporció en massa formen els compostos i, per tant, sols interessarà la composició de les partícules, sense entrar en l'estructura de les unitats elementals que formen microscòpicament les substàncies. En particular, es deixarà per a més endavant el concepte de molècula en les substàncies simples.
- Utilitzant el que hem estudiat, aprofitarem els nous coneixements científics per transformar els materials, crear-ne de nous i cobrir les necessitats humanes en aquest domini (estudi dels canvis químics), tractant de millorar les condicions de vida i ajudar a solucionar els problemes socials existents, així com els creats pel desenvolupament científic i tecnològic.

A títol d'exemple, demostratiu de les possibilitats del present disseny, exposem a continuació una de les respostes, en la que es pot veure els aspectes que ha emfasitzat el professor (al que s'ha assignat el número 5):

1. *Els fenòmens físics i químics*
2. *Els fenòmens químics: la reacció química*
 - 2.1. *Tipus de reaccions químiques*
 - 2.2. *Ajust de les reaccions químiques: conservació de la massa en les reaccions*
3. *Estequiometria de les reaccions químiques*
4. *intercanvi d'energia en les reaccions químiques*
 - 4.1. *reaccions exotèrmiques o exoenergètiques*

- 4.1.1. Reaccions de combustibles fòssils (tema transversal: educació mediambiental)
- 4.1.2 la respiració
- 4.2. Reaccions endotèrmiques o endoenergètiques
 - 4.2.1. La fotosíntesi
 - 4.2.2. L'energia dels aliments (tema transversal: l'educació per a la salut)
- 5. La velocitat de les reaccions químiques
 - 5.1. Model elemental de reacció
 - 5.2. Factors que afecten a la velocitat de reacció (P5)

Aquest docent ens ha ofert una resposta completa i estructurada, en la que dóna importància fins i tot a aspectes interessants del currículum com són els temes transversals. En ella es pot apreciar com comença amb una introducció per diferenciar el canvi físic del químic, però no fa cap referència al concepte macroscòpic de substància, per poder determinar si, finalitzat el procés, continuem tenint les mateixes substàncies que al principi, o s'han format de noves. Tampoc explica que l'equació química és la representació escrita de la reacció química, de forma que dóna peu a que l'alumne les identifique, sobre tot si tenim en compte que no fa cap referència al nivell microscòpic de reacció, que explica els canvis substancials i la formació de noves substàncies per medi de la reorganització dels àtoms, així com la conservació de la massa i l'estequiometria de les reaccions. En canvi, sí que esmenta l'ajust i estequiometria de les reaccions químiques i la llei de conservació de la massa, així com altres aspectes de les reaccions, com l'aspecte energètic i la velocitat de reacció i els factors que la modifiquen.

En la taula 5.5, que exposem a continuació, hem destacat tots els aspectes que considerem important desenvolupar en aquest tema, així com altres als que ha donat importància el professorat, acompanyats dels corresponents percentatges.

Ítem	Concepte considerat	% Professors en pràctiques (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
1.	Esmentar qualsevol aspecte de tipus axiològic i/o procedimental	2'6	2'0
2.	Donar una definició macroscòpica de substància	2'6	4'1
3.	Donar una definició microscòpica de substància	0	1'9
4.	Explicar els conceptes de substància simple i composta a nivell macroscòpic	0	4'1
5.	Explicar les diferències macroscòpiques entre mescla i compost	5'1	0
6.	Explicar els conceptes de substància simple, composta i mescla a nivell microscòpic.	5'1	4'1
7.	Fer èmfasi en el concepte macroscòpic de reacció química com canvi substancial	7'7	14'3

Ítem	Concepte considerat	% Professors en pràctiques (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
8.	Explicar el concepte microscòpic de reacció química	0	28'6
9.	Fer èmfasi en el fet que, a nivell macroscòpic, en les reaccions es conserven els elements, no les substàncies	0	4'1
10.	Definir què és un element químic en el context daltonià	0	0
11.	Explicar les diferències entre els fenòmens físics i els químics en aquest nivell introductori.	20'5	57'1
12.	Estudiar la llei de conservació de la massa	41'0	63'3
13.	Fer càlculs estequiomètrics senzills	25'6	46'9
14.	Presentar diferents tipus de reaccions químiques: formació, descomposició, combustió,...	42'9	18'0
15.	Estudiar la velocitat de reacció	16'3	18'0
16.	Estudiar la taula periòdica	6'1	5'1

Taula 5.5: Continguts considerats importants pel professorat en la unitat dedicada a l'estudi dels canvis químics

El primer dels ítems que presenta la taula 5.5 presenta una referència general a qualsevol contingut de tipus axiològic i procedimental del currículum. Per tant, per considerar que el professor ho ha tingut en compte, ha estat suficient que esmentés, al menys en una ocasió, un aspecte qualsevol referent als mateixos, com per exemple oferir situacions problemàtiques d'interès, plantejar hipòtesis, elaborar pràctiques, etc. En els resultats que es presenten a la taula s'aprecia la manca quasi absoluta dels mateixos entre les respostes del professorat.

Respecte dels continguts conceptuals, la taula 5.5 mostra que els percentatges de professorat que esmenten la necessitat d'estudiar les diferències entre mescla i compost no passa del 5%, tant pel que fa al professorat en actiu com entre els professors en formació. Malgrat aquesta manca d'importància (o tal vegada a causa d'ella), hem pogut trobar en les respostes al qüestionari algun problema en la no diferenciació entre ambdós conceptes, com podem veure en el següent exemple:

- (L'estudiant) *hauria d'aprendre que la matèria és un compost (hauria de dir que la matèria es presenta en forma de mesclades) de molts elements bàsics (hauria de dir formada per substàncies), que estan lligats entre ells, gràcies a uns elements químics, per exemple aigua $H_2O \rightarrow H-O-H$ (simple).* (Pf14)

La interpretació de l'anterior resposta és molt rica en matisos, que passem a analitzar tot seguit: en la primera frase diu que material és el mateix que compost, quan en realitat hauria de dir que els materials estan quasi sempre formats per mescles de substàncies. Tot seguit, diu que els materials estan formats per *molts elements bàsics*, intentant dir que el compost està format per molts àtoms (possiblement utilitza el terme *bàsic* com contrari a àtom compost) *que estan lligats entre ells gràcies a uns elements químics*, volent explicar amb açò que els elements tenen "valències" que expliquen els lligams. També es veu clarament que superposa el nivell macroscòpic (la substància aigua), amb el nivell microscòpic (H_2O és el símbol que representa una molècula d'aigua). Finalment, quan explica que l'aigua és "simple" pot significar que està formada per un únic tipus de molècules, és a dir, que es tracta d'una substància composta.

Per resumir les conclusions a què ens ha portat aquesta qüestió, hem pogut apreciar que, la major part del professorat que explica el canvi químic en 3r d'ESO, no fa referència a la definició macroscòpica i microscòpica dels conceptes de substància, substància composta i substància simple, amb percentatges inferiors en tots els casos al 5'1%. També són molt baixos els percentatges de professors que esmenten la interpretació macroscòpica i microscòpica del concepte de reacció química com aspecte a tractar. Per últim, cap dels professors enquestats ha indicat la importància de la definició d'element químic a nivell microscòpic i sols un 4'1% dels professors en actiu considera que cal explicar la conservació de l'element a nivell macroscòpic en les reaccions químiques. Pel contrari, s'abasten percentatges entre el 40 i el 60% en aspectes com l'estudi de la llei de conservació de la massa, els càlculs estequiomètrics o l'explicació dels diferents tipus de reaccions.

També s'han detectat en alguns casos dificultats conceptuals i epistemològiques (com la mostrada en l'exemple del Pf 14), entre les que podríem esmentar el desconeixement de la idea macroscòpica de substància, la no diferenciació entre els conceptes de mescla i compost o la superposició macro-micro, que explica que, en general, a l'hora de presentar el tema a l'alumnat no es tinga en compte i per tant, no s'explique, el nivell macroscòpic de representació de substància, compost, reacció química i element. Al mateix temps es manté una certa tendència a l'operativisme i a presentar els conceptes de forma lineal sense justificar-los.

5.2.3. A quines dificultats dels estudiants dóna importància el professorat?

La següent qüestió és convergent amb les anteriors, però presenta l'avantatge de centrar-se en les dificultats d'aprenentatge. Amb ella pretenem esbrinar si el professorat s'adona que hi ha determinats problemes que es repeteixen contínuament en grups de totes les edats i que són tan fonamentals que, sense el seu coneixement, no es poden comprendre els conceptes subseqüents. Alguns d'aquests problemes han estat especificats ja en la recerca i altres tractarem de posar-los de manifest en el present treball.

Q3.- *Quan es dóna ciències en l'ESO es comprova que l'aprenentatge del tema "Els materials que ens envolten" no és gens fàcil. Quines creus que són les principals dificultats que tenen els estudiants en aquesta temàtica?*

L'anàlisi de la present qüestió ha resultat un poc complicat a causa del gran nombre de respostes diferents que ens han ofert, raó per la qual els percentatges són poc significatius en tots els casos. La taula 5.6, que es mostra a continuació, ens ofereix les dificultats que els professors consideren més rellevants:

Ítem	Dificultats dels estudiants considerades pel professorat	% Professors en formació (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
1.	No contesta	15'4	24'5
2.	Dóna explicacions generals	20'5	12'2
3.	Relacionar els continguts científics amb el món real	17'9	4'1
4.	La gran diversitat de materials existents	7'7	10'2
5.	La falta de pràctiques	7'7	6'1
6.	La dificultat de la formulació i/o les lleis estequiomètriques	2'6	4'1
7.	La necessitat de buscar ordre per comprendre la diversitat	--	10'2
8.	Comprendre prèviament la teoria cinètico-molecular	15'4	10'2
9.	No acceptar la materialitat dels gasos	2'6	6'1
10.	Confondre substància amb producte natural	--	6'1
11.	No entendre el concepte macroscòpic de substància	15'4	2'0
12.	No entendre el concepte microscòpic de substància	--	--
13.	La confusió entre mescla i substància	5'1	12'2

14.	Identificar els termes substància i element	2'6	10'2
15.	La confusió entre mescla i compost	5'1	16'3
16.	La dificultat dels conceptes d'àtom i molècula	5'1	8'2
17.	Utilitzar la teoria atòmica per explicar els canvis (explicació microscòpica de les reaccions)	2'6	14'3
18.	No entendre la conservació de l'element en les reaccions (representació macroscòpica de les reaccions)	--	--

Taula 5.6: Dificultats generals que el professorat de Física i Química considera que poden tindre els estudiants en la comprensió del tema de l'estudi dels materials que ens envolten

En primer lloc hem de posar de manifest que, malgrat la gran diversitat de respostes esmentades pels professors, no es fa cap referència als aspectes procedimentals i actitudinals del currículum, en una absència que és significativa de la poca importància que el professorat dóna a aquests aspectes en general. El mateix ocorre amb els problemes detectats per la recerca respecte de l'estudi dels canvis químics, que presenten percentatges pràcticament testimonials. Per últim, també és una mostra indicativa del desconeixement dels problemes de l'alumnat que el percentatge més alt de la taula 5.6 siga el d'aquells que no han donat cap resposta a la qüestió.

Entre les respostes que hem obtingut, s'exposen en primer lloc aquelles que podríem considerar generals de tota la Química, com poden ser la relació entre allò que estan estudiant i el que veuen al seu voltant, la manca de pràctiques o la dificultat de la formulació i el llenguatge simbòlic. També hem posat ací altres aspectes que hem englobat baix l'epígraf d'explicacions generals, de les que mostrem algunes a títol d'exemple:

- *La dificultat implícita als conceptes microscòpics* (Pf 24)
- *La gran diversitat de coneixements que exigeix* (P 15)
- *Manca de curiositat. No donar importància a aquest coneixement; pensen que tot porta "manual d'instruccions" i no cal saber com són ni què són. Exigeix un esforç d'imaginació i pensen que els seus interessos no coincideixen amb aquest conceptes ni ho faran mai.* (P 7)

Aquestes respostes podrien ser representatives d'una forma de pensar tradicional, segons la qual hi ha conceptes difícils *per se*, donant una visió elitista de la ciència, que seria vista com un coneixement especial per la quantitat d'estudis específics que requereix per a la seua comprensió. En particular l'última resposta (P 7) planteja com problema que els estudiants no donen importància al coneixement, ni tenen curiositat, però ho afirma amb resignació, com si el professor no poguera fer res per canviar la situació, com cercar

situacions problemàtiques obertes que obliguen a l'alumnat a prendre decisions, així com donar sentit a l'estudi, cercant implicacions CTS i tractant de potenciar actituds positives i un clima de treball on es tinga en compte els interessos i opinions dels estudiants.

Altres respostes, en canvi, podrien mostrar errors dels propis professors, com els que es presenten als següents exemples:

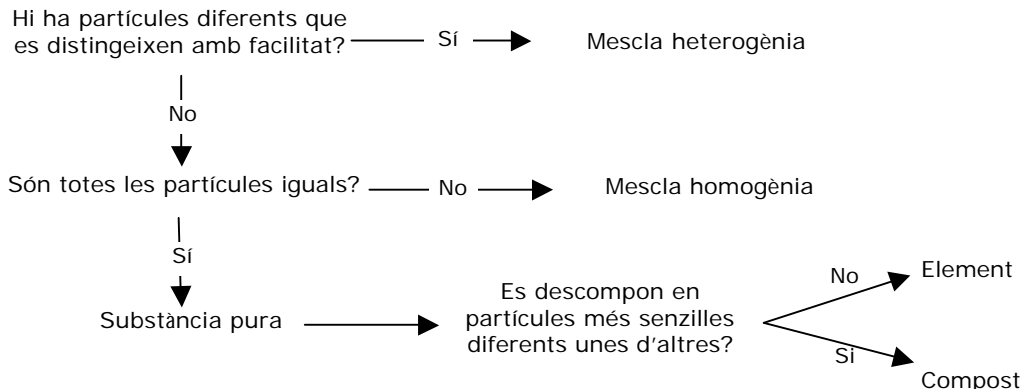
- *Supose que serà la dificultat de distingir allò que és matèria del que és qualsevol altra cosa, perquè poden tractar-ho tot com matèria.* (Pf 18)
- *Supose que les dificultats venen perquè allò que una persona troba al seu voltant és molt complex i és prou difícil identificar substàncies que siguen pures i, fins i tot, homogènies* (Pf 7)

La primera explicació podria considerar-se com que el professor està identificant el concepte de matèria amb el de substància. De fet, què vol dir quan parla de "qualsevol altra cosa" en oposició a la matèria? Pensem que realment volia dir la dificultat de distingir allò que és *substància* del que no ho és, és a dir, les mescles. La dificultat que planteja el segon text ens fa suposar una vegada més que el propi professor dubta a l'hora de determinar què és una substància, identificant-la amb el concepte més general de material. Quan afirma que és difícil identificar substàncies homogènies suposem que realment el que vol dir és que a la natura ens podem trobar materials homogenis que donen la sensació de ser sols una substància (el problema dels *mixts* dels grecs).

5.2.4. El professorat no critica la superposició dels conceptes macro i microscòpic de substància.

La següent qüestió ix al pas del problema de la superposició dels nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic en l'ensenyament de la Química. En ella es mostra un esquema classificador dels materials, extret d'un llibre de text de Física i Química i es demana que donen una opinió del mateix, com s'indica a continuació:

Q4.- El següent esquema està extret d'un llibre de text i, amb ell, es pretén que l'alumnat aprengui a classificar els diferents sistemes materials ordinaris. Indica què opines del mateix, explicant què veus de positiu i què de negatiu en aquest esquema.



Amb la present activitat no pretenem jutjar la idoneïtat o qualitat del propi esquema, sinó fer una anàlisi, des del punt de vista de la Didàctica, de la seua utilitat per comprendre els conceptes que engloba. La taula 5.7 mostra els punts que hem considerat important ressenyar, així com el nombre i percentatge de professors i professores que no els han tingut en compte:

Ítem	Aspecte comentat pel professorat	% Professors en formació (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
1.	Esmenten com positiu que l'última part de l'esquema associa de manera explícita "substància" a partícules iguals i la classifica en elements i compostos.	5'1	4'1
2.	Fan referència a que l'esquema no explicita el concepte macroscòpic de substància.	5'1	6'1
3.	Indiquen que l'esquema no diferencia entre el nivell macroscòpic i el microscòpic de conceptualització de les substàncies.	2'6	12'2

Taula 5.7: Aspectes comentats pel professorat sobre l'esquema extret d'un llibre de text

Considerem de gran importància assenyalar que, en general, no s'ha donat importància a la superposició macro-micro que porta implícit l'esquema. En una observació macroscòpica no es poden veure les partícules d'una substància, encara que sí que es poden veure les fases distintes d'una mescla heterogènia. En canvi, el text comença preguntant si es distingeixen partícules diferents (se suposa que a nivell macroscòpic, per diferenciar la mescla homogènia de l'heterogènia) i, a continuació, torna a incidir en l'existència de partícules diferents, ara per relacionar els conceptes element i compost amb el tipus de partícules que els componen (és a dir, en el nivell microscòpic).

Les dificultats per detectar la superposició entre els dos nivells d'estudi s'aprecia en els alts percentatges del professorat que no ho esmenten en la resposta i, fins i tot, en algun cas com el següent que, malgrat haver detectat el problema, denota al mateix temps una certa superposició en la pròpia resposta:

- *La qüestió "són totes les partícules iguals?" pot induir a error, perquè moltes substàncies diferents estan formades per partícules molt paregudes que, a simple vista, són molt difícils de diferenciar. (P40)*

La frase anterior està utilitzant al mateix temps els dos nivells de representació, perquè al principi parla de les partícules de les substàncies, el que indueix a suposar que estem en el nivell microscòpic, és a dir, referint-nos als àtoms o les molècules, segons els casos, però continua dient que a simple vista són difícils de diferenciar, com si es tractara de diferenciar els components d'una dissolució homogènia, per exemple, amb la qual cosa ens situa al mateix temps en el nivell macroscòpic.

Si analitzem en concret les referències al concepte de substància, trobem que més del 93% del professorat, en tots el casos, no fa referència a que en l'esquema no s'explicita el concepte macroscòpic de substància. També hem de ressaltar que quasi ningú (95%) indica que l'esquema explicita la definició microscòpica d'aquest concepte.

També en les respostes a aquesta qüestió hem pogut trobar algunes confusions epistemològiques, com la identificació entre material i substància, que s'aprecia en l'exemple exposat a continuació:

- *Negatiu: millor diferenciar la substància pura per les propietats característiques; no es veu la paraula "matèria" o "substància química" com més general. (P20)*

La resposta identifica material i substància química, considerant-les els conceptes més generals. En contrapartida, la substància pura seria la que tindria propietats característiques.

5.2.5. El professorat té dificultats amb els conceptes macroscòpic i microscòpic de substància?

L'última qüestió que s'ha plantejat en el qüestionari als professors torna a fer incidència en el concepte de substància. La pregunta està plantejada de forma que, per corregir la resposta d'un alumne, els propis professors han de fer explícites les idees que tenen sobre el concepte de substància, en els dos nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic.

Q5.-En preguntar a un alumne quin o quins dels següents materials "llum, aire, aigua, granit, foc i ones de ràdio" estan formats per una substància, ens ha donat la següent resposta:

"Totes, perquè no hi ha res que siga pur, és a dir, crec que totes les coses esmentades anteriorment estan formades per un conjunt d'elements"

Què li diries a aquest estudiant sobre el que és una substància i quines correccions li faries a la seva resposta?

A continuació, la taula 5.8 reflecteix els aspectes que considerem importants per a l'avaluació de la resposta de l'estudiant de l'ítem 5, així com els percentatges del professorat que no els han tingut en compte.

Ítem	Aspecte considerat	% Professors en formació (N= 39)	% Professors en actiu (N=49)
1.	Identifiquen explícitament material i substància	51'3	26'5
2.	No especifiquen que una substància és un cos amb propietats característiques constants i definides des del punt de vista fenomenològic (concepció macroscòpica)	38'5	53'1
3.	No indica que una substància té totes les partícules iguals (definició microscòpica)	87'2	91'8
4.	Han especificat que l'única substància és l'aigua	7'7	10'2

Taula 5.8: Aspectes a considerar en la correcció a la resposta de l'estudiant de l'ítem 5.

Abans de passar a comentar els resultats extrets de la present qüestió, hem de comentar que els diferents aspectes analitzats no són excloents, és a dir, cap la possibilitat que un professor haja dit que l'única substància és l'aigua, però al mateix temps no haja donat la definició de substància macroscòpica, microscòpica, o cap de les dues.

Un dels professors que ha contestat el qüestionari ha assenyalat que aquest nivell d'estudi no és l'adequat per relacionar els conceptes de massa i energia:

- *La llum, les ones de ràdio,... no és matèria. Són manifestacions de l'energia. Evidentment no crec que en ESO es desitge relacionar massa i energia per l'equació d'Einstein. Tots els sistemes materials tenen unes propietats generals (massa, volum,...) i estan constituïdes per àtoms, molècules o ions. (P12)*

L'objectiu d'aquesta qüestió no és incidir en aquest punt, sinó mostrar que moltes de les dificultats dels estudiants venen derivades de la manca d'importància que es dona a la definició macroscòpica del concepte de substància, com cos que té un conjunt de propietats específiques. De fet, aquest professor també voreja la qüestió en parlar dels sistemes

materials, de les propietats generals de la matèria,... quan en la qüestió es demanava quins d'aquells objectes estaven formats per una substància.

En la resposta que l'estudiant dona en el text de la qüestió 5, afirma que tot són substàncies (vol dir materials), perquè no hi ha res pur. Per a ell totes les coses estan formades per mesclades (d'elements), és a dir, aquest alumne no accepta la idea macroscòpica de substància, identificant-la amb el concepte de material. Aquest raonament recorda la idea aristotèlica segons la qual totes les coses són mesclades d'altres més simples: els elements.

La primera conclusió que podem treure, com en la resta de qüestions és el baix percentatge de professorat que dona importància a aspectes que es consideren fonamentals per a la comprensió dels canvis químics. A més, en moltes de les respostes es tornen a presentar dificultats conceptuals i epistemològiques, com veurem en els següents exemples:

i) No diferenciació de material i substància: percentatges molt elevats dels professors que han contestat (superiors al 26'5% en el cas més favorable), no fan aquesta diferenciació, com ho mostren en algunes respostes, de les que indiquem alguna a títol d'exemple:

- *No estic d'acord amb el plantejament de la pregunta, ja que suposa, per a començar, que la llum, el foc i les ones de ràdio són "materials". Jo preguntaria alguna cosa semblant a: "entre les següents paraules, quines identifiquen a sistemes materials? Justifica la resposta explicant què creus tu que és un objecte o sistema material.
D'altra banda, la correcció a la resposta seria: una substància és tot allò que té matèria i per tant, està format per àtoms. Amb altres paraules, una substància és alguna cosa que té massa i la massa es pot mesurar: una substància pesa i ocupa un espai (es poden aplicar al foc, la llum i les ones de ràdio es aclariments anteriors?). (P36)*

En aquesta resposta s'identifica clarament substància amb matèria i, a més, sols es considera matèria els materials substancials formats per àtoms. Amb aquesta visió ontològica, per exemple el mateix Sol, format per una "sopa" de partícules elementals on, a causa de les elevades temperatures no poden existir àtoms estables, no es podria considerar "matèria". Després, en compte de definir la substància per les propietats específiques, utilitza les propietats generals com la massa i el volum.

Altres exemples posen de manifest que els problemes són més profunds i no es remeten sols al concepte de substància, sinó que s'estén a altres com element, compost o mescla:

- *Substància és cadascuna de les diverses classes de matèria i matèria és tot allò que té massa i ocupa un volum. Les substàncies poden ser pures (aigua, per exemple) o no pures (mesclades, per exemple el granit) (Pf 11)*
- *Substància química és tot allò format per àtoms, és a dir, tota matèria, be siga en estat sòlid, líquid o gas. Les substàncies pures són els compostos químics, per exemple aigua, o amoníac. Una substància pura es podrà descompondre, per medi de processos químics en elements, per*

exemple, l'aigua es descompondria en hidrogen i oxigen. Per tant, tota matèria està composta en últim lloc de substàncies pures, així, la llum, el foc i les ones de ràdio no estan constituïdes per cap compost químic, per tant, no estan formats per substància. (Pf 13)

El primer text identifica substància amb matèria i a continuació explica com poden haver dues classes de substàncies: "pures", a les que sembla identificar amb els compostos, i "no pures", a les que identifica explícitament amb les mescles. Pel que fa al segon text, comença explicant que la substància és qualsevol tipus de matèria en general. Com considera que tot està mesclat (serien substàncies "impures"), a continuació, passa a particularitzar en les substàncies pures, de les que diu que són sols els compostos, que per medi de processos químics es poden descompondre en elements. L'explicació, doncs, és similar a l'aristotèlica segons la qual totes les coses són mescles de substàncies i cada substància està formada per la unió d'elements.

ii) No diferenciació de mescla i compost:

- *Una substància està formada per àtoms, com elements o reunió d'ells mitjançant enllaços, és a dir, com compost. Si es tracta de mescles d'elements o compostos iguals, parlarem d'homogènia i si són diferents, heterogènia. Dins d'aquestes substàncies tindriem l'aire (m. Heter), l'aigua (m. Hom) i el granit (m. Heter) (Pf1)*

Segons aquest professor novell, qualsevol cosa formada per àtoms és una substància incidint, com en el cas anterior, en la no diferenciació de material i substància. A continuació classifica les substàncies en mescles heterogènies (l'aire i el granit) i mescles homogènies, donant com exemple d'aquestes l'aigua, identificant així el compost amb la mescla de substàncies. Fent una anàlisi detallada de la resposta, es pot apreciar com el professor sap que l'aire és una mescla de gasos diferents, raó per la qual afirma que és una mescla heterogènia. Tal vegada el problema que es planteja en aquest cas és que no diferencia el que és una fase on es presenta un material homogeni (i no es pot apreciar si està format per una o més substàncies) i un compost, o substància composta amb propietats fixes i constants formada per més d'un tipus d'àtoms.

iii) Consideren que les substàncies pures són els elements:

- *Tots els objectes materials poden estar formats per una sola classe de matèria o per diverses, a les diferents classes de matèria les anomenem substàncies. En quant a què no hi ha res pur, si que hi ha pur, un element (Fe, Au, etc.) (P16)*

Malgrat ser una resposta ambigua, podria considerar-se quasi correcta, en el sentit que és una forma senzilla de definir una substància com una classe específica de matèria. El problema ve més endavant quan aclareix que les coses "pures", és a dir, les substàncies pures, són els elements, deixant fora de la classificació als compostos, als que pot ser

considera "substàncies no pures" o mesclades sense adonar-se que, en el fons és el mateix que afirma l'estudiant en l'ítem 5.

En conclusió, les respostes del professorat a la present qüestió 5, tant en actiu com en pràctiques, mostren dificultats conceptuals i epistemològiques que poden ser considerades semblants a les que ja s'han observat en l'alumnat. Entre elles, podem extreure les següents:

- No es dóna importància a la definició operacional (macroscòpica) de substància. El més plausible és que el propi professorat no tinga clar aquest concepte i la prova és que, en molts casos, no diferencia el concepte de substància de la idea general de material.
- A nivell macroscòpic, consideren que els sistemes materials es presenten com substàncies pures o mesclades. En aquest nivell de representació, l'element sembla ésser una substància pura a partir de la qual es formen altres més complexes. En coherència amb el que s'ha dit, consideren que les "substàncies pures" són els elements.
- Una conseqüència de l'anterior identificació conceptual és la confusió entre la substància composta (el compost) i la mescla de substàncies.
- En el nivell microscòpic de representació mental del professorat, es presenta molt sovint una associació prou estreta entre les idees d'element i àtom d'una banda i les de compost i molècula d'altra.

5.2.6. Síntesi dels resultats obtinguts a partir del qüestionari de professors (document 8)

Per finalitzar aquest apartat, recordarem que el qüestionari dels professors està format per cinc qüestions, les conclusions generals obtingudes en les quals es mostren a continuació a mena de resum:

- No es dóna importància a la definició operacional (macroscòpica) de substància. En concret, podem recordar que més d'un 85% de professors no ho considera un pre-requisit abans de començar l'estudi dels canvis químics i menys del 4% ho esmenten com contingut del tema. En alguns casos, a més, en les respostes s'identifica explícitament entre material i substància. També s'ha pogut apreciar en alguns casos que sols es considera matèria als materials substancials formats per àtoms, deixant de costat altres formes materials menys usuals, com per exemple el Sol, on no existeixen àtoms estables a causa de les elevades temperatures.

- No es fa èmfasi en la definició microscòpica de substància, com aquell sistema que té totes les partícules iguals. Igual que ocorre amb la definició macroscòpica, al voltant d'un 90% de professors no ho consideren un pre-requisit i menys del 2% ho esmenta com una part a explicar en l'estudi dels canvis químics.
- Sols un 12% dels professors indica que l'esquema de la qüestió 4 no diferencia entre el nivell macroscòpic i el microscòpic. Si analitzem en concret les referències al concepte de substància, trobem que, sols un 6'1% del professorat esmenta que l'esquema no explicita el concepte macroscòpic de substància i en canvi, sí que ofereix la definició microscòpica d'aquest concepte.

Un símptoma de la superposició dels dos nivells d'estudi s'aprecia quan, a l'hora de presentar el tema a l'alumnat no s'introdueix el nivell macroscòpic de representació dels conceptes de substància, compost, reacció química i element.

- No fan referència al significat microscòpic de substància simple i composta, fent èmfasi en el fet que tindre una composició fixa (nivell d'estudi macroscòpic) s'explica mitjançant la hipòtesi de que les partícules que els formen tenen sempre el mateix nombre d'àtoms de cada element (nivell microscòpic)
- Una conseqüència de la identificació conceptual entre material i substància és la confusió entre la substància composta (el compost) i la mescla de substàncies. La conseqüència de considerar que qualsevol material format per àtoms és una substància (no diferenciació entre material i substància), serà classificar a continuació les substàncies en mescles heterogènies (les mescles pròpiament dites) i mescles homogènies (els compostos), identificant així el compost amb la mescla de substàncies.
- En general, no s'explicita la conservació de l'element en el nivell macroscòpic de representació de les reaccions químiques, com idea que, de entrada, explica la diversitat substancial, al temps que explica la relació de les substàncies que reaccionen amb els productes de la reacció. En concret, sols un 4'1% de professors en actiu ho esmenta com contingut important a tractar en el tema de l'estudi dels canvis químics i cap d'ells ho té en compte com una possible dificultat dels estudiants.
- També es dona poca importància al nivell microscòpic d'estudi de la reacció, amb sols un 28'6% de professors en actiu que ho considera una part important de l'estudi dels canvis químics. Al propi temps, menys del 15% de professors considera que aquest pot ser un problema d'especial dificultat per als estudiants.
- Cap dels professors enquestats ha indicat la importància de la definició d'element químic a nivell microscòpic i sols un percentatge testimonial considera que cal explicar la conservació de l'element a nivell macroscòpic en les reaccions químiques.

- En general, no es fa èmfasi en l'existència de dos nivells de representació (macroscòpica i microscòpica), que cal relacionar per explicar els canvis químics. Fins i tot, en molts casos es superposa el nivell macroscòpic (una substància determinada) amb el microscòpic (la fórmula o símbol que representa una molècula d'aquesta substància).
- En canvi, es manté una certa tendència a la realització de càlculs, esmentant com possibles problemes dels estudiants l'ajust i estequiometria de les reaccions químiques.
- Entre les dificultats dels estudiants a què dona importància el professorat, es presenta el tema de les reaccions químiques com un coneixement especial per la quantitat d'estudis específics que requereix per a la seua comprensió, considerant que és una temàtica difícil per se.
- Tampoc es té en compte que els professors hem de cercar situacions problemàtiques obertes que obliguen a l'alumnat a prendre decisions i emetre hipòtesis, així com donar sentit a l'estudi, cercant implicacions CTS i medi ambient i tractant de potenciar actituds positives, diàleg entre persones i entre grups diferents, així com un clima de treball on es tinguen en compte els interessos i opinions dels estudiants.

En definitiva, considerem que el professorat es centra en el nivell de representació microscòpica, sense fer massa incidència en el nivell macroscòpic dels canvis químics. Així, les substàncies i els canvis químics es veuen des d'aquesta única perspectiva, sense tindre en compte la referència macroscòpica dels fenòmens que s'intenta explicar amb la teoria. S'explica així que, en general, els professors dubtem respecte del model macroscòpic que provoca els fets que interpretem, no coneguem les definicions, conceptes i idees que hem deixat darrere i sense les quals tenim greus problemes o dificultats, fins i tot per donar significat a les noves teories, al temps que no acostumem a cercar explicacions raonables en les classes. A partir de totes aquestes consideracions, és normal que els professors no compreguem les grans dificultats que tenen els estudiants.

5.3. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LA REDACCIÓ D'UN TEMA PER PROFESSORS QUE ES PRESENTAVEN A UN CONCURS – OPOSICIÓ.

Com es va esmentar anteriorment, l'autora de la investigació participà com tribunal en una oposició en la que va eixir el tema exposat a continuació al document 9

Desenvolupa per escrit el tema:

"L'estructura dels materials. Mètodes de separació dels sistemes materials." (Document 9)

Sistemes materials. Mescles, substàncies pures i elements. Transformacions físiques i químiques. Procediments de separació dels components d'una mescla i d'un compost. Llenguatge químic: normes IUPAC.

Tot seguit procedirem a l'anàlisi de les redaccions del professorat participant (N=42), en les que estudiarem la presència o no dels diferents aspectes que interessin per al present treball, però primer hem de puntualitzar que, entre tots els aspectes que anem a tractar, no hem fet menció dels axiològics per dues raons. En primer lloc, perquè la pròpia redacció del títol indica que es demanen continguts de tipus conceptuals i, en segon, perquè les redaccions s'han escrit en un moment molt especial, com és una oposició, en el que cal mostrar la major quantitat possible de coneixements conceptuals. Per aquests motius (i no perquè no els considerem fonamentals), no s'han tingut en compte els aspectes procedimentals i actitudinals en aquest apartat del treball. En canvi s'analitzaran els següents aspectes:

- Es començarà per comprovar si es posa èmfasi en el concepte de substància i es diferencia del concepte més general de material.
- Tot seguit es veurà si es diferencia suficientment entre els conceptes de mescla i compost.
- A continuació es passarà a veure si es dóna importància a les definicions microscòpiques de substància, substància simple i composta.
- El següent pas serà mostrar si es produeix una superposició del models conceptuals macroscòpic i microscòpic de substància. És a dir, caldrà veure si s'associen els conceptes d'àtom i element i els de molècula i compost. Més concretament, s'analitzarà si es transfereixen les propietats de la substància a les de la seua unitat elemental (àtom o molècula).
- Per últim, s'estudiarà si es posa de relleu la definició macroscòpica de reacció química com canvi substancial on es conserven els elements i si s'explica de forma clara la interpretació microscòpica de les reaccions (segons la teoria atòmica).

Per facilitar la lectura i mantindre l'anonimat dels autors dels textos, cadascun d'ells s'ha numerat de l'1 al 42. Al final de cada paràgraf utilitzat d'exemple, s'indica entre parèntesi el nombre assignat a cada redacció.

5.3.1. El professorat no emfasitza el concepte de substància ni el diferència del concepte més general de material.

Com hem vist en altres apartats d'aquest treball, un dels problemes més estesos entre els estudiants és la identificació entre els conceptes de *substància* i *material*, identificació que també es fa patent en alguns dels paràgrafs de les redaccions del professorat. En la taula que adjuntem a continuació, es pot apreciar l'elevat percentatge de respostes (88'1%) que no ofereixen clarament la definició macroscòpica de substància, així com el més elevat encara (92'9%) dels que no donen la diferència entre aquest concepte i el de mescla, motiu que ens fa suposar que no la qüestionen.

Concepte considerat	Percentatge de professors (N=42)
No explicita la definició operacional (macroscòpica) de substància	88'1
No presenta les diferències entre mescla (material en general) i substància (cos amb propietats característiques constants i definides) a nivell macroscòpic	92'9
Identifica explícitament material amb substància	26'2
No explica que substància i producte (natural, comercial, etc.) no són sinònims	100

Taula 5.9: Diferents mancances conceptuals trobades en les redaccions del professorat referents a la definició macroscòpica de substància

Són d'especial menció els casos en els que s'ha identificat explícitament material i substància (26'2%), dels que hem extret alguns exemples:

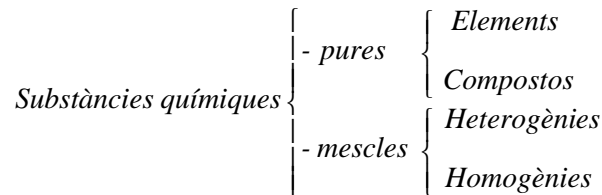
- *La matèria és tota substància que tinga una massa determinada. Les substàncies pures són aquelles que presenten les mateixes propietats físiques i químiques. [...] Les mescles són substàncies constituïdes per altres més simples (19)*
- *Definició de mescla: és una substància formada per més d'un element. Poden existir mescles homogènies i heterogènies. (31)*

En les dues redaccions podem apreciar una certa similitud de pensament segons el qual “*matèria és tota substància*” i “*les mescles són substàncies*” com afirma el primer exemple, o bé “*mescla: és una substància...*”, que diu el segon. En els dos paràgrafs es tracta d’afirmacions fetes des del punt de vista macroscòpic, en referència a les propietats en un cas o a la distinció entre homogènies i heterogènies en l’altre. A continuació, en els dos casos enceten un discurs microscòpic segons el qual afirmen que “*les mescles són substàncies formades per altres més simples*” o “*mescla: és una substància formada per més d’un element*” (interpretem que, en realitat, vol dir component), posant de manifest unes idees que recorden a la teoria aristotèlica segons la qual tots els materials estaven formats per la mescla dels quatre elements.

L’exemple que analitzem a continuació mostra una forma diferent de pensament, però en la que també s’aprecia que no diferencia els conceptes de substància i material. En el text utilitza l’expressió “substàncies químiques” com sinònim de “sistemes materials”, igualant així el concepte de substància amb el més general de material o producte.

FIGURA 5.1: Classificació dels sistemes materials segons la redacció del professor número 15

Una possible classificació de les formes en què es presenta la **matèria** a la natura seria la que s’indica en l’esquema següent:



Les mescles, com indica el nom, són substàncies formades per diferents components (que poden ser elements o compostos). La principal diferència de les mescles respecte de les substàncies pures és que les propietats fisicoquímiques de les mescles depenen en tot moment de les proporcions en què es troben els seus components (15).

El model mental de l’autor de l’anterior esquema, s’acosta a una classificació macroscòpica, quasi com el model conceptual pre-daltonià, si bé identifica la substància química amb material o sistema material. Al mateix temps, dóna un caràcter més restringit al concepte de *substància pura*, com una classe de substància que s’oposa a la mescla, però considerant-la també com substància química (material). En l’explicació que segueix a l’esquema abunda en la identificació quan diu que *les mescles són substàncies formades...*, en una afirmació en la que el concepte de substància es considera més inclusiu que el de mescla.

L'anterior seria un exemple explícit d'ús del concepte de substància amb dues accepcions: una més general, com material, producte o mescla i una segona més restringida, en afegir l'adjectiu *pura* (substància pura), que és realment la de substància.

5.3.2. El professorat no diferencia suficientment els conceptes de mescla i compost.

Una conseqüència de reduir el sistema material al concepte de substància, com ja hem vist anteriorment, serà la **dificultat per diferenciar entre mescla i compost**. Les conclusions obtingudes a partir de l'estudi dels 42 textos es mostren en la taula 5.10:

M mancança considerada	Percentatge de professors (N=42)
No esmenta les dificultats indicades en la recerca didàctica respecte de la no diferenciació que fa l'alumnat entre mescla i compost	95'2
No expliciten les diferències macroscòpiques entre mescla i compost	88'1
Identifica explícitament mescla i compost	7'1

Taula 5.10: Diferents mancances referents a la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost

Es pot apreciar que els resultats que apareixen a la taula 5.10 són consistents amb els obtinguts fins ara, com ho posa de manifest que un 88'1% dels participants no expliciten les diferències macroscòpiques entre mescla i compost, resultat coherent amb el 88'1% de professorat que, segons la taula 5.9, tampoc ofería la definició operacional de substància. A més, la quasi totalitat (95'2%) de respostes tampoc posen de relleu ni esmenten les greus dificultats dels estudiants per distingir entre aquests dos sistemes materials.

També hi ha coherència entre el 26% dels participants que identificaven explícitament els conceptes de material i substància i un percentatge lleugerament inferior (7%), però important, en base a la mostra de què es tracta, que identifica els conceptes de mescla i compost. A títol d'exemple d'aquest darrer percentatge mostrem el següent paràgraf:

- *Per separar els components d'una mescla o d'un compost hem d'utilitzar mètodes físics o químics en funció de les característiques de la mescla: centrifugació, filtració,... químicament els procediments per a separar els components d'una mescla són més complexos. (2)*

L'anterior text parla de la separació dels components d'una mescla o d'un compost. La disjunció es pot interpretar com que va a explicar els diferents mètodes per als dos casos, però a continuació sols parla de la mescla, d'una forma que es podria interpretar com que aquest professor considera que la mescla és el mateix que el compost (malgrat que aquest anàlisi es basa en un sol paràgraf i, per tant, l'hem d'entendre amb reserves).

5.3.3. El professorat no dóna importància a les definicions microscòpiques de substància, substància simple i substància composta.

També hem trobat que, en una gran majoria dels documents redactats, no es fa cap referència a l'anàlisi microscòpic del concepte de substància, ni tampoc al de les substàncies simples i compostes.

M mancança considerada	Percentatge de professors (N=42)
No explícita la definició microscòpica de substància (la substància té totes les partícules -àtoms o molècules- iguals)	95'2
No fa èmfasi en el fet que les substàncies simples estan formades per àtoms de la mateixa classe i les substàncies compostes per àtoms diferents en proporcions fixes	81'0

Taula 5.11: Mancances referents al model microscòpic de substància

Segons podem apreciar en els resultats exposats a la taula 5.11, la gran majoria dels professors que han desenvolupat el tema no explica el que és una substància des del punt de vista del model atòmic (95%). Podem entendre que, segurament, es dóna per sabut que una substància està formada per moltes partícules i que totes són iguals i per això no en fan referència.

Aquest resultat també és coherent amb els anteriors donat que, si considerem que la constància de les propietats macroscòpiques d'una substància s'explica mitjançant el model de partícules iguals, no donar aquesta explicació afavoreix la manca de la definició macroscòpica del concepte de substància com cos amb unes propietats característiques i constants, concepte que un 88'1% de professorat tampoc donava, com podíem apreciar a la taula 5.9.

5.3.4. Superposició dels models conceptuals macro i microscòpic de substància, per part del professorat.

Hem pogut apreciar que, en 16 de les 42 respostes analitzades, es dona algun exemple o juxtaposició dels nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic, com s'indica a la taula 5.12.

Concepte considerat	Percentatge de professors (N=42)
Hi ha alguna superposició o transposició incorrecta entre els dos nivells d'estudi macro i microscòpic dels sistemes químics.	38'1

Taula 5.12: Superposició dels models conceptuals macroscòpic i microscòpic

Com acabem de dir, en molts casos no es fa cap referència a l'anàlisi microscòpic del concepte considerat i, en canvi, es passa del nivell macroscòpic al microscòpic sense fer-hi referència, com és el cas que presentem a continuació:

- *La matèria es pot definir com tot allò que ens rodeja, que es pot veure i tocar, com la terra,... també tot allò que presenta una composició determinada, que està format per partícules que són àtoms, a vegades formant molècules com Fe (ferro) ... o molècules diatòmiques com nitrogen (N₂) ... o més complexes com glucosa, proteïnes, cel lulosa, etc..... A més, els químics expressen la quantitat de matèria de vegades en mols, on un mol són 6'023·10²³. D'esta forma poden mesurar en blocs. (6)*

La primera reflexió en analitzar el text és la importància de les dificultats que reflecteix. Sembla que aquest professor confon el primer món (extern) de Popper amb el segon món (el del seu coneixement), de forma que identifica el que pensa (model atòmic, en aquest cas) amb el que existeix (la veritat o realitat). Aquest model mental està molt estès, tant entre professors com en estudiants i suposa no saber que els coneixements que tenim són hipotètics i amb ells interpretem els fets del món extern. La conseqüència és el canvi del nivell d'estudi macroscòpic al microscòpic sense adonar-se i, per tant, donant pas a la superposició dels models o la transposició d'un d'ells a l'altre.

Continuant amb l'anàlisi de l'exemple anterior (text 6), la definició que fa de matèria com *allò que es pot veure i tocar...* és reduccionista i pot agreujar el problema de la manca de consideració de materialitat per als gasos, malgrat que posa com exemple el nitrogen. A continuació, passa del nivell macroscòpic al microscòpic sense donar cap indicació, afirmant que *la matèria* (vol dir les substàncies) *presenta una composició determinada*. Per últim, tal vegada derivat de la no diferenciació entre material i substància, es pot apreciar en el text la

confusió entre quantitat de substància (la unitat de mesura de la qual és el mol) i quantitat de matèria o massa, a més que en compte de "un mol són..." hauria de dir *un mol conté...* ja que el número de mols no és el número d'Avogadro.

Totes les transposicions que hem trobat en l'anàlisi de les redaccions fan referència als apartats que ressenyem a continuació, i dels que mostrem alguns exemples significatius.

5.3.4.1. Exemple de resposta que associa l'àtom amb l'element.

- *Els sistemes materials estan formats per la unió d'elements distints o d'elements idèntics. Dins dels sistemes materials podem distingir diferents tipus: substàncies pures, mescles i elements químics. [...] Seran elements quan estiguen formats per un únic tipus d'àtoms, caracteritzats per tindre tots el mateix nombre atòmic. [...] Els elements químics són les estructures de la matèria més petites que existeixen i que tenen identitat pròpia. Els elements químics estan classificats en la taula periòdica. (40)*

En la primera frase del text s'aprecia una classificació dels sistemes materials atenent al criteri macroscòpic: elements idèntics o diferents. És en la 4a i 5a línia quan la identificació entre element i àtom es fa més evident encara, quan afirma que *els elements químics són les estructures de la matèria més petites que existeixen i que tenen identitat pròpia*.

Més endavant tenim altra mostra de les dificultats d'aquest professor, quan continua afirmant que "dins dels sistemes materials podem distingir diferents tipus: substàncies pures, mescles i elements químics...". En aquest cas estaria utilitzant el criteri (que ja hem esmentat abans) on *substància pura* i *mescla* serien una subdivisió lògica dels sistemes materials que tenen àtoms diferents. És a dir, les *substàncies pures* tindrien el significat de compostos. En aquesta classificació dels sistemes materials també s'aprecia que no apareix el concepte de substància simple, la manca del qual ens fa pensar en una primera aproximació que està identificant-la amb el concepte d'element.

Per últim, podem veure que comença parlant de sistemes materials a nivell macroscòpic, però continua el discurs explicant que els elements estan formats per àtoms, tenen identitat pròpia,... és a dir, passa del nivell macroscòpic al microscòpic sense donar cap explicació ni referència per a que el lector s'adone, amb una visió acumulativa lineal a la que ja hem fet referència en altres apartats d'aquest treball.

La conclusió, doncs, és que, per arribar a una correcta comprensió dels conceptes que venim estudiant, és molt important establir una classificació dels materials en la qual l'element és el concepte estructurant que els relaciona a tots.

5.3.4.2. Exemple de resposta que associa la molècula amb el compost.

- *Els elements són substàncies pures formades per una única entitat, ... Els compostos són substàncies pures formades per dos o més elements i que poden ser separades per procediments químics. Exemples: H_2SO_4 (àcid sulfúric) format per 2 àtoms d'hidrogen, 1 àtom de sofre i 4 àtoms d'oxigen. (33)*

Igual que en mots casos s'identifica un àtom amb un element, és corrent identificar la molècula amb el propi compost, com en el cas anterior, en el que identifica l'àcid sulfúric amb una molècula de H_2SO_4 . Quan en la primera línia afirma que els elements estan formats *per una única entitat* suposem que vol dir que la substància està formada per una única entitat elemental, com es veu després quan identifica la substància àcid sulfúric amb la molècula H_2SO_4 . Aquesta reflexió no significa que suposem que el professor considera que el compost està format sols per una molècula, sinó que la manca d'explicació pot provocar aquesta identificació entre els alumnes.

5.3.4.3. Exemple de resposta amb transferència de les propietats de la substància a les de l'entitat elemental (àtom o molècula).

- *Si es parteix d'un estat sòlid en augmentar la temperatura... i hi haurà una temperatura a la qual aparega la primera molècula en estat líquid fins que a una temperatura determinada aparega la primera molècula gasosa, aquesta temperatura s'anomena temperatura d'ebullició (4)*

Se'ns presenta en aquest cas un tipus d'identificació molt subtil, consistent en prendre la part (les partícules) pel tot (la substància) i a la qual pot arribar-se amb freqüència quan s'utilitza el simbolisme químic. Segons aquesta identificació els àtoms (en les substàncies simples) o les molècules (en el cas dels compostos), tenen les mateixes propietats que les substàncies que formen. Seguint el mateix raonament, una molècula "és" el compost i un àtom "és" l'element al que representa, de forma que s'arriba a la identificació àtom/element i molècula/compost que hem proposat en els apartats anteriors 5.3.4.1 i 5.3.4.2.

Aquesta identificació és la que Piaget va denominar *atomisme primari*, obtinguda a partir d'una experiència en la que dissolia sucre en un got d'aigua en presència d'adolescents. Després de discutir el que podia ocórrer allí, els joves plantejaven que, com la dissolució tenia sabor dolç i contenia els àtoms o molècules del sucre, encara que no es veien, la dolçor del sucre (substància) havia d'ésser deguda a la dolçor de les molècules, que eren portadores de les propietats de la substància.

5.3.5. El professorat no posa de relleu la definició macroscòpica de reacció química com canvi substancial on es conserven els elements, ni tampoc la interpretació microscòpica (segons la teoria atòmica).

El present apartat té com objectiu mostrar la manca d'importància que dona el professorat a la definició macroscòpica de reacció química, és a dir, a l'anàlisi de la reacció per medi de l'estudi de les substàncies que hi participen, amb la desaparició d'unes (els reactius) i l'aparició d'altres noves (els productes), lligades entre elles per medi de la conservació de l'element. També analitzarem la presència o no de la definició microscòpica del concepte de substància, des del punt de vista de la teoria atòmica, segons la qual, la reacció química es produeix a conseqüència de la reorganització dels àtoms que formen les substàncies reaccionants.

La taula 5.13 presenta els percentatges de respostes analitzades relatives a aspectes generals dels sistemes materials i que caldria que els professors tingueren en compte envers una bona comprensió del concepte de reacció química.

Concepte considerat	Percentatge de professors (N=42)
No explica el concepte macroscòpic de reacció química (reconeixement dels processos químics com canvis substancials)	71'4
No explica les reaccions mitjançant la teoria atòmica de Dalton, és a dir, com una reorganització d'àtoms (concepte micro)	95'2
No explica que l'element químic es reconeix macroscòpicament com allò que es conserva en el canvi químic.	85'7

Taula 5.13: Aspectes generals respecte de les substàncies i les reaccions químiques no considerats pel professorat

Com venim afirmant en diversos apartats d'aquest treball, si no es defineix clarament el concepte macroscòpic de substància i es relaciona amb el model microscòpic, tampoc es tindran criteris per determinar si es manté o no la mateixa substància que teníem al principi, de forma que es dubtarà a l'hora de distingir clarament entre una transformació física i una química. En el següent text presentem un exemple concret:

1 Les transformacions físiques són aquelles en què es produeixen canvis químics en les
2 substàncies observades, per mitjà de modificacions de temperatura, pressió, etc. Són
3 transformacions físiques processos com la solidificació, sublimació, ebullició,... en els que
4 per passar d'un estat a un altre sols cal efectuar variacions de temperatura mantenint la
5 substància les propietats químiques. [...] Els components d'una mescla i d'un compost es
6 poden separar per processos mecànics, físics i químics. [...] Els procediments químics són
7 els que utilitzen mecanismes químics per a separar. Hi ha diversos mètodes: (1)
8 Escalfament: Generalment és un mètode de separació d'hidrocarburs que, en escalfar-los
9 es descomponen donant diòxid de carboni i aigua. (2) Per escalfament amb altre element:
10 S'escalfa el compost en corrent d'hidrogen, carboni, etc., que formarà diòxid de carboni,
11 aigua. (19)

En la primera línia, l'autor del text afirma que, en les transformacions físiques es produeixen canvis químics en les substàncies. A continuació explica correctament els canvis físics, segons els quals pot canviar l'estat físic de la substància, sense canvis en la mateixa. Però en parlar dels mecanismes químics per *separar els components d'una mescla i d'un compost* (línies 8 i 9), posa com exemple la separació d'hidrocarburs per escalfament, que consisteix en *la descomposició per formar diòxid de carboni i aigua*. És a dir, parla de separar els diversos hidrocarburs que poden estar presents en la mescla, però no manté les substàncies inicials, sinó que les transforma en altres substàncies noves com si fos una combustió.

Altre aspecte important a ressenyar com resultat de l'anàlisi de les redaccions del professorat és que en cap d'elles es menciona que en el canvi substancial que es produeix en una reacció química, es conserven els elements. Així, el concepte d'element queda deslligat dels altres, deixant el camí lliure per utilitzar-lo de manera genèrica, donant-li diversos significats segons el context del discurs, com es pot veure en el següent exemple:

1 Una mescla és la unió de dos o més elements, però que les propietats es mantenen
2 inalterades, segueixen sent els elements propis del sistema. Podem diferenciar dos tipus de
3 mescles: homogènies i heterogènies. Una mescla homogènia és aquella que per mitjans
4 externs no podem diferenciar els seus elements, per exemple dissolució de sal en aigua...
5 Tots els elements poden sofrir transformacions físiques o químiques... Un altre cas diferent
6 són les transformacions químiques, en elles sí que tenim un canvi de propietats i
7 característiques d'algun element (2)

En el text anterior podem apreciar l'ambigüitat i confusió amb que s'utilitza el terme element. Quan afirma en la primera línia que *una mescla és la unió de dos o més elements* i

també més endavant, quan diu que *en una mescla homogènia no es poden diferenciar els seus elements*, s'interpreta que utilitza el terme "elements" amb el significat de "substàncies diferents".

Tot seguit, en la línia 5 diu que *tots els elements poden sofrir transformacions físiques o químiques... en les que tenim un canvi de propietats i característiques*, mostrant un grau de confusió important. Aquest és un exemple de no conservació dels elements en el canvi químic, és a dir, una mena d'acceptació implícita de la transmutació. Però encara és major la confusió apreciable més endavant, en les línies 6 i 7, quan afirma que *en la transformació química sols hi ha algun canvi de propietats d'algun element*. Amb açò sembla que aquest professor no sap que una substància no té propietats variables, que un canvi químic és un canvi substancial i, a més, sembla afirmar que en la reacció poden conservar-se uns elements i altres no.

5.3.6. Síntesi dels resultats obtinguts en la redacció d'un tema per professors que es presentaven a una oposició.

A mena de conclusió final ressaltarem que, en principi, considerem que és lògic que el professorat no es plantege el tema que estem analitzant com resposta a la qüestió "què es conserva en els canvis químics", perquè això implicaria tindre clar que en el model de representació macroscòpica (que és el context en el que es planteja el tema a desenvolupar), la idea de substància és un concepte estructurant i necessari per establir si els reactius han canviat o no. Malgrat això, a partir de tots els casos que hem estudiat, hem pogut apreciar que, igual que ocorre amb els estudiants, també entre el professorat es presenten dificultats conceptuals i epistemològiques, de les que podríem destacar les següents:

- Un 88'1% de professors no ofereix la definició macroscòpica de substància, de forma que no permet diferenciar els conceptes de material i substància (de fet, un 26'2% els identifica expressament). En general, el professorat no presenta el referent empíric que es vol explicar (les substàncies i les seues transformacions) com un problema que es vol resoldre amb un model conceptual microscòpic. És a dir, l'ensenyament obvia completament el model macroscòpic, però tracta de donar-li solucions amb un model atòmic (conceptual microscòpic), que és el que realment es valora com vertader. S'entén així que, quan s'introdueixen per primera vegada els coneixements químics (o qualsevol altres), es fa d'una forma en la que no sols no es tenen en compte els coneixements inicials dels estudiants per partir d'ells, sinó que, a més, es donen respostes a problemes

que prèviament no s'han presentat, en una mena de presentació afàsica, amb uns arguments finals que no responen ni deixen entendre el principi d'on s'ha partit, de forma que no es produeix una relació entre els fets observables i els models teòrics amb els quals es volen interpretar (Albanese et al. 1997, Justí i Gilbert 2000). Açò explica que els aprenents no entenguen moltes de les proposicions que els professors expressen directament, que les estudien de forma totalment descontextualitzada i que consideren les classes de Química com una cosa totalment aliena a la societat.

- Els professors tampoc donen massa importància a les dificultats trobades per la recerca respecte de les dificultats dels estudiants per diferenciar entre mescla i compost, amb un 88'1% que no hi fa referència i un 7'1% que els identifica explícitament.
- Tampoc es fa menció de les definicions microscòpiques de substància, substància simple i composta, amb percentatges majors del 80% en tots els casos que no la donen.
- La manca d'importància que es dona a les definicions microscòpiques està relacionada amb les superposicions entre els dos nivells d'estudi macroscòpic i microscòpic, havent-se trobat un 38'1% de professors que, en un moment del discurs han fet alguna juxtaposició.
- Pel que fa a les reaccions químiques, hi ha una manca quasi absoluta de definicions, ja que un 71'4% de professors no explica el concepte macroscòpic de reacció química; el 95'2% no fa referència a l'aspecte microscòpic de les mateixes i un 85'7% no esmenta que en els canvis químics es conserva l'element.
- Per últim, un 38'1% dels professors participants han efectuat alguna transposició entre els nivells d'estudi macro i microscòpic, segons una visió realista ingènua, en la que els àtoms (en les substàncies simples) o les molècules (en els compostos), tenen les mateixes propietats que les substàncies que formen.

5.4. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS EN L'ANÀLISI DE LLIBRES DE TEXT (DOCUMENTS 10 a 15).

El present apartat es destina a l'anàlisi de llibres de text, amb l'objectiu fonamental de relacionar els aspectes vists fins ara quan a dificultats i omissions en l'ensenyament, amb la presentació que d'ells se'n fa en els llibres de text. Aquests aspectes els podrem identificar a través de qüestions susceptibles de ser contrastades que, per facilitar l'estudi, estaran desglossades en forma de subapartats.

L'anàlisi s'ha fet per mitjà d'una xarxa que consta de 27 qüestions, la finalitat de les quals serà cercar la presència o absència de diferents aspectes conceptuals, històrics i epistemològics distribuïdes en quatre subapartats, que fan referència als següents aspectes:

- Sobre els conceptes macroscòpic i microscòpic de substància i mescla.
- Sobre la classificació macroscòpica i la interpretació microscòpica de les substàncies simples i compostes.
- Sobre el concepte d'element químic.
- Sobre el canvi químic en els nivells de conceptualització macro i microscòpic.

Les qüestions estan formulades de forma negativa, de manera que, no tindre en compte els diferents aspectes plantejats en cada qüestió validarà la hipòtesi que proposem respecte de les mancances en l'ensenyament convencional. En l'anàlisi hem tractat de recollir tots els aspectes que fan referència al tema que estem estudiant, deixant la teoria atòmica i el desenvolupament de les idees d'Avogadro per altre treball posterior.

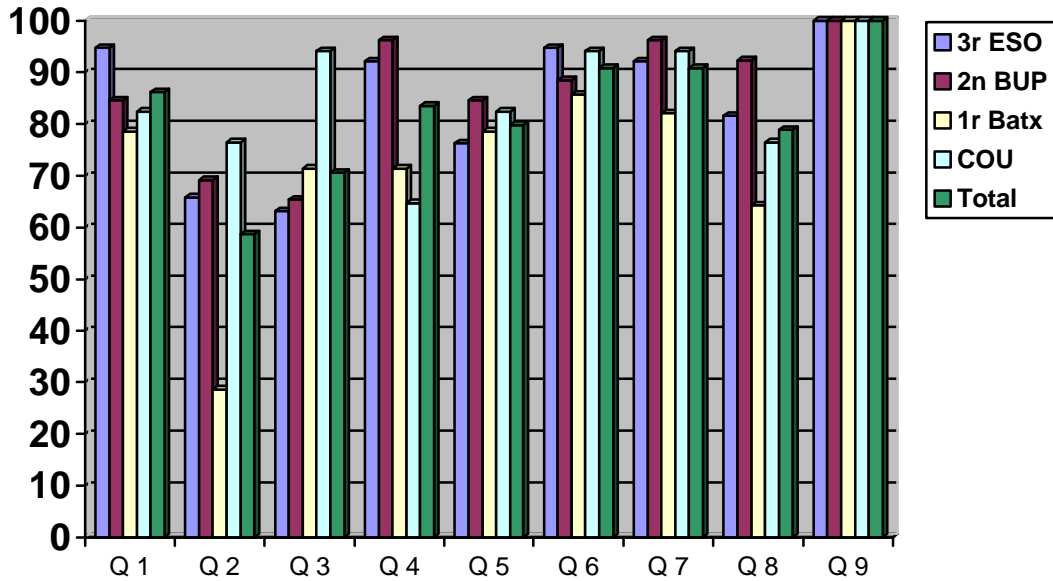
Com ja esmentarem en el seu moment, el tema relatiu a la classificació dels materials i la caracterització de les substàncies no està present al temari oficial de 3r de BUP ni al de 2n de Batxillerat, raó per la qual no estan presents mostres d'aquests cursos en els apartats corresponents.

5.4.1. Sobre els conceptes macroscòpic i microscòpic de substància i mescla (document 10).

Començarem per desenvolupar tots els aspectes relacionats amb el concepte macroscòpic i microscòpic de substància química i la diferenciació respecte del concepte més general de mescla. La taula 5.14, que presentem a continuació, mostra tots els aspectes analitzats que hi fan referència (document 10), primer especificats per cursos i tot seguit, amb una columna final que mostra els percentatges generals.

Qüestions considerades	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	1r Batx N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
1.- No introdueix el problema a estudiar com una situació problemàtica que interessa resoldre	94'7	84'6	78'6	82'4	86,2
2.- No introdueix la noció macroscòpica de substància com sistema material amb un conjunt de propietats característiques	65'8	69'2	28'6	76'5	58'7
3.- No diferencia substància i mescla a partir de les propietats del sistema material en qüestió	63'2	65'4	71'4	94'1	70'6
4.- No utilitza les propietats específiques com mètode per caracteritzar i també separar substàncies	92'1	96'2	71'4	64'7	83'5
5.- No exposa què en els canvis físics les substàncies no canvien	76'3	84'6	78'6	82'4	79'8
6.- No presenta la substància microscòpicament, com sistema format per moltes partícules totes iguals	94'7	88'5	85'7	94'1	90'8
7.- No presenta microscòpicament el concepte de mescla mitjançant la teoria atòmica	92'1	96'2	82'1	94'1	90'8
8.- No es fa cap referència a comentaris històrics sobre el concepte de substància	81'6	92'3	64'3	76'5	78'9
9.- No fa referència a què els estudiants identifiquen el concepte de substància amb la idea més general de material (que quasi sempre és una mescla)	100'0	100'0	100'0	100'0	100'0

Taula 5.14: Percentatge de llibres de text que mostren l'absència d'aspectes importants per a la comprensió del concepte de substància en els nivells de representació macro i microscòpic .



Gràfica 5.1: Percentatge de llibres de text que no fan referència als aspectes referents a la comprensió del concepte de substància a nivells macro i microscòpic (taula 5.14)

Els resultats de l'anàlisi de llibres de text respecte d'aquesta temàtica es mostren a la taula 5.14, de la que pot destacar-se els elevats percentatges obtinguts en la totalitat dels ítems, entre els que podem ressaltar que el 58'7% dels textos analitzats no donen la definició macroscòpica de substància. També és un factor a ressenyar que tots els llibres analitzats dediquen un apartat a explicar els mètodes físics de separació de substàncies, però un 83'5% d'ells no esmenten que estan utilitzant les propietats específiques de les substàncies com mètode per caracteritzar-les i separar-les al laboratori.

També s'ha pogut comprovar com un 90'8% dels llibres de text no presenten les substàncies microscòpicament com un sistema format per moltes partícules iguals. Per últim, també és interessant destacar els resultats obtinguts en la qüestió 9 (taula 5.14), en la que el 100% dels textos no tenen en compte els resultats de la recerca referents als problemes d'identificació entre material i substància a nivell macroscòpic.

5.4.2. Sobre la classificació macroscòpica i la interpretació microscòpica de les substàncies simples i compostes (documents 11, 12 i 13).

Passarem a continuació a analitzar el tractament donat pels llibres de text a la classificació de les substàncies (document 11). Començarem per presentar una taula en la que s'especifiquen les diferents classificacions que s'ofereixen als llibres de text.

Categories de classificació de les substàncies	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	1r Batx N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
1.- Classifica les substàncies en simples i compostes *	10'5	11'5	17'9	--	11'0
2.- Classifica les substàncies en elements i substàncies compostes	81'6	57'7	78'6	88'2	76'1
4.- No fa cap classificació	7'9	30'8	3'6	17'6	13'8

* Resposta més rigorosa

Taula 5.15: Categories de classificació de les substàncies que s'utilitzen en els llibres de text.

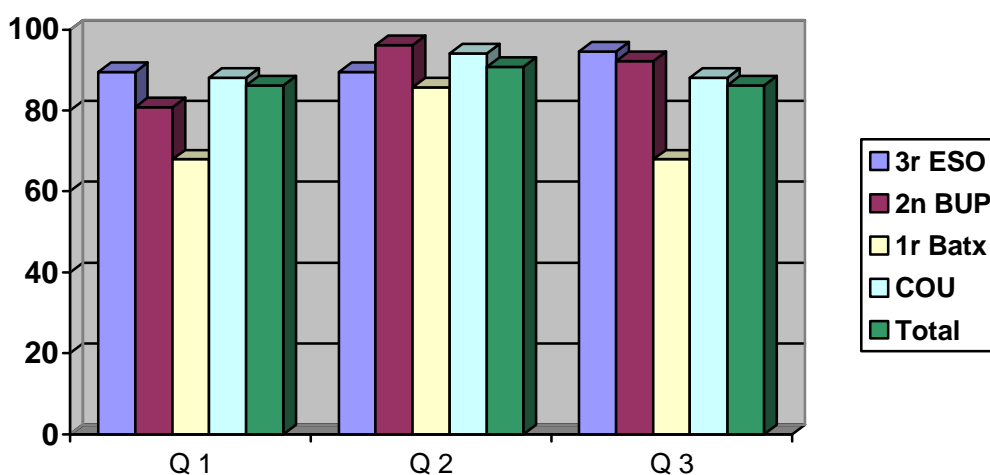
La taula 5.15 mostra com classifiquen les substàncies els diferents autors. En primer lloc, hem col·locat la resposta més rigorosa, és a dir, aquells que classifiquen les substàncies en simples i compostes (únicament un 11% del total). Tot seguit, els que classifiquen entre elements i substàncies compostes i, per últim, hi ha un altre grup (13'8%) de textos que no estableix cap tipus de classificació, és a dir, deixen en mans del propi alumne establir-la.

Tot seguit, passarem a fer una anàlisi macroscòpic de la classificació de les substàncies (document 12), en el que es comprovarà la presència o no d'aspectes importants per comprendre els conceptes de substància simple i composta i els mètodes per diferenciar-les de les mescles.

Qüestions considerades	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	1r Batx N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
1.- No classifica les substàncies introduint criteris empírics de classificació basats en l'anàlisi i síntesi.	89'5	80'8	67'9	88'2	86'2
2.- No incideix en les diferències procedimentals per separar una mescla i un compost.	89'5	96'2	85'7	94'1	90'8
3.- No té en compte al menys un dels problemes històrics que s'hagueren de vèncer per a la introducció del concepte macroscòpic de compost i les controvèrsies fins diferenciar les dissolucions dels compostos	94'7	92'3	67'9	88'2	86'2

Taula 5.16: Percentatge d'absència d'aspectes importants per a la comprensió dels conceptes de substància simple i composta.

La dificultat dels estudiants per diferenciar entre mescla i compost ha estat un aspecte molt desenvolupat per la investigació en Didàctica de les Ciències dels darrers anys. Malgrat tot, l'anàlisi realitzat mostra que el 90'8% de textos no explica les diferències entre mescla i compost, ni tan sols fa referència a elles.



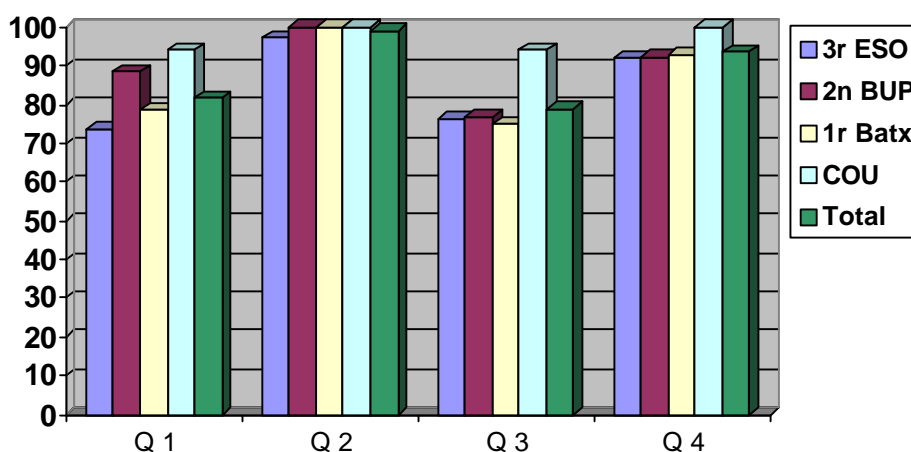
Gràfica 5.2: Percentatge de llibres de text que no fan referència als aspectes fonamentals per a la comprensió dels conceptes de substància simple i composta (document 12, taula 5.16)

Pel que fa a l'aspecte microscòpic dels conceptes de substància simple i composta, els resultats han estat prou similars. Les dades obtingudes a partir de l'anàlisi del document 13 es mostren a continuació en la taula 5.17:

Qüestions considerades	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	1r Batx N=28 %	COU N=17 %	TOTAL N=109 %
1.- No interpreta els conceptes microscòpics de substància simple i compost des del punt de vista de la teoria atòmica	73'7	88'5	78'6	94'1	81'7
2.- No fa referència a que l'alumnat té tendència a identificar, a nivell microscòpic, els conceptes de mescla i de compost, és a dir, associen una mescla d'àtoms indistintament a les mescles i els compostos	97'4	100'0	100'0	100'0	99'1
3.- No explica què la paraula molècula fa referència a grups formats per dos o més àtoms, iguals o diferents	76'3	76'9	75'0	94'1	78'9
4.- No delimita el camp de validesa dels nivells d'estudi macro i micro ni ix al pas de que s'extrapolen les propietats de les substàncies a les de les molècules	92'1	92'3	92'9	100'0	93'6

Taula 5.17: Percentatge d'absència d'aspectes importants per a la comprensió de l'aspecte microscòpic dels conceptes de substància simple i composta (document 12).

L'aspecte més important a destacar d'aquest apartat és l'elevada absència d'interpretació microscòpica dels conceptes de substància simple i composta (81'7%), que deixa a la imaginació de l'alumne la seua comprensió i tanca la porta a l'explicació posterior de les reaccions químiques a nivell microscòpic.



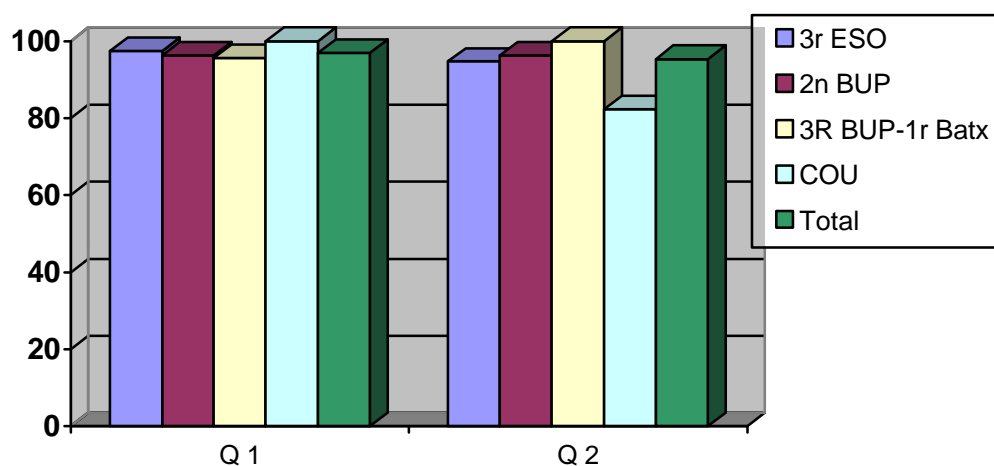
Gràfica 5.3: Percentatge de llibres de text que no fan referència als aspectes fonamentals detectats per la recerca per a la comprensió de l'aspecte microscòpic dels conceptes de substància simple i composta (document 13, taula 5.17)

5.4.3. Sobre els conceptes macroscòpic i microscòpic d'element químic (document 14).

El següent aspecte que tractarem és el relacionat amb l'element químic, considerat des de les dues vessants, macroscòpica (l'últim component que s'obté en analitzar les substàncies compostes) i microscòpica (una substància ideal, formada per moltíssims àtoms iguals). Els resultats obtinguts en l'anàlisi dels llibres de text es presenten a la taula 5.18

Qüestions considerades	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	3r BUP 1r Batx N=47 %	COU N=17 %	TOTAL N=128 %
1.- No es dóna la idea macroscòpica d'element químic com l'últim component de l'anàlisi de les substàncies compostes	97'4	96'2	95'7	100'0	96'9
2.- No es defineix microscòpicament l'element químic com una substància ideal formada per nombrosos àtoms iguals	94'7	96'2	100'0	82'4	95'3

Taula 5.18: Percentatge de llibres de text que no fan referència a la definició d'element químic a nivell macro i microscòpic (document 14).



Gràfica 5.4: Gràfica corresponent als resultats obtinguts en l'anàlisi referent als llibres de text que no fan referència a la definició d'element químic a nivell macro i microscòpic (taula 5.18)

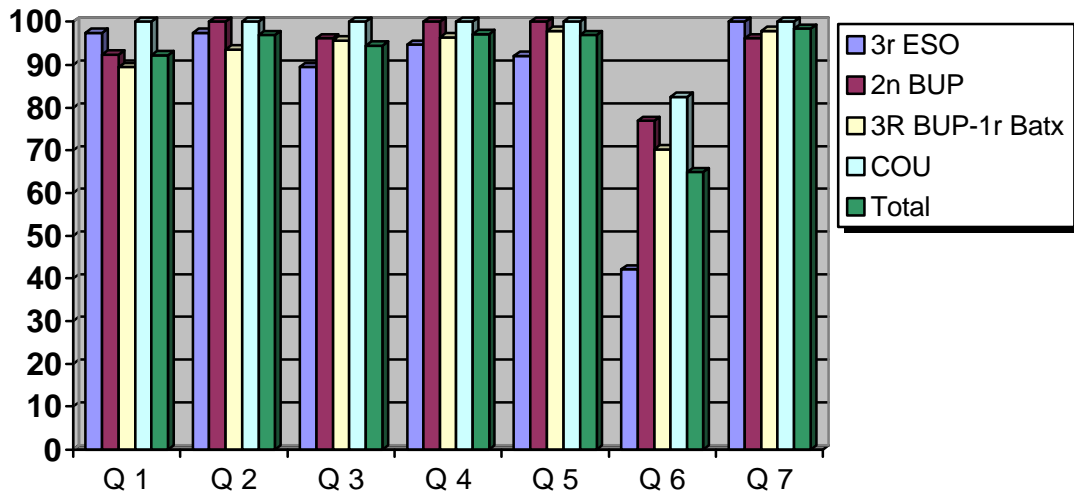
Els resultats de la taula 5.18 mostren com més del 90% dels llibres de text no ofereixen explícitament la definició macroscòpica ni microscòpica d'element.

5.4.4. Sobre el canvi químic en els nivells macro i microscòpic (document 15).

Per finalitzar l'anàlisi dels llibres de text, passem a mostrar els resultats obtinguts en la part d'estudi referent a les reaccions químiques, en els nivells d'estudi macroscòpic (com canvi on desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves, amb propietats diferents, però relacionades amb les inicials per medi de l'element, que es conserva) i el microscòpic (en el que les noves substàncies es formen per trencament de les unions que formaven les antigues, reorganització d'àtoms i formació de nous enllaços), utilitzant la teoria atòmica de Dalton. Els resultats obtinguts en els diferents ítems es presenten a continuació a la taula 5.19

Qüestions considerades	3r ESO N=38 %	2n BUP N=26 %	3r BUP 1r Batx N=47 %	COU N=17 %	TOTAL N=128 %
1.- No presenta el concepte macro de reacció química com canvi on desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves amb propietats diferents però relacionades amb les inicials (interacció substancial)	97'4	92'3	89'4	100'0	92'2
2.- No estableix la idea d'element químic com resposta a la qüestió de què es conserva en un canvi químic	97'4	100'0	93'6	100'0	96'9
3.- No diferencia entre la mescla (procés físic) i la reacció entre substàncies (procés químic) ni indica què la mescla dels reactius és necessària per a què interaccionen les substàncies, però no és suficient	89'5	96'2	95'7	100'0	94'5
4.-No fa referència explícita a què el compost és diferent a la mescla de substàncies simples a partir de les quals es pot obtenir o en les quals es descomposa	94'7	100'0	96'4	100'0	97'2
5.- No explicita la diferència entre canvi físic i procés químic a nivell microscòpic	92'1	100'0	97'9	100'0	96'9
6.- No utilitza la teoria atòmica per interpretar processos químics senzills d'interès per a l'alumnat	42'1	76'9	70'2	82'4	64'8
7.- No esmenta que la teoria de Dalton no assumeix la possibilitat de la transmutació dels metalls en or (els àtoms són immutables)	100'0	96'2	97'9	100'0	98'4

Taula 5.19: Percentatge de llibres de text que no fan referència a aspectes importants detectats per la recerca en l'estudi de les reaccions químiques (document 15).



Gràfica 5.5: Percentatge de llibres de text que no fan referència a aspectes importants detectats per la recerca en l'estudi de les reaccions químiques. (document 15, taula 5.19)

Ressaltarem en primer lloc el 92'2% dels llibres de text consultats que no expliciten el concepte macroscòpic de reacció química (qüestió 1) com canvi on desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves amb propietats diferents però relacionades amb les inicials. Al propi temps un 64'8% no utilitzen la teoria atòmica per interpretar processos químics senzills, de forma que, en general, no ofereixen eines per explicar processos químics senzills com l'oxidació d'un metall.

Pel que fa als aspectes que la recerca ha trobat que són difícils per l'alumnat, tampoc es fan ressò, doncs trobem per exemple en la qüestió 3, com un 94'5 % de llibres de text no diferència entre la mescla (procés físic) i la reacció entre substàncies (procés químic), ni indica que la mescla dels reactius és necessària per a què interaccionen les substàncies, però no és suficient. D'altra banda, la qüestió 4 mostra com un 97'2% dels llibres de text no fan referència explícita a que el compost és diferent a la mescla de substàncies simples a partir de les quals es pot obtenir i presenta propietats diferents, que no guarden relació amb les de les mateixes. Per últim, segons la qüestió 7 un 98'4% dels llibres de text no esmenta que l'acceptació de la teoria de Dalton acabava amb la possibilitat de la transmutació dels metalls en or, eixint al pas d'altres dificultats dels estudiants.

5.5. CONCLUSIONS GENERALS DELS RESULTATS OBTINGUTS REFERENTS A L'ENSENYAMENT DELS CONCEPTES DE SUBSTÀNCIA, ELEMENT QUÍMIC I REACCIÓ QUÍMICA.

A mena de conclusió d'aquest capítol, recordarem que hem utilitzat quatre dissenys diferents: el primer, un qüestionari format per dues qüestions, que s'ha passat a professors en formació. El segon ha consistit en un qüestionari al que han donat resposta tant professors en formació com professors en actiu, amb diferent experiència en l'ensenyament. També hem utilitzat una redacció escrita per professors en situació d'examen i, per últim, hem efectuat una anàlisi, mitjançant una xarxa d'anàlisi, que s'ha aplicat a una mostra exhaustiva dels llibres de text utilitzats a les aules en els darrers anys (N=128).

Exposem a continuació les conclusions obtingudes a partir de l'anàlisi dels anteriors dissenys:

- En general, i malgrat la diversitat de dissenys utilitzats, s'han obtingut molt poques respostes indicatives d'algun tipus de referència cap als aspectes procedimentals i actitudinals del currículum. En concret, un 86'2% de llibres de text no té en compte els aspectes axiològics i, menys del 18% del professorat, considera que és important relacionar els continguts conceptuals que s'estudien a classe amb aspectes relacionats amb la ciència, tecnologia, societat o medi ambient.

- Podem afirmar que l'ensenyament no té en compte el concepte macroscòpic de substància, donat que, un 88'1% de professors que es presenten a oposició no explicita la definició macroscòpica de la mateixa; al voltant del 86% dels professors no esmenten la necessitat de conèixer-la, com requisit previ a l'estudi dels canvis químics; sols un 3% ho mencionen com aspecte important a explicar quan s'estudien els canvis químics i menys d'un 15% consideren que la definició macroscòpica de substància pot representar un problema per als estudiants.

A més de les dades anteriors podem afegir que, un 58'7% dels llibres de text analitzats, no ofereixen la definició operacional (macroscòpica) de substància com sistema material amb un conjunt de propietats característiques. Un exemple d'aquesta mancança l'ofereix l'esquema de la Q4 del qüestionari de professors (document 8), que no explicita el concepte macroscòpic de substància, aspecte que és ignorat per més d'un 93% dels professors que han respost els qüestionari.

- Altre aspecte important a considerar és la identificació que es produeix entre els conceptes de material i substància. Un 26% dels professors que es presenten a oposició

els identifica explícitament, com també ho fa un 64% dels professors en formació. A més, aproximadament un 38% de professors identifiquen explícitament ambdós conceptes quan efectuen la correcció a l'estudiant que ha respost mal a la qüestió 5 del qüestionari de professors (document 8). Quan la identificació es presenta explícitament, tampoc ho posen de manifest, com ocorre amb el 60'7% de professors que no esmenten que el mapa conceptual conté aquest error.

Per últim, cap llibre de text es fa ressò de les dificultats detectades per la recerca referents als problemes que es plantegen a l'alumnat per diferenciar material (que quasi sempre és una mescla) i substància a nivell macroscòpic.

- La definició microscòpica del concepte de substància tampoc és massa tinguda en compte a l'ensenyament, donat que, al voltant del 90% del professorat no ho esmenta com concepte que cal saber abans d'estudiar les reaccions químiques i sols aproximadament un 1% el mencionen com aspecte important a explicar en l'estudi dels canvis químics. En la mateixa línia, un 95'2% de professors que es presenten a una oposició no explica què és una substància a nivell microscòpic i més d'un 87% de professors no esmenten que, per corregir a l'alumne de la qüestió del 5 del qüestionari de professors (document 8), una de les coses que cal explicar-li és la definició microscòpica de substància.

En els llibres de text, la tendència seguida és similar, ja que aquesta definició no és tinguda en compte en un 90'8% de textos. Aquesta manca de representació microscòpica mitjançant la teoria atòmica, evita que es pugui eixir al pas de les possibles dificultats dels estudiants quan a la diferenciació entre material i substància.

- Pel que fa a la classificació de les substàncies, sols un 2% del professorat considera important explicar els conceptes de substància simple i compost a nivell macroscòpic i un 86'2% de llibres de text no classifiquen les substàncies a partir de l'estudi de reaccions d'anàlisi i síntesi, és a dir, no introdueixen criteris empírics de classificació.

A nivell microscòpic tampoc es fa massa èmfasi, ja que, menys d'un 5% dels professors considera important explicar els conceptes de substància simple, compost i mescla a nivell microscòpic. El 81% de professors que es presenten a una oposició no fa èmfasi en que les substàncies simples estan formades per àtoms de la mateixa classe i les substàncies compostes per àtoms diferents en proporcions fixes.

Un 81'7% de llibres de text no interpreta els conceptes microscòpics de substància simple i composta des del punt de vista de la teoria atòmica.

- Una conseqüència de la identificació entre material i substància és la dificultat per diferenciar entre mescla i compost, dificultat que no és tinguda en compte en general per part del professorat, ja que un 88'1% de professors que es presenten a una oposició no

expliciten la diferència entre ambdós conceptes i menys del 5% del professorat ho esmenta com un aspecte important que cal tractar quan s'estudien els canvis químics. La dificultat es fa més patent quan un 46'4% de professors en formació no detecten que, el mapa conceptual que se'ls ofereix per a corregir, identifica explícitament la mescla i el compost.

Els professors tampoc tenen en compte els resultats de la recerca en aquest camp, de manera que, un 95'2% del professorat que es presenta a una oposició no esmenten les dificultats dels estudiants en aquest aspecte i menys d'un 16% dels professors ho esmenten com una possible dificultat.

Els llibres de text tampoc es fan ressò d'aquest problema; de fet, un 90'8% dels textos analitzats no incideixen en els aspectes procedimentals a tindre en compte per diferenciar una mescla d'un compost i un 99'1% no fan referència a la tendència de l'alumnat a identificar microscòpicament els conceptes de mescla i compost, en associar una mescla d'àtoms indistintament a les mescles i els compostos.

- Altre aspecte que hem pogut apreciar és la manca d'èmfasi en l'existència dels dos nivells de conceptualització, macroscòpica i microscòpica, com es posa de manifest en que més del 98% dels professors no fan èmfasi en l'existència dels mateixos i que cal relacionar-los per explicar els canvis químics.

Una conseqüència que se'n deriva d'aquesta manca d'interès és que, un 38'1% dels professors que es presentaven a una oposició fa en algun moment del discurs una identificació macro-micro i més d'un 88% dels que han respost al qüestionari de professors (document 8), no s'adonen que l'esquema no diferencia entre el nivells de representació macroscòpic i microscòpic.

La situació no millora en els llibres de text, donat que un 93'6% dels mateixos no delimita el camp de validesa dels nivells d'estudi macro-micro per eixir al pas de les dificultats dels estudiants.

- Menys d'un 14% de professors consideren que cal explicar el concepte macroscòpic de reacció química com canvi substancial quan s'estudia el tema del canvi químic, i en cap qüestionari de professors s'esmenta que la representació macroscòpica de les reaccions pot suposar un problema per als estudiants. Entre els professors que han efectuat una redacció, un 71'4% no ofereix el concepte macroscòpic de reacció química. Per últim, un 92'2% de llibres de text no explica el concepte macroscòpic de reacció química.

Tampoc es té en compte la conservació de l'element en els canvis químics a nivell macroscòpic, com ho mostra que un 85'7% dels professors que es presenten a una oposició no ho esmenten i menys d'un 4% de professors ho consideren un aspecte important a tractar en l'estudi dels canvis químics.

La definició macroscòpica d'element químic com allò que es conserva en les reaccions químiques no apareix en un 96'9% de llibres de text. Així, en general, no s'explicita la conservació de l'element en el nivell macroscòpic de representació de les reaccions químiques, com idea que, d'entrada, explica la diversitat substancial, al temps que explica la relació de les substàncies que reaccionen amb els productes de la reacció.

- Respecte a la interpretació daltoniana de les reaccions químiques, un 95'2% dels professors que es presenten a una oposició no la mencionen, cap dels enquestats ha assenyalat aquest concepte com un aspecte important a tindre en compte en l'estudi de les reaccions químiques i menys d'un 15% dels professors consideren que és un tema d'especial dificultat per als estudiants.

El resultat de l'anàlisi de llibres de text ha mostrat que un 64'8% dels mateixos no explica les reaccions químiques mitjançant la teoria atòmica.

Per finalitzar, podem afirmar que, els resultats obtinguts amb els diferents dissenys, referents a l'ensenyament dels conceptes de substància simple i composta, element i reacció química han estat convergents, obtenint-se resultats semblants en tots els casos i comprovant-se que l'ensenyament no té en compte les deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal de l'alumnat. Per tant, considerem que els mateixos validen la hipòtesi que hem presentat en aquest treball i ens fa pensar que la pràctica docent habitual hauria de modificar els enfocaments habituals cap a un tractament més adient capaç d'acostar a l'alumnat cap als mètodes científics i a un aprenentatge significatiu.

6

FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI.

En la primera part del treball hem plantejat la hipòtesi que, malgrat els anys d'estudi, l'alumnat no assoleix de forma significativa els conceptes de substància, substància simple, compost i procés químic, com han corroborat els resultats obtinguts, que s'han mostrat al capítol 4. Tot seguit, al capítol 5 hem mostrat que els llibres de text no tenen en compte la introducció macro i microscòpica d'aquests conceptes.

Si ens atenem a què la major part del professorat basa l'ensenyament en el mètode de transmissió verbal de coneixements i es recolza fonamentalment en el llibre de text, serà lògic pensar que, si modifiquem els mètodes d'ensenyament i adoptem un model d'orientació constructivista, seguint els resultats obtinguts per la recerca en Didàctica de les Ciències, podem millorar l'aprenentatge i, sobre tot, aconseguir una comprensió significativa d'allò que s'està estudiant. Aquest serà l'objectiu principal dels propers capítols, és a dir, es plantejarà amb aquelles idees una segona hipòtesi que caldrà fonamentar teòricament dins del cos de coneixements de la Didàctica de les Ciències.

6.1. ENUNCIAT DE LA SEGONA HIPÒTESI.

A partir dels antecedents esmentats, proposem que, seguint un model constructivista d'ensenyament aprenentatge de les Ciències, serà possible millorar l'aprenentatge i la comprensió dels conceptes de substància, substància simple, compost i procés químic. La forma concreta de realitzar-ho, en la pràctica diària a classe, seria recolzant-se en un programa d'activitats, el fil conductor del qual, podria tindre en compte el desenvolupament històric seguit fins abastar la comprensió dels conceptes de substància química i canvi químic com canvi substancial. A continuació es formula la segona hipòtesi de la següent manera:

Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat que participen en un procés d'ensenyament de Química basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada, al voltant de situacions problemàtiques d'interès, aconseguiran aprenentatges més significatius dels conceptes bàsics (substància, substància simple i composta i canvi químic), al temps que s'implicaran més activament en aquest procés, de forma que milloraran les seues actituds envers la Química i el seu aprenentatge.

En aquest model es faran convergir totes les activitats (introducció de conceptes, resolució de problemes, treballs pràctics i avaluació) pròpies d'una classe de ciència, on es concep l'aprenentatge com una investigació orientada, mitjançant el tractament de situacions problemàtiques d'interès, en la que s'afavoreix el treball en equip i els intercanvis d'informació entre els diferents equips, amb posades en comú impulsades i regulades pel professor o professora (Gil et al. 1991b; Wheatley 1991; Gil 1993; Furió et al. 1994b; Kempa i Ayob 1995; Gil et al. 2002).

És d'esperar que la utilització d'aquest model tindrà repercussions en les actituds, tant de l'alumnat com del professorat que es vulga implicar. Pel que fa als primers, es tractaria que, sense abandonar les idees amb que arriben a l'escola i que tenen sentit en moltes situacions quotidianes, construïsquen un coneixement científic en el que integrar-les, de forma que assimilien el coneixement intuïtiu en el científic i no a l'inrevés, com ocorre en l'aprenentatge habitual (Pozo 1996). Els docents haurien de millorar la participació dels estudiants a l'aula, organitzar-los en grups de treball, ajudar-los a planificar la tasca, buscar la cooperació i guiar-los en les activitats de retroalimentació, de manera similar a com ocorre en realitat en qualsevol treball d'investigació.

6.2. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA SEGONA HIPÒTESI.

La línia argumentativa de la segona hipòtesi consistirà en justificar la seua racionalitat. Estem suposant que, aconseguir un aprenentatge més significatiu per part dels estudiants, serà conseqüència de la pràctica d'un nou model d'ensenyament, basat en la utilització de programes d'activitats, que tindran un fil conductor que tinga en compte el desenvolupament històric de la ciència. Per fonamentar aquesta suposició, desenvoluparem els següents aspectes:

- La presa de decisions sobre la selecció, seqüenciació i organització del currículum es pot fer tenint en compte la història i epistemologia de la Ciència, és a dir, coneixent els principals problemes que contribuïren a la construcció de la Química com cos teòric de coneixements.
- La Didàctica de la Ciència ha presentat al llarg del temps diverses propostes de models teòrics d'aprenentatge. Actualment s'ha contrastat que el model d'ensenyament aprenentatge basat en el canvi conceptual, metodològic i actitudinal, afavoreix la construcció dels coneixements científics en dominis distints. Podem esmentar a aquest respecte els treballs de Guisasola (1996), sobre el camp elèctric, el d'Hernández (1997), sobre la materialitat dels gasos, o el d'Azcona (1997), sobre la quantitat de substància.
- Per posar en pràctica el model que proposem, considerem que, com diuen Driver i Oldham (1985), cal transformar els objectius i continguts del currículum en un programa d'activitats a desenvolupar en classe, com eina didàctica que ajuda a millorar el procés d'ensenyament aprenentatge.
- Per últim, establirem els coneixements i habilitats, és a dir, les competències, que es vol aconseguir que posseïsquen els alumnes respecte de l'estructura dels materials. En aquest apartat explicitem quan considerem que un estudiant ha adquirit competències suficients per poder representar-se macro i microscòpicament què són les substàncies, les mescles, les substàncies simples i compostes, així com el procés químic com canvi substancial on romanen els elements químics i els àtoms de cadascun.

6.2.1. Seqüenciació i organització dels continguts de les unitats didàctiques d'acord amb la història i epistemologia de la química.

Després d'establir les dificultats que es presenten a l'alumnat que estudia l'estructura dels materials i els canvis que es produeixen en ells, haurem de cercar solucions que afavorisquen la superació dels obstacles esmentats. Un aspecte fonamental en aquesta direcció, posat de manifest per la investigació en Didàctica de les Ciències, és la necessitat de què el professorat tinga un coneixement correcte de la matèria que imparteix (Tobin i Espinet 1989; Gil et al. 1991). Aquest coneixement suposa, entre d'altres, conèixer la història de la ciència, és a dir, conèixer els problemes que donaren lloc a la construcció dels coneixements científics, de què forma arribaren a establir-se com un cos coherent de coneixements, com evolucionaren i quines dificultats hagueren de superar per aconseguir-ho (Saltiel i Viennot 1985; Furió et al. 1987; Domínguez i Furió 2001).

La importància del coneixement de la història de la ciència s'ha establert a partir de nombrosos estudis, en els que s'ha posat de manifest l'existència d'un cert isomorfisme entre alguns problemes que es presentaren al llarg de la història de la ciència (Furió et al 1987; Wandersee et al. 1994) i determinades concepcions alternatives resistents a l'ensenyament, persistents i molt difícils de contrarestar. En particular podem esmentar els treballs que ho mostren en el cas de les idees escolàstiques (Furió 1996), i en les reaccions en què intervenen gasos (Furió et al. 1987, Hernández 1997). Malgrat els esforços dedicats a aquesta temàtica, els resultats no són sempre satisfactoris i moltes de les idees prèvies de l'alumnat presenten una certa dificultat en ésser substituïdes per les noves teories científiques, d'igual forma que havia esdevingut històricament en alguns casos (Saltiel i Viennot 1985; Matthews 1990; Steinberg et al. 1990; Padeloup i Laugier 1994).

Si partim de la hipòtesi de l'existència de possibles similituds entre les principals dificultats del subjecte cognitiu i els problemes que s'han presentat al llarg de la història i epistemologia de la Química, les solucions aportades històricament per resoldre aquells, poden donar-nos arguments per rebatre les concepcions errònies de l'alumnat. Açò pot fer-se així si tenim en compte que, històricament, la superació dels problemes va ser possible, en part, pel canvi metodològic que suposà un treball més creatiu basat en la formulació i verificació d'hipòtesis, mitjançant l'experimentació i la constatació de la coherència interna de les noves teories formulades (Traver 1996). Així, una aportació coherent amb el model constructivista d'ensenyament-aprenentatge consistiria en extreure de la història els problemes més significatius que originaren la construcció dels principals conceptes i teories científiques (Otero 1985; Gil et al 1991a). A partir dels mateixos, aconseguir informació sobre les dificultats dels estudiants (Saltiel i Viennot 1985; Driver et al. 1989), aprofitar l'experiència que ens ofereix la història per planificar la introducció dels continguts fonamentals en funció de conceptes estructurants (Gagliardi i Giordan 1986) i elaborar estratègies d'aprenentatge orientades a vèncer aquests obstacles.

L'ensenyament habitual de la Química no té en compte la història i la filosofia de la ciència, ni la Didàctica de les Ciències, de manera que s'aïlla del pensament comú, la vida diària i la societat (Van Verkel et al. 2000). Pel contrari, a l'hora de seleccionar les situacions problemàtiques a abordar en l'aula, els programes d'activitats que proposem, seguiran la línia d'investigació sobre concepcions alternatives de l'alumnat, que centra l'atenció en l'anàlisi de com aprèn i progressa l'estudiant per elaborar hipòtesis que faciliten la progressió de l'aprenentatge en cada domini específic (Millar 1996; Adey 1995; Rahayu i Tytler 1999). Aquestes hipòtesis de progressió serviran per fonamentar psicològicament la seqüenciació dels continguts a ensenyar (Gómez et al 1992; Cañal, 1997). És per això que han de tindre en compte les idees i interessos dels estudiants, així com l'esmentat isomorfisme entre alguns problemes històrics i els problemes més generals que es presenten a l'alumnat respecte del

concepte de substància química, fonamental per a la comprensió i interpretació dels processos químics.

6.2.2. Estratègies d'ensenyament-aprenentatge basades en els models de canvi conceptual, metodològic i actitudinal.

Els primers intents per solucionar el fracàs escolar en l'escola pública, des d'una perspectiva basada en l'aprenentatge, sorgeixen durant la primera meitat del segle XX amb el naixement de la Psicologia Educativa, que tracta d'estudiar i explicar com es produeix l'aprenentatge a l'aula (Coll 1988). Des d'aquesta perspectiva, la Didàctica de les Ciències seria una ciència aplicada que tractaria d'organitzar l'ensenyament d'acord amb models proposats per les Ciències de l'Educació i la Psicologia (Gil et al. 2000).

A finals de la dècada dels 50 es planteja una reflexió col·lectiva sobre els objectius, mètodes i continguts de l'ensenyament-aprenentatge de les ciències. Autors com Schwab o Bruner ressalten que el que importa és ensenyar el *mètode científic*, relativitzant els continguts a ensenyar. S'accepta la metàfora de l'alumne com un científic novell i es conclou que l'aprenentatge de les Ciències ha de consistir en aplicar el mètode científic per a que els alumnes facen ciència, de la mateixa forma que la fan els científics. Seguint aquesta tendència sorgeix el denominat *moviment de l'aprenentatge per descobriment* que, a més de plantejar una reflexió crítica sobre l'ensenyament tradicional de les Ciències, produí una acumulació d'innovacions curriculars sense precedents (Gil 1998), entre les que es poden esmentar com més importants els projectes curriculars CHEM Study, Physics Science Study Committee (P.S.S.C.), o els projectes de la Nuffield Foundation.

Fins la dècada dels 80, les investigacions es caracteritzen pel caràcter puntual i la manca de fonamentació teòrica però, a partir d'aquest moment, la Didàctica de les Ciències comença a adquirir els trets d'una nova disciplina. Els treballs de Driver (1973) i Viennot (1976) inicien un moviment important que, en poc de temps, es transformaria en el *moviment de les concepcions alternatives* (Wandersee et al. 1994), a partir del qual, la Didàctica de les Ciències es situa en una situació preparadigmàtica, on comença a reconèixer-se l'especificitat d'aquest domini d'investigació (Klopfer 1983; Tiberghien 1985) sobre el procés d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències, propi de la Didàctica de les Ciències.

Aquest paradigma constructivista, que té com base sociològica el moviment de les concepcions alternatives, es consolida a finals de la dècada dels 80. El nucli principal del nou cos de coneixements està constituït per les investigacions que plantegen la introducció de conceptes tenint en compte **les concepcions alternatives** per promoure el canvi conceptual. Aquesta ha estat la temàtica més prolífica, com ho mostra la gran quantitat d'articles apareguts al respecte (Viennot 1976; Hewson 1981; Carrascosa 1983 i 1985; Hewson i Hewson 1987; McDermott 1984; Driver 1986; Furió 1986; Carrascosa i Gil 1992; Nakhleh 1992; Grau 1993; de Manuel i Grau 1996; Schmidt 1997; Sutton 1997; Furió i Guisasola 1999; Furió, Azcona i Guisasola 2001). Entre tota la recerca feta al voltant de les concepcions alternatives, cal fer menció especial dels treballs de Pfundt i Duit (1993 i 1998) que arriben, el primer més de 3000 referències bibliogràfiques i, el segon, més de 6000. Malgrat tots els treballs desenvolupats per posar-les de manifest, la persistència d'algunes d'aquestes idees alternatives, fins i tot entre estudiants universitaris i professorat en actiu, és un índex particularment rellevant de la ineficàcia de l'ensenyament tradicional pel que fa a la transmissió de conceptes.

Una segona línia d'investigació, que recull la tradició de les grans innovacions curriculars dels 60 i 70, és la que es centra en l'estudi dels *treballs pràctics de laboratori*, amb la finalitat de mostrar la importància dels processos en l'ensenyament de les Ciències i la millora de les actituds dels estudiants cap a l'aprenentatge. Aquestes investigacions han permès fer una reflexió epistemològica sobre la natura de la ciència i l'activitat científica, posant en qüestió les visions deformades que el mateix professorat pot transmetre i poden suposar un obstacle en la renovació de l'ensenyament. S'han realitzat nombrosos treballs en aquesta línia (Gené 1986; Hodson 1990; Payá 1991; González 1994; Salinas 1994; Behrendt et al. 2001; González de la Barrera 2003), de la que una de les aportacions importants ha estat, com indica Fensham (2001), veure la necessitat de mostrar la interdependència dels continguts conceptual i procedimental en els models d'ensenyament-aprenentatge de les ciències.

La tercera línia d'investigació que s'ha treballat molt per tractar de pal·liar el problema dels elevats índex de fracàs escolar en les classes de Física i Química, ha estat la referent a la *resolució de problemes*, com ho posa de manifest el primer handbook específic d'investigació en Didàctica de les Ciències, en dedicar-li 6 dels 19 capítols de què consta. Al nostre país s'han escrit prou tesis doctorals dedicades a aquesta temàtica (Martínez Torregrosa 1987; Ramírez 1990; Reyes 1991; Oñorbe 1993), així com diversos llibres (Gil i Martínez Torregrosa 1987; Gil et al. 1991b; Oñorbe et al. 1993; Ramírez et al. 1994; Pozo et al. 1994; Carrascosa i Martínez 1997). Aquest model d'investigació obliga a l'alumnat a enfrontar-se a la solució de situacions problemàtiques amb ajuda del professor, que proposa successives activitats que requereixen pautes d'actuació similars a les que desenvolupen els científics en la pràctica

habitual (Furió et al. 1994b). Després de l'entrenament, els estudiants han d'ésser capaços d'utilitzar els nous coneixements en situacions diferents, afavorir les activitats de síntesi, l'elaboració de productes i la concepció de nous problemes (Gil 1993). Aquesta contribució de la resolució de problemes al model d'aprenentatge com investigació a l'aula és convergent amb els resultats obtinguts en la línia d'investigació sobre treballs pràctics de laboratori (Furió et al. 1994b) i ve reforçada pels resultats obtinguts en Psicologia evolutiva (Phye 1997).

A més de les tres línies d'investigació esmentades, relatives a les tres activitats més directament relacionades amb l'ensenyament-aprenentatge de les Ciències (referents a conceptes, treballs pràctics i resolució de problemes), la comunitat científica ha tingut en compte també altres qüestions relacionades amb el currículum. Així, per exemple, al voltant dels 70 sorgiren estudis sobre les *relacions ciència, tècnica i societat*, promoguts per col·lectius de professors i investigadors científics humanistes, preocupats per desenvolupar un ensenyament més social de la ciència. L'objectiu era ajudar els estudiants a formar-se, per convertir-se en ciutadans compromesos amb la societat, capaços de prendre decisions respecte dels problemes actuals, que planteja l'activitat científica i tecnològica (Hodson 1994). A més, aquesta participació pretén millorar l'interès dels estudiants cap als temes científics (Aikenhead 1985; Yager i Penick 1986; Catalán i Catany 1986; García 1987; Vilches 1993; Solbes i Vilches 1997; Gil et al. 1999a; Marco 2000). Molt connectats amb l'anterior línia d'investigació estan estudis més recents centrats en les finalitats i objectius generals del currículum i els *macroprojectes sobre alfabetització científica i tecnològica* (Bybee i de Boer 1994; Bybee i Ben-Zvi 1998; van der Akker 1998; Wallace i Louden 1998).

Actualment s'estan desenvolupant altres línies d'investigació, com l'aplicació dels *recursos informàtics a l'ensenyament*, des de la utilització de programes per a l'ensenyament de conceptes (Dori i Barnea 1993; Dori 1995), fins la seua aplicació com substituïts d'experiments reals, on han resultat de gran efectivitat (Russell et al. 1985; Bourque i Carlson 1987). També s'ha mostrat (Abraham i Williamson, 1992) que les actituds de l'alumnat són més positives en cursos introductoris de química que utilitzen programes d'apropament al laboratori per computador, referents a l'ús de les tecnologies en l'educació científica. Altres aspectes als que s'està donant importància són *l'avaluació del procés d'ensenyament-aprenentatge* de les Ciències i del currículum (Escudero 1985a; Geli 1986; Bourque i Carlson 1987; Pozo 1989; del Carmen 1990; Gil et al. 1991a; Abraham i Williamson 1992; Alonso 1994; Jorba i Sanmartí 1995; Alonso et al. 1996; Black 1995 i 1996; Tamir 1998) o les qüestions de tipus axiològic, on es plantegen temes sobre la dimensió afectiva de l'aprenentatge, com les actituds i valors (Escudero 1985b; Escámez i Martínez 1993), les relacions entre gènere i ensenyament de les Ciències i l'educació multicultural (Simpson et al 1994; Fraser 1994; Kahle i Meece 1994; Atwater 1994; Baker 1998; Nichols et al. 1998).

Altres línies fan referència a àrees transversals del currículum, com són *l'educació ambiental i l'educació per a la salut*, així com altres menys específiques, com el *clima d'aula i del Centre*.

Per últim, com que no es pot separar l'ensenyament de l'aprenentatge, s'ha encetat una línia d'investigació particular, desenvolupada per a l'estudi de la formació inicial i continuada del professorat de Ciències. Aquesta preparació del professor com aprenent de *la Ciència d'ensenyar Ciència* es concep com un continu, que comença amb l'adquisició d'un cos de coneixements didàctics pels futurs professors durant un període en la Universitat i continua amb la idea d'una formació continuada en el treball, entesa com desenvolupament professional (Bell 1998). La necessitat d'aquesta preparació es fa patent en alguns estudis que indiquen l'existència de certa analogia entre les concepcions alternatives dels estudiants i el pensament docent espontani (Furió 1994; Furió i Carnicer 2002), al temps que mostren la importància de les concepcions docents sobre la ciència, l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències, en relació al canvi didàctic, entès com desenvolupament professional. A hores d'ara l'estudi de les preconcepcions docents s'ha convertit en una línia d'investigació prioritària, tant en el camp de la Didàctica de les Ciències (Porlan 1989 i 1993; Gil et al. 1991a; Hodson 1993; Gil i Pessoa 1994; Anderson i Mitchener 1994; Furió 1994; Carnicer 1998; Munby i Russell 1998; Bell 1998; Mellado 1998; Porlán i Rivero 1998; Furió i Gil 1999; Fernández 2000), com en el de la Didàctica general. Les concepcions espontànies, adquirides pel professorat de forma incidental, poden suposar obstacles que impedeixen el bot qualitatiu del professor a models més d'acord amb els avanços de la Didàctica de les Ciències. Aquest és un dels principals reptes que té plantejats aquesta línia d'investigació i, per superar-lo, estan ideant-se programes de formació continuada. Un d'aquests programes de formació es basa en la metàfora del professor com investigador novell que s'incorpora a un grup de professors investigadors que estudien els problemes de l'ensenyament (Carnicer 1998; Furió i Gil 1999; Mellado i González 2000).

En la dècada dels 80 es posà de manifest que, els estudis que havien conduït a models de canvi conceptual, tenien una concepció reduccionista de l'aprenentatge (Duschl i Gitomer 1991). El procés de canvi conceptual no està determinat únicament per factors cognitius (Oliva 1999), sinó que, pel contrari, les motivacions dels estudiants i la percepció que tenen del treball condicionen l'aprenentatge (Strike i Posner 1992). Així doncs, es plantejà la necessitat d'integrar nous components, emfasitzats per altres línies d'investigació, com la centrada en els treballs pràctics, més preocupada pels canvis epistemològic i metodològic de l'aprenentatge i, sobre tot, els estudis sobre actituds científiques. La realització d'experiències al laboratori permet posar la teoria al servei de la pràctica al temps que s'abasten objectius procedimentals (Séré 2002). Aquesta idea és coherent amb la proposada per Kuhn (1971), que considerava que els procediments i els mètodes d'una disciplina van instal·lant-se progressivament en la ment dels estudiants durant l'estudi i, una vegada adquirits, els

permeten resoldre els problemes conceptuals. En definitiva, aquests estudis, que inicialment estaven al marge dels treballs sobre concepcions alternatives i models de canvi conceptual, s'integraren i recolzaren la necessitat d'incorporar la component de canvi actitudinal en l'aprenentatge de les ciències. Coherentment, les investigacions sobre aprenentatge de conceptes, la resolució de problemes i les pràctiques de laboratori han mostrat que no té sentit la separació d'aquest tres tipus d'activitats en la programació d'ensenyament secundari i universitari (Gil et al. 1999b).

A partir dels resultats obtinguts en els diferents camps d'investigació, s'anaren presentant propostes de models teòrics d'aprenentatge. Inicialment estaven reduïdes a un canvi conceptual, però a poc a poc s'ha anat concebut l'aprenentatge com un procés més complex, on s'han de produir al mateix temps canvis de tipus ontològic, epistemològic, metodològic i axiològic. Són conegudes les propostes de canvi conceptual de Posner et al. (1982), l'aprenentatge generatiu d'Osborne i Witrock (1985), el basat en el canvi ontològic de Chi et al. (1994), el de Vosniadou (1994), l'aprenentatge per investigació orientada (Gil 1993; Furió 1994), l'aprenentatge alostèric de Giordan (1996), els models mentals de Johnson-Laird (Greca i Moreira 1998), o el de les teories implícites (Pozo i Gómez 1998).

Actualment, la comunitat científica mostra un cert consens en que és fonamental la formulació d'un nou model d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències, alternatiu als models convencionals existents (Posner et al. 1982; Osborne i Witrock 1985; Linn 1987; Astolfi i Develay 1989; Furió i Gil 1989; Cañal 1990; Coll et al. 1992; Chi et al. 1994; Vosniadou 1994; Gil 1994; Furió 1994; García 1995; Giordan 1996; Greca i Moreira 1998; Pozo i Gómez 1998; Porlán 1998). La major part d'investigadors estan d'acord en acceptar que el **model de canvi conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal** (Duschl i Gitomer 1991) o *model d'aprenentatge per indagació científica* (Gil et al. 1991a; Jiménez 1997; Porlán 1998) és una hipòtesi didàctica ben fonamentada, de la que cal analitzar la validesa, posant-la a prova i experimentant en dominis concrets.

Les investigacions realitzades en torn a l'aprenentatge dels conceptes, els problemes de llapis i paper i les pràctiques de laboratori han mostrat que l'ensenyament habitual els separa quasi totalment, fins arribar al punt que, a l'ensenyament universitari, són impartits per professors diferents. Aquesta separació no té sentit i s'ha d'aconseguir integrar-les (Gil et al 1999b). Com afirma Hodson (1992): *s'aprèn fent ciència amb un expert, és a dir, realitzant investigacions de complexitat creixent, començant per algunes senzilles, però sempre completes, en resposta a problemes susceptibles d'interessar l'alumnat i no simples processos autònoms i descontextualitzats*. Així, l'estratègia que ens sembla més coherent amb l'orientació constructivista i les característiques del raonament científic, és la que planteja l'aprenentatge com tractament de situacions problemàtiques obertes, que l'alumnat pugui

considerar d'interès, segons el que s'ha anomenat *model d'aprenentatge de les ciències com investigació dirigida* (Gil 1993), en un procés actiu, que potenciarà la participació de l'alumnat (Bodner 1986, Driver i Oldham 1985), que esdevindria així responsable del seu aprenentatge.

Per últim, caldrà que aclarim a quin tipus d'activitat científica estem fent referència i, a partir d'ella, extreure conseqüències vàlides per l'ensenyament. Hem de començar dient que considerem que el coneixement científic no és el fruit de l'aplicació d'unes regles que permeten obtenir lleis a partir dels fets experimentals. És a dir, hi ha un consens general entre epistemòlegs, historiadors i professors de ciències en que no es pot parlar del "*mètode científic*", entenent com a tal un conjunt de normes estrictes, perfectament definides i aplicables mecànicament (Kuhn 1971; Nagel i Cohen 1973; Feyerabend 1975; Hempel 1976; Lakatos 1982; Gil 1993).

Ara bé, per no caure en una visió distorsionada de la naturalesa de la Ciència, com l'esmentada en apartats anteriors, sí que podem proposar un seguit d'aspectes clau de l'activitat científica, que podrien esquematitzar-se segons s'aprecia a la figura 6.1, en la que es presenta un *diagrama d'un cicle d'investigació* (Gil i Carrascosa 1994; Gil et al. 1995a i 1995b). El propòsit del mateix és posar de manifest la naturalesa real de l'activitat científica, eixint al pas de les concepcions simplistes difoses majoritàriament entre el professorat, sense la transformació de les quals, serà molt difícil modificar substancialment l'activitat a l'aula (Bell i Pearson 1992).

Òbviament, l'esquema de la figura 6.1 no pretén ser un procés tancat, ni obliga a seguir-lo pas a pas, sinó més bé té la intenció de ser una ajuda que recull i dona forma a tot el que hem esmentat fins ací. A partir d'ell podem establir un seguit d'aspectes, que s'enumeren al quadre 6.1 (Gil 1996), que l'ensenyament ha de tindre en compte per afavorir la construcció dels coneixements científics. Per suposat, aquesta enumeració no ha de fer pensar en un algoritme a seguir pas a pas en l'activitat de l'alumnat, sinó una mena de recordatori de tots aquells aspectes essencials d'un treball científic i que, moltes vegades, no es tenen en compte en l'ensenyament de les Ciències.

En resum, l'ensenyament-aprenentatge de les ciències es pot concebre com un treball d'investigació i innovació, a través del tractament de situacions problemàtiques, que faciliten la construcció de coneixements científics. S'ha de considerar com una activitat oberta i creativa, assessorada i orientada pel professorat, que s'inspira en la forma de treballar dels científics i que haurà d'incloure tots els aspectes coherents amb el procés d'investigació presentats a la figura 6.1 i enumerats al quadre 6.1.

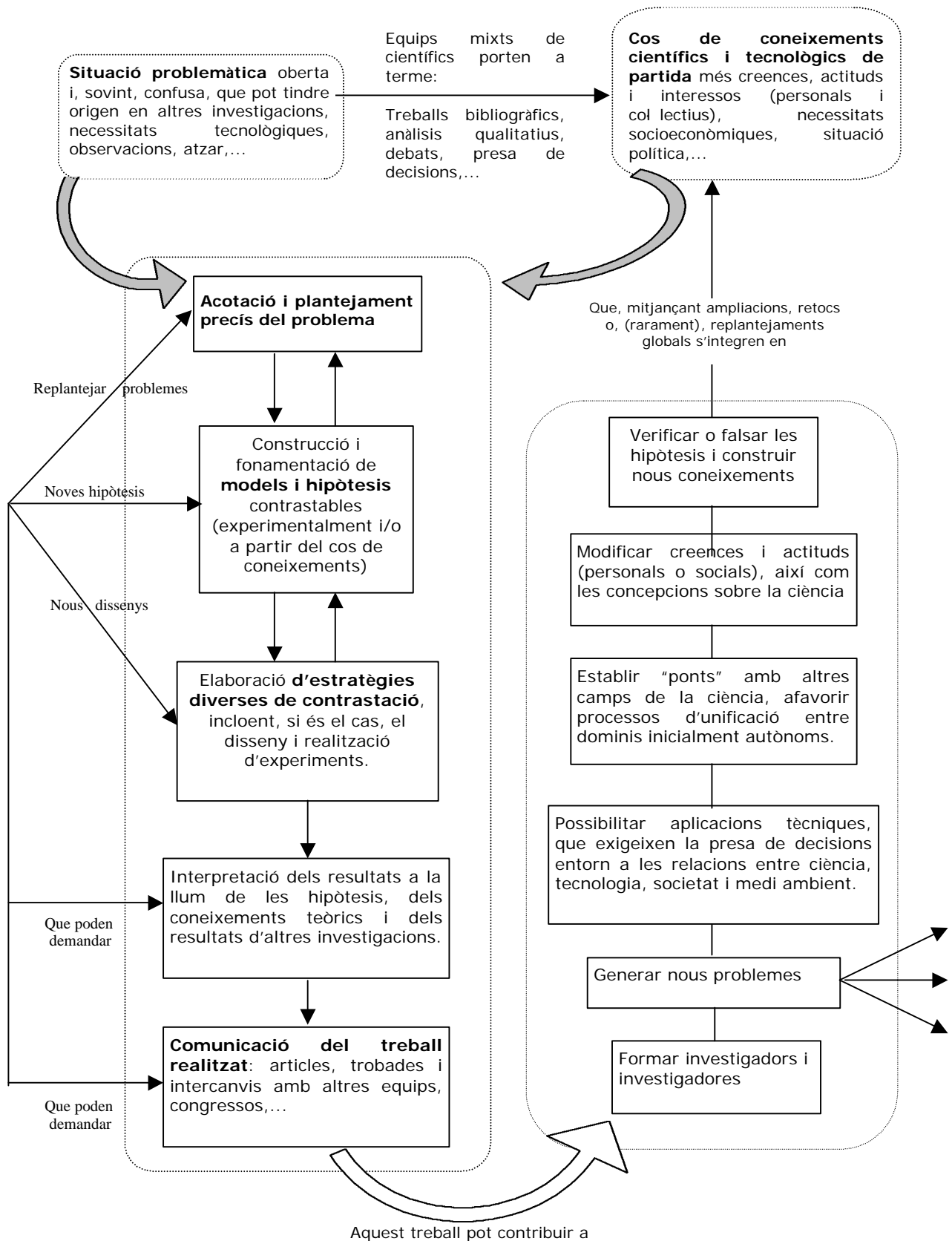


Fig. 6.1: Diagrama d'una investigació científica. Representació esquemàtica d'un procés obert sense regles ni etapes rígides

Quadre 6.1

Aspectes a tindre en compte per afavorir la construcció dels coneixements científics.

1. Presentar situacions problemàtiques obertes que obliguen a l'alumnat a prendre decisions per precisar-les, i d'un nivell de dificultat adequat a la zona de desenvolupament potencial de l'alumnat concret al qual van dirigides.
2. Plantejar una reflexió sobre l'interès de les qüestions proposades, per donar sentit a l'estudi (considerant la relació amb el treball en general, les possibles implicacions CTS, etc.). Tractar de potenciar actituds positives i clima de treball pròxim al que es podria entendre com una investigació col·lectiva (on es tenen en compte els interessos, opinions, etc. de cada individu) i no en un ambient de sotmetiment a tasques imposades per un professor-capatàs.
Al mateix temps, evitar qualsevol tipus de discriminació (per raons ètniques, socials,...) i en particular, l'ús de llenguatge sexista, transmissor d'expectatives negatives cap a les dones.
3. Plantejar una anàlisi qualitativa, significativa, que ajude a comprendre i acotar les situacions plantejades (a la llum dels coneixements disponibles, de l'interès pel problema, etc.) i formular preguntes operatives sobre allò que se busca. D'altra banda, mostrar la importància del paper essencial de les matemàtiques com instrument d'investigació, sense caure en un operativisme cec.
4. Plantejar l'emissió d'hipòtesis, fonamentades en els coneixements disponibles, susceptibles d'orientar el tractament de les situacions i fer explícites, funcionalment, les preconcepcions, a les que es prestarà especial atenció.
5. Plantejar l'elaboració d'estratègies, incloent dissenys experimentals quan calga. Demanar l'avaluació crítica d'algun disseny. Prestar atenció a l'activitat pràctica per ella mateixa (muntatges, presa de mesures, etc.)
Potenciar la incorporació de les noves tecnologies als dissenys experimentals (electrònica, ordinadors, etc.) amb la finalitat d'obtenir una visió més correcta de l'activitat tecnocientífica actual.
6. Plantejar una anàlisi detinguda dels resultats (interpretació física, fiabilitat, etc.) a la llum del coneixement disponible, de les hipòtesis plantejades, dels resultats d'altres autors, etc. Plantejar alguna reflexió sobre els possibles conflictes entre alguns resultats i les concepcions inicials.
Afavorir l'autoregulació del treball de l'alumnat. Promoure la comparació entre l'evolució conceptual i metodològica de l'alumnat amb la que experimentarà la comunitat científica històricament.
7. Plantejar la consideració de possibles perspectives de l'estudi a altre nivell de complexitat, problemes derivats, etc. Considerar les possibles implicacions CTS de l'estudi (aplicacions, repercussions, etc.). Elaborar **productes** del treball (cartells, resums, col·leccions, etc.)
8. Integrar l'estudi en la construcció d'un cos coherent de coneixements, tenint en compte les possibles implicacions en altres camps del coneixement. Efectuar treballs de síntesi, mapes conceptuals, diagrames, etc. que posen en relació coneixements diversos.
9. Plantejar la realització de memòries científiques del treball realitzat. Fer lectures i comentaris de textos científics. Prestar atenció a la verbalització, demanant comentaris significatius que eviten l'operativisme mut.
10. Potenciar la dimensió col·lectiva del treball científic organitzant equips de treball i facilitant la interconnexió entre ells i la comunitat científica (representada per la resta d'equips, els cos de coneixements ja construït i el professor com expert). Fer veure que els resultats d'una sola persona o equip no basten per verificar una hipòtesi.
Mostrar el cos de coneixement elaborats com la cristallització del treball desenvolupat per la comunitat científica i l'expressió del consens abastat en un moment determinat.
Prestar atenció a l'actualització dels coneixements que constitueixen pre-requisits de l'estudi que s'està efectuant.

6.2.3. Els programes d'activitats com eina didàctica per millorar el procés d'ensenyament-aprenentatge.

La proposta curricular alternativa que fem tracta de facilitar la progressió en l'aprenentatge, mitjançant un diagnòstic de les dificultats que més generalment es donen entre l'alumnat. Una de les eines més útils que s'han elaborat per a dur a terme un procés d'ensenyament-aprenentatge són les guies de treball per a l'aula, amb un caire d'orientació constructivista, basats en els models de canvi conceptual (Furió 1996), que tenen en compte la necessària implicació de l'alumnat (Driver i Oldham 1985; Bodner 1986) com responsable en un procés actiu d'aprenentatge (Furió i Gil 1978; Driver 1986; Calatayud et al. 1990; Gil 1991; Payá 1991; Vilches 1993; Martín del Pozo 1995; Llorens 1996; Guisasola 1996; Azcona 1997; Hernández 1997; Furió et al. 2003; Furió et al. 2004).

Aquestes guies solen consistir en un seguit d'activitats, dissenyades de forma escaient per a la construcció de coneixements significatius per a l'alumnat, habitualment treballant en petits grups sota la supervisió i orientació del professor i posant en comú amb tota la classe llurs produccions i en contrast amb la *ciència oficial*, que representarien el professor, en el seu paper d'expert i els llibres de text, en el paper de fonts autoritzades, que aporten els coneixements de la comunitat científica. Hem de recordar que, des d'una perspectiva constructivista, els coneixements es construeixen de forma cooperativa (Wheatley 1991), negociant i compartint els significats mitjançant la interacció social. Una organització de l'aula basada en la formació de grups de 5 ó 6 persones que interaccionen positivament, pot fomentar la tasca de construcció col·lectiva de coneixements. Altre element essencial en aquest tipus de classes és considerar que el funcionament dels grups no és autònom, sinó que s'han d'afavorir de forma ordenada les interaccions entre els grups i entre cada grup i el professor, de forma que les solucions donades a cada situació problemàtica particular es puguin retroalimentar, completar, validar, refutar, etc. (Furió 1995).

L'eix que vertebrava la seqüència d'activitats és un fil conductor que guia l'avanç de l'alumnat cap a la consecució d'uns fins didàctics prèviament acordats. Podria semblar excessivament dirigista que les activitats estiguen programades prèviament pel professor, però no podem oblidar, que l'objectiu de l'ensenyament de la ciència no és que l'alumnat construeixi idees pròpies sobre el món, sinó que faci seues teories científiques ja constituïdes, a partir de situacions problemàtiques afavoridores de l'aprenentatge significatiu. Per aconseguir-ho, caldrà elaborar un cos de coneixements amb coherència global, que pressuposarà la selecció d'un conjunt d'activitats, que es seqüenciaran i organitzaran d'acord amb la història i epistemologia de la ciència, com ja hem indicat a l'apartat anterior. Aquestes

activitats estaran enllaçades mitjançant una lògica interna que evite aprenentatges inconnexos i estratègies exclusivament basades en l'assaig i error, típic de les metodologies de sentit comú (Furió 1995).

Per desenvolupar el fil conductor que proposem, cal tindre en compte l'estructura del pensament, per permetre a l'alumnat comprendre les idees científiques. Però, sovint, aquesta estructura no coincideix amb l'ordre habitual que es segueix a l'ensenyament (Driver 1981), raó per la qual hauré de cercar un ordre més acord amb el propòsit que perseguim. Piaget descrigué el desenvolupament intel·lectual segons quatre nivells, dels que l'ensenyament secundari abastaria el concret operacional (que es desenvolupa entre els 12 i 15 anys) i el formal, que s'abastaria a partir d'aquest moment. Ara bé, diversos estudis han mostrat que, en la pràctica, no sempre és així, de forma que cada persona desenvolupa aquesta capacitat en un moment diferent. La comprensió dels conceptes químics requereix sempre el nivell formal quan, en molts casos, l'alumnat no l'ha abastat encara. Això obliga el professorat a tractar de transformar el pensament concret en un nivell formal d'abstracció. Plantejar les activitats de manera que els alumnes pensin què fan i per què ho fan, ajuda a aconseguir-ho (Herron 1975 i 1978).

Per orientar l'alumnat cap a un aprenentatge per investigació, seguint els aspectes que acabem d'esmentar, considerem que els programes d'activitats hauran de tindre en compte els següents aspectes:

- En una primera etapa d'iniciació (Gil et al 1991a) s'haurien de presentar activitats inicials que proporcionen interès i una concepció preliminar de la tasca a realitzar. És important que l'alumnat participe en l'establiment dels objectius generals i que el professorat tinga en compte les concepcions alternatives, destreses, actituds i la visió del món dels estudiants, amb la finalitat de connectar amb els seus interessos, així com considerar els pre-requisits que poden necessitar abans d'endinsar-se en l'estudi del tema. L'adquisició d'aquesta concepció inicial és fonamental per guiar a l'alumnat al llarg del treball i enllaçar amb el fil conductor establert.
- Per abordar la realització i disseny dels programes d'activitats cal elaborar propostes concretes i ben organitzades, adequades a les capacitats de l'alumnat i seguint una direcció adient que deixi molt clars els objectius que es persegueixen, al temps que s'afavorisca el caràcter cooperatiu i el debat entre els estudiants. Açò requereix una estructura de classe que permeti pensar respecte del problema, reformular-lo, planejar-lo, interpretar els resultats i avaluar-lo (National Research Council 1996 i 2000; Phye 1997). En el desenvolupament del tema es plantejaran situacions problemàtiques, la

solució de les quals haurà de passar per una fase qualitativa, abans de ser formulades de forma precisa, plantejant estratègies de resolució i dissenys experimentals per contrastar les hipòtesis formulades, analitzar els resultats obtinguts i insistir en la coherència de les idees desenvolupades per mitjà de l'aplicació reiterada a diferents situacions on es mostre el seu potencial.

Aquestes propostes tindran molta cura en no deixar de costat les idees fonamentals (que en molts casos no es tenen en compte), necessàries per aconseguir una correcta comprensió dels conceptes químics (Johnson, 2000b). Abans de finalitzar hi haurà un apartat de recapitulació que permetrà el feed-back i la revisió d'hipòtesis, implicarà el plantejament d'activitats de síntesi, esquemes, resums i anàlisi dels problemes que s'obrin a partir dels nous coneixements, a fi de donar una visió oberta del treball científic.

- També considerem fonamental tindre en compte els factors afectius que rodegen el procés d'ensenyament aprenentatge (Pintrich et al. 1993), de manera que tractarem d'aconseguir que els estudiants senten que els problemes són reals i interessants, per a la qual cosa és necessari fomentar el pensament divergent i la creativitat (Garrett, 1987).

Les situacions problemàtiques presentades seran pertinents, tant respecte dels objectius perseguits com de les capacitats de l'alumnat al qual van dirigides. A més, caldrà plantejar en diversos moments qüestions d'interès general relacionades amb la CTS i medi ambient, per tal d'afavorir la presa de decisions que els permeten convertir-se en futurs ciutadans informats (Aikenhead 1985; Solbes i Vilches 1989; Vilches 1993) i capaços d'opinar sobre qüestions científiques i tecnològiques d'actualitat. També s'incorporaran textos, més o menys extensos, com a suport per a la realització d'algunes activitats didàctiques de caràcter històric (Traver 1996).

A partir de les consideracions anteriors, pensem que és possible elaborar uns programes d'activitats oberts, a títol d'hipòtesis didàctiques, útils en la mesura que s'utilitzen com part d'un procés obert d'investigació (Gil et al 1991a; Furió 1994; Linjse 1994), on es poden produir les modificacions adients per adaptar-lo a les necessitats i el treball concret de cada grup d'alumnes, sense perdre el fil conductor. En ells es parteix de situacions problemàtiques d'interès, que guien a l'alumnat, tenint en consideració el camí històric de formació del cos de coneixements científics, perquè considerem que algunes de les idees que ajudaren a resoldre els problemes en el seu moment poden ajudar als estudiants en la comprensió dels conceptes, fent explícites les concepcions sobre el treball científic i involucrant-los de tal forma que es convertisquen en els actors principals del seu procés d'aprenentatge.

La utilització dels programes d'activitats seguint els criteris que acabem d'exposar suposarà una transformació de les concepcions docents, perquè aquest model obliga a modificar la dinàmica tradicional a l'aula, de forma que el professor es converteix en un mediador entre l'aprenent i la ciència, a partir d'un programa d'activitats per desenvolupar els objectius i continguts del currículum (Driver i Oldham 1985; Furió i Gil 1989). Aquesta actitud de mediador inclou l'ús de qualsevol tipus d'estratègies que ajuden a millorar la comprensió dels estudiants (Martín del Pozo 1998; Richtie 1998) i un treball de clarificació col·lectiva en el que es podrà:

- Introduir els conceptes tenint en compte la història i epistemologia de la ciència, en el sentit de què cada nou concepte aparega a partir de la necessitat de respondre les qüestions que queden obertes en els coneixements assolits.
- Donar-se compte que, en moltes ocasions, professors i alumnes parlen *llenguatges* diferents. Cal, doncs, transformar el problema de forma que es pugui entendre per tots, en compte de tractar de convèncer-se uns als altres (Sumfleth i Pitton 1999).
- Debatre en grup sobre les possibilitats d'assumir o no una determinada concepció, plantejant els nous coneixements com una millora dels que ja es tenien i que ens ofereix una comprensió més plausible i completa del món natural que ens rodeja.
- Discutir i aclarir als estudiants els objectius del treball que es proposa, amb la finalitat d'afavorir la reflexió, modificant amb profunditat els rols de la participació docent (Tobin 1984, Furió 1994). Ajudar-los a formar per ells mateixos analogies per lligar els nous conceptes amb allò que ja sabien, de forma que aquesta forma de treball siga una font fructífera d'estratègies d'aprenentatge (Pozo et al. 1991)
- Dirigir l'ensenyament cap a les activitats més que cap a les idees, és a dir, acostar-se a formes científiques de pensar, més que al fenomen per ell mateix (Leach i Scott 2003), que mostren a l'alumnat el valor de les noves formes de parlar i pensar.
- Fomentar que l'alumnat done explicacions i argumentacions fonamentades, en lloc de simples respostes. Les explicacions haurien de formar part d'un currículum de Química per desenvolupar les habilitats metacognitives dels aprenents (Gunstone 1994; Taber 1994; Driver et al. 1996; Taber i Watts 2000).

Les possibles dificultats que planteja aquest tipus de docència, com la conversió del currículum en programes d'activitats, o la direcció d'una classe, estructurada en grups de treball, es faciliten si considerem l'ensenyament com una tasca col·lectiva del professorat. Apareix altra vegada el treball cooperatiu com una situació coherent a la construcció dels coneixements científics, sols que ara aplicada a la construcció de coneixements didàctics pels

docents (Furió 1995). La implicació del professorat en aquesta tasca d'investigacions col·lectives suposarà l'obtenció d'un producte en forma de construccions que conformaran un cos teòric de coneixements didàctics, que es donaran a conèixer per medi d'intercanvis entre equips docents.

Sorgeix així, com en totes les activitats científiques, la necessitat de posar els descobriments a l'abast de tota la comunitat científica. Segons assenyalen alguns autors (Butzow i Gabel 1986; Furió 2001; Taber 2001), actualment hi ha una manca total de connexió entre el treball de recerca i la tasca diària a l'aula, de forma que, paradoxalment, els nous processos de recerca provoquen un augment de la distància entre ambdós (Duit i Treagust 2003). Donat que els llibres de text són el recurs generalitzat a les aules, una prova del que estem dient la trobem en la manca d'incidència de la recerca en els textos (Cañal i Criado 2002). La raó d'aquesta separació pot estar, com afirmen Tiberghien et al. (1998) en que el cos de coneixements de la Didàctica de les Ciències és encara molt jove i requereix d'un temps de consolidació per arribar al professorat. Malgrat els esforços fets, cal seguir treballant per consolidar el cos de coneixements i afavorir la inserció del professorat en el procés d'investigació i innovació didàctica (Furió 2001).

Per omplir el buit existent entre l'activitat científica i l'ensenyament, s'estan efectuant treballs de difusió que acosten la investigació a l'aula, com tracta de fer en l'actualitat la Royal Society of Chemistry (Taber 2001). El National Research Council Nord-americà impulsà el *moviment dels estàndards*, creat amb la finalitat de promoure l'alfabetització científica dels ciutadans del segle XXI i amb trets convergents amb els de la Psicologia educativa. Al nostre país s'han publicat nombroses tesis doctorals, que proposen la utilització del mètode que proposem, i es basen en la pràctica en els programes d'activitats. Entre elles, podem esmentar: J. Solbes (1986), sobre la introducció dels conceptes bàsics de Física moderna; A. Vilches (1993), sobre les interaccions CTS i l'ensenyament de les ciències físico-químiques; J. Guisasola (1996), sobre la interpretació dels fenòmens triboelèctrics; M.J. Traver (1996), sobre la possibilitat d'utilització de la història de les Ciències en l'ensenyament de la Física i Química; J. Hernández (1997), sobre la natura corpuscular de la matèria gasosa; R. Azcona (1997), sobre la introducció dels conceptes de quantitat de substància i el mol en estequiometria; J. Martín (1999), sobre la introducció del concepte de camp en Física; J.L. Doménech (2000), sobre l'ensenyament de l'energia en l'educació secundària; F. Tarín (2000), sobre el principi de conservació de l'energia; H. Pérez (2003), sobre la didàctica de la teoria de la relativitat al batxillerat.

6.2.4. Coneixements i habilitats (competències), que es vol aconseguir en els estudiants sobre l'estructura dels materials.

Una vegada establert que volem organitzar els continguts de les unitats didàctiques tenint en compte la seqüència de problemes històrics, i desenvolupar en classe el model d'ensenyament aprenentatge basat en el canvi conceptual, procedimental i actitudinal, per medi dels programes d'activitats com eina didàctica que millori el procés, sols ens queda per determinar què volem ensenyar, és a dir, quins coneixements i habilitats, en sentit ample, competències, sobre l'estructura dels materials volem aconseguir en els alumnes.

És evident que els continguts de qualsevol tema poden organitzar-se de moltes i diferents formes. Sense ser cap d'elles, a priori, millor que les altres, no hem de perdre de vista que, una correcta seqüenciació de les activitats ajudarà a que els estudiants reestructuren els coneixements (Duschl i Gitomer 1991). Un factor que influirà particularment en aquesta organització, serà el nivell educatiu a que va destinat. Com el tema que estem tractant es desenvolupa fonamentalment en el currículum oficial de 3r d'Ensenyament Secundari Obligatori, l'aproximació que farem es centrarà en aquest nivell.

La inclusió de l'estudi de les Ciències de la Natura al currículum respon a la necessitat d'estudiar un univers complex, en el que coexisteixen la diversitat i els canvis continus amb la permanència dels objectes i fenòmens (Furió et al. 1995). Seguint aquest fil conductor, el primer problema que caldrà resoldre serà cercar regularitats que donen unitat a la gran diversitat de materials i substàncies existents, al temps que expliquen les seues transformacions, és a dir, els canvis químics.

Com ja hem plantejat en anteriors ocasions, la història i epistemologia de la química poden servir de referents principals en la selecció dels continguts a desenvolupar. Així, seguint l'anàlisi històric explicat al capítol 2, podem seqüenciar els continguts basant-nos en les dues principals contribucions a l'establiment de la Química com ciència moderna:

- La superació de les diferències entre matèria condensada (sòlids i líquids) i els gasos, trobant-ne les propietats comuns. Més en concret:
 - Inicialment es centraria l'atenció en l'estudi del comportament i propietats dels gasos.
 - A partir de les mateixes es podrà establir un model microscòpic senzill que, explique aquestes propietats.

- El model microscòpic establert s'extrapolarà als líquids i als sòlids.
- Ara estem en posició d'avançar un pas més i plantejar el problema químic per excel·lència: ¿hi ha alguna regularitat entre tota la diversitat de materials que trobem, quan a la seua composició i estructura? És a dir, tots els materials que veiem (i també els que no veiem, com per exemple l'aire) estan mesclats? Hi ha algun material que no siga una mescla? Com podem saber-ho?
 - L'estudi macroscòpic dels canvis que pateixen els materials ens permetrà, en principi, diferenciar entre material (mescla de substàncies) i substància, a partir del reconeixement de les propietats específiques de les substàncies.
 - També a partir de l'especificitat de les propietats de cada substància es pot arribar a la caracterització microscòpica de les substàncies (formades cadascuna per un sol tipus de partícules) i les mescles, amb propietats variables (formades per més d'un tipus de partícules).
 - Es tindrà en compte que els mètodes físics de separació de substàncies al laboratori es poden utilitzar també per caracteritzar-les.
 - Es passarà a continuació a diferenciar un canvi físic d'un canvi químic, a partir de la conservació o no de les substàncies.
 - Es pot introduir a continuació els conceptes macroscòpics de substància simple i composta, a partir de l'estudi de les reaccions d'anàlisi i síntesi.
 - En aquest moment seria convenient fer menció de les diferències entre mescla i compost, per eixir al pas de les dificultats dels estudiants.
 - En paral·lel, caldria modelitzar microscòpicament tots aquests processos per medi de les hipòtesis atòmica i molecular de la matèria.
 - A partir de la modelització dels processos químics es faria veure que, en una reacció, no es pot formar qualsevol substància, sinó que els productes estan relacionats amb els reactius per la conservació dels elements a nivell macroscòpic i dels àtoms a nivell microscòpic.

Considerem important fer notar la necessitat de fer explícit en tot moment les relacions entre els nivells macroscòpic, microscòpic i simbòlic (Gabel 1998), de forma que els estudis macroscòpics de qualsevol sistema material aniran acompanyats de les corresponents representacions microscòpiques dels mateixos, entenent que aquest s'utilitza com un model per explicar aquell. Així es procedirà, per exemple, en l'anàlisi de les diferències entre substància composta i mescla, o entre les de canvi físic i procés químic (a títol d'exemple, es pot veure el quadre 2.7, al capítol 2 d'aquest treball, que representa els nivells d'interpretació macroscòpic i microscòpic a adquirir pels estudiants per a la comprensió dels processos químics).

Per últim, d'acord amb el que ha indicat la investigació en didàctica, en els aspectes anteriors s'hauran d'integrar continguts relatius a les interaccions Ciència, Tecnologia, Societat i Medi ambient que, segons la investigació, milloren les actituds dels estudiants cap a la ciència, les destreses i habilitats procedimentals, la capacitat per aplicar els conceptes a noves situacions i la creativitat dels estudiants (Solbes i Vilches 1989; Gabel 1998; Furió et al. 2000b).

7

OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI I DISSENYES EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR-LA.

INTRODUCCIÓ

La segona hipòtesi, exposada al capítol 6, afirmava que **els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat, que participen en un procés d'ensenyament de Química, basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada, aconseguiran aprenentatges més significatius dels conceptes bàsics (substància, substància simple i composta i canvi químic), al temps que s'implicaran més activament en aquest procés, de forma que milloraran les seues actituds envers la Química i el seu aprenentatge.**

A partir de l'anterior enunciat, considerem que la contrastació d'aquesta hipòtesi tindrà dues vessants. Respecte de l'ensenyament, consistirà en el disseny i implementació d'un microcurrículum sobre iniciació a l'educació de la Química, segons els model d'aprenentatge per investigació orientada. Pel que fa a l'aprenentatge, haurem de procedir a fer-la operativa, a través de les conseqüències que se'n deriven, i podran ser posades a prova experimentalment. A continuació, presentarem els dissenys específics que corresponen a cadascuna de les conseqüències, així com els instruments de contrastació utilitzats. Per últim, per finalitzar el capítol, dedicarem un apartat a descriure les característiques de les diferents mostres que han participat en la investigació.

7.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI EN FORMA DE CONSEQÜÈNCIES A PROVAR EXPERIMENTALMENT.

L'operativització de la segona hipòtesi passa per l'elaboració d'un material curricular adient, que reunisca tots els aspectes dels quals hem criticat l'absència en l'ensenyament convencional. Aquest material ha d'ésser utilitzat en classe i, per tant, s'ha d'acotar a priori el nivell al qual es va a destinar. Com ja hem mencionat anteriorment, prepararem un quadern d'activitats dirigit al curs de 3r d'Ensenyament Secundari Obligatori, per ser en ell on el currículum s'adequa més als continguts que estem tractant.

Feta l'anterior puntualització, amb la finalitat de fer la hipòtesi més operativa, passem a enunciar-la novament, explicitant les conseqüències que se'n deriven:

- És possible elaborar i aplicar, a les aules de Secundària i Batxillerat, un microcurrículum d'iniciació a l'estudi dels sistemes materials i les reaccions químiques basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada, que tinga en compte els avanços en Didàctica de les Ciències i, en particular, les components d'orientació constructivista del procés d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències.
- L'aplicació d'aquest microcurrículum afavorirà el desenvolupament conceptual i procedimental dels conceptes bàsics (substància, substància composta i canvi químic) de Química.
- L'aplicació del microcurrículum transformat aconseguirà un major coneixement argumentatiu en els estudiants dels grups experimentals.
- La utilització del programa d'activitats en la classe de química, afavorirà les actituds positives dels estudiants dels grups experimentals envers la Ciència estudiada.

7.1.1. És possible elaborar i aplicar a les aules de Secundària i Batxillerat un microcurrículum d'iniciació a l'estudi dels sistemes materials, basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada.

Com hem dit, és possible utilitzar a l'aula estratègies alternatives, dissenyant materials curriculars basats en el model d'ensenyament aprenentatge d'orientació constructivista d'investigació orientada, que tinguen en compte els avanços en Didàctica de les Ciències. Aquests materials oferiran una introducció dels conceptes que reseguisca, en certa manera, la forma en que es desenvoluparen els principals conceptes científics durant la construcció històrica dels coneixements químics.

Ara bé, per aconseguir la millora que pretenem, el material ha de respondre perfectament als objectius que persegueix. Les activitats proposades hauran de provocar l'explicitació de les concepcions alternatives, afavorir conflictes cognitius i propiciar la reflexió per aconseguir un aprenentatge significatiu. Per aconseguir-ho, a més del material escrit, caldrà organitzar l'aula de forma que es permeta el desenvolupament de *petites investigacions* amb grups formats per 4 ó 5 membres, que interaccionen positivament i tinguen temps per pensar respecte del problema, reformular-lo, planejar-lo, interpretar els resultats i avaluar-los (Watson 1994; National Research Council 1996 i 2000; Phye 1997). També serà important oferir activitats introductòries interessants, per a què els objectius que es persegueixen queden clars als estudiants.

7.1.2. Els currículums transformats en programes d'activitats afavoriran el desenvolupament conceptual i procedimental dels conceptes de substància (simple i composta) i canvi químic.

Si la hipòtesi de la que partim és vàlida, la implementació del nou model d'aprenentatge, utilitzant a les classes de Física i Química el material que proposem, produirà canvis que afavoriran la participació dels alumnes experimentals i millorarà la seua comprensió dels conceptes, aconseguint un aprenentatge més significatiu, cosa que es posarà de manifest en un millor coneixement de continguts de tipus conceptual i procedimental.

En efecte, considerem que, comparats amb estudiants de grups de control, els alumnes dels grups experimentals hauran aconseguit més competències i habilitats

conceptuals i procedimentals, relacionades amb la identificació de les substàncies i els canvis químics. En concret:

- Utilitzaran el model discontinu de matèria, que presenta la teoria cinètica molecular, per explicar els canvis físics de les substàncies, així com un primer model atomista (daltonià), per representar les diferents substàncies i els canvis químics.
- Seran capaços, en general, de diferenciar l'aspecte macroscòpic del microscòpic, entenent que aquest s'utilitza com model per explicar aquell.
- Tindran criteris fonamentats per poder caracteritzar una substància al laboratori, de forma que diferenciaran entre material i substància a nivell macroscòpic.
- Una conseqüència de les anteriors serà que podran distingir la mescla del compost químic, tant a nivell macroscòpic com microscòpic. Al propi temps entendran que, per a que tinga lloc una reacció cal mesclar primer els reactius, però la simple mescla de substàncies no implica, necessàriament, la formació d'un compost. És a dir, la mescla de substàncies és condició necessària, però no suficient, per iniciar el procés químic de formació de noves substàncies.
- Sabran interpretar processos químics senzills i, a partir d'ells, classificar les substàncies en simples i compostes.
- Adquirida la competència de caracteritzar les substàncies, podran distingir si, al llarg d'un procés es mantenen les mateixes que havien al principi o han aparegut de noves. És a dir, podran diferenciar una reacció química d'un procés físic.
- Aquest tipus d'aprenentatge ajuda a desenvolupar estratègies de raonament, com es posarà de manifest en que respondran millor davant de situacions reals al laboratori, en les que hauran d'explicar els processos que estan succeint davant d'ells.

7.1.3. L'aplicació del microcurrículum transformat, també aconseguirà un millor coneixement explicatiu per part dels estudiants dels grups experimentals.

La utilització del microcurrículum transformat tindrà conseqüències sobre la ciència i l'interès que poden adquirir els alumnes sobre la mateixa. Un dels aspectes que afavorirà aquest interès vindrà derivat del fet que, el mètode d'investigació orientada, dona temps a pensar i expressar les pròpies idees. Així, el que resulta fonamental, no és que la resposta siga adequada, sinó la consideració de que l'alumne haja pensat sobre ella. Si no hi ha pensament individual, no pot haver-hi interacció entre les diferents formes de pensar, que és

el que estem pretenent. Les respostes ràpides sols promouen que pensen alguns i els altres esperen que algú done la resposta correcta, per copiar-la i memoritzar-la (Sanmartí 2000). Així, l'aplicació del microcurrículum, impulsarà els estudiants a desenvolupar i expressar un pensament propi, que generarà múltiples aspectes positius, dels que podem ressenyar:

- Els microcurrículums transformats, com hem dit, presenten situacions problemàtiques obertes d'interès (Driver i Oldham 1985; Gil i Mnez Torregrosa 1987; Burbules i Linn 1991; Gil et al 1991b; Wheatley 1991), que seran d'un nivell de dificultat adequat a la zona de desenvolupament potencial de l'alumnat concret al qual van dirigides (Gil 1996). Açò farà que els alumnes s'acostumen a enfrontar-se amb problemes diversos, dels quals cercaran les similituds amb altres que hagen resolt anteriorment, de forma que no es sorprendran, ni es quedaran bloquejats, davant d'una pregunta diferent a les que estan acostumats a resoldre.
- En la cerca de solucions per als problemes que se'ls plantegen, els estudiants hauran d'emetre d'hipòtesis, fonamentades en els coneixements disponibles, que els permeten elaborar estratègies de resolució. És a dir, no es limitaran a la utilització de fórmules matemàtiques, sinó que cercaran vertaderes solucions als problemes. A més a més, tindran capacitat de cercar vies diferents de solució, per possibilitar la contrastació dels resultats obtinguts i mostrar així la coherència del cos de coneixements.
- Altre aspecte fonamental a posar de relleu és que els alumnes hauran de verbalitzar les respostes, de forma que es fomenta l'argumentació i les explicacions fonamentades, en lloc de simples respostes a problemes tancats, com ocorre habitualment en l'ensenyament tradicional.
- La verbalització i argumentació de les idees afavoreix, d'un costat, la presa de consciència, per part de l'alumne, de les pròpies dificultats i d'altre, la interacció entre els components d'un grup i entre els diferents grups, de forma que els adolescents s'acostumaran a exposar idees en veu alta, a discutir idees contràries amb altres companys i a rebatre aquelles que no consideren correctes. En algunes ocasions no queden clares les tasques que el professor vol realitzar i l'estructura de treball en grup pot ser útil per ajudar-los a enllestir-les, sobre tot quan es tracta d'una forma de treballar novedosa per als estudiants (Watson 1994). Tot açò provocarà un major interès pel treball científic, al que consideraran com propi.
- També planteja una anàlisi detinguda dels resultats a la llum dels coneixements disponibles, de les hipòtesis plantejades, de forma que permet la reflexió sobre els possibles conflictes entre alguns resultats i les concepcions inicials.

- Per últim, afavoreix la integració de l'estudi en la construcció d'un cos coherent de coneixements, augmentant la capacitat per efectuar treballs de síntesi, mapes conceptuals, diagrames, etc., que posen en relació diverses branques del coneixement.

7.1.4. La utilització del programa d'activitats en la classe de Química, afavorirà les actituds positives dels estudiants dels grups experimentals envers la Ciència estudiada.

La contrastació de que la metodologia que proposem millora l'aprenentatge suposa comprovar que, a més dels conceptes i procediments, milloren les actituds. No podem oblidar que les actituds són fonamentals en el procés d'ensenyament aprenentatge, sobre tot en els nivells d'ensenyament obligatori. En conseqüència, suposem que l'alumnat que rep formació mitjançant metodologies basades en l'aprenentatge per investigació dirigida, mostrarà un interès major cap a la Física i la Química, que els alumnes dels grups de control.

A més a més, la verbalització promou la contrastació d'idees i la negociació per arribar a pactes, és a dir, augmenta la comunicació entre els membres del grup. Açò crearà un clima a l'aula en què predominaran la confiança i la cooperació, afavorint la participació i el plantejament de dubtes, sense temor al ridícul, en un ambient de seguretat i satisfacció.

Per tal de recapitular tot el que acabem d'exposar i abans de presentar els dissenys elaborats per a la contrastació de la segona hipòtesi, presentem les conseqüències derivades de la mateixa en la figura 7.1

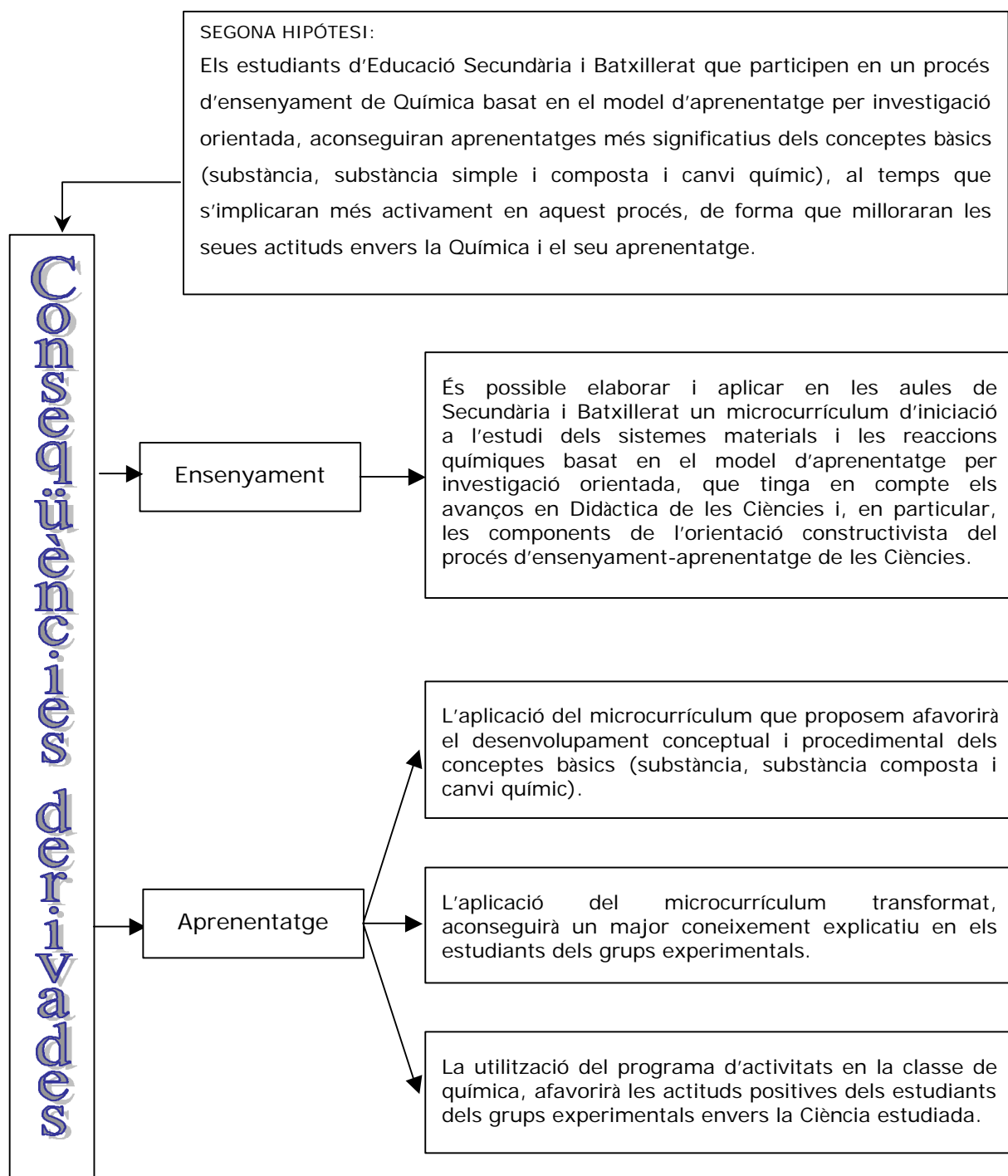


Fig. 7.1: Conseqüències derivades de la segona hipòtesi

7.2. DISSENYS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA SEGONA HIPÒTESI.

Segons hem esquematitzat a l'apartat anterior, el disseny que utilitzarem per contrastar la segona hipòtesi consisteix en idear un fil conductor que seleccione i seqüencie els continguts del tema; tot seguit s'organitzarà un programa d'acció, que desenvolupi el nou model d'aprenentatge com a tractament científic dels problemes. Seguint-lo, els estudiants s'implicaran en la resolució de les activitats, ajudats pels propis companys i, en particular, pel professor de la matèria. Per això, el primer pas serà elaborar materials curriculars, entesos com recursos didàctics, que faciliten l'aprenentatge.

Finalment, com en qualsevol model d'aprenentatge, caldrà mesurar els resultats aconseguits enllestit una avaluació, que serà el més variada possible. En ella s'avaluaran tant el coneixement declaratiu aconseguït, com el coneixement procedimental i explicatiu dels estudiants. Per portar-la a terme, ens recolzarem en diferents instruments, que abarcaran tots els aspectes relacionats amb el present treball, a saber:

- Elaboració dels programes d'activitats per a la implementació del model d'aprenentatge per investigació orientada, en el cas de la introducció a la Química en l'Educació Secundària.
- Dissenys per contrastar si els estudiants dels grups experimentals entenen millor els conceptes que fan referència a l'estudi dels materials i els canvis químics.
- Dissenys per contrastar que l'alumnat dels grups experimentals ha adquirit més competències procedimentals, com un major coneixement explicatiu (major capacitat d'argumentació), a l'hora d'interpretar diverses experiències.
- Disseny per contrastar que, entre l'alumnat dels grups experimentals, milloren les actituds envers la Química i el seu aprenentatge.

Passem, a continuació, a detallar el contingut dels dissenys que acabem d'esmentar.

7.2.1. Elaboració de programes d'activitats per a la implementació del model d'aprenentatge per investigació orientada en el cas de la introducció a la Química en Secundària.

Segons hem afirmat en la segona hipòtesi d'aquest treball, és possible dissenyar materials curriculars basats en un model d'ensenyament-aprenentatge per investigació orientada. Amb ells és possible aplicar a l'aula metodologies alternatives, que permeten un model d'aprenentatge com canvi conceptual, procedimental i actitudinal, basat en la utilització de programes d'activitats, que tinguen en compte els avanços en Didàctica de les Ciències.

La forma de contrastar aquesta conseqüència hipotètica serà elaborar un programa, seguint les indicacions del model d'aprenentatge, i posar-lo en pràctica amb els alumnes. Per elaborar-lo haurem de començar per decidir quin volem que siga el fil conductor dels continguts i després, seguir unes estratègies, ja definides, per tal de garantir l'eficàcia de la proposta. A més, seria interessant tindre un dossier el més ampli i variat possible per poder escollir les activitats més adients a les necessitats específiques de cada grup, adaptades al contingut del tema i el nivell educatiu, en les que el contingut del coneixement escolar s'entenga com la transformació i integració de coneixements provinents de fonts diverses (Martín del Pozo 1998).

Recollim a continuació algunes propostes i recomanacions que considerem que ha de tindre en compte el programa d'activitats per oferir una visió completa de la ciència:

- Que es guie per un fil conductor que tinga en compte l'evolució històrica dels conceptes
- Que plantege problemes significatius que, històricament, han contribuït a la introducció de conceptes útils
- Que propose experiències de forma contextualitzada.
- Que faça referència a les concepcions alternatives més freqüents trobades per la recerca en aquest domini.
- Que la introducció del formalisme matemàtic s'efectue sempre posteriorment a una introducció qualitativa del concepte, a base d'idees significatives.
- Que impulse a l'alumne a emetre hipòtesis fonamentades, per donar solucions al problema plantejat.

- Que permeta reflexionar sobre el treball realitzat, és a dir, incorporar activitats metacognitives que afavorisquen el desenvolupament de les concepcions epistemològiques actualitzades.
- Que permeta explicitar les controvèrsies.
- Que estimule la recerca bibliogràfica i l'elaboració d'esquemes i activitats de síntesi.
- Que introduísca una dinàmica afavoridora de la participació i el treball a l'aula, que ajude a superar la receptivitat passiva de part de l'alumnat.
- Que facilite la retroalimentació en els moments adequats.
- Que mostre el caràcter col·lectiu del treball científic.
- Que mostre el paper de la dona en l'activitat científica.

Per elaborar les diferents activitats del quadern que proposem, hem acudit a diverses fonts bibliogràfiques i, en particular, a aquelles que ja han utilitzat el mateix model d'aprenentatge en altres dominis (Guisasola 1996; Azcona 1997; Hernández 1997). La resta s'han obtingut dels mateixos llibres de text que s'han analitzat, modificant-les per aconseguir els objectius que ens proposem. Pel que fa al fil conductor, hem fet servir l'estudi històric desenvolupat a la primera part d'aquest treball, suposant que es donarà algun paral·lelisme entre els problemes de comprensió de l'alumnat i algunes de les dificultats i barreres epistemològiques que s'han hagut de vèncer al llarg de la història, fins arribar a establir-se, de forma que, algunes de les solucions i els raonaments que es donaren en aquell moment poden ajudar a vèncer aquests obstacles.

El disseny ha consistit en l'elaboració de dos programes d'activitats. El primer serà referent a l'estàtica química, amb la introducció dels conceptes de substància (simple i composta), a nivell macroscòpic i microscòpic i el concepte macroscòpic d'element químic. El segon fa referència al concepte de reacció química en els tres nivells de representació: es començarà fent referència al canvi substancial, basat en el model conceptual macroscòpic, en el que es conserven els elements químics; a continuació es desenvoluparà un model elemental microscòpic, a partir del model atòmic daltonià i, per últim, farem explícit el nivell simbòlic de representació, amb utilització de fórmules.

Com hem vist en la introducció històrica, el concepte macroscòpic de substància quedà introduït en base al conjunt de propietats característiques que presentava, oposant-lo així al de mescla, de propietats variables, segons la proporció dels components. D'igual forma, seguint l'esquema històric, volem que els alumnes arriben a comprendre la diferència entre els dos conceptes, de manera que aparega primer el nivell macroscòpic de descripció de la matèria, per passar després a una interpretació a nivell daltonià. Per últim, l'estudi històric

ens permet veure les dificultats que es plantejaren per diferenciar macroscòpicament entre els canvis físics i els canvis químics i poder entendre què era el que estava succeint en un procés qualsevol. Una vegada comprès açò, el fil conductor ens portaria a la comprensió dels conceptes de substància simple i substància composta o compost. Al mateix temps, farem ús del comportament unitari dels gasos que portà a l'idea de l'existència de partícules en tots els cossos (natura corpuscular de la matèria) i la d'àtom daltonià que permetrà explicar, a títol d'hipòtesi les lleis conegudes de les reaccions químiques (conservació de la massa i llei de les proporcions constants).

Com el programa s'ha elaborat a partir d'una concepció personal d'introducció de conceptes, s'acompanya d'una guia comentada per facilitar la lectura i utilització, que permeta conèixer els objectius i intencions de cadascuna de les activitats.

7.2.2. Disseny per contrastar si els alumnes dels grups experimentals comprenen millor els conceptes que fan referència a l'estudi dels materials i els canvis químics.

En la primera part d'aquest treball hem pogut constatar els problemes d'aprenentatge dels estudiants, respecte dels conceptes introductoris a l'estudi dels materials i els canvis químics. En aquest punt tractarem de verificar que, després d'utilitzar a la classe de Física i Química els materials que proposem, es produeix un aprenentatge més significatiu i no s'obtenen percentatges d'alumnes amb problemes tan elevats com els que s'han identificat en els grups de control.

La comprovació experimental dels canvis es farà per diversos medis, per assegurar-nos que els resultats obtinguts són convergents. S'utilitzaran els mateixos qüestionaris que es passaren als grups de control, dels que posteriorment s'analitzaran els resultats obtinguts i es compararan amb els resultats obtinguts pels estudiants grups de control. Els dissenys utilitzats s'especifiquen a continuació:

- El mapa conceptual que es presenta al document 1 (quadre 3.1), que mostrarà si han assolit els conceptes bàsics d'estudi de la Química i les relacions entre ells.
- El document 2 (quadre 3.2), amb l'ajuda del qual podrem esbrinar si l'alumnat diferencia entre material i substància.
- El document 3 (quadre 3.3), que s'utilitzarà per determinar si l'alumnat experimental diferencia els conceptes de mescla i compost.

- El document 4 (quadre 3.4), que ens permetrà analitzar si poden discernir entre substància simple i element químic.
- Per últim, amb ajuda del document 5 (quadre 3.5), determinarem si l'alumnat diferencia entre canvi físic i procés químic.

Els qüestionaris als grups experimentals es passaren a final de curs i sense avís previ per a que estiguessen en les mateixes condicions que els grups de control. La valoració de les respostes serà la mateixa que ja especificarem en la primera part del treball, on s'han indicat els criteris de correcció emprats per a cada ítem dels diferents qüestionaris.

En el capítol 4 es posà de manifest que, els alumnes que ressegueixen els mètodes convencionals d'ensenyament, no aconsegueixen un aprenentatge significatiu. Si la hipòtesi que proposem és vàlida, una conseqüència serà que l'alumnat dels grups experimentals haurà de respondre correctament, en un percentatge major, a les diverses qüestions proposades.

7.2.3. Disseny per contrastar que l'alumnat dels grups experimentals ha adquirit un millor coneixement explicatiu i argumentatiu a l'hora d'interpretar diverses experiències.

Segons hem explicat en apartats anteriors, proposem una metodologia basada en un model d'orientació constructivista d'investigació orientada. La utilització d'aquest model afavorirà en l'alumnat la realització d'activitats pròximes al que s'entén com el treball científic, i entre les quals destaquem les següents:

- Fer un estudi qualitatiu de la situació, detallant la situació inicial del problema, què se busca, quins factors cal tindre en compte,...
- Cercar la informació adient en la bibliografia de què disposen
- Emetre hipòtesis sobre com afectaran els diversos factors relacionats en el problema, quines possibilitats es presenten,...
- Discutir amb els companys les diferents hipòtesis, raonant quines poden ser més fructíferes i quines no tenen sentit i perquè.
- Resoldre les qüestions, explicant i fonamentant el que es fa i perquè es fa.
- Analitzar els resultats i comparar-los amb altres problemes per cercar-ne les similituds i diferències.

La pràctica reiterada dels anteriors aspectes, farà que l'alumnat s'acostume a explicitar els seus pensaments, activitat que permetrà posar de manifest les idees alternatives que puguen tindre. A més a més, hauran de discutir continuament entre ells per defensar els seus punts de vista i rebatre els que consideren errònies. També hauran d'analitzar els resultats obtinguts, de forma que enfortiran la comprensió dels conceptes estudiats i augmentaran la capacitat per enfrontar-se a problemes cada vegada més complexos. Al propi temps s'habituaran a recapitular sobre les pròpies idees, de forma que podran descobrir per ells mateix errors en els seus plantejaments i canviar d'hipòtesi quan ho creguen necessari.

Per tot el que acabem de comentar, considerem què, els canvis que s'han de produir entre l'alumnat, no seran només de tipus conceptual, sinó que també es produiran canvis de tipus procedimental. Per tal de comprovar-lo s'ha realitzat a un grup d'alumnes experimentals la mateixa entrevista davant fenomen (document 6), que havien fet els alumnes dels grups de control. En ella s'analitzen aspectes similars als dels qüestionaris, però ara a partir d'experiències que tenen lloc davant d'ells i que hauran d'explicar, al temps que dibuixen el que suposen que haurà passat a nivell microscòpic.

Pensem que l'alumnat dels grups experimentals podrà interpretar les experiències millor que ho feren els alumnes de control i tindrà més capacitat per analitzar les seues respostes. Fins i tot pensem que, en alguns casos, a partir d'una determinada idea, podran redefinir un concepte que ja havien expressat amb anterioritat o donar altra explicació que els resulte més convincent a una experiència ja explicada.

El nombre d'alumnes que ha participat en aquest disseny és de 10 i han estat escollits a l'atzar, seguint únicament criteris de disponibilitat per realitzar-les. Tots ells pertanyien a grups de 3r d'ESO en el moment de realitzar l'entrevista, que tingué lloc cap al final de curs, quan ja feia temps que s'havien donat els conceptes a que fa referència l'entrevista. En qualsevol cas, els estudiants sabien que no anava a puntuar per a les notes finals, de forma que tampoc s'havien preparat especialment per realitzar-la.

7.2.4. Disseny per contrastar que, entre l'alumnat dels grups experimentals, milloren les actituds envers la Química i el seu aprenentatge.

Un dels factors que més influeix en l'aprenentatge és l'actitud de l'alumne, de forma que, per aconseguir un aprenentatge significatiu, s'ha de crear un clima d'aula i un interès que provoqui actituds positives envers la ciència i el treball científic. Per contrastar que entre l'alumnat dels grups experimentals s'ha produït una millora en l'actitud cap a la pròpia matèria i cap al procés d'aprenentatge, s'ha utilitzat un qüestionari (Carnicer 1998), que analitza el grau de valoració que els estudiants fan del mètode de treball a l'aula. Per evitar condicionaments en les respostes, el qüestionari es passà a final de curs, després d'haver donat les notes. Es presenta a continuació, com document 16, al quadre 7.1.

DOCUMENT 16

El present qüestionari és anònim i pretén fer una reflexió sobre el funcionament de la classe de Física i Química al llarg del curs passat, amb la finalitat de modificar allò que considerem convenient en el pròxim curs.

Per favor, llig cadascuna de les afirmacions i puntua-les de 0 a 10, segons la següent escala:

Totalment d'acord.... de 9 a 10	En desacord de 3 a 4
D'acord..... de 7 a 8	Totalment en desacord de 0 a 2
Indiferent de 5 a 6	

RESPECTE DELS CONTINGUTS TREBALLATS:

- La quantitat de continguts ha estat adequada.....
- Els objectius estaven clars (sabíem per a què ens serviria cadascun).....
- Quan s'introduïen en conceptes nous es relacionaven amb els que ja es coneixien.....
- Generalment he comprès els conceptes

RESPECTE DE LA FORMA DE TREBALLAR A L'AULA

- Amb aquest mètode me resulta fàcil atendre i treballar en classe.....
- He après a treballar d'una forma que abans no coneixia.....
- M'agrada que el professor expliqui en classe i sols de quan en quan pose algun exemple per a que el resolien els alumnes
- M'agrada que el professor pose activitats continuament en classe per treballar en grup.....
- M'agrada més treballar sol que en grup
- El mètode afavoreix la participació en classe

RESPECTE A LA SATISFACCIÓ AMB QUÈ S'HA TREBALLAT

- M'ha ajudat a relacionar-me més amb els companys
- Crec que hauria d'haver menys hores de classe d'aquesta matèria a la setmana
- Mai tinc ganes que arribi l'hora de classe d'aquesta matèria
- Les classes d'aquesta matèria han aconseguit atraure el meu interès
- En classe ha hagut un clima de confiança.....
- En classe ha hagut un clima de cooperació

Quadre 7.1. Qüestionari per conèixer l'opinió de l'alumnat dels grups experimentals sobre la metodologia utilitzada a les classes de Química.

7.3. RECAPITULACIÓ DELS DISSENYS EXPERIMENTALS PLANIFICATS PER POSAR A PROVA LES CONSEQÜÈNCIES DERIVADES DE LA SEGONA HIPÒTESI.

Per concloure el capítol, igual que férem en l'operativització de la primera hipòtesi, presentarem un esquema, a mena de resum, dels dissenys experimentals planificats per posar a prova les conseqüències contrastables previstes.

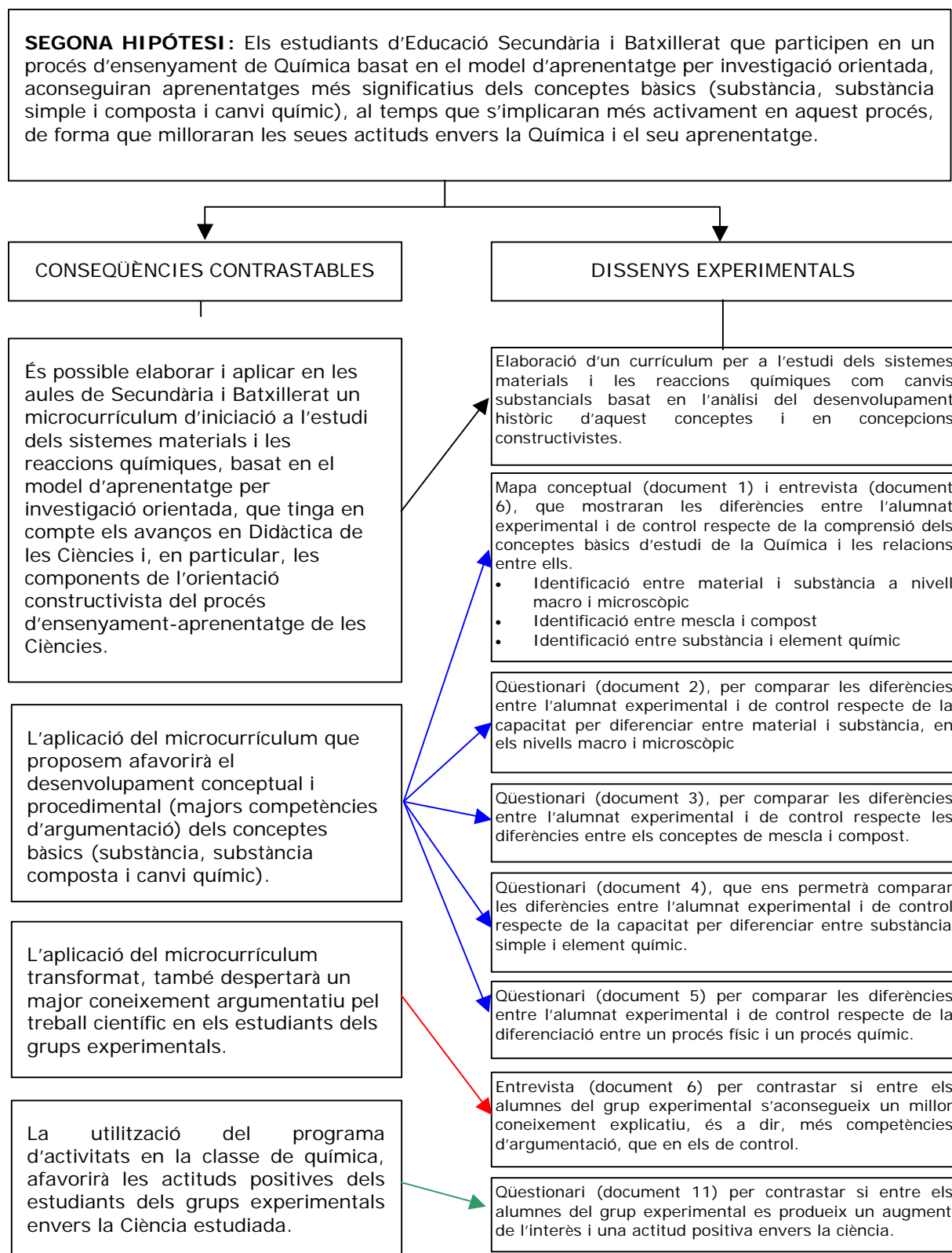


Fig. 7.2: Conseqüències contrastables de la segona hipòtesi i dissenys experimentals utilitzats per posar-la a prova

7.4. CARACTERÍSTIQUES DE LES MOSTRES EXPERIMENTALS A LES QUE S'HAN APLICAT ELS DISSENYS.

El microcurrículum que proposem en aquest domini s'ha posat a prova en cursos successius en diversos instituts del País Valencià, amb alumnes de 3r curs d'ESO, 1r i 2n de Batxillerat. Per tal de mostrar la validesa dels resultats dels grups experimentals i augmentar la mostra d'alumnes participants en els mateixos, s'ha contat amb la col·laboració d'altra professora, experimentada en aquest model d'ensenyament, i que ha participat en diversos seminaris i cursos de formació. Junt amb l'autora d'aquesta investigació, farà servir els mateixos objectius i estratègies d'aprenentatge amb els seus grups d'alumnes.

En aquesta segona part del treball han participat un total de 187 estudiants, seleccionats aleatòriament en els mateixos centres d'on s'havien extret les mostres d'estudiants dels grups de control. El nombre de participants i curs en què estaven en el moment de portar a terme la investigació s'ofereix a continuació:

	3r ESO	1r Batx	2n Batx	TOTAL
Professora investigadora	89	29	18	136
Altra professora	29	22	--	51
			TOTAL	187

Taula 7.1. Distribució per cursos de les mostres d'estudiants experimentals que han participat en la investigació.

Els materials didàctics elaborats s'han utilitzat al llarg dels cursos 2001-2002 i 2002-2003. Després d'utilitzar-los durant tot el curs escolar, es proposarà a aquests grups d'alumnes la realització de qüestionaris i entrevistes, similars als que realitzaren els grups de control, que havien seguit un ensenyament que no utilitzava aquests materials i estratègies metodològiques. Per últim, s'efectuarà un estudi comparatiu dels resultats obtinguts pels grups d'alumnes experimentals i els que s'obtingueren amb els grups de control (que, òbviament, no havien utilitzat aquests materials).

8

PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ EXPERIMENTAL DE LA SEGONA HIPÒTESI.

En el present capítol s'exposaran els resultats obtinguts en la contrastació de la segona hipòtesi, desenvolupada segons les direccions assenyalades al capítol anterior. En concret, s'han elaborat materials curriculars adients al tema que estem tractant, utilitzant-los durant les classes de Física i Química. Tot seguit, s'han dissenyat estratègies per analitzar si, efectivament, els estudiants dels grups experimentals han assolit millors resultats que els corresponents als grups de control en la valoració dels objectius conceptuals, procedimentals i actitudinals. En particular, es tracta de veure si:

- És possible elaborar i aplicar programes d'activitats que porten a la construcció dels conceptes de substància (simple i composta) i reacció química, utilitzant el mètode d'aprenentatge per investigació.
- L'aprenentatge de l'alumnat que ressegueix el model d'aprenentatge per investigació orientada és més significatiu, afirmació que es posarà de manifest si es confirma que els estudiants dels grups tractats assoleixen millor el coneixements de tipus conceptual.
- Milloren les formes de raonament, fet que es posa de manifest en que oferiran un millor coneixement explicatiu davant de situacions reals al laboratori, explicant les experiències que es realitzen davant d'ells.
- Les actituds cap a l'aprenentatge milloren, com tractarem de veure a partir de les respostes al document 11 sobre actituds.

A continuació donarem a conèixer una visió general dels resultats obtinguts, descrivint els instruments utilitzats i els grups als quals foren aplicats.

8.1. ÉS POSSIBLE ELABORAR I APLICAR PROGRAMES D'ACTIVITATS BASATS EN EL MODEL D'APRENTATGE PER INVESTIGACIÓ ORIENTADA, PER AFAVORIR LA CONSTRUCCIÓ DELS CONCEPTES.

Per a la present investigació, hem elaborat un microcurrículum, a partir del qual, volem que els estudiants arriben a la comprensió dels conceptes de substància, mescla, substància simple, substància composta i reacció química, tant des del punt de vista macroscòpic com des del microscòpic. Per aconseguir-ho hem desenvolupat un fil conductor que ressegueix l'elaboració dels conceptes de forma similar a la que es va seguir històricament. Hem de recordar, però, que no pretenem fer una anàlisi històrica, sinó tan sols utilitzar els mecanismes i idees que serviren per refutar unes teories i comprendre altres. No podem oblidar que els estudiants no viuen el mateix moment temporal que aquell en que es produïren els fets i que tampoc són científics, de forma que, simplement, utilitzarem el fil històric com ajuda per introduir els conceptes i eixir al pas de les dificultats dels estudiants.

Una vegada elaborat el programa d'activitats, l'hem aplicat en aules organitzades a l'efecte. En elles, els alumnes, disposats en grups, l'utilitzen com material de treball. Després de cada qüestió plantejada, els components del grup han de debatre i donar (no necessàriament) una resposta, per a la qual cosa discuteixen entre ells, i presenten conclusions. Cada grup ha d'escollir un portaveu, que explique a la resta de grups les seues idees. En aquest moment es planteja la discussió en gran grup, moderada en tot moment pel professor o professora. A partir del debat, enriquit amb les aportacions dels diferents participants i, en particular, amb la intervenció del professor que, com director de recerca, assabenta als estudiants sobre el que diu la ciència, s'arriba a un consens, en el que tots estan d'acord i en el que d'una o altra forma, tots han participat.

Aquest canvi conceptual i metodològic ajuda a evitar l'operativisme cec, perquè obliga a l'estudiant, de forma reiterada, a utilitzar els raonaments científics i, en posar-lo contínuament davant de problemes que li plantegen conflictes cognitius, posa en qüestió les evidències de sentit comú i arriba a aconseguir hipòtesis més profundes per explicar els fets. En concret, el model ofereix a l'alumnat la possibilitat de:

1. Analitzar el problema que es presenta, fer una anàlisi qualitativa, posant de manifest explícitament les condicions, acotar les variables,...
2. Elicitar les idees prèvies, com hipòtesis que no donen solució al problema plantejat i que caldrà qüestionar-se.

3. Emetre altres hipòtesis que ajuden a solucionar el problema.
4. Buscar solucions amb ajuda dels propis companys i del professor, en un treball col·lectiu que afavoreix la cooperació.
5. Acostumar-se a exposar en veu alta les pròpies idees i a defensar-les amb arguments davant els companys, de manera que, en fer-ho de forma repetitiva s'aprèn a verbalitzar el propi pensament.
6. Rebatre fonamentadament aquelles hipòtesis en les que no estiga d'acord, fomentant així l'esperit crític i la capacitat de diàleg.
7. Analitzar amb cura les solucions aportades, comprenent què significa cada resultat i tractant-lo com una solució a un problema, no com un nombre obtingut a partir d'unes operacions mecàniques.
8. Incorporar nous coneixements als que ja tenien anteriorment, a partir de les argumentacions i aportacions dels diferents grups, de manera que s'aconsegueix un aprenentatge significatiu, de forma similar a com ocorre realment en les investigacions.
9. Ser particip actiu de la pròpia educació, provocant una actitud més positiva cap a l'aprenentatge i una major satisfacció respecte dels coneixements adquirits.

En definitiva, es tracta què, a partir del coneixement del cos teòric, que explica un seguit de fets que ja són coneguts pels estudiants, es plantegen nous problemes, als que s'intentarà donar resposta mitjançant la introducció de nous conceptes que seguiran un esquema general, que s'haurà predeterminat en base al model que defensem. Seguint aquesta línia de treball, hem elaborat un esquema general de l'organització i seqüenciació del programa d'activitats, que mostrem a continuació en la figura 8.1.

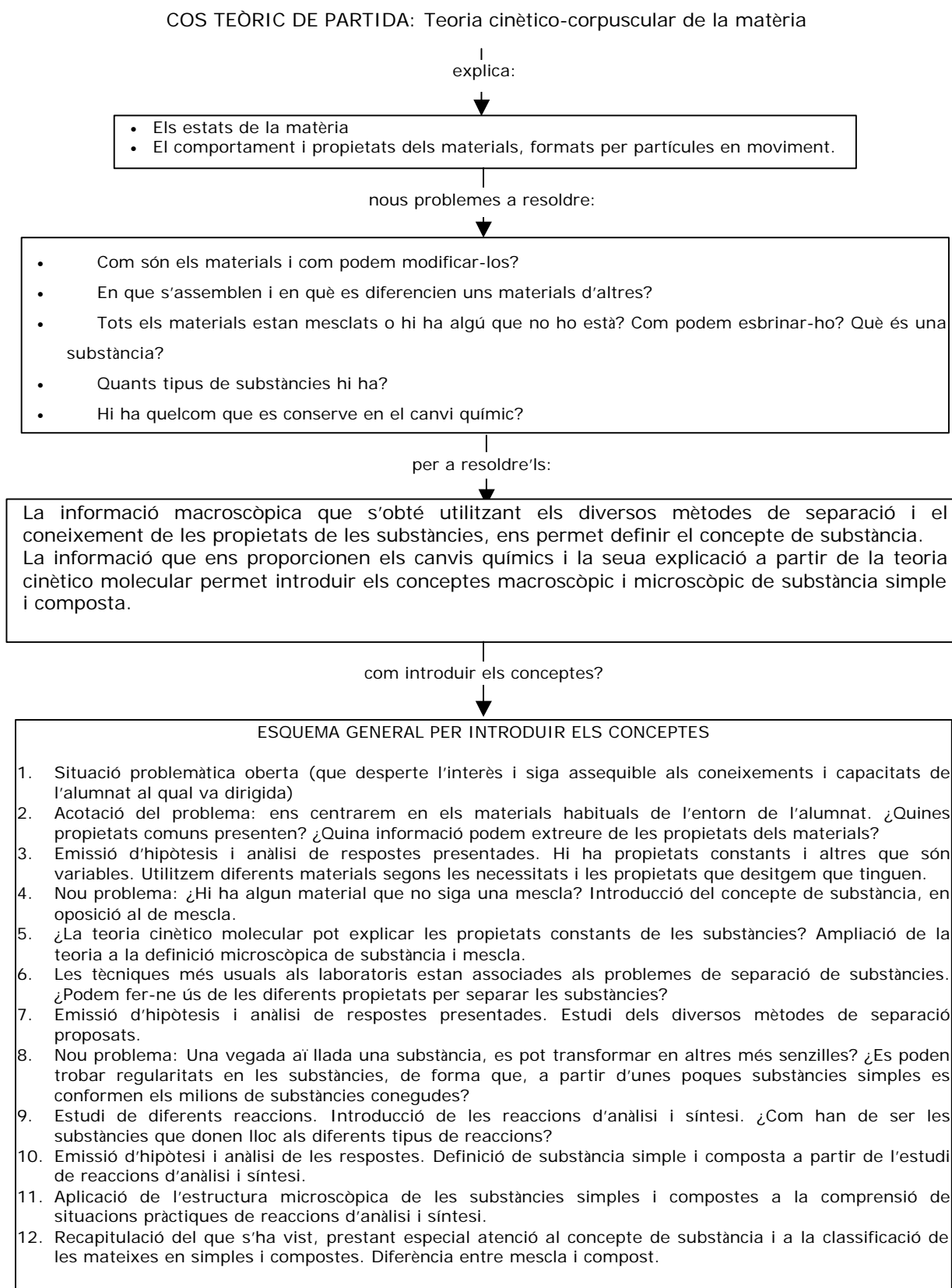


Figura 8.1: Organització i seqüenciació del programa d'activitats

8.1.1. Presentació d'un programa d'activitats.

Per mostrar explícitament que és possible elaborar un programa d'activitats, oferim a continuació, a mena d'exemple, un tema d'introducció a la Química, preparat per utilitzar amb alumnes de 3r d'ESO. Cada activitat proposada als estudiants s'acompanya de comentaris, en els que s'assenyalen el propòsit i objectius que es pretenen assolir, al temps que tracten d'eixir al pas d'algunes de les dificultats que pensem es poden presentar entre els alumnes.

Partim de la suposició que, els estudiants, han treballat prèviament el tema de l'estructura cinètico-molecular de la matèria, utilitzant programes d'activitats coherents amb el model d'ensenyament per investigació orientada que defensem en aquest treball.

El fil conductor seguit ens ofereix dues parts: la primera, dedicada a *l'estàtica química*, tracta d'arribar a la comprensió del concepte de substància, com sistema material oposat a les mescles, amb unes propietats específiques característiques. Seguidament s'estudia el concepte microscòpic de substància, formada per moltes partícules iguals, raonament que explica la constància de les propietats característiques en diverses mostres de la mateixa substància. A partir de la comprensió d'aquest concepte, utilitzarem els diversos mètodes físics de separació per aïllar i caracteritzar substàncies al laboratori.

En una segona part, que es dedicarà a la *dinàmica química*, classificarem les substàncies en simples i compostes mitjançant les reaccions d'anàlisi i síntesi. A partir de la conservació o no de les substàncies en el canvi, es diferenciarà les reaccions químiques dels processos físics, posant l'èmfasi en què, en aquelles, s'ha produït un canvi substancial, que podem apreciar pel canvi en les propietats de les substàncies obtingudes. Tot seguit definirem les substàncies simples i compostes a nivell microscòpic, establint clarament les diferències entre la mescla de substàncies i el compost químic. Finalment, es presentarà una recapitulació que permeti lligar tots els conceptes estudiats.

El tema que proposem es desenvoluparà a partir dels continguts que s'especifiquen a continuació:

PROGRAMA D'ACTIVITATS

**INTRODUCCIÓ A LA QUÍMICA.
ESTRUCTURA DE LA MATÈRIA.**

- 1.- PER QUÈ HEM D'ESTUDIAR QUÍMICA?
- 2.- PROPIETATS GENERALS DELS MATERIALS.
 - 2.1.- Introducció al concepte de densitat.
- 3.- TIPUS DE MATERIALS: MESCLES I SUBSTÀNCIES.
 - 3.1. Definició microscòpica del concepte de substància.
- 4.- PROPIETATS ESPECÍFIQUES DE LES SUBSTÀNCIES.
 - 4.1. Temperatures de fusió i ebullició.
- 5.- MÈTODES DE SEPARACIÓ DELS COMPONENTS D'UNA MESCLA.
- 6.- SUBSTÀNCIES SIMPLS I SUBSTÀNCIES COMPOSTES.
 - 6.1.- Estructura microscòpica de les substàncies simples i compostes.
- 7.- RECAPITULACIÓ DELS ASPECTES MÉS IMPORTANTS.

ANNEX. Taula de densitats i temperatures de canvi d'estat d'algunes substàncies.

1.- PER QUÈ HEM D'ESTUDIAR QUÍMICA?

La Ciència forma part de la vida quotidiana, constitueix un aspecte més del món i la Societat en què vivim, està integrada en la cultura ordinària. La Química és la part de la Ciència que incideix en la finalitat fonamental de la mateixa, qual és interpretar de manera més profunda els fets, processos o canvis que tenen lloc al nostre voltant, en el mateix llenguatge natural amb què parlem i pensem quotidianament.

1.- *Què creus què és la Química? Què estudia? Pots assenyalar alguna utilitat del seu estudi per a la vida diària?*

Comentaris A.1

La Química ens proporciona un seguit de coneixements i habilitats que permeten explicar de manera més completa com és el món que ens envolta. Podem parlar d'ella com la ciència de la naturalesa, propietats i composició de la matèria, que intenta ajudar-nos a comprendre la diversitat de materials que existeixen i els canvis que en ells es produeixen (transformacions d'uns cossos en altres, que provoquen modificacions profundes i permanents en la seua naturalesa), així com les lleis que presideixen totes aquestes accions. En particular, ens ajuda a respondre les següents qüestions: De què estan fets els materials? Quines propietats tenen i com es poden aprofitar per cobrir les necessitats humanes? Com es transformen uns en altres? Com podem orientar aquests canvis envers un desenvolupament sostenible del planeta?

2.- *Indica alguns productes químics que utilitzes diàriament i altres que no ho siguen.*

Comentaris A.2

És molt corrent donar al terme *producte químic* una connotació d'*artificial*, produït per la mà de l'home, és a dir, contrari a natural. Caldrà eixir al pas d'aquesta divisió que forma part del "sentit comú" d'altres temps i es fonamenta en la classificació de "natural i artificial" feta segons la hipòtesi de la *força vital* (segle XIX). Actualment aquesta classificació no té sentit, com es comprova en multitud de casos. Es pot mencionar com exemple la insulina: la fabricada pel cos humà és exactament igual que la feta al laboratori.

Ara bé, les dificultats de l'alumnat apareixeran quan cerquen coses que no siguin productes químics, perquè la majoria dels materials que utilitzem al llarg del dia provenen d'algun procés químic, tant si ha tingut lloc a la natura, com si prové de la indústria. Podem esmentar com exemples:

- Qualsevol dels aliments que ingerim diàriament i venen directament de la natura, com proteïnes, vitamines, sucres, grasses, minerals, àcid cítric (taronges i llimes, refrescos), àcid acètic (vinagre),...
- Altres materials que l'home ha transformat per al seu profit, entre els que podem esmentar: àcid acetil-salicílic i paracetamol (aspirines), àcid carbònic (refrescos amb gas), medicines, productes de neteja (salfumant, lleixiu, sabó...), teixits, adobs, el bolígraf i la resta del material d'estudi, productes d'higiene corporal (cremes, desodorants, espuma, gel,...), la roba, les sabates,...

Un llistat exhaustiu seria interminable, d'ací la gran importància de la Química, com una ciència present en la vida quotidiana.

3.-*En aquest tema i els següents estudiarem els materials que ens envolten. Quines qüestions fonamentals t'interessaria estudiar i quins dubtes voldries clarificar?*

Comentaris A.3

Explicitar la necessitat d'implicar als estudiants en els objectius del tema i de tindre en compte les seues idees i interessos.

2. PROPIETATS GENERALS DELS MATERIALS.

El tipus de vida de les persones canvia dia a dia gràcies als nous materials que van apareixent i ens faciliten les activitats diàries, com medicaments amb propietats més beneficioses i menys efectes secundaris, o aliments dels que fa uns anys no podíem disposar, però gràcies als nous mecanismes de conservació estan al nostre abast. Aquests i molts altres avantatges s'han pogut aconseguir gràcies als coneixements assolits per la ciència respecte dels materials. Però, què ens interessa saber a nosaltres respecte dels mateixos? Com són els materials i com podem modificar-los? En què s'assemblen i en què es diferencien uns d'altres?

4.- *Quines propietats ha de tindre un cos per poder dir que és material?*

Comentaris A.4

Aquesta qüestió pretén fer veure la diferència aparent entre els materials que ens envolten, per anar cercant després les similituds. En una primera mirada al nostre voltant podem observar sòlids com els metalls, la fusta, vidre, pedres, plàstic; líquids com l'aigua, benzina, dissolvents; o gasos, com l'aire, el vapor d'aigua, el gas natural,... Tots tenen en comú que posseeixen una massa i ocupen un volum a l'espai, valors que podem mesurar en tots els casos. A més, la matèria pot estar carregada elèctricament. La càrrega elèctrica és també una propietat general, que es tractarà més endavant, en un capítol dedicat a l'electricitat.

També es pot parlar de les unitats de mesura, recordant que les primeres que s'utilitzaren eren variables segons la situació geogràfica (es pot fer un estudi de les unitats de massa que encara s'utilitzen al lloc de residència de l'alumnat) i que, posteriorment, s'han introduït les unitats del S.I. per unificar criteris i facilitar -ne l'ús i el comerç.

5.- *Dissenya un procediment que et permeta mesurar fàcilment el volum d'objectes no massa grans, com unes claus, monedes,...*

6.- *Inventa i descriu un recipient amb el que es puguin mesurar 500 ml d'un líquid amb molta exactitud.*

7.- *Inventa i descriu un recipient en el que pugues mesurar 1 ml, 2 ml,... és a dir, quantitats molt xicotetes de líquid.*

Comentaris A.5 – A.7

Al laboratori s'utilitzen diversos instruments de mesura. Per mesurar el volum d'un cos, estem acostumats a veure en casa, botelles i recipients de cuina. Al laboratori s'utilitzen altres amb diferent precisió segons la finalitat per a la qual estiguen dissenyats. Aquestes activitats poden permetre a l'alumnat reinventar una proveta, un matràs aforat o una pipeta. La figura següent mostra alguns dels recipients més utilitzats al laboratori de Química.

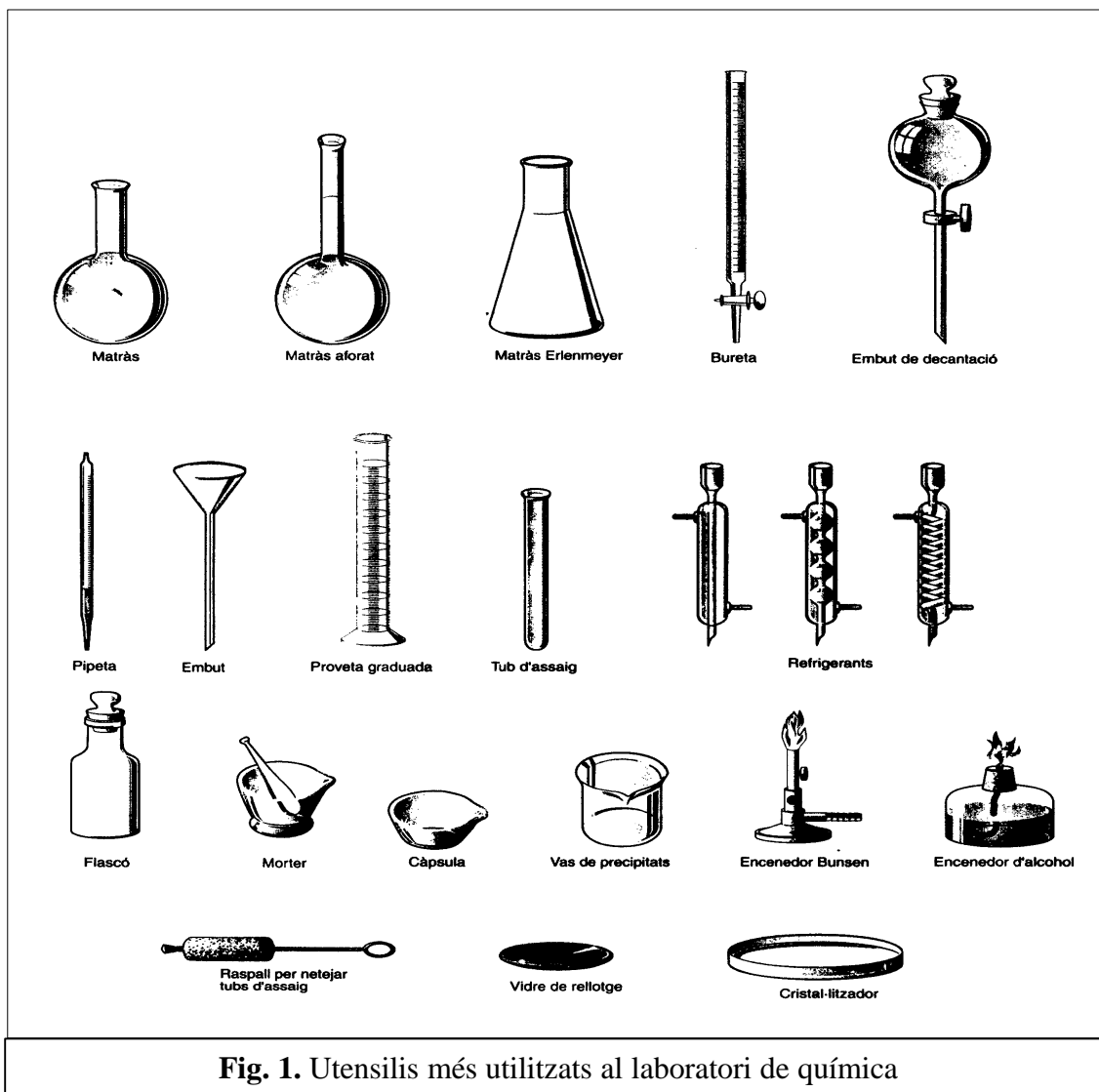


Fig. 1. Utensilis més utilitzats al laboratori de química

8.- Saps què vol dir enrasar? Busca la definició al diccionari.

9.- Una de les botelles de vidre que s'utilitzen al laboratori te forma esfèrica amb un coll molt alt i rep el nom de matràs aforat. Ordinàriament podem sentir una paraula similar quan parlen de l'aforament d'un camp de futbol o d'una sala de festes. A què fa referència aquest terme? Quina relació hi ha entre les dues paraules?

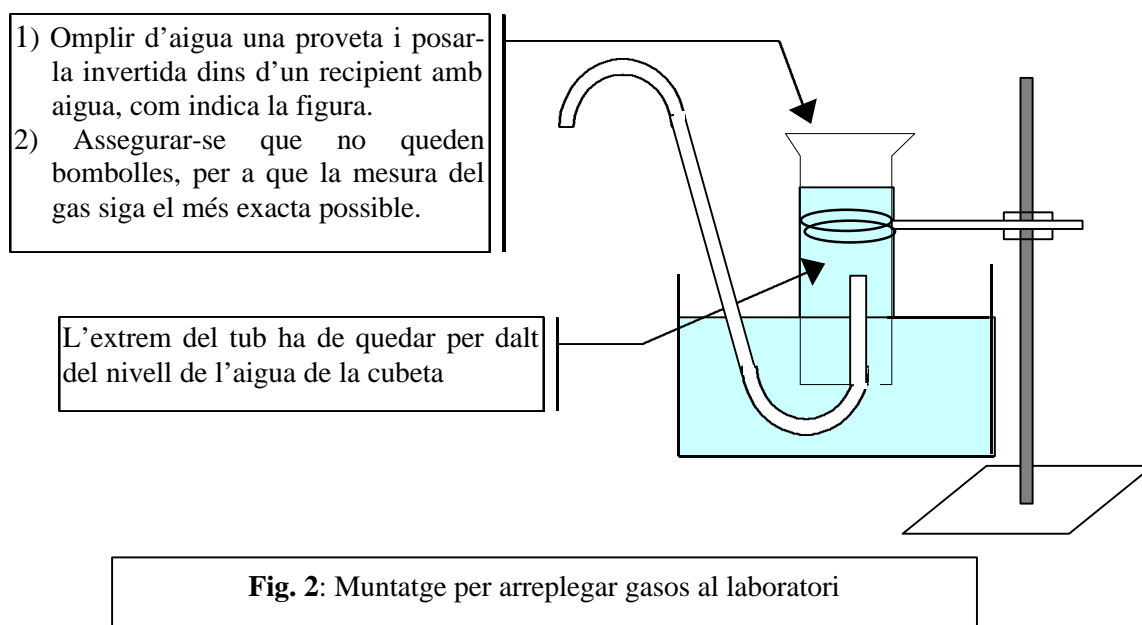
Comentaris A.8 i A.9

Aquestes activitats pretenen ampliar un poc el vocabulari dels estudiants i relacionar-lo amb paraules d'ús quotidià en altres contextos.

- 10.- Si tractes d'omplir una botella, aparentment buida, utilitzant un embut que encaixe perfectament en la boca, el líquid no s'introdueix a la botella. Per què? Què caldria fer perquè caiguera?
- 11.- Idea i explica una experiència senzilla per comprovar que els gasos tenen massa.
- 12.- Idea i explica un procediment per recollir i mesurar una determinada quantitat d'un gas qualsevol, per exemple 50 ml.

Comentaris A.10 – A.12

L'objectiu d'aquestes qüestions és que l'alumnat interioritze que els gasos són tan materials com els sòlids i els líquids, és a dir, tenen massa i ocupen un volum,. Una vegada aconseguit aquest primer objectiu, caldrà passar a elaborar models pràctics que ens permeten mesurar la massa i el volum dels mateixos. Els alumnes dissenyen fàcilment un mecanisme per mesurar la massa amb ajuda de dos globus, un ple d'aire i l'altre buit. El disseny per mesurar el volum és més difícil d'aconseguir, però amb ajuda del professor i les aportacions dels diferents grups de treball es pot arribar a un muntatge com el que mostra la figura 21:



2.1. Introducció al concepte de densitat

A més de la massa i el volum, els materials tenen altres propietats, que ens expliquen el seu comportament en situacions diverses: Per què quan fem una mescla d'aigua i oli, aquest sempre sura, independentment de la proporció en què els mesquem? Per què un tros de ferro sempre s'enfonsa i no ho fa un vaixell, que està fet en gran part de ferro? Per poder explicar les situacions anteriors haurem de recórrer a una nova magnitud, que ens solucione aquests problemes i altres, com el que es planteja al següent text.

Arquímedes i la corona d'or:



Fig. 3: Gravat del segle XVI que representa Arquímedes

Arquímedes va néixer cap al 287 abans de Crist a Siracusa, Sicília, que en aquell moment era una província grega governada pel seu parent, el rei Hieron II.

Hieron, que coneixia la fama de savi d'Arquímedes, li plantejà el següent problema: havia donat una quantitat d'or a un orfebre per què li fera una corona, però, una vegada feta, sospità que contenia menys or del que li havien donat a l'artista. Pensant que l'orfebre es podia haver quedat una part, substituint-la per plata o coure, li demanà que ho esbrinara sense trencar la corona.

En un primer moment, Arquímedes no sabia com actuar i començà llegint tot el que se sabia dels metalls nobles en aquell moment. Així aprengué que el coure i la plata són més lleugers que l'or i, per tant, si l'artesà haguera afegit qualsevol dels dos metalls a la corona, ocuparien un espai major que el d'un pes equivalent en or. Per contestar a Hieron necessitava conèixer el volum que ocupava la corona. Ara be, ¿com esbrinar-ho, sense transformar-la en una massa compacta?

Mentre pensava en la forma de resoldre el problema anà als banys públics, entrà en una tina plena d'aigua i es va adonar que el seu cos la desplaçava fóra. Considerà que el volum d'aigua desplaçat havia d'ésser igual al volum del seu propi cos, de forma que eixa podia ser la resposta que buscava: si era així, podria conèixer el volum de qualsevol cosa mesurant el volum d'aigua que desplaçava en introduir-lo en el líquid!

Per contrastar la hipòtesi que havia plantejat, provà primer amb alguns objectes dels que coneixia el volum i observà que, efectivament, el volum de l'objecte coincidia amb el d'aigua desplaçada. A continuació, repetí l'experiència amb la corona. Omplí un recipient amb aigua, la posà dins i mesurà el volum d'aigua desplaçada. Després va fer el mateix amb un pes igual d'or pur i comprovà que el volum desplaçat era menor. Açò significava que l'or de la corona havia estat mesclat amb un metall més lleuger, cosa que li donava un volum major i feia que la quantitat d'aigua que sobreixia fóra més gran.

L'únic que no quedà satisfet amb l'experiència d'Arquímedes fou l'orfebre que, culpabilitzat per l'evidència, fou jutjat i executat.

- 13.- *En la lectura anterior, Arquímedes agafa dues masses iguals de dos materials diferents. A continuació observa que el volum que ocupen les dues masses no és el mateix. A quina magnitud es fa referència en relacionar la massa i el volum d'un cos?*
- 14.- *Si hagueres d'explicar a un amic què és la densitat, què li diries?*
- 15.- *Si sobre dos plats d'una balança col·loquem 1 litre d'aigua i 1 litre d'oli, la balança no està equilibrada. Per què?*
- 16.- *Observa les dades de la taula de densitats que està a l'annex del final del tema. Quina proporció hi ha, en general, entre les densitats dels gasos i la dels sòlids i els líquids? Què significa açò en termes pràctics?*

Comentaris A.13 – A.16

L'alumnat sol identificar el concepte de densitat amb el de pes. Cal insistir en que la densitat representa una proporció entre massa i volum, raonament que servirà per donar resposta a les preguntes que ens servien d'introducció: el vaixell de ferro sura perquè té una forma que li proporciona un volum molt gran, de manera que disminueix la densitat. Aquestes activitats es podem aprofitar també per tornar a incidir en la materialitat dels gasos: tenen

massa, però està repartida en un volum molt gran, raó per la qual la densitat és inferior a la dels sòlids i líquids.

Per últim, farem incidència en que la densitat és una propietat general dels cossos, que no depèn de la quantitat (la massa o el volum) que agafem; per això, més endavant, amb ajuda d'altres propietats, ens permetrà caracteritzar els materials, perquè un mateix material té sempre la mateixa densitat.

3. Tipus de materials: mescles i substàncies

A l'apartat 2 s'ha conclòs que els materials que ens envolten tenen unes propietats generals, com la massa i el volum i altres més específiques, com la densitat, que podem utilitzar per reconèixer-los. Ara estem en posició d'avançar un pas més i plantejar el problema químic per excel·lència: hi ha alguna regularitat entre tota la diversitat de materials que trobem, quan a la seua composició i estructura? És a dir, de què estan fets els materials? Tots els que veiem (i també els que no veiem, com per exemple l'aire) estan mesclats? Hi ha algun material que no siga una mescla? Com podem saber-ho?

17.- Antigament es creia que tots els materials existents a la natura són mescles d'uns pocs elements. Comenta si aquesta afirmació és vàlida i, tant en cas afirmatiu com negatiu, explica el que penses.

Comentaris A.17

L'objectiu d'aquesta qüestió és fer explícit el pensament de l'alumnat al respecte. La recerca ha mostrat que molts estudiants consideren de forma intuïtiva que tots els materials estan formats per mescles d'altres més simples, raó per la qual cal eixir al pas del problema.

18.- Observa el got de precipitats que t'ofereix el professor. Podries identificar el contingut? Què faries per preparar un material similar?

Comentaris A.18

S'ofereix als alumnes un got de precipitats en el que s'ha preparat prèviament una mescla d'aigua i arena. Com es tracta de materials molt coneguts per a ells, els identifiquen fàcilment i expliquen com es pot preparar una mescla pareguda. L'activitat els fa veure que, en algunes ocasions, el criteri visual pot permetre diferenciar les parts que componen una mescla.

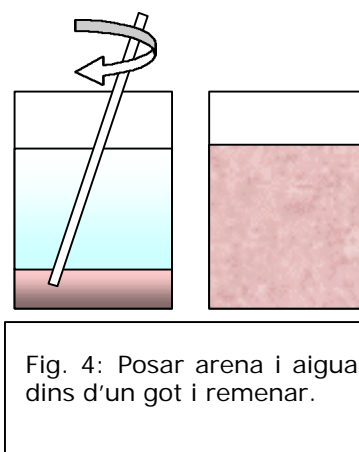


Fig. 4: Posar arena i aigua dins d'un got i remenar.

19.- Antigament, per fer determinades conserves a casa es preparava "salmorra". Per aconseguir el punt just de sal s'utilitzava un ou, fent-lo servir com s'explica a continuació: es posava l'ou al fons d'un recipient amb aigua, s'anava afegint sal i remenant fins que l'ou surava. En eixe moment es considerava que hi havia una quantitat adient de sal.

- Perquè l'ou s'enfonsa al principi i al final sura? En què es basa aquest mètode?
- Si observes atentament el líquid, es veu la sal? En què es diferencia aquesta mescla de la mescla de l'activitat anterior?

20.- Els exercicis anteriors ens han mostrat que el criteri visual no és suficient per saber quants components formen una mostra determinada. Malgrat això, pot servir per establir una primera classificació dels materials. Atenent aquest criteri, quina consideres que seria aquesta classificació?

Comentaris A.19 – A.20

Haurem de convindre que, generalment, els materials es presenten mesclats; per exemple, en una mina no s'obté directament el mineral, sinó que cal separar-lo d'altres materials que l'acompanyen; la llet conté aigua, greix, minerals, vitamines,... Els exercicis anteriors ens han fet notar que hi ha mescles de substàncies en les que a ull nu es veuen clarament les diferents parts que formen la mescla (l'aigua amb arena), mentre en altres casos (l'aigua salada), sembla que sols hi ha una cosa. Per tant, el criteri visual ens permet classificar les mescles en:

- **Mescles heterogènies:** es caracteritzen perquè a cop d'ull, o amb ajuda d'un microscopi, se'n distingeixen les diferents parts que la componen, per exemple, el granit, el detergent (hi ha partícules de diferents colors, formes, grandàries),...
- **Mescles homogènies:** són aquelles en les que totes les parts del material tenen el mateix aspecte, fins i tot, mirant-les amb ajuda d'un microscopi. Per exemple, l'aigua mineral, l'aire, els aliatges, les dissolucions...

21.-Després de tot el que hem vist, hem de considerar que tots els materials estan mesclats o pot haver algun que no ho estiga? Posa exemples del que indiques.

Comentaris A.21

En plantejar la possibilitat de trobar materials que no estiguen mesclats, apareix el concepte de **substància**, com cadascun dels components individuals que formen la mescla. És a dir, una mescla està formada per la unió de dues o més substàncies, que es poden apreciar a ull nu (mescla heterogènia) o no (mescla homogènia). La substància és el material més senzill que pot participar en la composició d'una mescla.

Entre les substàncies conegudes per l'alumnat, cadascuna d'elles amb propietats i usos diferents, podem esmentar metalls com el ferro, or, alumini, o argent, substàncies d'ús domèstic com el clorur sòdic, bicarbonat sòdic o sucre, etc.

- 22.- *Ja sabem que hi ha materials en els que no s'aprecia a simple vista si són o no substàncies. Dissenya i explica com faries al laboratori per diferenciar una substància d'una mescla.*

Comentaris A.22

Les mescles tenen propietats variables segons la composició. Per exemple, una mescla d'aigua en sal serà més o menys salada segons la quantitat de sal que hi afegim, la densitat també varia segons la quantitat de sal, com hem pogut veure a l'activitat 19,... Pel contrari, les substàncies tenen propietats fixes i constants, que ens permeten reconèixer-les, raó per la qual s'anomenen propietats específiques.

Entre les propietats específiques, podem esmentar la densitat, de la que ja hem parlat, o la temperatura de fusió i ebullició, de les que en parlarem més endavant. El seu coneixement ens permetrà determinar, al laboratori, si una mostra determinada està formada per una sola substància o més d'una (mescla).

- 23.- *Explica amb les teues paraules què entens que és una substància.*

Comentaris A.23

Cal donar molta importància a aquesta qüestió perquè es tracta d'un concepte fonamental per comprendre tots els que estudiarem a continuació i que se'n deriven d'ell. L'alumnat ha de saber que una substància és un material que té unes propietats fixes i constants que no varien, independentment de la quantitat que agafem i que no variaran mentre no ho facen les condicions ambientals (pressió i temperatura).

- 24.- *Indica algun cas concret en el que ens interesse preparar una mescla determinada, explicant la finalitat.*

Comentaris A.24

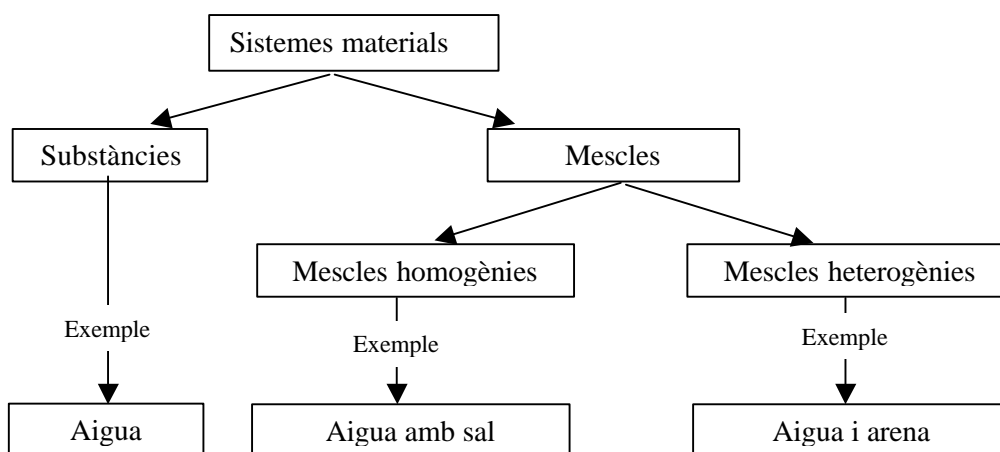
Una qüestió de gran importància actual és la preparació de mescles amb propietats específiques, que ens permeten resoldre diferents problemes i cobrir les nostres necessitats (com per exemple, preparar medicaments, aliatges, pintures,...). Per preparar-les de forma exacta, els productes de partida han de ser les substàncies químicament pures (és a dir, amb percentatges molt baixos d'impureses), raó que torna a posar de manifest la importància de

conèixer què és una substància i com aïllar-la, mitjançant uns mecanismes que estudiarem més endavant.

- 25.- Fes un mapa conceptual o diagrama per establir una classificació dels materials, posant exemples de cada classe.

Comentaris A.25

Es tracta de què, seguint el fil del raonament, l'alumnat faça una classificació dels materials seguint un esquema, que pot ser similar al següent:



3.1.- Definició microscòpica del concepte de substància.

La teoria cinètico molecular ens ha ofert un model que explica i dóna raó al comportament dels gasos, als canvis d'estat i, en general, també al comportament dels sòlids i líquids. Seguint aquesta teoria, suposem que la matèria està formada per partícules diminutes en continu moviment, que exerceixen entre elles unes forces de cohesió, que són les responsables dels diferents estats de la matèria. Ara, ens cal ampliar el model de forma que expliqui l'estructura de les substàncies i les diferències entre les substàncies i les mescles a nivell microscòpic.

- 26.- Sabem que les propietats d'una substància són constants i característiques. Com creus que estaran estructurades les substàncies des del punt de vista de les partícules que la formen? Utilitza la resposta que acabes de donar per explicar la constància de les propietats.

Comentaris A.26.

Per què les substàncies tenen propietats constants? Per què cada substància té unes propietats, diferents de les de les altres substàncies? Hi ha alguna relació entre les partícules i les propietats? L'ampliació de la teoria cinètico molecular ens pot proporcionar un model microscòpic que explica el comportament de les substàncies. L'alumnat arriba amb relativa facilitat a respondre les qüestions anteriors, plantejant com hipòtesi que, totes les partícules que formen una substància han d'ésser iguals entre elles, per poder explicar la constància de

les propietats. No importa com siguen o com estiguen formades (aspecte en que s'aprofundirà més endavant en altres nivells), el que importa és que totes siguen iguals entre elles (modelització senzilla).

Substància = Moltes partícules iguals entre elles

27.- *Les mescles tenen propietats variables depenent de la seua composició. Com s'explica aquest fet des del punt de vista de les partícules?*

Comentaris A.27

La constància de les propietats d'una substància s'explica suposant que les partícules que la formen són iguals entre elles. D'igual forma, un tipus diferent de partícula per a cadascuna de les substàncies que conformen la mostra, explicarà que les propietats varien segons les proporcions en què formen la mescla.

Mescla = Moltes partícules de diferents tipus (tants tipus de partícules com substàncies componen la mescla)

28.- *Fes un dibuix a nivell de partícules que represente la mescla de tres substàncies diferents.*

Comentaris A.28

Si cada substància està formada per un tipus de partícules, hi haurà tants tipus de partícules com substàncies conformen la mescla.

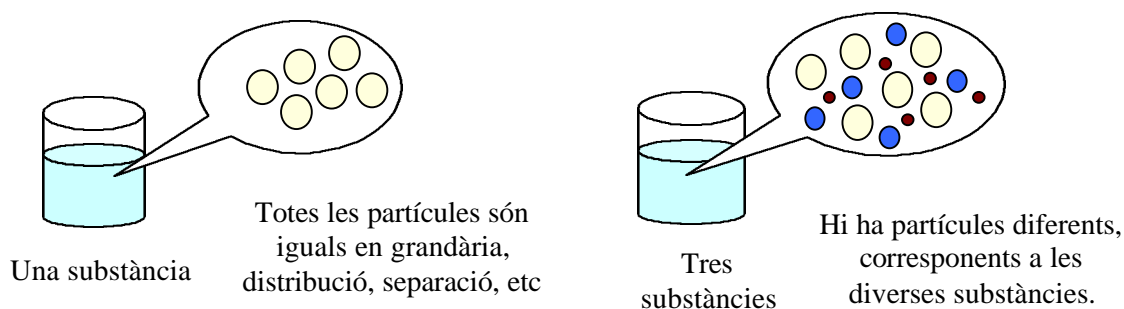
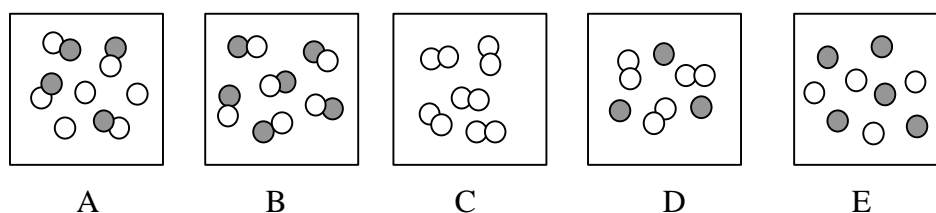


Fig. 5: Representació de les partícules que formen una substància i una mescla

29.- *Els següents dibuixos representen gasos i els diferents àtoms es representen per ○ i ●.*
Digues en quins casos tenim una substància i en quins una mescla de substàncies.



Comentaris A.29

L'objectiu d'aquesta activitat és aconseguir que l'alumnat identifique una substància amb un conjunt de partícules totes iguals (com ocorre en B i C) i una mescla amb més d'un tipus de partícules (com en A, D i E). Cal tindre en compte que la recerca en Didàctica ha mostrat que, amb freqüència, els adolescents identifiquen una substància amb una sola partícula, raó per la qual caldrà fer especial menció en la idea de **substància com un conjunt de moltes partícules totes iguals**.

30.- *Com s'explica, des del punt de vista de les partícules que formen una substància, que la densitat siga constant en tots els punts i que tinga un valor diferent per cada substància?*

Comentaris A.30

Cada substància té un tipus diferent i determinat de partícules, totes iguals entre elles, identitat que explica que la densitat no varie en els diferents punts de la mostra (perquè en tots els punts hi ha el mateix tipus de partícules) i tampoc ho faça en diferents mostres de la mateixa substància (perquè totes estan formades per partícules iguals). Igualment, cada substància està formada per un tipus diferent de partícules, de forma que la densitat variarà d'una substància a un altra.

4.- PROPIETATS ESPECÍFIQUES DE LES SUBSTÀNCIES.

Ja sabem que tots els materials tenen massa i volum, però saber que la massa d'un cos és de 3'7 kg, o que té un volum de 5 dm³, no és suficient per identificar de quina o quines substàncies està fet. La qüestió a què haurem de respondre ara serà, en quines propietats ens podem recolzar per determinar si una mostra determinada és una substància o una mescla.

31.- *Esmenta alguns materials, especificant els usos que tenen i fes una llista de propietats de cadascun d'ells, indicant quines són qualitatives i quines quantitatives (és a dir, es poden mesurar i tenen un valor exacte). Especifica també quines d'elles es poden fer servir per identificar una substància i quines no.*

Comentaris A.31

Aquesta activitat pretén fer veure a l'alumnat que cada tipus de material té unes propietats determinades, que valen per identificar-lo i utilitzar-lo amb una finalitat determinada. Entre les qualitatives podríem esmentar l'olor, el color, sabor, ductilitat, lluentor, resistència, elasticitat, etc. Entre les quantitatives, en aquest curs s'estudiaran la densitat, la temperatura de fusió i la temperatura d'ebullició.

De totes aquestes, les que es poden fer servir per identificar una substància són les quantitatives.

4.1. Temperatura de fusió i ebullició.

- 32.- Segons hem vist fins ara, les substàncies no sempre es presenten en el mateix estat. Indica quins són els estats físics més generals.
- 33.- Fes un gràfic indicant el nom de cadascun dels canvis d'estat més corrents.

Comentaris A.32 i A.33

L'estat en què es troben els diferents materials a temperatura ambient ens pot ser útil per extreure criteris de similitud. Un material pot canviar d'estat variant la temperatura i cadascun dels canvis rep un nom, que ve reflectit al diagrama següent:

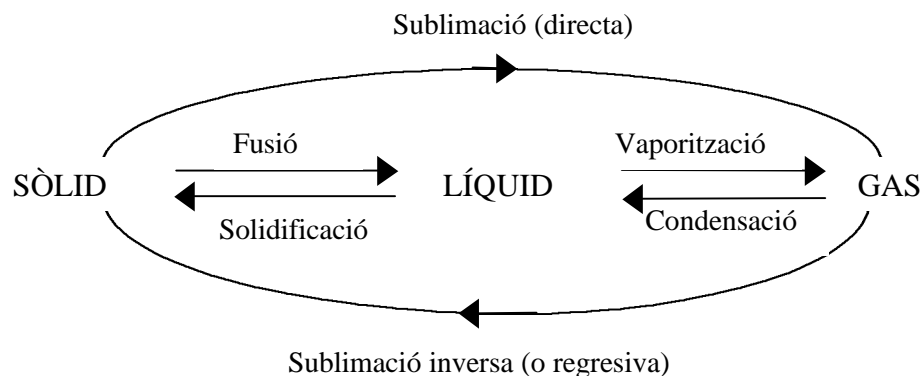


Fig. 6: Diagrama de canvis d'estat

També és convenient recordar que una substància no “és líquida” pel fet que la veiem usualment en eixe estat, sinó que una substància “està en estat líquid” a una temperatura determinada i, canviant la temperatura, o la pressió, pot canviar d'estat.

Arribats a aquest punt, podem esmentar que, a més de les tres formes habituals en que es presenten els materials a la Terra, hi ha altres estats que no són tan habituals i que no estudiarem en el present curs, com el plasma (un exemple el tenim en el foc) o els forats negres, amb una densitat enorme i que constitueix pràcticament el 90% de la matèria de l'Univers, malgrat que encara no sabem ben bé de què es tracta.

- 34.- Què és el punt de fusió? La temperatura de fusió d'una substància és la mateixa que la temperatura de solidificació per a la mateixa substància?
- 35.- Què és el punt d'ebullició? Una substància pot tindre més d'un punt d'ebullició? Per què?
- 36.- Una mostra d'un líquid desconegut es va mantindre bullint durant 30 minuts durant els quals la temperatura d'ebullició romangué constant i el volum es va reduir a la meitat. Es tracta d'una substància o d'una mescla? Per què?

37.- La gràfica adjunta (figura 7), representa el diagrama d'escalfament de l'aigua destil·lada, des de l'estat sòlid fins l'estat de vapor. Interpreta què està passant en cada tram de la gràfica.

Comentaris A.34 – A. 37

Aquest grup d'activitats té com finalitat que l'alumnat interioritze:

- Que una substància té sempre la mateixa temperatura de canvi d'estat (a una pressió determinada).
- Que la temperatura de canvi d'estat és la mateixa en un procés que en l'invers.
- Que en una substància la temperatura de fusió i/o ebullició no varia mentre té lloc el canvi d'estat, a diferència de les mescles, en les que la temperatura continua augmentant segons canvia d'estat.
- La longitud del tram horitzontal en què la temperatura és constant mentre dura el canvi d'estat, depèn de la quantitat de substància que estem escalfant, o de l'energia que hi aportem.

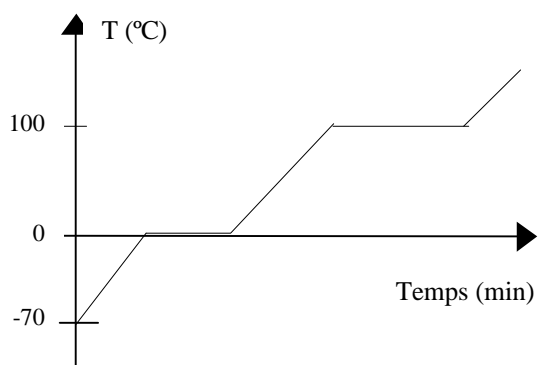


Fig. 7: Gràfica d'escalfament d'una substància

38- Suposa que estàs al laboratori i tens dues mostres, una de naftalina i l'altra de parafina, de les que vols esbrinar si són substàncies o mescles. Idea un mètode per determinar-ho, recolzant-te en les temperatures de fusió i/o ebullició.

Comentaris A.38

L'alumnat té tendència a identificar material i substància. Aleshores, aquesta activitat tracta que reflexionen sobre com diferenciar entre mescla i substància, posant èmfasi en la definició macroscòpica del concepte de substància, per medi del reconeixement d'alguna propietat qualitativa que ens permeta caracteritzar-la. Tant la naftalina com la parafina són sòlids de baix punt de fusió, per tant es podran reconèixer a partir de la gràfica de canvi d'estat. Mentre la naftalina (naftalè), fon a una temperatura constant d'aproximadament 80°C, la parafina (mescla d'hidrocarburs d'elevat pes molecular), ho fa en un interval entre 45 i 65 °C, segons la composició de la mescla, interval que ens mostra que està formada per més d'una substància.

39- Com s'explica, des del punt de vista de les partícules, que la temperatura de fusió i ebullició d'una substància es mantinga constant mentre dura el canvi, mentre que una mescla té un canvi d'estat en un interval de temperatures?

Comentaris A.39

Aquesta activitat té per finalitat la utilització del model de partícules per interpretar allò que veiem al món macroscòpic. Com ja ha quedat vist en estudiar la teoria cinètica corpuscular, els materials estan formats per partícules, la disposició de les quals varia segons l'estat físic en què es troben. En tots els casos, estan contínuament vibrant i hi ha forces de cohesió entre elles, que disminueixen fins ser pràcticament nul·les a l'estat gasós, al temps que augmenta la vibració i el moviment.

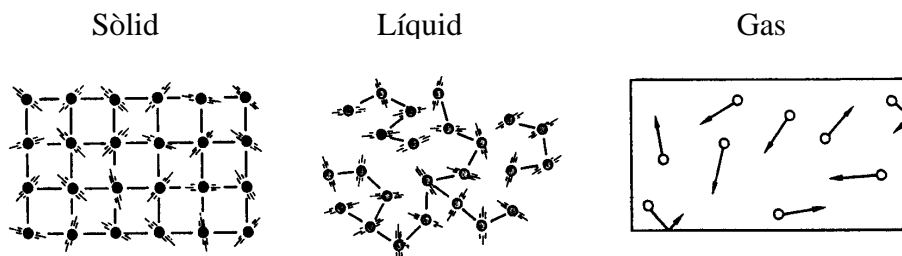


Fig. 8 : Moviment de les partícules en sòlids, líquids i gasos

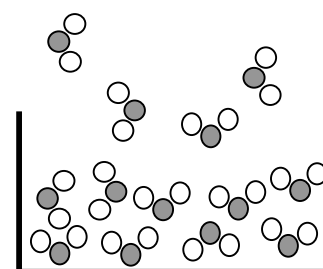
- Si una substància té totes les partícules iguals, les forces entre elles també ho seran. Aleshores, l'energia necessària per separar eixes partícules és la mateixa per a totes elles, per tant les temperatures de fusió i ebullició seran invariables per una substància determinada.
- Pel contrari, dues substàncies diferents estaran formades per partícules diferents i la cohesió entre elles també serà distinta. És per això que l'energia necessària per vèncer eixa cohesió és diferent i, per tant, ho seran també les temperatures de fusió i ebullició.
- Una mescla està formada per més d'una substància, per tant, tindrà diversos tipus de partícules que estaran unides per diferents forces de cohesió. L'energia necessària per vèncer la cohesió serà diferent, segons la força amb què estiguen unides, no és la mateixa en tots els punts del material i això farà variar les temperatures de fusió i ebullició en un interval de temperatures, segons la partícula que es separe en cada moment.

40.- Representa mitjançant una estructura de boles, què passa mentre una substància està canviant d'estat, per exemple de líquid a gas. Es tracta de la mateixa substància abans i després del canvi?

Comentaris A.40

Aquesta activitat té diversos objectius:

- en primer lloc, recordar que una substància no és una partícula, per tant, hauran de dibuixar moltes partícules per representar la substància.
- D'altre costat, fer incidència en un problema que es repeteix de forma general en alumnes de diferents edats: atorguen a les partícules les propietats de la substància, de forma que suposen que són les partícules les que canvien d'estat o es dilaten,...



Cal fer especial incidència en què, en el canvi d'estat, les partícules no canvien sinó que es produeix quan unes partícules es separen d'altres.

- Per últim, dibuixar les partícules quan canvien d'estat obligarà a l'alumne a pensar si són iguals abans i després del canvi, és a dir, a raonar que una substància no canvia quan pateix un canvi d'estat.

5. MÈTODES DE SEPARACIÓ DELS COMPONENTS D'UNA MESCLA.

Les tècniques de treball més usuals als laboratoris estan associades als problemes de separació de substàncies. Ja hem vist que els materials es solen presentar mesclats a la natura i un dels primers treballs del químic, des del punt de vista històric, ha estat la separació de les substàncies per facilitar l'estudi de les seues propietats característiques.

Quan parlem d'una substància químicament pura ens referim a què, qualsevol porció d'ella sols conté eixa substància, és a dir el 100%. En realitat, és molt difícil obtenir substàncies sense cap tipus d'impureses, a més de ser molt car, raó per la qual els laboratoris especifiquen a l'etiqueta dels productes el grau de puresa (és a dir, el percentatge d'impureses) de la substància que contenen.

Un exemple interessant de recerca d'un grau molt elevat de puresa ens l'ofereix el silici, amb el qual es fan els xips per als ordinadors. Segons han anat obtenint-se mostres de silici més pures, s'han desenvolupat màquines cada vegada més ràpides i potents. La necessitat d'obtenir substàncies cada vegada més pures fa que continuen estudiant-se i desenvolupant-se mètodes de separació, basats en la utilització de les propietats característiques de les substàncies a separar, aprofitant les diferències que existeixen entre elles. Seguidament, plantejarem alguns dels problemes més usuals de separació de mescles.

41.- *Sabem que la major part dels materials es presenten a la natura mesclats. Idea una estratègia general per separar les substàncies que componen una mescla i explica com el posaries en pràctica.*

Comentaris A.41

L'objectiu d'aquesta qüestió és fer pensar a l'alumnat el tipus de problema al que s'enfronta. Si vol separar substàncies caldrà fixar-se en les propietats d'aquestes i plantejar-se quines són paregudes i quines diferents, de forma que les diferències ens permeten separar-les. Una vegada s'han centrat en el plantejament general del problema, ja podem passar a resoldre problemes particulars.

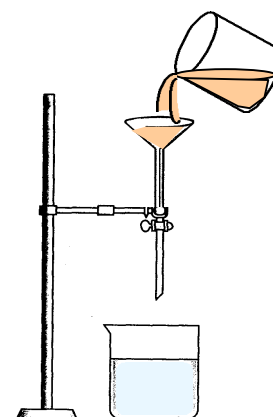
42.- *Idea un procediment per separar els components d'una mescla d'arena (anhídrid silícic) i sal (clorur sòdic) i explica com el posaries en pràctica.*

Comentaris A.42

L'aparença de les substàncies proporcionades fa que siguin reconegudes ràpidament per l'alumnat, que suggereixen la dissolució en aigua i posterior filtració. La filtració és una de les tècniques més utilitzades al laboratori i s'utilitza per separar mescles sòlid-líquid. Consisteix en fer passar la mescla per un material filtrant (paper de filtre, porcellana, sorra,...), de forma que el sòlid quede atrapat en ell i el líquid s'arreplegue per separat en altre recipient.

També és possible que aparega la idea de la decantació, per tant, en qualsevol cas ha de quedar clar que es recorre a les propietats (solubilitat, diferència de densitat, etc.) de les substàncies concretes que componen la mescla.

- 43.- *A les salines, la sal dissolta en l'aigua de mar precipita en estat sòlid en saturar-se la solució segons s'evapora l'aigua per la calor del sol. Aquest procés s'anomena cristallització. Proposa una tècnica basada en aquest mètode que permeti purificar una mostra de cristalls de sulfat de coure a partir d'una dissolució de l'esmentada sal en aigua.*



Comentaris A.43

Les respostes de l'alumnat variaran entre l'escalfament de la dissolució fins eliminar totalment l'aigua, fins a l'evaporació lenta, deixant reposar en un recipient adequat (cristallitzador). L'activitat es pot completar amb l'observació dels cristalls formats amb ajuda d'una lupa binocular. Es pot aprofitar la qüestió, a més, per a que l'alumnat relacione els fenòmens que tenen lloc a la natura amb alguns dels mètodes que s'utilitzen al laboratori.

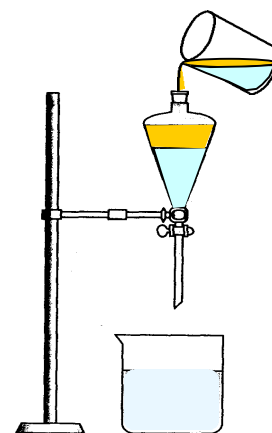
- 44.- *Proposa un procediment per separar completament dos líquids immiscibles continguts en un recipient al laboratori.*

Comentaris A.44

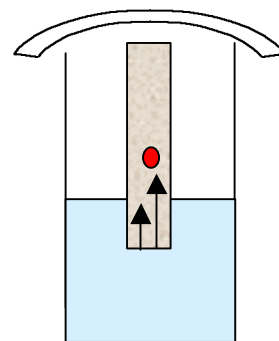
La mostra pot estar formada per aigua i oli o per aigua i tetraclorur de carboni (amb el qual cal anar amb cura, perquè és tòxic). La primera tècnica que sorgeix és la de separar a cullerades, però algun alumne pot parlar de la possibilitat de fer un forat al fons d'una botella i tapar-lo amb el dit. Perfeccionant aquest mètode es pot dissenyar l'embut de decantació, que permet la separació completa de les dues substàncies.

La decantació s'utilitza per a separar dos o més components líquids d'una mescla, basant-se en la diferència de densitat dels mateixos. Per utilitzar aquest mètode, els líquids a separar han de ser immiscibles, raó per la qual no es podria utilitzar per separar una mescla d'aigua i alcohol, per exemple.

La tècnica de laboratori consisteix en col·locar la mescla de líquids a separar en un embut de decantació i deixar-la en repòs durant el temps necessari per a que els líquids es separen en capes, de manera que, el de menor densitat es queda a la part superior i el de major densitat baix. Una vegada s'han decantat, la clau que porta l'embut a la part inferior permet extraure els diferents líquids per separat.



- 45.- Fes una experiència com indica la figura, preparant una dissolució al 50% d'alcohol en aigua (o acetona i alcohol). Col·loca una gota de tinta prop de l'extrem d'una tira de paper de filtre (val una fulla de paper reciclat o una tira de periòdic). Procura que la taca de tinta no toque el líquid. L'experiència millora si es tapa, per exemple amb un vidre de rellotge. Deixa-ho un parell d'hores i després explica el què ha passat.



Comentaris A.45

A partir dels resultats obtinguts en les experiències fetes per l'alumnat, el professor pot donar una breu explicació de la cromatografia. La tinta de bolígraf, ploma, retolador,... conté, generalment, diversos colorants. Els dissolvents ascendiran pel paper arrossegant els diferents colorants, que pujaran més o menys en funció de la diferent velocitat, quedant separats en bandes horitzontals. Per ampliar la informació, es pot proposar l'extracció de les substàncies responsables del color verd de les plantes.

- 46.- Idea un mètode per obtenir aigua destil·lada a partir de l'aigua de mar i explica com el posaries en pràctica.
- 47.- A les destil·leries es destil·len líquids alcohòlics per obtenir licors. Saps en què consisteix el mètode? Busca en un diccionari en què consisteix i després tracta d'explicar en quina propietat de les substàncies es basa.

Comentaris A.46 i A.47.

En alguns casos els alumnes parlen d'un mètode casolà de destil·lació, com és posar a bullir aigua, amb un plat invertit damunt, per arreplegar part dels gasos que s'obtenen. Tot seguit, inclinar el plat i deixar que gotege sobre altre recipient, on cauria l'aigua destil·lada. Transformant els utensilis utilitzats pels de la figura, podem reinventar la destil·lació.

El mètode també val per separar dos líquids miscibles dissolts i es fonamenta en la diferent temperatura d'ebullició de cada líquid. A les destil·leries s'utilitza per obtenir líquids amb majors percentatges d'alcohol que els que teníem al principi.

La destil·lació consisteix en escalfar la mescla fins arribar a la temperatura d'ebullició del líquid més volàtil, mantenint-se estable la temperatura fins que acaba de vaporitzar-se la totalitat d'eixa substància. A continuació, s'augmenta la temperatura de la dissolució fins arribar a la temperatura d'ebullició de la següent substància en

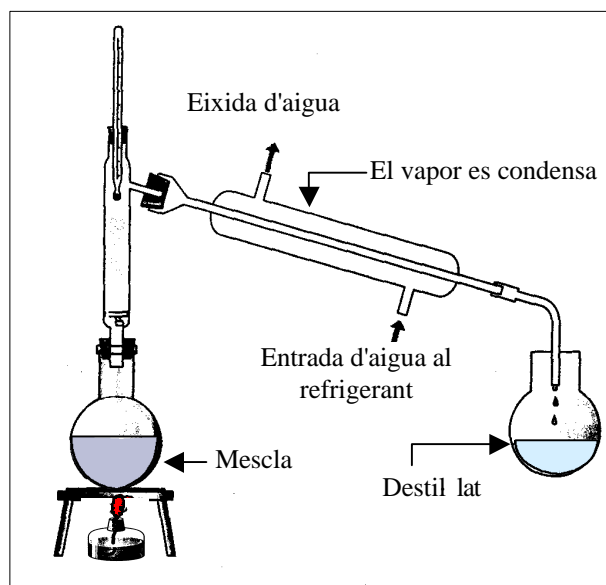


Fig. 9: Muntatge per destil·lar líquids

volatilitat, que començarà a vaporitzar-se a temperatura constant fins quedar totalment eliminada de la solució. D'igual forma, es van vaporitzant successivament tots els components de la dissolució inicial.

Per obtenir els gasos que s'han vaporitzat, cal replegar-los i refredar-los, de manera que, en refredar-se, tornen a l'estat líquid i es poden replegar a un recipient.

48.- *Per separar els components d'una mescla s'utilitzen els anomenats mètodes físics de separació, basats en les diferents propietats dels materials. Fes una llista dels procediments estudiats relacionant cada procediment amb la propietat característica en que es basa.*

Comentaris A.48.

Activitat de recapitulació per recordar i resumir els diferents mètodes estudiats, així com altres que els estudiants coneguen, relacionant-los amb la propietat en què es basen.

Propietat característica	Mètode
Grandària de la partícula	Filtració
Densitat	Decantació, flotació, llavat Sedimentació
Punt d'ebullició	Evaporació, destil·lació
Punt de fusió	Condensació, fusió, solidificació
Solubilitat	Precipitació, cristallització Dissolució, filtració
Velocitat d'adsorció i solubilitat	Cromatografia
Atracció magnètica	Separació magnètica

6.- SUBSTÀNCIES SIMPLES I SUBSTÀNCIES COMPOSTES.

Després d'establir una estratègia general per resoldre el problema de separar les diferents substàncies que formen una mescla, cal seguir plantejant-se nous problemes i, en particular, preguntar-se quina serà la composició d'una substància i com seran les partícules que la conformen. Llavors, ara la qüestió a plantejar-se serà saber si una substància es pot reduir a altres més senzilles. És a dir, hi ha unes poques substàncies simples a les quals podem anomenar **elements químics**, que conformen els milions de substàncies que trobem en les mescles? ¿Es poden trobar certes regularitats en aquest sentit que expliquen la diversitat existent en les substàncies?

49.- *Fins a quin punt són senzilles les substàncies? Utilitzant altres mètodes diferents dels físics, com la calor o l'electricitat es poden descompondre? A partir d'una substància, com l'aigua, el coure, el sucre, la sal,... és possible obtenir substàncies més simples?*

Comentaris A.49

Abans d'entrar en l'anàlisi de les substàncies simples i compostes és important fer veure que estem parlant de substàncies que ja han estat aïllades, per tant, ara ja no es tracta de separar-ne dues, sinó que una sola va a donar lloc a altres diferents, raó per la qual caldrà un mètode més radical per aconseguir-ho.

50.- Es col·loca, com indica la figura 10, en un tub d'assaig pols taronja d'òxid de mercuri (II), i s'escalfa lentament fins que canvia el color i comença a desprendre's un gas. Al mateix temps, a les zones més gelades del tub comença a formar-se una pel·lícula de diminutes gotetes brillants de mercuri. Si l'òxid de mercuri és una substància, què penses que ha succeït per a que ara apareguen dues substàncies diferents?

(Nota: Donat que el mercuri és cancerigen, cal realitzar aquesta experiència en una vitrina de gasos, per motius de seguretat).

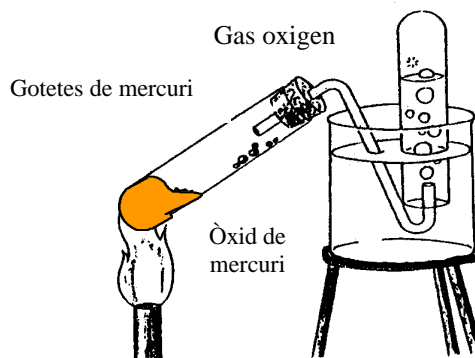


Fig. 10: Descomposició de l'òxid de mercuri

51.- Després de realitzar l'anterior experiència, si escalfem un poc el mercuri obtingut en presència d'aire, tornem a obtenir la pols taronja, que reconeguem com òxid de mercuri. Quin procés ha tingut lloc ara?

Comentaris A.50 i A.51

En l'experiència A.50 l'òxid de mercuri es descompon en gas oxigen i mercuri. En termes generals, podem dir que una substància s'ha descompost i ha donat lloc a dues diferents, procedents d'ella. Les conclusions que cal extraure són dobles; d'una banda, s'ha d'explicitar que ha tingut lloc un procés diferent dels que hem vist fins ara, perquè ja no tenim la mateixa substància al principi i al final, per tant, no es tracta d'un procés físic. D'altra banda, si la substància inicial s'ha desdoblada en dues substàncies diferents significa que les que hem obtingut són més simples que la primera.

L'experiència A.51 ens mostra un procés de síntesi en el que ara l'oxigen de l'aire reacciona amb el mercuri per tornar a formar l'òxid, és a dir, dues substàncies simples s'han unit per formar una composta per les dos, però que ja no és cap de les dues i que té propietats diferents d'elles. Novament tenim un procés diferent dels físics en els que canvien les substàncies inicials i finals. A més a més, l'activitat proporciona l'oportunitat d'eixir al pas d'un problema molt estès entre l'alumnat: consideren que els canvis físics són reversibles i els químics no. En un dels primers exemples de canvi químic, els posem en contacte amb una reacció reversible.

52.- Posem junts un tros de coure i un poc de pols groc de sofre i escalfem en un recipient tancat per evitar que s'escape cap substància. La mescla es posa incandescent i, quan acaba de cremar-se, al recipient queda un sòlid gris blavenc. Què penses que ha passat a l'interior del tub?

Comentaris A.52

Igual que en l'activitat 50, ha tingut lloc una reacció de síntesi en la que s'ha format, sulfur de coure (II), és a dir, a partir de dues substàncies s'ha obtingut una sola, més complexa que les substàncies de partida i amb propietats diferents de les d'aquelles.

En aquest moment es pot fer un esquema dels processos, que ens permeta una anàlisi més global del que ha passat.

ABANS	→	DESPRÉS
a) òxid de mercuri (sòlid)	→	oxigen (gas incolor) + mercuri (líquid platejat)
b) oxigen (gas) + mercuri (líquid)	→	òxid de mercuri (sòlid)
c) Coure + Sofre	→	Sulfur de coure (II)

Es pot fer reflexionar a l'alumnat respecte de en aquests canvis no es conserven les substàncies, és a dir, es tracta de canvis diferents als canvis físics, que havíem estudiat a l'apartat anterior. En segon lloc, es pretén que desenvolupen els conceptes de substància simple i composta a partir de processos d'anàlisi (a) i de síntesi (b i c). També es pot fer notar que les substàncies que s'obtenen poden estar en qualsevol estat i no necessàriament en el mateix que les substàncies de partida (cosa que no significa que ha tingut lloc un procés físic), perquè cada substància té unes propietats diferents i dos d'elles són la temperatura de fusió i la temperatura d'ebullició (que determinen l'estat físic de la substància a temperatura ambient).

53.- Si posem en un tub d'assaig un poc d'òxid de plom (II), de color groc, amb carbó actiu i escalfem la mescla, veiem que es forma una substància gris, platejada, que reconeguem com plom. Si ara agafem aquest plom i tractem de descompondre'l observem que no es pot per cap mètode. Creus que hi ha substàncies de diferents tipus? De quins? Per què?

Comentaris A.53

La qüestió tracta de fer veure a l'alumnat que no totes les substàncies es poden descompondre donant lloc a altres més simples, coneixement que ens fa pensar que ha d'haver dos tipus de substàncies. Es pot aprofitar la qüestió per fer una primera introducció de les substàncies simples (no es poden descompondre) i compostes (sí que poden fer-ho).

54.- A partir de tot el que acabem de veure, fes un resum que sintetitze el que són les substàncies simples i compostes, així com les reaccions d'anàlisi i síntesi.

Comentaris A.54

Podem començar per recordar que les reaccions d'anàlisi i descomposició ajuden a classificar les substàncies en:

- **Substància composta:** tota substància que es pot descompondre en altres substàncies més senzilles per acció de la calor, el corrent elèctric o la reacció química amb altres substàncies.
- **Substància simple:** és tota substància que **no** es pot descompondre en altres substàncies més simples.

En una reacció de síntesi es formaran substàncies compostes a partir d'altres més simples. En una reacció d'anàlisi, una substància composta es descompon en altres més simples.

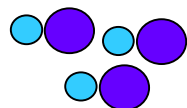
6.1.- Estructura microscòpica de les substàncies simples i compostes.

Una vegada establerta l'existència de substàncies compostes i simples a partir de la capacitat per descompondre's en altres més simples o no, podem fer front a un altre problema que respondria a la pregunta sobre com seran les partícules que conformen cadascuna d'aquestes substàncies. ¿Seran àtoms aïllats o partícules complexes que, en general, anomenarem molècules?

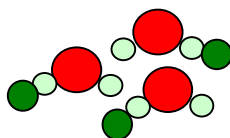
55.- *En les activitats anteriors hem vist que unes substàncies es poden unir per formar altres noves o bé es poden descompondre per donar lloc a altres diferents. Com penses que han de ser les partícules que formen les substàncies simples i les substàncies compostes per produir aquests canvis? Fes un dibuix que represente les partícules abans i després en cadascun dels processos anteriors.*

Comentaris A.55

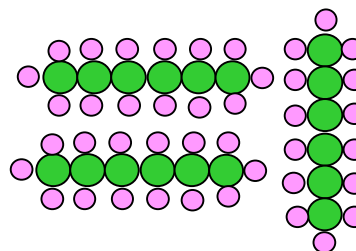
A partir dels casos que hem vist anteriorment, podem dir que hi ha un tipus de substàncies, les partícules de les quals es poden “trencar”, donant lloc a altres partícules més senzilles. Aquestes s'anomenen substàncies compostes. Una substància composta pot ser molt complicada o molt senzilla; l'única condició que ha d'acomplir és estar formada per més d'un tipus d'àtoms. Exemples:



Substància composta 1

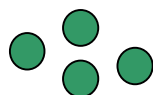


substància composta 2

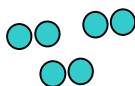


substància composta 3

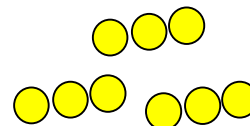
Per contraposició a les anteriors, podem definir les substàncies simples com aquelles formades per un sol tipus d'àtoms; per tant, no poden donar parts diferents en descompondre's. Alguns exemples de substàncies simples poden ser els següents:



Substància simple 1



substància simple 2



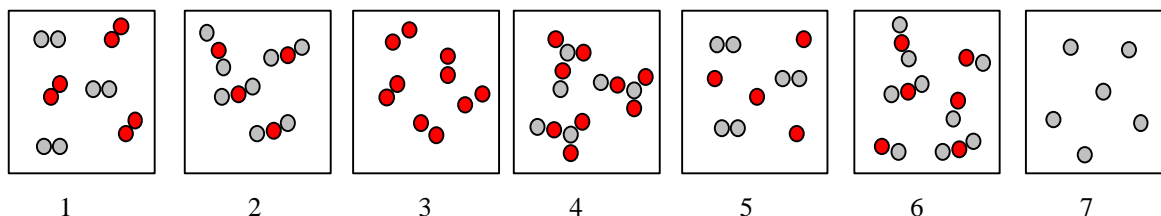
substància simple 3

Amb aquestes condicions es fàcil explicar:

- que una substància composta pugui produir diferents substàncies: per aconseguir-ho basta que estigui formada per més d'un àtom diferent
- que una substància simple no es pugui descompondre més perquè sols està formada per una classe d'àtoms.
- Que sols es puguin formar determinades substàncies i no altres, depenent dels àtoms presents en els reactius

A partir de la definició anterior podem deixar de parlar de partícules per utilitzar un llenguatge més adient, introduint els termes àtom i molècula, per indicar un sol àtom o l'agrupació de més d'un d'ells.

- 56.- Representa mitjançant diagrames: un compost, una substància simple, una mescla d'una substància simple i un compost i una mescla de compostos.
- 57.- Classifica totes les mostres que apareixen en l'esquema segons siguin mescles, substàncies simples o compostos. En el cas que es tracte de mescles, indica de quantes substàncies està formada i de quins tipus són (si són simples o compostes).



Comentaris A.56 i A.57

Activitats per incidir en el model que proposem per a les substàncies simples i compostes. Cal recordar que la recerca en Didàctica ha posat de manifest que, en moltes ocasions, l'alumnat identifica substància simple amb àtoms aïllats i substància composta amb qualsevol tipus de molècula, per tant, hem d'incidir en què una substància simple pot estar formada per partícules amb dos, tres,... àtoms, com les representades als quadres 2 i 3 de l'activitat 57, per exemple. També es pot recordar que una substància no és una sola partícula, sinó moltes partícules iguals.

- 58.- Quan el carbonat amoníac (que a temperatura ambient és un sòlid que es presenta en forma de cristalls blancs) s'escalfa en un tub d'assaig, desapareix totalment, al temps que es nota un fort olor a amoníac. Quina explicació donaries a aquest fet? Fes un dibuix que represente les partícules de les substàncies segons el que suposes que ha ocorregut.

Comentaris A.58

Activitat que pretén resumir un poc els conceptes que s'han estudiat en aquesta part del tema:

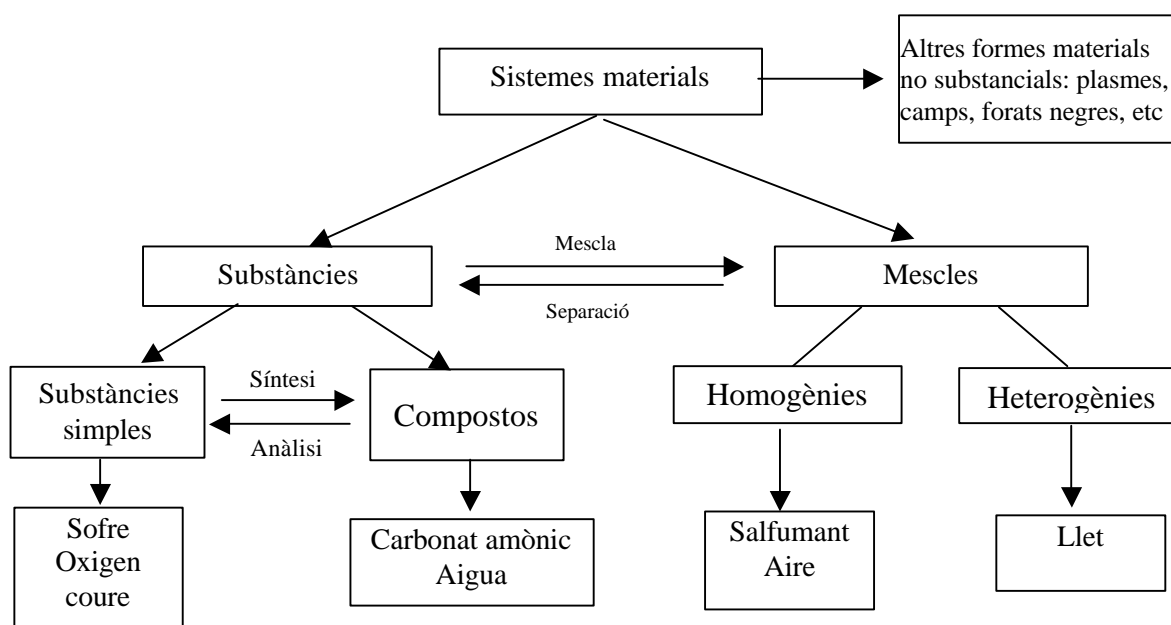
- Ha tingut lloc un procés químic, perquè al temps que desapareix el carbonat amoníac, estem sentint l'olor d'una nova substància, per tant, no es tracta d'un canvi d'estat.
- S'han produït, com a mínim, dues substàncies diferents, perquè si sols es formara una, seria la mateixa que teníem al principi, és a dir, un canvi d'estat (i, en aquest cas, no podríem sentir l'olor de l'amoníac).

- També podem tornar a incidir en la materialitat dels gasos. És a dir, la matèria no desapareix, una substància sòlida a temperatura ambient es descompon en altres substàncies que, a temperatura ambient, són gasoses.
- A partir de totes les consideracions anteriors, cal suposar que el carbonat amònic és una substància composta, que per medi d'una reacció d'anàlisi es descompon en, al menys, dues substàncies diferents.
- La relació entre les substàncies inicials i finals estarà en les partícules, que hauran de dibuixar en el mateix nombre i quantitat en els reactius i productes.

59.- Fes un mapa conceptual amb les següents paraules: heterogènia, sofre, compost, mescla, sulfurant, aire, aigua, anàlisi, substància simple, homogènia, sofre, matèria, oxigen, síntesi, substància, coure, llet, dissolució i carbonat amònic. Utilitza totes les connexions que et calen, **explicant en què et bases per fer les classificacions.**

Comentaris A.59

Activitat de síntesi, introduint alguns dels exemples utilitzats en activitats anteriors. A mena d'exemple proposem el següent mapa:



7.- RECAPITULACIÓ DELS ASPECTES MÉS IMPORTANTS.

La dificultat per distingir entre els conceptes de mescla i compost és un dels problemes que més dificultats de comprensió ofereixen, fins i tot, després d'haver rebut instrucció al respecte, raó per la qual dediquem unes activitats a repassar les diferències entre ambdós conceptes.

60.- La taula següent ens mostra un seguit de propietats de l'oxigen, hidrogen, aigua i d'una mescla d'oxigen i hidrogen en la proporció 2:1.

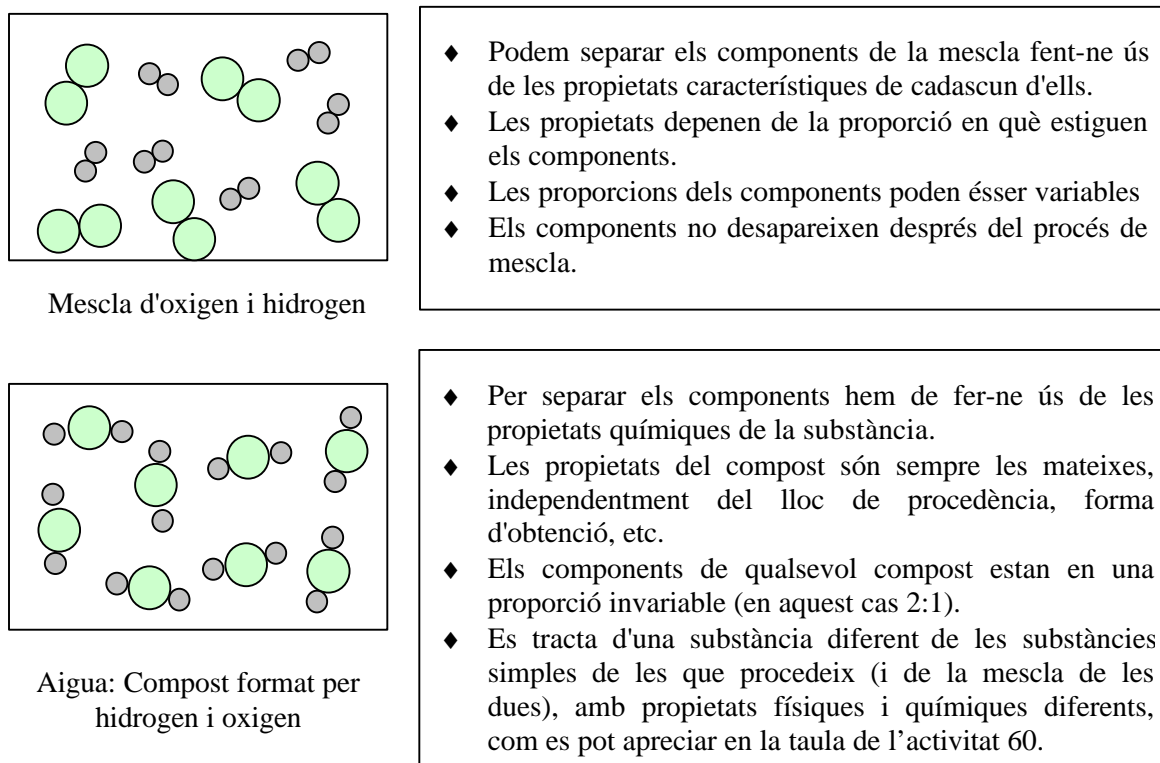
- Si l'aigua està formada per hidrogen i oxigen, per què té unes propietats molt diferents a les dels anteriors?
- Les dues últimes files fan referència a l'aigua i a una mescla d'hidrogen i oxigen. Per què les dades són tan diferents?
- Per què la mescla d'oxigen i hidrogen no té un punt de fusió i ebullició exacte com en els altres casos?
- Fes un dibuix que represente a nivell de partícules cadascun dels quatre casos que estem estudiant.

	Densitat en g/l (a 0°C i 1 atm)	Punt fusió (°C)	Punt ebullició (°C)
Oxigen: substància elemental, les molècules de la qual estan formades per dos àtoms d'oxigen.	0'133	- 218'4	- 183
Hidrogen: substància elemental, les molècules del qual estan formades per dos àtoms d'hidrogen.	0'0899	- 259'12	- 252'8
Aigua: compost, les molècules del qual estan constituïts per dos àtoms d'hidrogen i un d'oxigen.	1000	0 °C	100 °C
Mescla d'oxigen i hidrogen en la proporció 2:1	0'5336	Variable entre -218'4 i -259'2	Variable entre -183 i -252'8

61.-Fes una taula que reflectisca les diferències i les similituds entre les mescles i els compostos.

Comentaris A.60 i A.61

Tant les mescles com els compostos estan formats per grups d'àtoms diferents, malgrat que organitzats de forma diferent. Amb aquestes activitats es tractarà d'evitar aquest problema i establir clarament les diferències entre els dos tipus de materials, com es posen de manifest en el quadre que exposem a continuació:



Mescla d'oxigen i hidrogen

Aigua: Compost format per hidrogen i oxigen

Fig. 12: Diferència entre mescla i compost

62.- A mena de recapitulació final, fes una síntesi del tema, que incloga tots els aspectes que s'han estudiat en ell.

Comentaris A.62

Després de finalitzar el tema, fer una recapitulació dels mateixos pot ajudar a afermar els conceptes estudiats. La síntesi es pot presentar en forma de frases en les que s'arreglen els diferents aspectes per, a continuació, fer un esquema general en forma de mapa conceptual. A mena d'exemple exposem alguns suggeriments i, a continuació, el mapa que s'ofereix a la figura 13:

- ✓ Els materials poden estar formats per una **substància** o per més d'una. En aquest cas, el sistema s'anomena **mescla**. A la natura pràcticament tots els materials són mescles de substàncies.
- ✓ Les substàncies es reconeixen perquè tenen unes propietats característiques fixes i constants, entre les que podem esmentar la temperatura de fusió i temperatura d'ebullició, solubilitat, etc.
- ✓ A nivell microscòpic, una substància està formada per moltes partícules totes iguals. La constància de les propietats de les substàncies s'explica per la igualtat de les partícules que la formen.
- ✓ Les propietats de les mescles varien segons la proporció relativa de cadascun dels components.
- ✓ Les mescles poden ser homogènies o heterogènies. En un sistema homogeni les diferents substàncies no es poden veure a ull nu. En un sistema heterogeni, en canvi, es poden veure les diferents parts que el componen.

- ✓ La densitat ens proporciona la relació entre la massa i el volum d'un cos ($\rho = m / V$) o, dit d'altra manera, la massa per unitat de volum.
- ✓ La temperatura de fusió és la temperatura a la qual una substància canvia de l'estat sòlid al líquid (o de líquid a sòlid) a pressió constant, mantenint-se la mateixa temperatura mentre dura el canvi.
- ✓ La temperatura d'ebullició és la temperatura a la que una substància canvia de l'estat líquid al gasós (o del gasós al líquid), a pressió constant, mantenint-se la temperatura constant mentre dura el canvi.
- ✓ Els processos físics no modifiquen les substàncies, és a dir, després d'un procés físic tenim les mateixes substàncies que al principi.
- ✓ Per separar les diferents substàncies que componen una mescla, tindrem en compte les propietats de cadascuna d'elles i, segons aquestes, utilitzarem el mètode físic més adient.
- ✓ Les tècniques de separació més usuals són: filtració, decantació, cristallització, destil·lació, precipitació, cromatografia, ...
- ✓ Hi ha diversos tipus de reaccions. En particular hem vist les de descomposició i les de síntesi: En una reacció de descomposició les substàncies compostes es descomponen en altres més simples. En una reacció de síntesi dues o més substàncies es combinen formant una nova
- ✓ Les substàncies es classifiquen en simples i compostes. Per esbrinar de quin tipus és una substància, s'utilitzen mètodes diferents dels físics, com la descomposició tèrmica, l'electricitat o la calor.
- ✓ Una substància composta és aquella que pot donar lloc a altres més simples per medi d'un procés químic.
- ✓ Una substància simple és aquella que no es pot descompondre més per cap mètode.

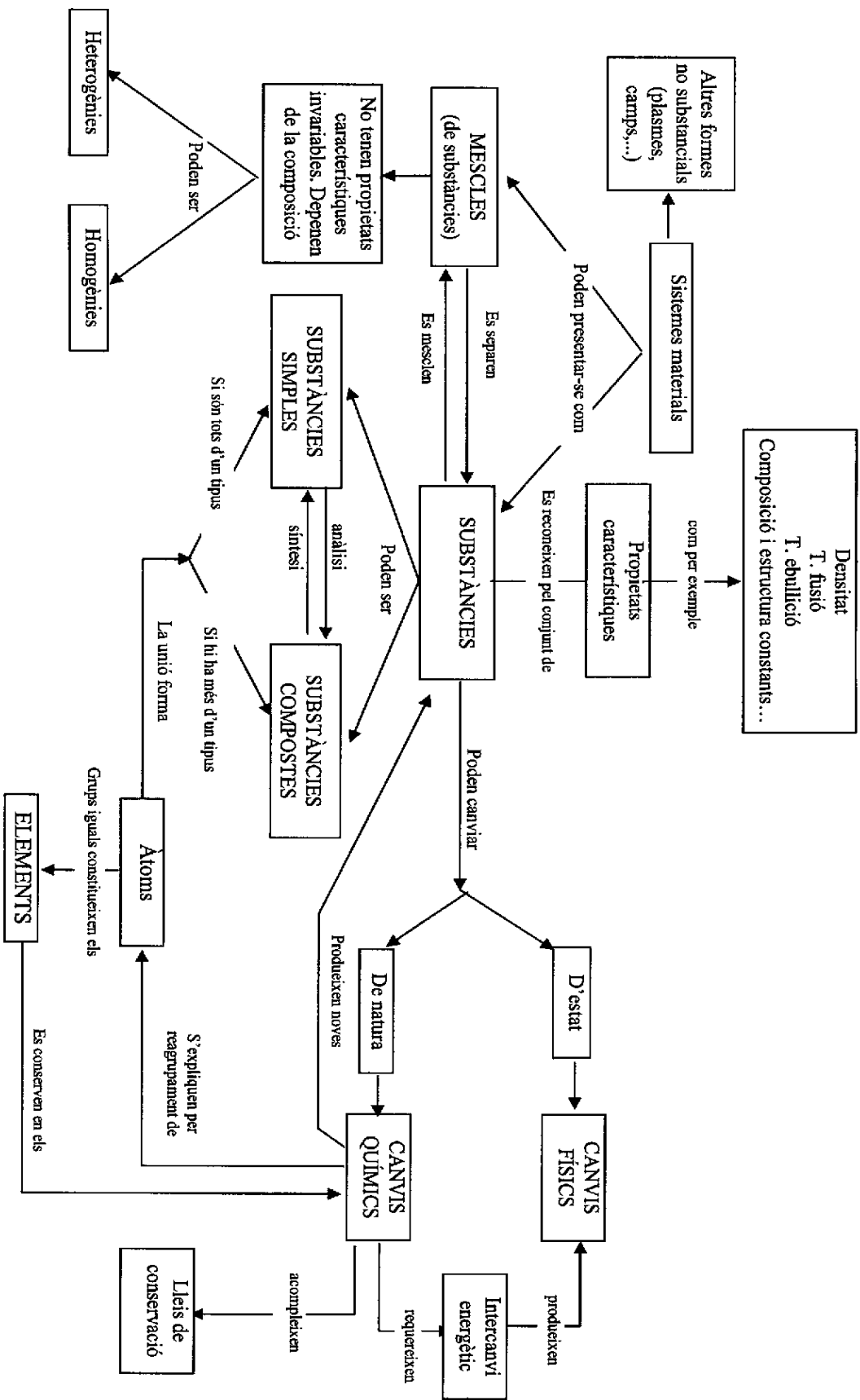


Figura 13. Mapa conceptual que relaciona els conceptes bàsics de l'estudi de la Química

ANNEX: Taula de densitats i temperatures de canvi d'estat d'algunes substàncies

Substància	Densitat (g/cm ³)	Temperatura de fusió (°C)	Temperatura d'ebullició (°C)
Acetona	0'792	-95	56
Àcid clorhídric	1'26	-114'8	84'9
Àcid nítric	1'5027	-41'6	83
Àcid sulfúric	1'834	10'37	317
Aigua	1	0	100
Aire	0'00129		
Alumini	2'70	659	1997
Amoníac	0'000771	-77'7	-33'35
Argent	10'5	960'8	2210
Benzè	0'885	5'5	80'1
Butà	0'0026	-136	-0'5
Calci	1'55	838	1440
Carbó (grafit)	2'25	3527	4200
Clor	0'00299	-102	-33'7
Clorur sòdic	2'16	801	1413
Coure	8'94	1083	2582
Diòxid de carboni	0'00181	(*) -56'4	-78'51
Diòxid de sofre	0'00284	-75'46	-10'02
Estany (gris)	7'31	231'8	2270
Etanol	0'79	-117'3	78'5
Ferro	7'8	1539	3000
Glicerina	1'26	20	290
Heli	0'001798	-272'375	-268'928
Hidrogen	0'000899	-259'12	-252'8
Mercuri	13'6	-38'9	356
Níquel	8'96	1083	2595
Nitrogen	0'00117	-209'9	-195'8
Octà	0'703	-56'8	125'6
Or	19'3	1063	296'5
Òxid càlcic	3'3	2580	2850
Oxigen	0'00133	-218'4	-183
Platí	21'4	1769	4530
Plom	11'34	327'5	1750
Sodi	0'7	97'8	892

(*) A 5'1 atm de pressió

8.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS PELS GRUPS D'ALUMNES EXPERIMENTALS, RELATIUS A L'APRENENTATGE SIGNIFICATIU DELS CONCEPTES BÀSICS DE QUÍMICA.

Com ja hem dit anteriorment, a la segona part de la investigació han participat un total de 187 alumnes experimentals, a banda dels de control, l'autora de la investigació i altra professora que ha utilitzat els programes guia amb els seus grups d'alumnes. Durant les classes, els estudiants han fet servir programes d'activitats com el presentat a l'apartat anterior i el que s'ofereix a l'annex I. En finalitzar el curs, han respost els qüestionaris descrits en els documents 1 al 5, al temps que han desenvolupat l'entrevista presentada al document 6 (tots ells iguals als que s'utilitzaren amb els grups d'alumnes de control i estan detallats al capítol 3). Per valorar el canvi d'actituds s'utilitzà altre qüestionari (document 16), que es passà després de donar les notes finals, per tal d'assegurar que les respostes no estaven influïdes per cap tipus de pressió. Els qüestionaris i les entrevistes també es realitzaren a final de curs, mesos després d'haver estudiat els temes objecte d'aquest estudi, per poder contrastar si s'havia produït un aprenentatge significatiu.

Per posar a prova l'eficàcia del model d'ensenyament aprenentatge que hem seguit i contrastar la segona hipòtesi, desenvoluparem quatre aspectes, relatius als diferents apartats en els que hem dividit el treball.

- En primer lloc, analitzarem els resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a determinar si els alumnes experimentals entenen el concepte de substància química des dels punts de vista macro i microscòpic (Documents 1 i 2).
- Tot seguit, estudiarem els resultats obtinguts en els dissenys, la finalitat dels quals és determinar si els alumnes experimentals diferencien els conceptes de mescla i compost (Documents 1 i 3).
- A continuació, farem una anàlisi dels resultats obtinguts a partir dels dissenys que pretenen esbrinar si els alumnes experimentals identifiquen els conceptes de substància i element químic (Documents 3 i 4).
- Per últim, contrastarem la validesa del model en analitzar els resultats obtinguts en els dissenys encaminats a determinar si els alumnes experimentals diferencien entre canvi físic i procés químic (Document 5).

Els resultats obtinguts per la professora autora de la investigació i el de l'altra professora que hi ha participat, realitzant un treball semblant amb llurs alumnes, mostren algunes diferències, raó per la qual es mostraran de forma separada. Per determinar si les diferències entre els grups experimentals i els de control són degudes a una indicació fiable i no es deuen únicament a l'atzar introduït en cada mostra, utilitzarem la distribució de la "t" d'Student, aplicada a les diferents parelles de mostres que es van a comparar. El mecanisme a seguir serà el mateix en tots els casos: a partir de les desviacions estàndard de la mostra experimental i la mostra de control es calcula la "t". Tot seguit, s'utilitza la taula de t, per determinar la significació dels estadístics. Escollim la fila corresponent als graus de llibertat de la mostra, i es compara el valor que indica la taula de t amb el que hem obtingut. Quan el valor obtingut és major que el que indica la taula, podem considerar que hi ha una diferència significativa entre les dues mostres d'estudiants, és a dir, es pot inferir una associació significativa entre el mètode d'ensenyament utilitzat i els resultats obtinguts en la població considerada, en aquest cas els estudiants que han seguit un mètode d'ensenyament basat en el canvi conceptual, actitudinal i procedimental, per investigació orientada.

En les taules de presentació de resultats oferirem diferents informacions. En primer lloc, els resultats obtinguts pels 136 alumnes dels grups experimentals dirigits per l'autora de la investigació (als que anomenarem Experimentals I). Tot seguit, s'exposen els resultats dels 51 estudiants que formaven els grups que dirigia la segona professora, seguint els mateixos programes d'activitats i metodologia a l'aula que l'autora d'aquesta memòria (als que anomenarem Experimentals II). A continuació, s'han afegit els resultats totals obtinguts en les mateixes proves pels alumnes dels grups de control i, per últim, s'exposa la probabilitat de que les diferències obtingudes no siguin significatives. En cada taula també es fa referència a la taula del capítol 4 en què s'analitzaven els resultats de la mateixa prova per part dels alumnes dels grups de control, per facilitar la localització, si es desitja consultar els resultats allí obtinguts.

8.2.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'aplicació dels dissenys encaminats a determinar si els alumnes experimentals entenen el concepte macro i microscòpic de substància química (Documents 1 i 2).

En aquest apartat es presentaran els resultats obtinguts a partir de l'aplicació de dos dissenys. El primer d'ells (document 1) consisteix en enllaçar un conjunt de paraules formant una xarxa, en la que es veurà quines són considerades més generals i quines inclouen a les altres. El document 2 consta de tres qüestions, que fan referència, respectivament, a la

classificació i diferenciació dels materials en substàncies i mescles, la possibilitat d'identificar al laboratori una substància i, per últim, el reconeixement d'una substància a nivell microscòpic.

8.2.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi del mapa conceptual (Document 1).

En l'anàlisi dels mapes conceptuais (document 1) elaborats pels alumnes dels grups experimentals s'han obtingut els resultats que s'exposen a continuació en la taula 8.1, en la que s'inclouen també els resultats obtinguts pels alumnes dels grups de control (exposats de forma completa a la taula 4.1).

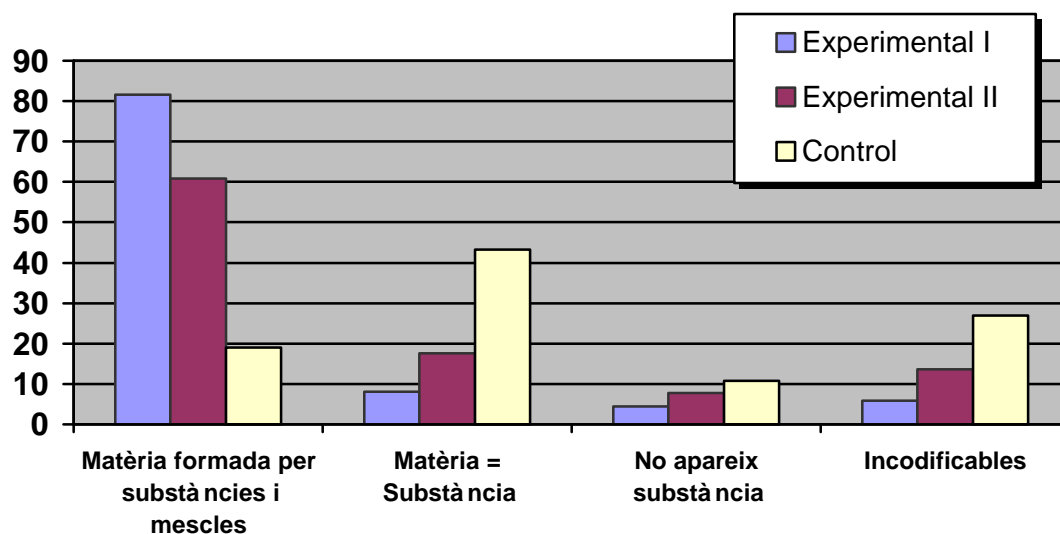
Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=379		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Classifiquen la matèria en substància i mescla(*)	81'6	3'3	60'8	6'8	19'0	2'0	p << 0'01
Identifiquen matèria i substància	8'1	2'3	17'6	5'3	43'3	2'5	p << 0'01
No apareix la paraula substància	4'4	1'8	7'8	3'8	10'8	1'6	EXP.I p < 0'01 EXP.II p >
Incodificables	5'9	2'0	13'7	4'8	26'9	2'3	

(*) Resposta correcta

Taula 8.1.- Resultats extrets del mapa conceptual i que fan referència a la identificació entre matèria i substància.

El primer aspecte al que volem fer menció és que no hi ha massa diferències entre els resultats dels alumnes que han treballat amb la professora investigadora i els que han treballat amb l'altra professora. Suposem que pot ésser així pel fet de ser sols dues persones i, per tant, haver estat molt fàcil la coordinació i el treball amb els mateixos documents.

Per tal de facilitar l'anàlisi global, mostrem a la gràfica 8.1 els resultats exposats a la taula anterior.



GRÀFICA 8.1. Resultats que es poden extraure del mapa conceptual, referents a la classificació dels materials

Els resultats obtinguts ens permeten afirmar que, en tots els casos, els alumnes dels grups experimentals han assolit una major comprensió del concepte de substància, que la manifestada pels alumnes dels grups de control. La comparació mostra, a més, que els estudiants dels grups experimentals obtenen uns percentatges majors de respostes correctes, amb més del 60% en tots els casos, observant-se que fins i tot, els alumnes de 3r d'ESO han obtingut percentatges superiors de respostes correctes als dels alumnes de control, malgrat que entre ells estan inclosos alumnes de Batxillerat i Magisteri (vegeu taula 4.1). D'altra banda, els resultats del segon ítem mostren com sols un 17'6% dels estudiants experimentals (en el pitjor dels casos) identifiquen material i substància, front al 43'3% dels alumnes dels grups de control.

També és interessant fer notar que el percentatge de respostes incodificables en els estudiants dels grups de control és molt major que les del grup experimental I i més del doble que en el cas del grup experimentals II, resultat que expliquem suposant que els estudiants que han seguit un model d'ensenyament per investigació orientada estan més acostumats a buscar raons per respondre a les qüestions plantejades i tenen menor percentatge d'abandonament davant d'un problema.

8.2.1.2. Anàlisi dels resultats obtinguts en les respostes al qüestionari sobre substàncies i mescles (document 2).

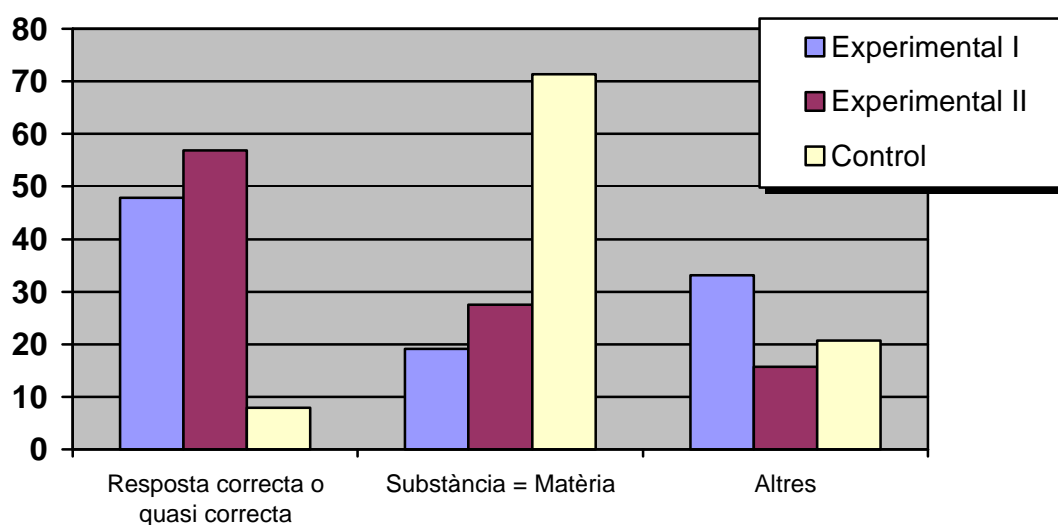
Passem ara a analitzar els resultats obtinguts amb les 3 qüestions de què consta el document 2. Començarem amb les respostes donades a la qüestió 1, que exposem a continuació, a la taula 8.2:

- 1.- Avui en dia tothom ha sentit parlar de: llum, aire, aigua, foc, granit, ona de ràdio. Subratlla els que creus que estan formats per una substància. Explica en què et bases i per què creus que els altres no ho són_____

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Donen una resposta correcta o quasi correcta	47'8	4'3	56,9	6'9	7'9	1'4	p << 0'01
Identifiquen substància i matèria	19'1	3'4	27,5	6'3	71'4	2'3	p << 0'01
Altres respostes	33'1	4'0	15,7	5'1	20'7	2'1	

Taula 8.2.- Percentatge de respostes dels estudiants dels grups experimentals i de control a la qüestió 1 del document 2

L'anàlisi comparatiu es mostra, tot seguit, a la gràfica 8.2



GRÀFICA 8.2. Percentatge d'estudiants que responen a la qüestió 1 del document 2.

En la correcció d'aquesta qüestió als alumnes de control, s'ha considerat la resposta correcta sempre que contestaren que l'única substància era l'aigua, malgrat que les explicacions mostraren clarament que es tractava d'una resposta aleatòria o, fins i tot, el raonament fóra erroni. En els alumnes experimentals sols s'ha considerat la resposta correcta si, amés d'especificar que l'única substància era l'aigua, els raonaments també eren correctes.

La taula 8.2 mostra el notable increment de percentatges de respostes correctes per part dels d'estudiants dels grups experimentals front als de control, amb diferències significatives en un marge molt ampli (les dades completes dels estudiants de control respecte d'aquesta qüestió es troben a la taula 4.2). També són significatives les diferències quan a la identificació entre els conceptes de material i substància, molt elevada en el cas dels estudiants de control, i que es redueix notablement en el cas dels experimentals.

Altra millora apreciable és la produïda en la qualitat de les produccions dels alumnes, com es veu en l'exemple que exposem a continuació. La resposta no ha estat considerada correcta, però en ella podem apreciar com l'alumne planteja una anàlisi de la situació per medi d'una somera interpretació microscòpica del concepte de substància química.

- *Són substàncies la llum, aigua, foc i ona de ràdio. Em base en que una substància està formada per molècules iguals i aquestes molècules estan formades per àtoms. Si fem mètodes físics a l'aire i el granit sí podem separar els seus components, aleshores són mescles. En canvi, als altres no. (3r ESO)*

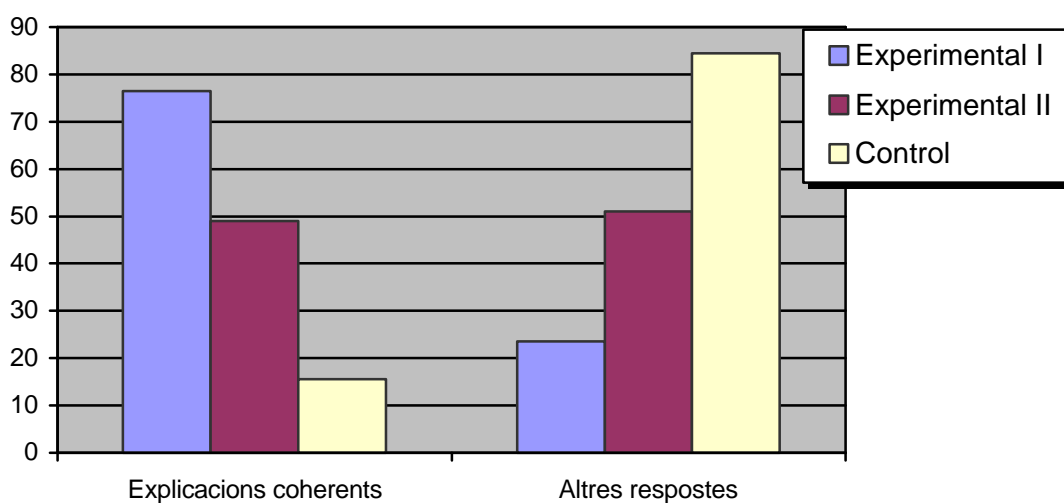
La resposta d'aquest alumne de 3r d'ESO ens mostra que sap que una substància a nivell microscòpic està *formada per molècules iguals*. A més a més, ha reconegut les mescles (granit i aire) i indica que els seus components es poden separar utilitzant mètodes físics, malgrat que no esmenta quins són (*si fem mètodes físics a l'aire i el granit podem separar els seus components*). Per últim, suposem que aquest estudiant no sap què són la llum, el foc i l'ona de ràdio, però imagina que, igual que en el cas de l'aigua, per mètodes físics no es poden separar en diverses substàncies, motiu pel qual, pensem que les classifica com substàncies.

Passem a continuació a la presentació i anàlisi dels resultats de la qüestió 2 (document 2), en la que es demana caracteritzar al laboratori si un material donat és o no una substància. Els resultats obtinguts s'ofereixen a la taula 8.3 i gràfica 8.3, que s'exposen tot seguit.

- 2.- ¿Què podries fer per saber si la naftalina (boles de color blanc que es posen a l'armari per matar l'arna) és una substància o una mescla? _____

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d	%	s.d	%	s.d	
Dóna explicacions coherents o bé fa alguna referència a una propietat característica.	76'5	3'6	49'0	7'0	15'5	1'9	$p << 0'01$
Altres respostes	23'5	3'6	51'0	7'0	84'5	1'9	

Taula 8.3.- Percentatge d'estudiants que coneixen el concepte macroscòpic de substància (qüestió 2, document 2).



Gràfica 8.3. Estudiants que saben aplicar el concepte macroscòpic de substància (taula 8.3)

L'anàlisi de les respostes mostra que, la major part dels estudiants experimentals, sabrien què fer al laboratori per identificar una substància, mentre els dels grups de control, en la major part de casos, no pogueren oferir respostes coherents, com s'aprecia en les dades que mostra la taula 8.3. Les diferències entre els alumnes dels grups experimentals i els de control són significatives, amb marges amplis en ambdós casos. Aportem a continuació la resposta (considerada correcta) d'una estudiant de 3r d'ESO d'un grup experimental.

- P1.** Si estigueres al laboratori, et donaren una mostra i te demanaren que digueres si es tractava d'una substància o una mescla, sabries què fer?
M^a Pilar. Suppose que sí. El primer que faria seria processos físics, colar-la, faria destil·lació, decantació o el que se m'ocorreguera i, si continua sent això, pensaria que és una substància i, aleshores, la faria reaccionar i veuria si és simple o composta.

En primer lloc, M^a Pilar no dubta a l'hora de respondre a la qüestió i indica que utilitzaria els mètodes físics de separació per determinar si la mostra contenia una substància

o més d'una. A més, després d'esmentar els mètodes que utilitzaria, afegeix que faria el que *li s'ocorreguera*, és a dir, que planteja la possibilitat de pensar en més mètodes i cercar més solucions, després d'haver utilitzat els que recorda. A més a més, tot seguit, i sense que li ho pregunten, amplia la informació, fent-nos saber que determinaria si la substància obtinguda és simple o composta, en aquest cas fent-la reaccionar, no mitjançant processos físics.

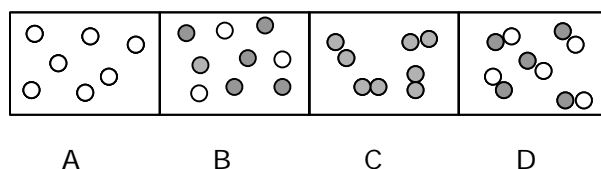
Per comptabilitzar la resposta com correcta, sols hem acceptat aquelles que parlaven de la utilització, al menys, d'una propietat característica per identificar una substància, igual que férem amb els alumnes dels grups de control. Malgrat les dificultats que s'aprecien entre les que hem considerat incorrectes, es pot apreciar com els estudiants experimentals donen explicacions més completes i raonades, com és el cas que presentem a continuació:

- P1.** *Si estigueres al laboratori, et donaren una mostra i te demanaren que digueres si es tractava d'una substància o una mescla, sabries què fer?*
Natàlia. *Faria proves per veure... per exemple, ho posaria a escalfar i veuria el que passa... veuria el que es desprèn i, segons el que passara, si es quedara alguna cosa al fons,... veuria si és una substància o no. (3r ESO)*

Evidentment, Natàlia no sap que, per caracteritzar una substància al laboratori, hauria de recolzar-se en les propietats característiques, utilitzant qualsevol mètode de separació, però dóna una resposta que indica que pot tindre ferramentes per extreure coneixement pràctic en un moment en que no recorda els conceptes teòrics. És a dir, no recorda que una substància mantindria la temperatura constant durant l'ebullició, però, suposa que, en bullir la mostra, es desprendria un gas i possiblement quedaria alguna cosa al fons del recipient, indicatiu de que hi havia més d'una substància.

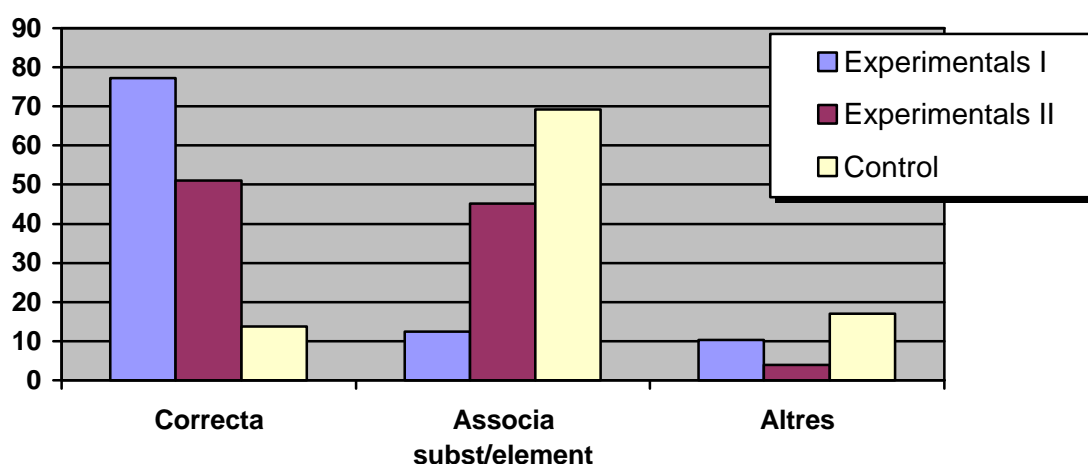
Per finalitzar el present apartat, tractarem d'esbrinar què entén l'alumnat per substància des del punt de vista microscòpic, mitjançant l'anàlisi de les respostes a la qüestió 3 del document 2, que es presenten a la taula 8.4 i gràfica 8.4:

- 3.-** Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una **substància**. Justifica la teua resposta: _____



Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta	77'2	3'6	51'0	7'0	13'7	1'8	p << 0'01
Identifiquen substància amb element	12'5	2'8	45'1	7'0	69'3	2'4	p << 0'01
Altres respostes	10'3	2'6	3'9	2'7	17'1	1'9	

Taula 8.4.- Percentatges de resposta obtinguts al preguntar als alumnes què entenen per substància des del punt de vista microscòpic (Qüestió 3, document 2).



GRÀFICA 8.4: Respostes dels estudiants respecte del concepte microscòpic de substància (taula 8.4)

La taula 8.4 mostra que, la major part de l'alumnat dels grups experimentals, reconeix una substància com aquella formada per un sol tipus de partícules, amb unes diferències significatives en tots els casos respecte dels grups de control. Volem fer menció, però, del 45'1% d'estudiants del grup experimental II que identifica la substància amb el concepte d'element. Considerem que és una mostra més de la dificultat d'aconseguir un bon ensenyament del concepte, raó per la qual caldrà tindre'l més en compte en estudis posteriors.

Entre les respostes incorrectes també s'ha observat una millor qualitat respecte de les ofertes pels estudiants dels grups de control. Per exemple, el següent l'alumne mostra com té clar el concepte microscòpic de substància, però no respon correctament a la qüestió per no comprendre el concepte d'element.

- *Són substàncies C i D perquè totes les molècules són iguals entre elles i això és característic de les substàncies. B no és ja que estan formades per dos tipus d'àtoms (separats) i la A no perquè es tracta d'un element i un element és una idea, no una substància. (3r ESO)*

L'estudiant és realista i separa el fet (la "substància") de la idea (l'element), possiblement recordant les explicacions de la professora. Açò ens mostra una vegada més la dificultat del concepte i la necessitat de tindre molta cura a l'hora d'introduir els estudiants en l'idea d'element com component de les substàncies simples i de les compostes, però sense conservació de les propietats. D'altra banda, cal relacionar el concepte d'element químic amb el de substància simple (que actuarà de referent empíric per al propi estudiant), que s'obté en descompondre els compostos (com deia Lavoisier).

8.2.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en els dissenys adreçats a veure si els alumnes experimentals diferencien els conceptes de mescla i compost (Documents 1 i 3).

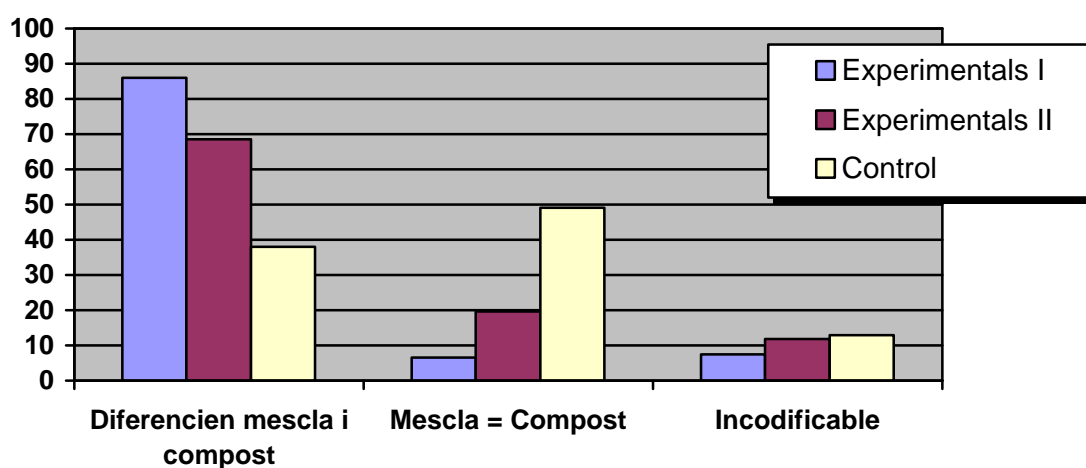
El present apartat està dedicat a veure si els estudiants tractats amb el model d'aprenentatge per investigació orientada han aconseguit superar les dificultats per diferenciar entre els conceptes de mescla i compost. S'han utilitzat dos dissenys diferents, dels quals el primer analitza una segona part del mapa conceptual (document 1), mentre el segon és un qüestionari (document 3) format per dues qüestions, una referent a l'aspecte macroscòpic dels conceptes de substància i mescla (que tornarà a ésser utilitzat a l'apartat següent) i l'altra, al microscòpic.

8.2.2.1. Anàlisis dels resultats obtinguts en l'estudi del mapa conceptual, referents a la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost (Document 1).

Recordem que, d'acord amb els resultats obtinguts a la primera part d'aquest treball, una conseqüència de la manca de comprensió del concepte de substància, era la dificultat per diferenciar entre mescla i compost. El mapa conceptual del document 1, demana situar un seguit de paraules, formant una xarxa que les relacione. Els resultats obtinguts entre els alumnes dels grups experimentals en aquest context, s'exposen a continuació a la taula 8.5, juntament amb els resultats totals dels alumnes de control (vegeu informació completa a la taula 4.9).

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=379		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Diferencien entre mescla i compost	86'0	3'0	68'6	6'5	38'0	2'5	$p << 0'01$
Consideren que el compost és el mateix que la mescla.	6'6	2'1	19'6	5'6	49'1	2'6	$p << 0'01$
Incodificable	7'4	2'2	11'8	4'5	12'9	1'7	

Taula 8.5.- Percentatge d'estudiants que associen mescla i compost en el mapa conceptual (document 1).



GRÀFICA 8.5. Relació que fan els estudiants entre els conceptes de mescla i compost en el mapa conceptual (document 1)

La taula 8.5 mostra els resultats obtinguts respecte de la classificació dels conceptes de mescla i compost en el mapa conceptual. Es pot apreciar que els dos grups experimentals obtenen millors resultats que el grup de control, amb diferències significatives en els dos casos. Els estudiants d'aquests grups no sols consideren que les mescles i els compostos són conceptes diferents, sinó que, a més, consideren la mescla i la dissolució sistemes més generals que el compost.

La coherència dels resultats es posa de manifest si comparem amb els resultats que s'ofereixen a la taula 8.3, en la que hem pogut apreciar que, al voltant d'un 76'5% de l'alumnat podia donar alguna referència per identificar una substància al laboratori. Coherent amb aquell resultat, la taula 8.5 mostra com un 86% diferencia en el mapa conceptual la mescla del compost, posant-los en branques diferents.

8.2.2.2. Anàlisi dels resultats obtinguts referents a la diferenciació macro i microscòpica dels conceptes de mescla i compost (Document 3)

Com ja s'ha vist anteriorment, el document 3 està format per dues qüestions, referents als aspectes macroscòpic i microscòpic, respectivament, dels conceptes de mescla i compost. Començarem per presentar els resultats de la primera d'elles, que fa referència a la diferenciació macroscòpica entre substància i mescla, a partir d'un seguit de materials usuals en la vida quotidiana.

- 1.- A continuació tens una llista de productes quotidians. Classifica'ls en dues columnes segons penses que són substàncies o mescles de diverses substàncies. En el cas de les mescles, indica de quines substàncies creus que estan formades: or, sofre, aire, sulfumant, bicarbonat sòdic, vi, sucre, sal comú, coure i alcohol etílic.

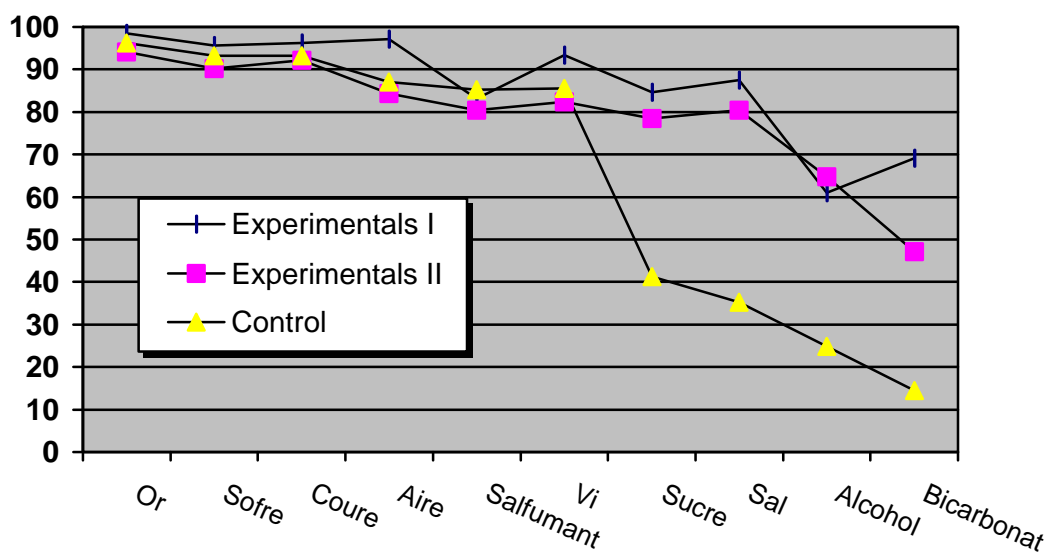
Substàncies _____ _____ _____		Mescles _____ _____ _____	Formada per: _____ _____ _____
--	--	------------------------------------	---

Explica quin criteri has utilitzat per establir la classificació

Com ja hem justificat al capítol 4, hem classificat els ítems en tres grups diferents a partir de les respostes dels estudiants: En el primer hem situat els prototips de substància simple (que són considerats elements pels estudiants), el segon conté mescles corrents (aire, sulfumant i vi), i en el darrer grup hem situat els materials que, malgrat ser substàncies, han estat considerats pels estudiants dels grups de control, majoritàriament, mescles, bé perquè han considerat que provenien de la natura (el sucre i la sal comú), bé per considerar-los "mescles de laboratori" (l'alcohol etílic i el bicarbonat sòdic). Els resultats obtinguts s'exposen a continuació en la taula 8.6 i la gràfica 8.6

Categories de resposta		Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
		%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Consideren que són substàncies	or	98'5	1'0	94'1	3'3	96'3	1'0	p >
	sofre	95'6	1'8	90'2	4'2	93'2	1'3	
	coure	96'3	1'6	92'2	3'8	93'2	1'3	
Consideren que són mescles	aire	97'1	1'4	84'3	5'1	87'1	1'7	p >
	sulfumant	83'1	3'2	80'4	5'6	85'3	1'8	
	vi	93'4	2'1	82'4	5'3	85'6	1'8	
Consideren que són substàncies	sucre	84'6	3'1	78'4	5'8	41'2	2'5	p << 0'01
	sal comú	87'5	2'8	80'4	5'6	35'2	2'4	
	alcohol etílic	61'0	4'2	64'7	6'7	24'9	2'2	
	bicarbonat sòdic	69'1	4'0	47'1	7'0	14'4	1'8	

Taula 8.6.- Percentatge d'estudiants que consideren correctament substància o mescla cadascun dels materials que es presenten en la qüestió 1 del document 3.

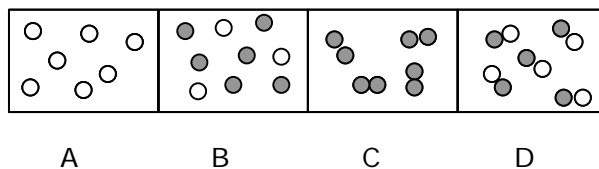


Gràfica 8.6.- Percentatge de respostes correctes en la classificació de diferents materials en substàncies i mescles (taula 8.6).

La taula 8.6 ofereix resultats similars en els dos primers grups de respostes (substàncies simples i mescles corrents), per a tots els estudiants, tant els dels grups experimentals com els de control. No hi ha diferències significatives entre ells i els percentatges de respostes correctes són elevats, com ja esperàvem. Pel contrari, en l'últim grup, que havia resultat més problemàtic per als estudiants dels grups de control, amb percentatges de respostes correctes molt baixos, els alumnes experimentals milloren els resultats, obtenint percentatges de respostes correctes notablement superiors, amb diferències significatives suficients. Aquesta inversió s'aprecia millor a la gràfica 8.6, en la que es veu com, en els dos primers grups de respostes, les diferències no són significatives, amb les tres gràfiques quasi superposades. Pel contrari, sí que ho són en els últims ítems, referents a la classificació com substàncies del sucre, la sal, l'alcohol i el bicarbonat sòdic.

Analitzarem a continuació les respostes a la segona qüestió del document 3, en la que es demana determinar quina o quines representacions microscòpiques corresponen a una mescla.

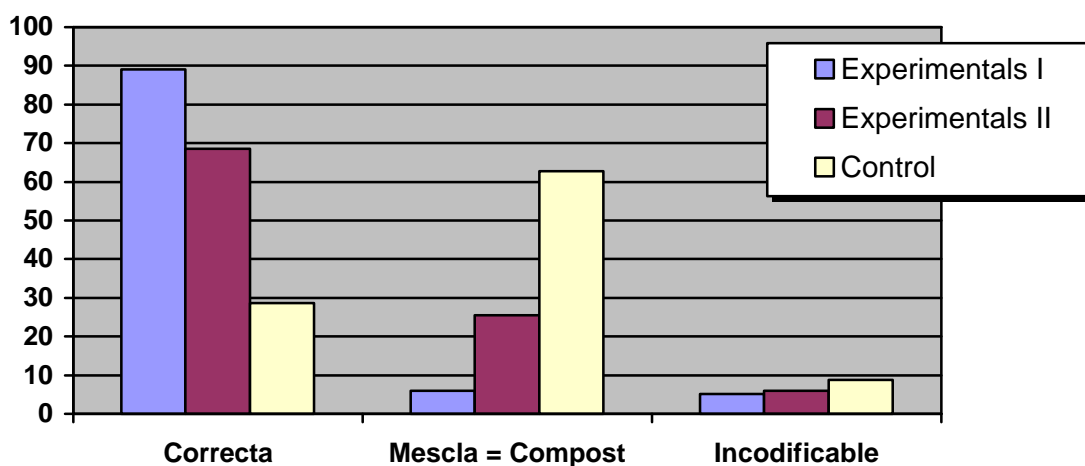
2.-Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una **mescla**. Justifica la teua resposta. _____



Els resultats es presenten a la taula 8.7 i la corresponent gràfica 8.7. L'anàlisi complet dels estudiants de control es pot trobar a la taula 4.11.

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta	89'0	2'7	68'6	6'5	28'6	2'3	p << 0'01
Confonen mescla i compost	5'9	2'0	25'5	6'1	62'7	2'5	p << 0'01
Incodificables	5'1	1'9	5'9	3'3	8'7	1'4	

Taula 8.7.- Percentatge d'alumnes que diferencien una mescla d'un compost a nivell microscòpic (Qüestió 2, document 3).



GRÀFICA 8.7. Respostes dels estudiants respecte del concepte microscòpic de mescla (taula 8.7)

Una vegada més s'aprecien diferències, significatives en tots els casos, entre els resultats dels estudiants dels grups experimentals, amb percentatges de 89% i 68'6% de respostes correctes, front al 28'6% dels grups de control.

Aquests resultats també són convergents amb els mostrats a la taula 8.5, que oferia els resultats obtinguts en el mapa conceptual respecte de la identificació entre mescla i compost. En ella, un 86'0% d'alumnes experimentals diferenciava correctament entre mescla i compost a nivell macroscòpic, resultat que és coherent amb el 89'0% d'alumnes que identifiquen correctament la mescla a nivell microscòpic. També en aquest cas s'ha pogut apreciar, en les respostes dels alumnes dels grups experimentals, un major raonament explicatiu, al temps que capacitat de diferenciació entre els nivells d'estudi macro i microscòpic:

- *La mescla és la caixa B, perquè està formada per dos tipus d'elements diferents. A més és una mescla de dues substàncies simples. A més per mètodes físics podríem separar els dos tipus d'elements. (3r ESO)*

L'estudiant indica que l'opció correcta és la B, amb una mescla de dos elements diferents. Tot seguit, afegeix , malgrat que no li ho preguntaven, que es tracta d'una mescla de dues substàncies simples. Torna a manifestar-se una vegada més la dificultat de comprensió del concepte d'element, que caldrà tindre en compte en estudis posteriors. Per últim, passa al nivell macroscòpic (sense explicitar-ho clarament, però en una oració diferent), per indicar què hauria de fer per separar-los, malgrat que l'enunciat tampoc ho demanava.

8.2.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb els alumnes experimentals i de control, respecte a la diferenciació entre els conceptes de substància i element químic (documents 3 i 4).

Exposarem a continuació els resultats obtinguts en aplicar els dissenys encaminats a determinar si els alumnes experimentals diferencien, a nivell microscòpic, els conceptes de substància i element químic (que, en aquest nivell, admetrem que s'identifique amb substància simple). En aquest apartat hem utilitzat dos dissenys:

- El primer d'ells torna a utilitzar la primera qüestió del document 3, del que ja s'ha fet referència a l'apartat 8.2.2.2, fent una segona lectura del mateix.

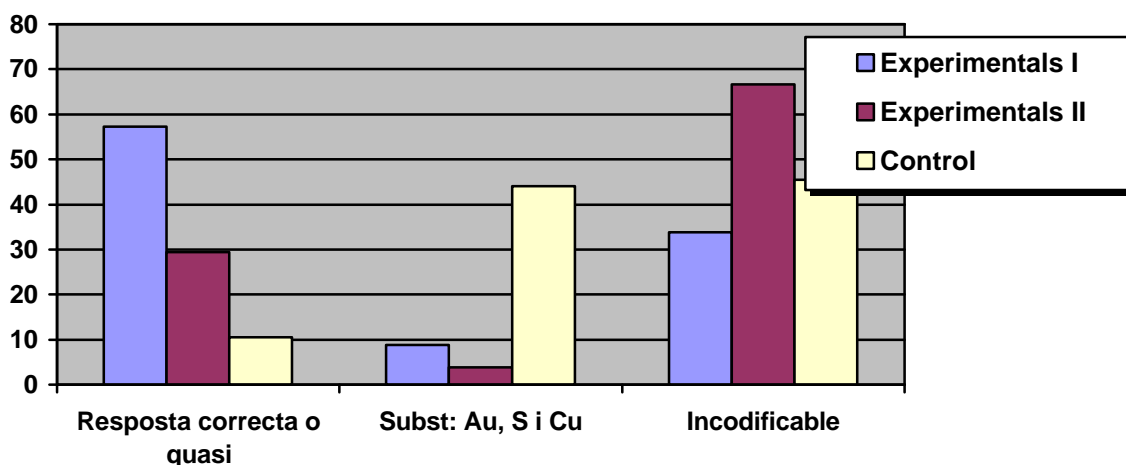
- El segon, ofereix els resultats obtinguts en l'anàlisi de les respostes a l'única qüestió del document 4, en la que es demana identificar una substància simple a nivell microscòpic.

8.2.3.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la qüestió referent a la classificació de diversos materials en substàncies i mescles (Qüestió 1, Document 3).

A continuació tornarem a fer menció dels resultats obtinguts a la qüestió 1 del document 3, en la qual es demanava que classifiquen alguns productes en substàncies i mescles. En la taula 8.6 ja hem mostrat com un percentatge molt elevat d'alumnes dels grups experimentals identifica correctament els productes (sucre, sal, alcohol i bicarbonat) com substàncies. Ara bé, a més de la classificació individual de cada resposta, la qüestió permet fer també un estudi de conjunt, en el que es poden esbrinar les idees generals de l'alumnat al voltant del concepte de substància. Els resultats obtinguts en aquest estudi es mostren a la taula 8.8 i la gràfica 8.8.

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta o quasi correcta	57'3	4'2	29'4	6'4	10'5	1'6	p << 0'01
Són substàncies or, sofre i coure i la resta, mescles	8'8	2'4	3'9	2'7	44'1	2'5	p << 0'01
Incodificables	33'8	4'1	66'7	6'6	45'4	2'6	

Taula 8.8.- Estudi comparatiu de les respostes de l'alumnat a la classificació de diversos productes en substàncies i mescles. (Qüestió 1, document 3)



GRÀFICA 8.8. Estudi comparatiu de les respostes de l'alumnat a la classificació de diversos productes en substàncies i mescles (taula 8.8)

En la correcció de la present qüestió hem considerat la resposta quasi correcta en aquells casos en què han contestat que són substàncies l'or, sofre, coure, sucre i sal, mentre la resta eren considerades mescles (els resultats complets d'aquesta qüestió per als estudiants de control es troben a la taula 4.14). La taula 8.8 mostra uns resultats en els que els percentatges de respostes correctes (o quasi), són superiors en els grups experimentals, triplicant-los en el pitjor dels casos. Es pot apreciar que, en ambdós casos, es donen diferències significatives suficients, malgrat ser menys destacables en el cas dels estudiants del grup experimental II.

També hem de fer menció de l'important percentatge de respostes incodificables entre els estudiants del grup experimental II, factor que recolza el que ja hem pogut apreciar en altres qüestions respecte de la dificultat del concepte d'element, raó per la qual, en treballs posteriors caldrà incidir més en l'ensenyament d'aquest concepte.

Entre les respostes que hem considerat incorrectes es poden veure algunes apreciacions que mostrem com els alumnes dels grups experimentals analitzen amb més profunditat el que diuen i relacionen els coneixements de classe amb la vida quotidiana, com es pot apreciar en el següent exemple:

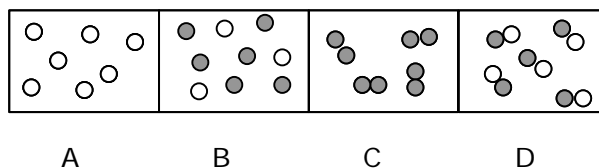
- *He establert unes idees comuns, segons la composició que tinga cada un. L'or i el coure són aliatges formats per diferents metalls. (3r ESO)*

L'estudiant ha classificat correctament tots els materials, excepte l'or i el coure, als que considera com mescles, basant la justificació en els coneixements adquirits en la vida diària, respecte a la puresa i els quirats dels materials de joieria.

8.2.3.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts pels alumnes experimentals sobre la conceptualització microscòpica de la substància simple (Document 4)

Per finalitzar el present apartat, analitzarem els resultats obtinguts en l'única qüestió del document 4. En ella, els estudiants han de determinar quina de les representacions que es mostren simbolitza una substància simple

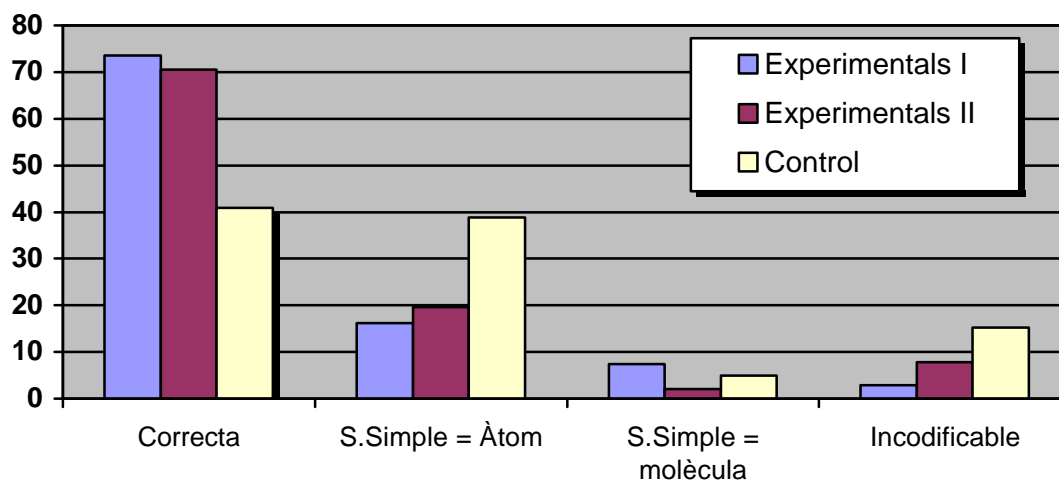
- 1.- Els dibuixos següents representen gasos. Cada boleta simbolitza un àtom i les del mateix color són àtoms idèntics. Indica quin o quins d'ells poden ser una **substància simple**. Justifica la teua resposta_____



Els resultats obtinguts en l'anàlisi de la qüestió es presenten a continuació en la taula 8.9 i la gràfica 8.9 (les dades dels grups d'alumnes de control estan extrets de la taula 4.15).

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta	73'5	3'8	70'6	6'4	40'9	2'5	p << 0'01
Identifiquen substància simple amb àtom ai llat	16'2	3'2	19'6	5'6	38'9	2'5	p << 0'01
Identifiquen substància simple amb molècula, i no accepten que estiga formada sols per un àtom.	7'4	2'2	2	2'0	5'0	1'1	
Incodificables	2'9	1'4	7'8	3'8	15'2	1'8	

Taula 8.9.- Resultats de les respostes dels estudiants referents a la conceptualització de la substància simple (document 4)



GRÀFICA 8.9. Resultats de les respostes dels estudiants referents a la conceptualització de la substància simple (taula 8.9)

La taula 8.9 mostra els resultats del pensament dels estudiants respecte del concepte microscòpic de substància simple. En ella es pot apreciar que els alumnes dels grups experimentals donen percentatges molt elevats de respostes correctes, amb diferències prou significatives respecte dels estudiants dels grups de control. No ocorre el mateix en les dues respostes finals. Pel que fa als estudiants que identifiquen la substància simple amb una molècula, sense considerar les que estan formades per àtoms individuals, és a dir, aquells que responen que únicament hi ha una substància simple en la casella C, ometent la resposta A, els resultats són prou similars en tots els casos. Suposem que aquest problema ve derivat altra vegada de la dificultat per entendre el concepte d'element, al que, com ja hem dit, cal dedicar més atenció.

En general, l'esquema que havíem apreciat entre l'alumnat dels grups de control era que, per a ells, el concepte de substància és sinònim del concepte de material i, per tant, la substància simple era identificada amb l'element químic. Aquest pensament canvia en el grup experimental. De fet, un 81'6% classificava els materials en substàncies i mesclades en el mapa conceptual, un 47'8 sabia quins dels materials de la qüestió 1 (document 3: llum, foc, aire, granit,...) era una substància, un 76'5% sabia què podria fer determinar al laboratori si un material era o no una substància i un 76'2% podia identificar una substància a nivell microscòpic. Així doncs, el 73'5% d'alumnes que identifiquen una substància simple és un resultat totalment coherent amb els anteriors.

8.2.4. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb els dissenys que analitzen si els alumnes experimentals diferencien el canvi físic del procés químic (document 5).

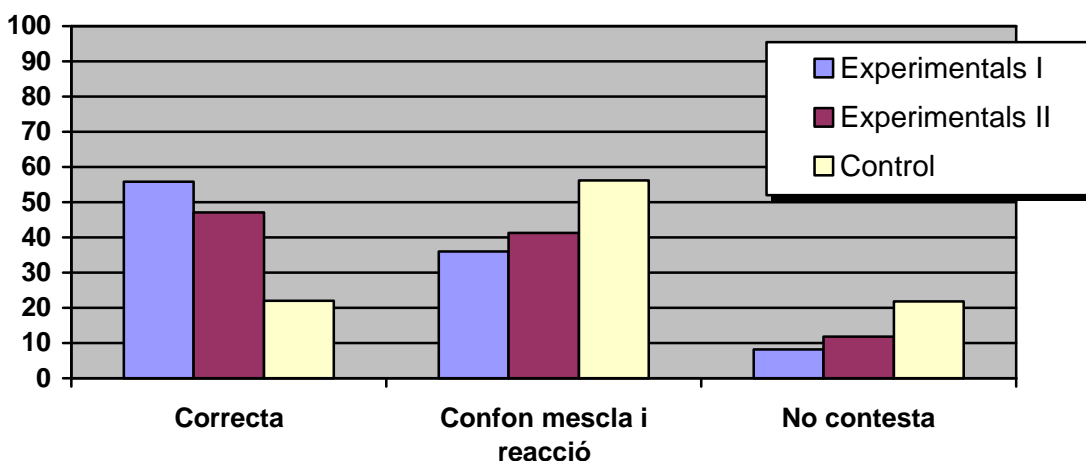
L'anàlisi de les qüestions anteriors ens ha mostrat que l'alumnat dels grups experimentals ha mostrat una major comprensió del que és una substància, diferenciant-la del concepte més general de mescla, al temps que tenia més eines per identificar una substància al laboratori. Per aquest motiu, suposem que també tindran més facilitat per determinar si s'ha produït una reacció química a partir de la determinació de l'aparició, o no, de noves substàncies.

A continuació exposarem els resultats de l'anàlisi realitzat per esbrinar si els alumnes distingeixen quan ha tingut lloc un procés químic o s'ha produït un canvi físic (document 5). Recordarem que el disseny consta de tres qüestions, en les que es fa referència a tres aspectes diferents de les reaccions químiques: la possibilitat de que dues substàncies es mesclen sense que es produïssa una reacció; tindre en compte que l'oxigen de l'aire és un dels reactius en l'oxidació d'un metall i, per últim, la constatació de que les propietats del compost format en una reacció de síntesi no guarden relació amb les de les substàncies simples de les quals prové. Passem a continuació a l'anàlisi de la primera qüestió, de la qual es presenten els resultats obtinguts a la taula 8.12 i gràfica 8.12.

- 1.- L'aigua és una substància que es pot descompondre per electròlisi en oxigen i hidrogen. Si en descompondre-la, repleguem els gasos al mateix recipient, passat un temps:
- d) Els dos gasos seguiran junts sense que passe res.
 - e) Tornarà a formar-se aigua líquida quan es refreden els gasos
 - f) No ho se
- Explica per què has escollit aquesta resposta _____

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta	55'9	4'3	47'1	7'0	22'0	2'3	p << 0'01
Confonen mescla amb reacció química	36'0	4'1	41'2	6'9	56'2	2'5	Exp.I p<<0'01 Exp.II p<0'05
No contesten	8'1	2'3	11'8	4'5	21'8	2'1	

Taula 8.10.- Percentatge de les respostes dels alumnes a la qüestió 1 (Document 5) referents a la diferència entre la mescla d'O₂ i H₂ i la reacció entre ells.



GRÀFICA 8.10. Respostes dels estudiants referents a la diferència entre la mescla d'O₂ i H₂ i la reacció entre ells (taula 8.10).

Com hem dit, l'objectiu d'aquesta qüestió és veure si l'alumnat considera que la mescla dels gasos hidrogen i oxigen és el mateix que la reacció química entre els dos, és a dir, si consideren el mateix la mescla dels reactius i el compost format. Les respostes ens mostren un 55'9% d'alumnes del grup experimental I i un 47'1% dels experimentals II, que considera que no és el mateix, front al 22'1% del grup de control (anàlisi detallat del grup de control en taula 4.16). Pot apreciar-se que, en tots els casos, les diferències són significatives quan al nombre d'estudiants que dona la resposta correcta.

Hem de fer menció, però, que hi ha un percentatge important (41'2%) d'estudiants del grup experimental II que identifiquen la mescla de reactius amb la substància composta, quantitat que considerem prou elevada i que ens fa pensar que cal tindre en compte aquest aspecte i dedicar-li més atenció en posteriors treballs, donat que pràcticament no presenta diferències amb els estudiants de control quan a aquest aspecte. També farem menció, respecte d'aquest punt que, si bé han estat nombrosos els que han aportat aquesta resposta, les raons que addueixen mostren que no ha estat una resposta irreflexiva, sinó que han extret conseqüències dels coneixements que posseeixen, com podem apreciar en els exemples següents:

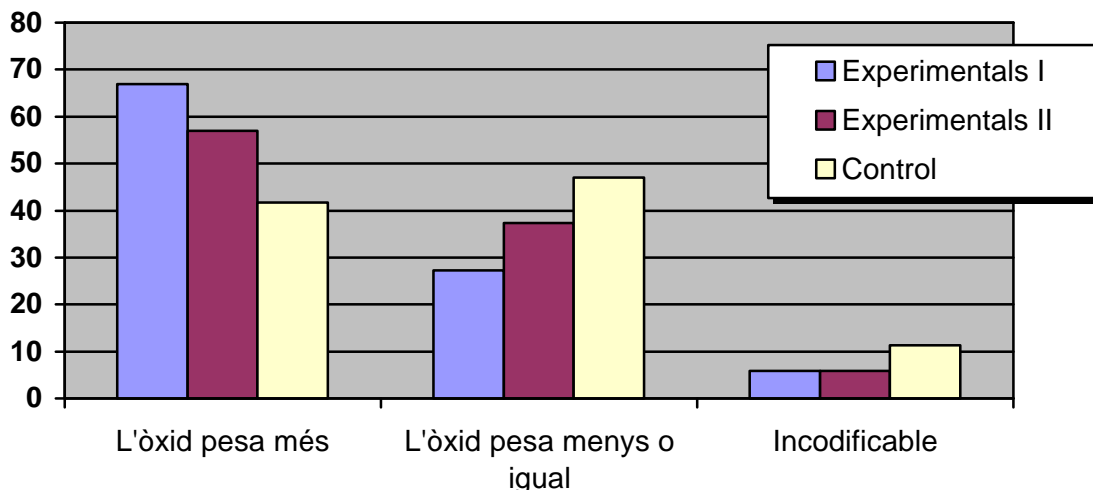
- *Perquè les partícules estan en moviment continu. En estar al mateix recipient xoquen entre elles i s'uneixen formant aigua de nou. (1r Batxillerat)*
- *Perquè els àtoms respectius s'uniran (per l'electronegativitat) formant molècules unides entre elles per ponts d'hidrogen. (2n Batxillerat)*

La segona qüestió del document 5 té com objectiu veure si els alumnes s'adonen que l'oxigen participa com un dels reactius i, a més, fa augmentar la massa del compost format respecte del coure inicial (Hernández 1997). Els resultats es presenten a la taula 8.13 i la gràfica 8.13

- 2.- Una làmina roja de coure que pesa 5 g s'escalfa fortament una estona fins que es recobreix d'un producte de color verd, que es reconeix com òxid de coure. Quan creus que pesarà el producte obtingut? Explica per què has escollit aquesta resposta _____
- a) 5 grams; b) més de 5 grams;
c) menys de 5 grams; d) no ho sé.

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Resposta correcta	66'9	4'0	45'1	7'0	41'7	2'5	EXP.I $p < < 0'01$ EXP.II $p >$
L'òxid pesa igual o menys que el coure	27'2	3'8	49'0	7'0	47'0	2'6	EXP.I $p < < 0'01$ EXP.II $p >$
Incodificable	5'9	2'0	5'9	3'3	11'3	1'6	

Taula 8.11.- Percentatge de les respostes dels alumnes a la qüestió 2 (Document 5) referents al pes d'una làmina de coure abans i després de reaccionar



GRÀFICA 8.11.- Respostes dels alumnes referents al pes d'una làmina de coure abans i després de reaccionar (taula 8.11).

La taula i gràfica 8.11 mostren uns resultats lleugerament millors en les respostes dels estudiants dels grups experimentals front als de control (anàlisi complet de la qüestió i les respostes dels grups de control en taula 4.17). Ara bé, hem de fer notar que, si bé els resultats del grup experimental I presenten diferències significatives respecte de les respostes dels estudiants de control, no ocorre així amb els estudiants del grup experimental II, que obtenen resultats similars als dels estudiants de control, és a dir, hem de considerar que, en aquest cas, es tracta de diferències aleatòries. Aquest resultat ens indica que, malgrat els esforços, les reaccions on intervenen gasos continuen sent especialment problemàtiques per als estudiants i és, per tant, un aspecte en el que cal continuar incidint per millorar l'ensenyament.

Entre les respostes errònies dels estudiants dels grups experimentals, hem apreciat una millora en la capacitat explicativa i de l'anàlisi de la situació, com és el cas de l'exemple següent, d'un estudiant del grup experimental I, que s'ha considerat incorrecte:

- *Perquè una substància en oxidar-se perd pes. S'haurà produït una reacció química en la que el coure haurà reaccionat amb oxigen i format òxid de coure més CO_2 que s'haurà evaporat. La làmina pesarà menys no perquè la matèria haja desaparegut, sinó perquè part s'haurà transformat en gas. (1r Batx)*

El problema d'aquest alumne és que, segurament, recorda que, en la combustió dels composts orgànics es produeix sempre diòxid de carboni i aigua i fa una extrapolació a l'oxidació del coure, suposant que també ací es produirà CO_2 . Aquest raonament el porta a pensar que s'haurà perdut una determinada quantitat de massa a causa del gas que ha passat a l'ambient. És a dir, no ha sabut donar una resposta correcta a la qüestió, però sí que té en compte la massa dels gasos com participants en la reacció.

Per últim, la qüestió 3 tracta de posar de manifest si els alumnes poden diferenciar entre les propietats de les substàncies simples sofre i ferro i les del nou compost, sulfur de ferro, format com producte de la reacció química entre els primers (Bullejos 2001). La resposta suposa que l'estudiant reconeix que les propietats de la nova substància formada, són diferents de les propietats dels reactius (les substàncies simples de les quals prové). Els resultats obtinguts en l'anàlisi d'aquesta qüestió 3 es presenten a la taula 8.14 i gràfica corresponent.

3.- Al laboratori, posem en un recipient un poc de ferro en pols amb un poc de sofre, també en pols. Si ho escalfem obtenim un sòlid negre, el sulfur de ferro. Com creus tu que podríem fer per separar, en el sòlid negre que hem obtingut, el ferro del sofre?

- e) Amb un imant ben potent podria separar-se el ferro
- f) Dissolvent el sofre amb un dissolvent, i després, separant per filtració
- g) Escalfant fortament el sulfur de ferro fins que es descomponga
- h) No ho sé

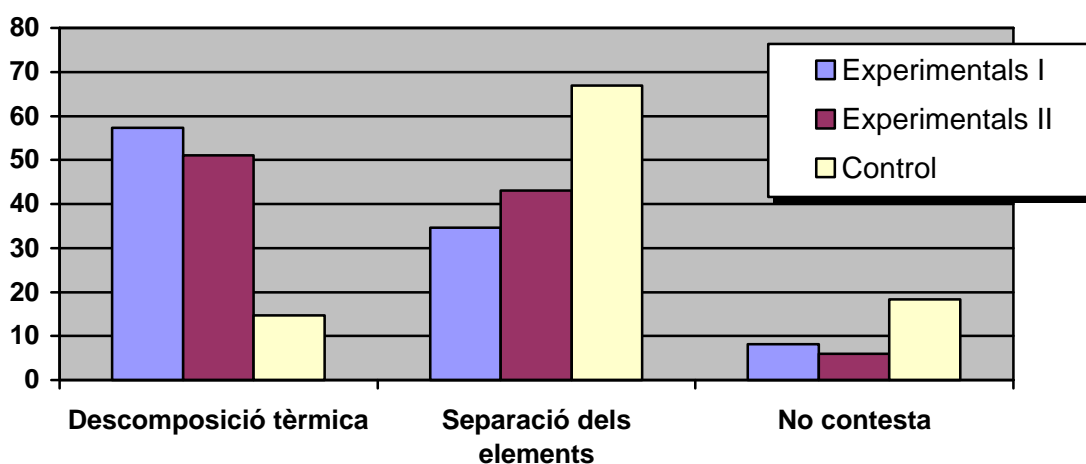
Explica el perquè de la teua resposta _____.

Categories de resposta	Total Exp. I N=136		Total Exp. II N=51		Control N=381		Diferències Significatives
	%	s.d.	%	s.d.	%	s.d.	
Descomposició tèrmica (*)	57'3	4'2	51'0	7'0	14'7	1'8	p << 0'01
Separació física dels elements combinats en el compost	34'6	4'1	43'1	6'9	66'9	2'4	p << 0'01
Altres - No contesten	8'1	2'3	5'9	3'3	18'4	2'0	

(*) Resposta correcta

Taula 8.12.- Percentatge de respostes de la qüestió referent a la separació dels elements d'un compost com reacció química (Q3, doc. 5)

La taula mostra els percentatges de resposta dels estudiants dels grups experimentals i els de control (l'anàlisi complet de respostes del grup de control a la qüestió es dona a la taula 4.18). Tot seguit s'afegeix la gràfica que correspon a la mateixa.



GRÀFICA 8.12.- Respostes a la qüestió relativa al manteniment de les propietats de les substàncies simples després de la síntesi del sulfur de ferro (taula 8.12)

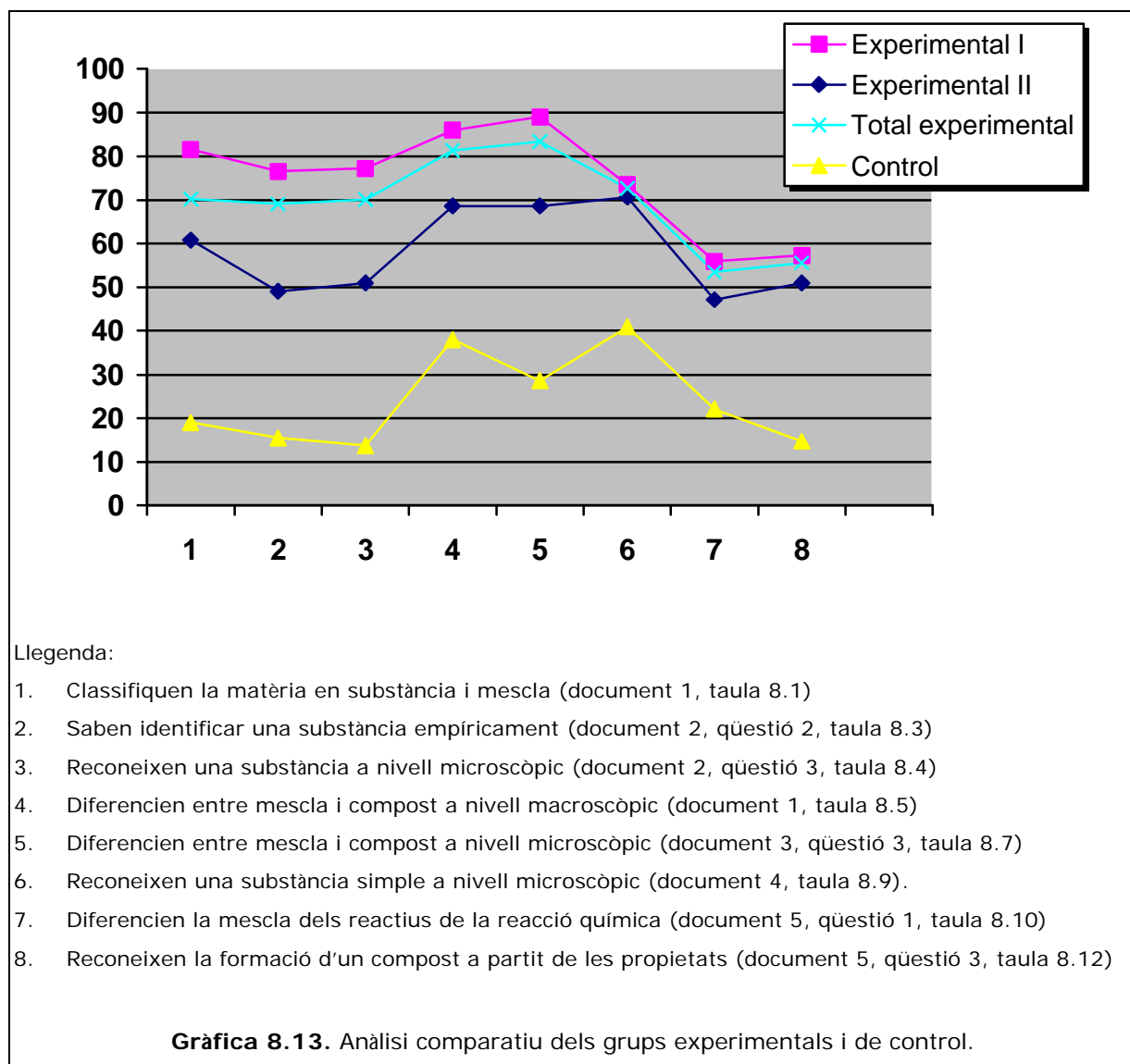
Les diferències obtingudes entre els grups d'estudiants experimentals i els de control han estat significatives en tots els casos, malgrat que els percentatges de respostes correctes en els estudiants dels grups experimentals II han estat més baixos, com ja ha passat en les dues qüestions anteriors.

La qüestió també permet veure com, alguns estudiants dels grups experimentals, que han seleccionat la resposta "no ho sé" (i, per tant, s'han comptabilitzat com "altres" per establir els percentatges), mostren una anàlisi de la situació que no es produïa entre els alumnes dels grups de control:

- *No ho sé, perquè en escalfar el ferro i el sofre s'ha produït una reacció química i els àtoms s'han agrupat de manera diferent, aleshores no pots utilitzar els mètodes que utilitzaries normalment per separar el sofre i el ferro perquè ara aquestes substàncies s'han unit (3r ESO)*
- *No ho sé. Supose que el sulfur de ferro és una substància pura, per tant les dues primeres opcions queden descartades i la tercera no està prou especificada. (1r Batxillerat)*

La primera resposta mostra un desconeixement dels mètodes utilitzats en Química i, en concret, el que significa *escalfar un compost fins que es descomponga*. Malgrat aquesta manca de coneixements, explica correctament el que ha ocorregut: *s'ha produït una reacció química i els àtoms s'han agrupat de manera diferent*. Una situació similar s'aprecia en la segona resposta. Sap que s'ha produït una nova substància i per això descarta les opcions que suposen la separació dels components d'una mescla, però no té prou coneixements per entendre el que suposa la tercera possibilitat.

Per finalitzar el present apartat, presentem un estudi comparatiu dels grups experimentals i de control, en el que es mostren els aspectes més importants tractats. La gràfica 8.13 s'ha realitzat a partir de les dades exposades en les taules 8.1 a 8.12 i mostra en tots els casos, la capacitat dels estudiants per respondre correctament a una determinada qüestió.



Les gràfiques mostren una tendència molt clara respecte a la diferència de resultats entre els grups de control i els experimentals, apreciand-se sempre un percentatge superior de respostes correctes entre els grups que han seguit un ensenyament de caire constructivista per medi del programa d'activitats. Hem de ressenyar, però, que les últimes qüestions, referents a la conceptualització de la reacció química, han donat percentatges de respostes correctes més baixos, en especial entre els estudiants del grup experimental II. Així doncs, tot i que s'aprecia una tendència positiva, aquest factor ens fa reflexionar sobre la necessitat d'un tractament més profund al respecte.

8.3. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS RESPECTE DEL CONEIXEMENT EXPLICATIU ACONSEGUIT PELS ESTUDIANTS DELS GRUPS EXPERIMENTALS.

D'igual forma que es va fer amb els grups de control, s'ha demanat a alguns alumnes dels grups experimentals que participaren en entrevistes personals, estructurades davant de fenòmens químics, que tenen lloc al laboratori. Tots els alumnes participants cursaven 3r d'ESO en el moment de realitzar l'entrevista i no foren escollits atenent a cap tipus de raons específiques, excepte la seua disponibilitat per realitzar-la. El nombre d'alumnes entrevistats fou de 10. Les sessions foren individuals, com les dels alumnes de control i tingueren lloc al llarg dels darrers dies del curs 2001/2002, quan l'alumnat ja havia estudiat en tots els casos els temes corresponents a l'estructura de la matèria i els canvis químics.

Hem d'aclarir que, si bé els alumnes que havien mostrat dificultats importants durant l'any escolar no volgueren participar, també és cert que, alguns dels enquestats, havien suspès l'assignatura, de forma que, pel que fa als seus coneixements de la matèria de 3r d'ESO, la mostra de participants en la prova era prou variada. Tot i així les respostes foren riques en matisos i apreciacions, com veurem a continuació. Totes les explicacions dels alumnes foren gravades en cassette i després, transcrites per analitzar els seus comentaris. A més de donar explicacions, també se'ls demanà que feren dibuixos del que consideraven que havia ocorregut a nivell submicroscòpic en cadascuna de les experiències.

Com ja férem al capítol 4, hem estructurat els resultats de les entrevistes dels estudiants de control en quatre apartats, que especifiquem tot seguit:

- Representacions macroscòpiques dels estudiants sobre el terme *substància*.
- Representacions microscòpiques del concepte de *substància*, manifestades pels estudiants dels grups experimentals i superposició dels nivells de representació macroscòpica i microscòpica.
- Identificació entre mescla i compost a nivell macroscòpic i microscòpic
- Conceptualitzacions de la reacció química.

8.3.1. Representacions macroscòpiques dels estudiants sobre el terme “substància”.

La primera qüestió que es planteja en l'entrevista és similar a la que es va demanar al qüestionari escrit (qüestió 1, document 3), però ampliant la mostra d'objectes amb altres materials que s'utilitzen durant la mateixa:

Entrevistadora: Ací tens un seguit d'objectes: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, carbó actiu, aigua, vi, alcohol etílic, àcid clorhídric, aire, una pedra, la flama d'un ciri encès i la llum d'una llanterna.

De totes eixes coses, quina o quines consideres que poden ser una substància?

A diferència del que va ocórrer amb els alumnes del grups de control, els participants del grup experimental no es quedaven desconcertats amb la qüestió, sinó que donaven respostes que implicaven un coneixement mínim del concepte macroscòpic de substància. Hem d'esmentar també, com aspecte important que, cap dels alumnes que han participat en l'entrevista ha identificat entre material i substància, identificació que es produïa amb freqüència entre l'alumnat dels grups de control.

Exposem a continuació un estudi comparatiu de dues parelles de respostes d'estudiants, un dels grups de control i altre, dels experimentals. Començarem per l'anàlisi de les entrevistes d'Ana (3r BUP, grups de control) i Guillem (3r ESO, grup experimental), però abans, comentarem que Ana estava considerada pels professors com persona responsable i bona estudiant, amb una bona nota mitjana. Pel contrari, Guillem, tractava d'estudiar el mínim possible per preparar els exàmens, havia suspès varies assignatures al llarg del curs (entre elles la Física i Química) i, en el moment de fer l'entrevista es preparava per a recuperar alguna assignatura i no haver de repetir. Tenia al seu favor que prestava atenció durant les classes i solia fer els deures, tot i que resolva els exercicis sense pensar massa en ells, tractant d'acabar-los quan abans millor.

	Explicació alumna grups control		Explicació alumne grup experimental
1	Entrevistadora: De tots eixos materials, quin o quins	1	Entrevistadora: De tots eixos
2	consideres que poden ser una substància?	2	materials, quin o quins
3	Ana: El zinc en pols i el carbó. I ja està.	3	consideres que poden ser una
4	E: Per què eixos dos?	4	substància?
5	Ana: Perquè són elements. La resta són compostos.	5	Guillem: El carbó,... però, una
6	E: Aleshores, si hagueres d'explicar a un amic què és	6	substància simple o composta?
7	una substància, què li diries?	7	E: És igual, una substància.
8	Ana: No ho sé. Es que,... sé que és, però no sé	8	Guillem: El carbó, l'alcohol, l'àcid
9	explicar-ho. A més, crec que m'he equivocat. Torne	9	clorhídric, l'òxid de plom, el
10	a respondre a la primera pregunta, val? Una	10	bicarbonat, el zinc, l'aigua
11	substància són compostos, però,... això, els	11	destil·lada, el clorur sòdic, el
12	compostos. Aleshores, les substàncies seran el	12	sucre i la pedra. El foc... si el
13	sucre, bicarbonat, sal, aigua destil·lada i vi.	13	considerem com plasma, no, no
14	E: I podries dir-me una cosa que no siga substància?	14	és una substància.
15	Ana: Element?	15	E: I perquè creus que aquestes són
16	E: Què és un element?	16	substàncies?
17	Ana: Un element, o siga, el zinc, una cosa que no	17	Guillem: Perquè és un... no són
18	està mesclada amb altre element	18	mescles i estan formades per
19	E: A veure. No recorde si havies dit que el vi era una	19	distints elements... junts.
20	substància o no.	20	E: Quan dius element, a què et
21	Ana: Compost, sí, substància.	21	refereixes?
22	E: Saps de què està format?	22	Guillem: A una substància lo més
23	Ana: No. Bé, de carboni, perquè ve de la natura,	23	simple que hi ha, lo últim.
24	porta sucre, porta alcohol i portarà la substància		(Guillem, 3r ESO)
25	del raïm.		
	(Ana, 3r BUP)		

Com podem veure, l'alumna del grup de control comença indicant com substàncies, únicament les dues substàncies simples que s'han presentat entre els ítems. A més, les identifica com elements i aclareix que deixa fora els altres perquè són compostos (línies 6 i 7). Però en preguntar-li la definició de substància, dubta, canvia d'opinió i indica que les substàncies són els compostos (malgrat introduir entre ells el vi). Per veure si es tracta d'una distracció, l'entrevistadora torna a preguntar (línia 23) i Ana repeteix l'afirmació, afegint de què pensa que està format el vi i deixant veure que sap que és una mescla de varies coses. És a dir, per aquesta alumna, les substàncies són tots els materials excepte els elements.

Pel contrari, Guillem comença centrant la qüestió, en preguntar quin tipus de substàncies ha d'escollir (línies 5, 6 i 7). Tot seguit, indica els que considera que són substàncies, enumerant entre elles la pedra. Del context no podem saber si es tracta d'una errada involuntària o d'una manca de coneixement, per no saber-ne la composició, però no fa menció al vi o a l'aire, per exemple, que també estan entre els materials oferts. En preguntar-li per què considera que són substàncies (línies 17 i 18) no dona una definició directa, sinó que les oposa al concepte de mescla. A més, exclou el foc (línies 14 i 15), indicant que és un plasma i per això no el considera una substància. En resum, ha donat una resposta quasi correcta.

El següent exemple mostra les respostes de dos estudiants amb un perfil paregut, sense ser brillants, tenien totes les assignatures aprovades en el moment de fer l'entrevista i Anna estava convençuda que podria presentar-se en juny a l'examen de selectiu. Els textos fan referència a una de les respostes que més s'han repetit entre els estudiants dels grups de control: la d'aquells que consideren que una substància és tot allò que es pot veure o tocar.

	Explicació alumna grups control		Explicació alumne grup experimental
1	Anna: Una substància? Tot, no? Bueno,	1	Joan: l'alcohol, l'àcid clorhídric, l'aigua
2	menys l'aire, la llum i el foc.	2	destil·lada, el zinc,... sí, és substància
3	Entrevistadora: Per què?	3	simple,... el clorur sòdic, el bicarbonat, el
4	Anna: Perquè és manejable, es pot tocar... i	4	carbó, sucre, la pedra,... no. La pedra no,
5	ho veus	5	és una mescla... el vi i l'aire també
6	E: Imagina que has d'explicar a un amic què	6	Entrevistadora: Perquè dius que aquestes
7	és una substància. Què li diries?	7	són substàncies i les altres no?
8	Anna: Una cosa que... algo que es puga	8	Joan: perquè... el vi té alcohol i altres coses,
9	manejar, que es puga palpar, que es	9	ha de tindre altres coses que no sé,
10	veja....	10	perquè en xafar-lo amb els peus i totes
11	E: Saps que les partícules no es poden veure	11	les pells i els pinyols, alguna cosa s'ha de
12	al microscopi però, imagina que tinguérem	12	quedar,... l'aire perquè té oxigen, nitrogen
13	unes ulleres màgiques que ens permetera	13	i altres coses que no han reaccionat, el foc
14	veure-les partícules i amb elles mirem una	14	perquè no és res, no és material
15	substància. Què veuríem?	15	E: Imagina que treballes en un laboratori, et
16	Anna: Hem donat que són boletes juntes,	16	presenten una mostra i et demanen que
17	que són positius i negatius...	17	digues si es tracta o no d'una substància.
18	E: Pots fer un dibuix que ho represente?	18	Què faries?
19	Anna: Crec que és... estan units... és que no	19	Joan: Li apliquem mètodes físics i el
20	ho sé segur,... seria un al costat de l'altre.	20	descomponem... destil·lació, evaporació,
21	E: Creus que les partícules serien iguals,...	21	crystal·lització...
22	diferents?	22	E: Saps que les partícules no es poden veure
23	Anna: Positius i negatius.	23	al microscopi però, imagina que
24	E: I si amb les mateixes ulleres mirares una	24	tinguérem unes ulleres màgiques que ens
25	cosa que no siga una substància, què	25	permetera veure-les partícules i amb elles
26	veuries?	26	mirem una substància. Què veuríem?
27	Anna: També el mateix.	27	Joan: Simple o composta?
28	E: En eixe cas, en què es diferencien una	28	E: El que t'estimes més
29	substància d'una cosa que no ho és?	29	Joan: Veuria... partícules iguals. En una
30	Anna: No ho sé.	30	substància totes les molècules són iguals.
31	E: Val. Imagina que treballes en un	31	Cada redolí és un àtom i el conjunt de
32	laboratori, et presenten una mostra i et	32	redolins una molècula.
33	demanen que digues si es tracta o no d'una	33	E: I si amb les mateixes ulleres mirares una
34	substància. Què faries?	34	cosa que no siga una substància, què
35	Anna: No ho sé. Suppose que si es veu i	35	veuries?
36	això... si es veu la substància... ja ho saps.	36	Joan: Molècules diferents
	(Anna, 2n Batx)		(Joan, 3r ESO)

Anna afirma que són substàncies aquelles *que són manejables, es poden tocar...* i no pot fer cap tipus de representació microscòpica. Recorda, segurament, l'existència d'ions i per això suposa que hi haurà "boletes" positives i negatives, però no sap donar un nom a eixes boletes, com tampoc pot esmentar una cosa que no siga una substància. Per últim, es reafirma en la idea de substància com qualsevol cosa material, quan l'entrevistadora li pregunta si sabria què fer al laboratori per caracteritzar una substància i respon que *si es veu... ja ho saps* (línies 35 i 36).

Pel contrari, Joan contesta correctament a la qüestió. Fins i tot, quan indica que el zinc és una substància, afegeix que és una substància simple. A més, raona el motiu de que les altres no ho siguin. Sap alguns dels components que formen l'aire i no coneix els que formen el vi, però no suposa un problema per a ell, i raona que, en xafar el raï m alguna cosa més portarà (línies 8 a 14). També dona una descripció microscòpica correcta, en la qual no sols parla de partícules, sinó que utilitza correctament el terme molècula, tant en referir-se a la substància (molècules iguals), com a una cosa que no ho siga, és a dir, una mescla, a la que suposa amb molècules diferents.

Pel que fa a la identificació d'una substància al laboratori, la major part dels alumnes experimentals entrevistats han donat una resposta correcta o quasi correcta, explicitant alguna propietat específica i objectiva (per exemple la temperatura de fusió) per caracteritzar una substància. Si ens fixem en els exemples anteriors, Anna (2n Batx, grups de control) no aporta cap mètode, excepte el fet de veure o poder tocar la mostra, que, per a ella, ja indica que és una substància. Joan (3r ESO, experimental), en canvi, parla immediatament dels mètodes físics de separació de substàncies al laboratori. Malgrat tot, el llenguatge que utilitza no és massa correcte, perquè parla "d'aplicar" mètodes físics i de "descomposar", que sembla més apropiat per un compost. Aquest seria un aspecte que caldria millorar, perquè considerem que la utilització d'un llenguatge apropiat és fonamental per evitar errors.

Altres estudiants dels grups experimentals són més explícits en el discurs que fan per explicar com determinarien si es tracta d'una substància o una mescla:

P4: Si et donaren una mostra i hagueres de determinar si és o no una substància al laboratori, com ho faries?

	Explicació de dos alumnes dels grups de control		Explicació de dos alumnes dels grups experimentals
1 2 3 4 5 6 7	José Luis: Si em diuen de quins elements està compost... si no, primer l'escalfe, si es divideix en diferents temperatures de fusió, doncs, ja sabem que és una mescla, val? Aleshores, si té les mateixes propietats en tots els punts,... ja val? És això? (2n Batx)	1 2 3 4 5 6	Lidia: A veure... primer ho posaria a bullir i si veig que eix... gas, d'altres coses... sí, i si no ho puguera veure... no, millor. Ficaria un termòmetre dins i si veug que varia la temperatura mentre està bullint... és que està format per altres substàncies i pot ser que no siga. (3r ESO)
1 2 3 4 5	Ida: Intentar separar-la filtrant-la. Veure si està junt o no, per exemple aigua i arena diria que estan separades. Si no, hi ha altres formes, per exemple, cremant s'evapora un líquid.	1 2 3 4 5	David: Ho posaria a bullir o faria l'electròlisi, perquè si bulls i es queden més d'una... per exemple, si una cosa s'evapora i queden coses al fons, doncs això és una mescla i l'electròlisi no, perquè és per separar substàncies compostes. Seria bullir. (3r ESO)

La major part dels alumnes de control abunden en el mateix que ha dit Anna (2n Batx). La resposta de José Luis és la millor entre totes les ofertes pels estudiants de control. José Luis era un estudiant de tipus mitjà, que es presentà (i aprovà) en juny a l'examen de selectiu. Lidia (3r d'ESO grup experimental) havia suspès la Física i Química, mentre David (3r d'ESO grup experimental), havia aprovat amb un suficient.

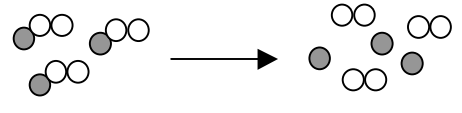
Es nota en la resposta de José Luis que té una idea del que està parlant, però també s'aprecia la dificultat per verbalitzar el seu pensament, de forma que, cal suposar el que realment vol dir, perquè parla de "*dividir en temperatures de fusió*", quan en realitat vol dir contrastar si el canvi d'estat es presenta a diferents temperatures. També s'aprecia com, més endavant, deixa la frase sense acabar: *si té les mateixes propietats en tots els punts...* suposem que voldrà dir que en eixe cas serà una substància i en cas contrari, una mescla, però sols podem suposar-ho.

Pel contrari, Lidia comença parlant de posar a bullir i veure eixir el gas, però se ho pensa millor, tal vegada perquè considera que no és un mètode prou exacte i, per assegurar-se, explica que posaria un termòmetre i es fixaria en la variació o no de la temperatura. També David enceta el discurs proposant dos mètodes, però recapacita i explica que l'electròlisi seria per separar els components d'un compost, de forma que sols es queda en l'explicació del mètode de separació de substàncies per cristal·litació. No és una resposta completa, però també indica un coneixement de la pregunta que se li ha fet.

8.3.2. Representacions microscòpiques de substància dels estudiants dels grups experimentals front a les dels grups de control.

Segons hem vist en capítols anteriors, els estudiants tenen certa tendència a transferir als àtoms les propietats del món macroscòpic, que és el que veuen. En el cas dels estudiants experimentals que han participat en les entrevistes, sols hem pogut apreciar tres ocasions en les que s'ha fet una identificació macro-micro. En la resta de casos, no s'ha donat cap d'elles.

Exposem a continuació dos exemples d'alumnes considerats bons estudiants, a més d'extravertits i participatius en classe. La transcripció correspon a la part d'entrevista corresponent a la descomposició tèrmica del sucre: Es posa sucre en un tub d'assaig, s'escalfa i es demana a l'alumne que explique el que està passant davant d'ell.

	Explicació alumna grup control		Explicació alumne grup experimental
1	Entrevistadora: Pots explicar el que està passant?	1	Entrevistadora: Pots explicar el que està passant?
2		2	
3	Cristina: És sucre s'està fonent, ara bull, fa olor a cremat, es crema molt, es fa negre, del sucre eix fum.	3	Andreu: Comença a escalfar-se el que hi havia dins del tub, un poc a fer-se líquid, després comença com a bullir i després es fa negre i després un gas que és menys dens que l'aire i que és blanc a la vista. El que queda dins fa olor a cremat, com a carbó, i dins queda una cosa entre groga i marró.
4		4	
5	E: Quin tipus de canvi creus que ha tingut lloc?	5	E: Quin tipus de canvi creus que ha tingut lloc?
6	Cristina: Això serien partícules molt menudes que formaven sacarosa i ara s'hauran evaporat, supose...	6	Andreu: Un canvi químic perquè... tot ha canviat molt, no havia tant de gas i encara que haguera pogut estar mesclat o dissolt en el sòlid eixe, tant de gas no crec que s'haguera pogut retindre. A més el color ha canviat molt, s'ha fet negre, l'olor també ha canviat, han eixit distints colors com groc, o negre, o marro, un gas blanc...
7		7	
8	E: Aleshores, penses que el procés que ha tingut lloc és una evaporació?	8	E: Vols tastar-lo a veure si la primera idea que has tingut era bona?
9	Cristina: Sí. Ha passat de sòlid a líquid i després, a gas.	9	Andreu: No, que té pinta de carbó
10	E: Recapitem un poc. Teníem sucre i ara tenim una cosa negra. Tasta-la.	10	E: És carbó, efectivament. A veure, teníem sucre i en escalfar s'han format carbó i un gas. Com és possible que el sucre es transforme així?
11	Cristina: No estarà bo. Està molt cremat... Fa gust a carbó!	11	Andreu: Perquè químicament està format per dos o més classes de molècules. Una seria per exemple el gas que s'ha després i l'altra, el carbó
12	E: Val. Hem posat al tub una substància, sucre, i ara ja no hi ha sucre, hi ha carbó i s'ha produït molt de fum. Pots explicar un poc més el que ha passat?	12	E: Podries fer un dibuix que ho represente?
13	Cristina: Supose que serà el carboni del sucre que, en cremar-lo es fa carbó. Ha canviat. Era sucre, ho has cremat i hi ha coses que s'han evaporat i han eixit. O siga, s'haurà anat també l'oxigen i ara queda carbó. Simplement s'ha transformat.	13	Andreu: Ací era una molècula formada per un gas i àtoms de carbó o molècules de carbó. Aleshores en escalfar s'han separat i han passat a formar dues substàncies distintes, una s'ha transformat en gas quan abans era sòlid, l'altra s'ha quedat en sòlid i ha canviat de color
14	E: Has corregut molt i no sé si t'he seguit. Has dit que ha hagut un canvi d'estat i tenim ara el mateix que abans?	14	E: Aleshores el gas ja el teníem abans?
15	Cristina: No, ara ja no és el mateix. És com quan cremes un tros de carn i ara ja no és igual és un tros de pedra, és carbó.... No, en eixe cas, és un procés químic.	15	Andreu: No, abans formava part... no, no era un gas era un altra substància en distintes característiques i ara s'han separat en dues substàncies totalment diferents
16	E: I on estava el gas abans de cremar?	16	E: Penses que el sucre és una substància simple o composta?
17	Cristina: El gas estava solidificat, estava dins i en escalfar-lo ha passat a gas.	17	Andreu: Composta, perquè han aparegut més d'un tipus de... substàncies. D'una han sorgit dos, com a mínim
18	E: Podries fer un dibuix que ho represente?	18	Andreu (3r ESO)
19	Cristina: No recorde com era la glucosa, però seran àtoms de carboni, hidrogen i oxigen. L'oxigen s'evapora, l'hidrogen s'evapora i queda el carboni.	19	
20	E: Tots els àtoms de carboni seran iguals?	20	
21	Cristina: Són iguals, però a lo millor, hi ha uns que no s'han cremat tant com els altres, sap el que vull dir? Si tots es queden exactament igual de cremats, sí, o siga teòricament són iguals, però en la pràctica, segur que hi ha algun que s'ha quedat a meitat camí.	21	
22	Cristina (2n Batx)	22	
23	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{Q} \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2 + \text{C(s)}$	23	
24		24	
25		25	
26		26	
27		27	
28		28	
29		29	
30		30	
31		31	
32		32	
33		33	
34		34	
35		35	
36		36	
37		37	
38		38	
39		39	
40		40	
41		41	
42		42	
43		43	
44		44	
45		45	
46		46	
47		47	
48		48	
49		49	

Cristina comença indicant que ha tingut lloc un canvi d'estat i, fent una identificació macro-micro, afirma que *les partícules molt menudes que formaven la sacarosa s'hauran evaporat* (línies 7 a 9). Està segura del que ha dit i, de fet, quan l'entrevistadora li pregunta obertament si es tracta d'una evaporació, torna a contestar el mateix que havia dit (línies 12 i

13). Sols després de fer-li en veu alta la reflexió del que ha passat (línies 14 i 15) i quan prova el carbó, canvia d'opinió i diu que ha tingut lloc un procés químic (línies 33 i 34). Tot seguit, per explicar l'aparició del fum considera que estava *solidificat en el sucre i, en escalfar-lo ha passat a gas* (línies 36 i 37). En l'últim paràgraf, ens ofereix altra identificació entre els nivells d'estudi macro i microscòpic, en considerar que, pot ser que no tots els àtoms s'hagen cremat igual (línies 44 a 49). Pel que fa a l'explicació microscòpica, no pot fer un dibuix raonable i, malgrat començar dibuixant àtoms, representa la segona part de la reacció utilitzant el model simbòlic i sense haver donat una explicació raonable del que ha succeït.

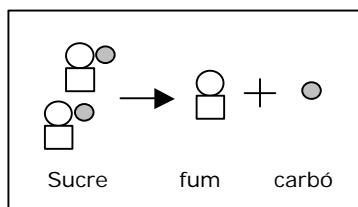
L'explicació d'Andreu és totalment distinta. En principi, verbalitza tot el que veu, introduint factors com la densitat o el color del fum i del producte de la reacció. L'observació de tots els canvis li fa suposar que ha tingut lloc un canvi químic i, a més, explica que no pot ser un canvi d'estat perquè tot el gas que ha eixit no podia estar dissolt (línies 12 a 16). És a dir, fa tot un seguit de raonaments abans de donar una resposta. Després, en l'explicació que fa a nivell de partícules, raona la necessitat de que el sucre siga una substància composta. Sí que comet una errada en dir que *"el sucre està format per dos o més classes de molècules. Una seria per exemple el gas que s'ha després i l'altra, el carbó"* (línies 27 a 30), però en veure el dibuix s'aprecia que és un error de nomenclatura i que ha dit molècula en compte de dir àtom, perquè la representació microscòpica és correcta, fins i tot en la conservació de la quantitat d'àtoms en el procés.

8.3.3. Diferenciació qualitativa entre mescla i compost a nivell macroscòpic i microscòpic en els estudiants dels grups experimentals.

La major part dels alumnes del grup experimental, tenen clar el concepte de substància, sabrien com identificar-ne una al laboratori i poden reconèixer-la a nivell microscòpic. Per tant, és d'esperar que també seran capaços de diferenciar una mescla d'un compost.

A continuació transcrivim dues entrevistes, corresponents a dues alumnes, considerades responsables pels seus professors. A més de comparar el tractament que donen a la mescla i el compost cadascuna de les estudiants, aprofitarem aquest cas per veure com, en el cas dels alumnes experimentals, segons van analitzant la resposta que donen, poden modificar els criteris inicials i, a diferència dels alumnes dels grups de control, la reflexió els dóna la capacitat de canviar el discurs i adaptar-lo a criteris més científics.

	Explicació alumna grup control		Explicació alumna grup experimental
1	Entrevistadora: Podries explicar el que està passant?	1	Entrevistadora: Podries explicar el que està passant?
2		2	Natàlia: Que en escalfar-lo ha passat a un altre estat i s'ha fet líquid i sembla que està canviant d'estat i canviant de color, no sé...
3	Andrea: Està canviant d'estat, de sòlid a líquid i ara a gas. Ara s'està cremant, dins tenim sucre pur, no sé... sucre cremat, està un poc socarrat. ...	3	
4		4	E: Es tracta, doncs d'un canvi d'estat?
5		5	Natàlia: Sí.
6		6	E: El fum que eix saps què és? Podries dir d'on eix?
7	E: Vols tastar-ho?	7	Natàlia: És caramel. Sucre cremat.
8		8	No és sucre! Ja no és sucre! Ara ja no és sucre, en cremar-lo ha canviat, ja no és el mateix.
9	Andrea: No, no és sucre. Ha hagut una reacció, no, una reacció tampoc. No sé a què sap. Pareix cendra...	9	<u>No és sols un canvi físic! També ha hagut una reacció... ja no és el mateix.</u>
10		10	E: Vols tastar-ho?
11		11	Natàlia: No.
12	E: Anem a veure. Hem posat sucre, hem escalfat. Ha eixit fum i ens ha quedat carbó. Pots explicar el que ha passat?	12	E: Per què? Si el que havies posat al tub era sucre no serà roí, no?
13		13	Natàlia: potser que sí, perquè si ha reaccionat s'ha convertit en altra cosa... pareix carbó o algo així.
14	Andrea: Una substància que té el sucre s'ha evaporat. Serà una barreja de substàncies i el que tinga el punt de fusió més baix serà el que s'ha evaporat i ha passat a gas i, lo altre, li farà falta més temperatura per passar a gas. I el carbó serà que una de les coses que forma el sucre és carbó.	14	E: A veure, tenies sucre, ha eixit molt de fum i ara dins del tub ja no tens sucre, ara hi ha carbó. Podries explicar el que ha passat?
15		15	Natàlia: Que era una mescla i en escalfar-lo, s'han separat les coses... els components que duia.
16	E: Aleshores, per a tu, el sucre és simple o compost?	16	E: Abans havies dit que el sucre era una substància o una mescla?
17		17	Natàlia: Una mescla, no, una substància,... no ho sé.
18	Andrea: Compost, perquè està format per varies coses i una d'elles és el carbó	18	E: Vols fer un dibuix que represente el que ha passat? A lo millor t'ajuda a aclarir-te.
19		19	Natàlia: Abans era... així, i açò era el fum que ha eixit, i ara ha quedat així...
20	E: Podries fer un dibuix que represente el que ha passat?	20	
21		21	
22	Andrea: No ho sé, no tinc ni idea de com és el sucre... estaran juntes... després s'hauran quedat algunes... el gas se'n va. Al principi hi haurà àtoms de carboni, d'hidrogen, no sé... tot això és la molècula de sucre. Però quan veus un granet hi ha moltes molècules. Després se'n anirien els gasos.	22	
23		23	
24	E: On estava el gas al principi?	24	
25		25	
26	Andrea: Dins, era un component que tenia el sucre, però estava en forma de sòlid. En escalfar-lo, després, passa de sòlid a líquid.	26	
27		27	
28	E: Aleshores, vols dir que, a banda de la reacció s'ha produït un canvi físic?	28	
29		29	
30	Andrea: Sí, clar, hi ha reaccions químiques que porten agents físics, o siga, una reacció física també.	30	
31	(Andrea, COU)	31	
32		32	
33		33	
34		34	
35		35	
36		36	
37		37	
38		38	
39		39	
40		40	E: Estàs dibuixant una sola partícula, hi haurà sols una o seran més?
41		41	Natàlia: No, seran moltes
42		42	E: Estàs dibuixant-les totes iguals...
43		43	Natàlia: Sí... no, no són iguals, hi haurà diferents... [dubta i dibuixa]... no. Jo crec que sí que són iguals! És què jo pense que serà una mescla, però... l'explicació no la sé...
44		44	E: Si fóra una mescla, quina explicació donaries, d'acord amb el que estàs dibuixant?
45		45	Natàlia: Si fóra una mescla, les partícules del sucre no serien totes iguals, encara que després passara a ser altres coses, hi hauria diferents classes de partícules... no. Serà una substància
46		46	E: I si és una substància serà simple o composta?
47		47	Natàlia: És una substància composta, perquè en escalfar-la han eixit dos coses diferents!
48		48	E: Ara ja estàs satisfeta en la teua explicació?
49		49	Natàlia: Sí, ara sí.
50		50	(Natàlia, 3r ESO)
51		51	
52		52	
53		53	
54		54	
55		55	
56		56	
57		57	



Començarem repassant l'entrevista d'Andrea. Podem veure en primer lloc el dubte inicial per decidir si es tracta d'un procés físic o químic. No arriba a cap conclusió i tampoc ho fa al final (línies 53 i 56), quan afirma que *hi ha reaccions químiques que porten agents físics també*.

Per tractar d'ajudar-la, l'entrevistadora li fa un resum del que ha passat i li demana que ho interprete (línies 13 a 16). L'explicació que dóna és que *el sucre és una barreja de substàncies, de les que s'evapora la que té el punt de fusió més baix* (línies 17 a 24). Tot seguit indica que el sucre és un compost i, per representar el procés microscòpic, dibuixa una molècula de la que s'estan separant alguns àtoms. Malgrat això, després abunda en la confusió entre mescla i compost quan diu que el gas abans estava dins del sucre, *era un component del sucre, que estava en forma de sòlid* (línies 45 a 47).

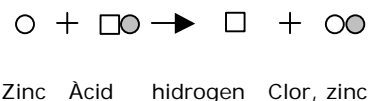
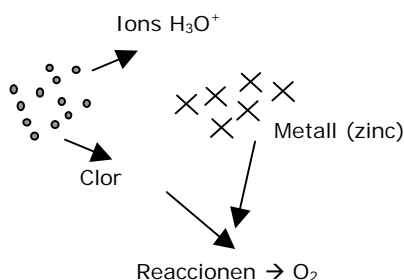
En l'entrevista de Natàlia podem apreciar la complexitat que suposa per un estudiant saber si un sistema material és una substància o una mescla. L'alumna ha anat reflexionant fins arribar a una explicació pràcticament correcta, malgrat no saber la composició del sucre. En la primera part de l'entrevista, fa referència a l'explicació del que ocorria davant d'ella en escalfar el sucre. En un primer moment explica que està canviant de color i canviant d'estat, però en sentir-se dir en veu alta que ha aparegut una substància nova que abans no hi era, reflexiona, canvia d'opinió i afirma que és un canvi químic. A més, en convidar-la a tastar el resultat de la reacció no vol fer-ho, malgrat provindre del sucre i, ens dóna l'explicació aplicant el concepte macroscòpic de reacció: *si ha reaccionat, s'ha convertit en altra cosa*, per tant, no ho prova perquè pot ser roí.

La segona part de l'entrevista fa referència a l'aspecte que ens ocupa en aquest apartat. Natàlia dubta entre afirmar si el sucre és una mescla o un compost, malgrat que, en un principi, s'inclina a pensar que és una mescla. Tracta de representar per medi d'un dibuix el que suposa que ha ocorregut i, per poder explicar el canvi substancial a nivell microscòpic, acaba suposant que el sucre ha de ser una substància composta. És a dir, en un primer moment dubta entre mescla i compost, però l'anàlisi del procés com canvi substancial i la representació microscòpica del procés la porta a determinar que el sucre ha de ser una substància composta.

8.3.4. Les representacions dels estudiants dels grups experimentals sobre la reacció química són de major qualitat que les dels estudiants dels grups de control.

Per comparar les respostes dels estudiants del grup de control i els experimentals sobre les reaccions químiques, utilitzarem la part de l'entrevista corresponent a la reacció de l'àcid clorhídric amb el zinc. Com exemple dels estudiants de control hem escollit la resposta d'Ivana, de 2n de Batxillerat, considerada pels professors com bona estudiant, a més d'intel·ligent. Mireia, de 3r d'ESO del grup experimental, era considerada bona estudiant pel seu treball, malgrat que li costava un esforç personal important.

	Alumna grup de control		Alumna grup experimental
1	Entrevistadora: Podries explicar el que ha passat?	1	Entrevistadora: Podries explicar el que ha passat?
2	Ivana: Que reacciona... l'àcid clorhídric amb el zinc,	2	ha passat?
3	perquè s'han format bombolles... això és que s'ha	3	Mireia1: En ajuntar-se han reaccionat i
4	format oxigen.	4	les partícules s'han organitzat de
5	E: I què penses que ha passat amb el zinc? Per què	5	diferent manera i s'ha fet altra cosa i
6	no es veu?	6	ha eixit fum...
7	Ivana: Està dissolt. L'àcid clorhídric és tan fort que,	7	E: Perquè dius que han reaccionat?
8	en posar un poc de zinc ha reaccionat, però...	8	Mireia: Perquè si els dos..., no pot ser un
9	desapareix... l'àcid és tan fort que en afegir un poc,	9	canvi d'estat perquè s'ha format altra
10	es desprèn oxigen i fa que ja no hi haja.	10	cosa que no és el mateix...
11	E: Aleshores, ja no hi ha zinc al tub?	11	E: On està el zinc que havíem posat?
12	Ivana: No sé. Home, algo ha d'haver, però s'ha	12	Mireia: Ja no està, o s'ha ajuntat en lo
13	convertit en altra cosa. És que l'àcid clorhídric és	13	altre... queda un poc... però havia
14	molt fort i han reaccionat i es desprèn oxigen.	14	més...
15	E: D'on creus que eix el fum?	15	E: D'on creus que eix el fum?
16	Ivana: Ha eixit en mesclar-lo amb el zinc	16	Mireia: Del zinc, perquè cada vegada que
17	E: I on estava abans?	17	eix fum queda menys zinc,...
18	Ivana: en l'àcid. Ha eixit en fer la reacció perquè es	18	E: Podries fer un dibuix que expliqui el
19	desprèn oxigen... i abans estava a l'aigua... no, a	19	que ha passat?
20	l'aire... no sé. Com és un àcid... hi ha ions H_3O^+ ,	20	Mireia: L'àcid clorhídric en ajuntar-lo
21	aleshores hi ha oxigen, perquè oxigen hi ha...	21	amb el zinc ha fet que canvie... que
22	E: Pots fer un dibuix del que ha passat?	22	passi a ser un fum que ha eixit i ja no
23		23	està i el que queda és àcid clorhídric.
24		24	[Pensa i dibuixa]...
25		25	
26		26	
27		27	
28		28	
29		29	
30		30	
31		31	
32		32	
33		33	
34		34	
35		35	
36	Ivana: És molt difícil... punts... i cada punt és zinc i	36	Es què, en ajuntar-lo es queda igual...
37	clor. Cada punt els àtoms de clor... hi haurà alguna	37	perquè si el zinc se'n va pel fum no
38	cosa més... àcid, ions H_3O^+ ... i el zinc... àtoms de	38	s'ajunta amb l'àcid clorhídric...
39	zinc, no sé...	39	E: Aleshores el que ha hagut és un canvi
40	No són iguals que els del clorhídric, estan formats	40	d'estat? El zinc, que és un metall, a
41	per elements diferents... cada creu és un àtom de	41	eixa temperatura passarà de sòlid a
42	zinc, de metall,... després s'ajunta tot i reaccionen	42	gas?
43	desprenent oxigen i... com l'àcid és tan fort, es	43	Mireia: No... faria falta més., perquè és
44	dissocia totalment... no sé.	44	un metall. No, no és un canvi d'estat.
	E: I què passa amb el zinc?		El gas que ha eixit pot ser del zinc...
			però no el zinc, igual s'ha ajuntat part
			del zinc amb l'àcid clorhídric i lo altre



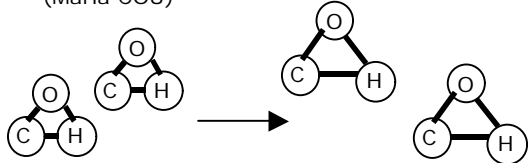
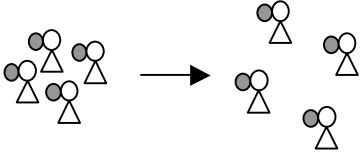
45	Ivana: Es desprèn en forma d'oxigen. No sé... en reaccionar amb el zinc es desprèn oxigen, però el zinc, es veu que es queda dins... en forma líquida... no sé. (Ivana, 2n Batx)	45	ha eixit. El gas pot ser clor... o també podria ser hidrogen. (Mireia, 3r ESO)
46		46	
47			
48			

El problema que es presenta a Ivana per poder explicar la reacció que transcorre davant d'ella és que, des del primer moment ha pensat que es formava oxigen, no ha pogut explicar d'on venia i ja no ha sabut rectificar. Ha tractat de cercar explicacions a partir dels ions H_3O^+ , en la consideració que l'àcid clorhídric és molt fort, però no ha pogut explicar-ho i al final no s'ha adonat que estava proposant una transmutació.

Mireia considera que s'ha produït una reacció i ho explica a partir del fum que ha eixit, és a dir, s'ha format una cosa que abans no hi era, al temps que observa que ha desaparegut el zinc. La primera explicació que dóna és un canvi d'estat del zinc, però després torna a pensar que *"si el zinc se'n va pel fum no s'ajunta amb l'àcid clorhídric"* (línies 33 a 35) i la representació microscòpica que fa del procés l'ajuda a recapacitar. No sap les fórmules, per tant no sap quines substàncies es formen, però fent ús de la conservació dels elements en el canvi presenta la hipòtesi del gas clor o hidrogen i un compost format per clor i zinc (argument macroscòpic) i conserva els àtoms de les substàncies inicials en els productes, però canviant la distribució, que seria l'argument atomista daltonià.

Podem ressaltar com fet important que, els estudiants que saben la fórmula l'han utilitzat per explicar les diferents experiències, però els que no, han posat una fórmula imaginària i a partir d'ella han determinat què es podria obtenir. En altres paraules, podem dir que els alumnes experimentals **es plantegen quin és el problema fonamental de la composició macroscòpica de les substàncies: trobar uns pocs elements dels quals estan formades totes les substàncies simples i compostes**. Així, ens podem confirmar en la hipòtesi que presentàvem respecte de que la idea macroscòpica d'element ha de ser un organitzador previ de la idea microscòpica d'element químic format per àtoms iguals. Per aquesta raó, considerem que és fonamental establir **una relació adequada entre els nivells de representació macroscòpica i microscòpica**.

Pel que fa al canvi físic, els estudiants dels grups experimentals també expliquen millor que els alumnes de control el que ha passat:

	Alumna grup de control		Alumna grup experimental
1	Entrevistadora: Que ha passat amb l'alcohol	1	Entrevistadora: Pots explicar el que ha
2	que t'havia posat a la mà?	2	passat amb l'alcohol que t'havia posat
3	Maria: Està evaporant-se.	3	a la mà?
4	E: Què vol dir que està evaporant-se?	4	Laia: S'ha evaporat. Estava en estat líquid
5	Maria: Que és una substància volàtil i que té gran	5	i ara està en estat gas. Suppose que ha
6	facilitat per transformar-se en gas.	6	agafat la calor que jo tenia a la mà i
7	E: On estarà ara?	7	l'ha utilitzat per separar les partícules
8	Maria: En l'ambient	8	d'alcohol i s'ha evaporat
9	E: I estarà igual que estava abans o haurà patit	9	E: I on està ara?
10	algun tipus de canvi?	10	Laia: A l'ambient
11	Maria: Els àtoms, les molècules estaran més	11	E: On estiga estarà igual que abans o
12	separades...	12	haurà canviat?
13	E: Pots fer un dibuix que ho represente?	13	Laia: Serà el mateix
14	Maria: He de dibuixar-ho tot? Pose com si	14	E: Pots fer un dibuix que ho represente?
15	tinguera sols un àtom de cada. En principi	15	Laia: Abans les partícules d'alcohol estaven
16	estan junts i quan bufes es separen i	16	més juntes i... era un líquid. Després,
17	cadascun es va a una punta. Les molècules no	17	en agafar el calor de la meua mà s'han
18	es separen, no hi ha cap tipus de canvi en	18	separat i s'ha fet un gas.
19	elles. (Maria COU)		(Laia, 3r ESO)
			

Dels exemples anteriors podem fer menció de l'ambigüitat de les paraules de Maria (COU). Sap que es tracta d'un procés d'evaporació i que, per tant, les partícules passaran a l'ambient. Explica el canvi d'estat a partir d'un canvi, però en un primer moment no aclareix si es tracta dels àtoms o de les molècules (línies 11 i 12). Més endavant sí que ho fa. No sap la fórmula i suposa que la molècula està formada per un àtom de cada classe: *Pose com si tinguera sols un àtom de cada. En principi estan junts (els àtoms) i quan bufes es separen (els àtoms) i cadascun es va a una punta. Les molècules no es separen, no hi ha cap tipus de canvi en elles* (línies 14 a 19). En aquesta frase sí que es veu ja que està referint-se a una dilatació de les molècules a causa de la separació dels àtoms que les formen. A més a més, en la representació gràfica dibuixa les molècules del gas un poc majors que les del líquid.

L'explicació de Laia (3r ESO) és més completa perquè, en principi, explica que ha hagut un canvi d'estat i, a més, explica quina és la causa (malgrat que no li ho havien preguntat). És cert que en cap moment utilitza la paraula àtom o molècula, però també és cert que parla de les partícules d'alcohol que s'ajunten o es separen i després fa un dibuix correcte de la situació. A més, dóna una relació entre l'aspecte microscòpic (*la calor que jo tenia a la mà i l'ha utilitzat per separar les partícules d'alcohol*) i el macroscòpic (*i s'ha evaporat*) (línies 16 a 18).

Per finalitzar el present apartat, entre les últimes conclusions que es poden destacar a partir de l'anàlisi detallat de les entrevistes, podem assenyalar les següents:

- En primer lloc, hem pogut constatar que els alumnes no es sentien sorpresos respecte de les qüestions a què havien de respondre, malgrat que, aquestes en concret, no s'havien treballat a classe. A més, hem pogut apreciar que tenien capacitat de reflexionar i canviar d'opinió d'acord amb el que raonaven. Considerem que aquesta capacitat de raonament és una mostra que ratifica la nostra hipòtesi respecte que el mètode d'aprenentatge per investigació orientada afavoreix la capacitat d'anàlisi i d'identificació dels aspectes fonamentals del problema.
- Hem pogut apreciar també que, en tots els casos, els estudiants consideraven els gasos tan materials com els sòlids i els líquids, raonament que els ha ajudat a contestar acuradament a les qüestions plantejades.
- A partir del concepte macroscòpic de substància, han estat capaços de diferenciar entre una substància i una mescla i, quan han dubtat, ho han fet donant raons que explicaven els seus dubtes.
- En general, han diferenciat els aspectes macroscòpics i microscòpics del problema que se'ls presentava, raonament que els ha facilitat comprendre i donar una explicació raonada del que estava succeint.
- Una conseqüència de la manca de comprensió del concepte de substància entre els alumnes dels grups de control era la identificació que es produïa entre els conceptes de mescla i compost. Hem pogut comprovar que, el fet de distingir ambdós conceptes, els ajuda a identificar la reacció química com un procés de canvi substancial limitat a les relacions entre els elements que formen els reactius i els productes.
- Per últim hem pogut apreciar que, expressar el seu pensament mitjançant dibuixos, els ajuda a "pensar en àtoms" quan estan interpretant els canvis que se'ls presenta.

8.4. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS DEL QÜESTIONARI SOBRE ACTITUDS ENVERS LA CIÈNCIA, OBTINGUTS AMB ELS GRUPS EXPERIMENTALS.

Després de comprovar que els estudiants experimentals milloren la comprensió de conceptes respecte dels grups de control, així com la capacitat de verbalització i raonament explicatiu, sols queda analitzar si el mètode de treball afavoreix també les actituds positives, és a dir, si els estudiants estan satisfets en la forma i l'ambient en què treballen. Com

recordarem, el qüestionari del document 16 tenia com objectiu conèixer l'opinió de l'alumnat dels grups experimentals sobre la metodologia utilitzada a les classes de Química.

S'han analitzat un total de 87 qüestionaris d'estudiants dels grups experimentals i no s'han trobat diferències entre les respostes del grup experimental I i grup experimental II, raó per la qual es mostren tots els resultats unificats. Recordarem que el qüestionari estava format per 16 afirmacions, de les que havien d'indicar el grau d'acord amb cadascuna d'elles. Aquestes afirmacions estaven dividides en tres grups, que feien referència als continguts treballats, a la forma de treballar a l'aula i a la satisfacció amb què s'ha treballat. Analitzarem cadascun dels apartats per separat, després de recordar la qüestió que es plantejava:

DOCUMENT 16

El present qüestionari és anònim i pretén fer una reflexió sobre el funcionament de la classe de Física i Química al llarg del curs passat, amb la finalitat de modificar allò que considerem convenient en el pròxim curs. Per favor, llegeix cadascuna de les afirmacions i puntuales de 0 a 10, segons la següent escala:

Totalment d'acord.... de 9 a 10

D'acord..... de 7 a 8

Indiferent de 5 a 6

En desacord de 3 a 4

Totalment en desacord de 0 a 2

Per tal de facilitar l'anàlisi, hem separat les qüestions en tres grups, segons l'aspecte en particular que s'analitza en cada cas. Considerarem que són positives aquelles respostes que han donat els estudiants i estan dins de les categories *d'acord* i *molt d'acord*.

RESPECTE DELS CONTINGUTS TREBALLATS:				
1. La quantitat de continguts ha estat adequada.....				
2. Els objectius estaven clars (sabíem per a què ens serviria cadascun)				
3. Quan s'introdueixen en conceptes nous es relacionaven amb els que ja es coneixien.....				
4. Generalment he comprés els conceptes				
	% Ítem 1 N=87	% Ítem 2 N=87	% Ítem 3 N=87	% Ítem 4 N=87
Totalment d'acord	63'2	58'6	56'3	66'7
D'acord	33'3	31'0	37'9	24'1
Indiferent	2'3	6'9	3'4	3'4
En desacord	0'0	2'3	1'1	4'6
Totalment en desacord	1'1	1'1	1'1	1'1

Taula 8.13. Grau d'acord dels estudiants experimentals respecte dels continguts treballats

Com mostra la taula 8.13, una majoria significativa, de més de la meitat en tots els casos, està totalment d'acord respecte de la quantitat de continguts estudiada al llarg del curs, a més que consideren que comprenien els conceptes segons s'anaven introduint, al temps que sabien en cada cas per a què servien. Aquestes respostes donen suport a la hipòtesi que presentem sobre el grau de compromís dels estudiants amb aquest model d'ensenyament: no sols aprenen més continguts conceptuals, sinó que estan d'acord i satisfets amb el que aprenen.

Passem tot seguit a analitzar els aspectes que fan referència a la forma de treballar a l'aula. Entre aquestes qüestions hi ha algunes que plantegen la mateixa qüestió des dos punts de vista contradictoris, de forma que ens ajudaran a veure si els estudiants són coherents en les respostes.

RESPECTE DE LA FORMA DE TREBALLAR A L'AULA						
1.	Amb aquest mètode me resulta fàcil atendre i treballar en classe					
2.	He après a treballar d'una forma que abans no coneixia					
3.	M'agrada que el professor expliqui en classe i sols de quan en quan pose algun exemple per a que el resolen els alumnes.....					
4.	M'agrada que el professor pose activitats continuament en classe per treballar en grup					
5.	M'agrada més treballar sol que en grup.....					
6.	El mètode afavoreix la participació en classe					
	% Ítem 1 N=87	% Ítem 2 N=87	% Ítem 3 N=87	% Ítem 4 N=87	% Ítem 5 N=87	% Ítem 6 N=87
Totalment d'acord	58'6	35'6	3'4	42'5	20'7	51'7
D'acord	31'0	42'5	14'9	28'7	25'3	37'9
Indiferent	4'6	10'3	16'1	20'7	23'0	5'7
En desacord	3'4	2'3	20'7	5'7	9'2	4'6
Totalment en desacord	2'3	9'2	44'8	2'3	21'8	0'0

Taula 8.14. Grau d'acord dels estudiants experimentals respecte de la forma de treballar a l'aula

El primer aspecte sobre el que hem de fer menció és que, més de la meitat dels adolescents, consideren que el mètode els ajuda a atendre i treballar en classe. En concret, es tracta d'un 89'6% d'estudiants que estan d'acord i totalment d'acord, percentatge que

considerem molt positiu, sobre tot si tenim en compte que no es tracta de respostes de professionals que estan desenvolupant un treball, sinó d'alumnes que estan participant a una classe.

Altre factor a mencionar és la forma en què els percentatges d'acord s'inverteixen als ítems 3 i 4. En el 3, que apunta a la possibilitat de que el professor explique la major part del temps, els graus d'acord són molt baixos, mentre en el 4, que considera que la major part del treball siga realitzat en grup tornen a ésser elevats. Per últim, es pot constatar també que els hàbits adquirits al llarg de molts anys d'ensenyament convencional són molt difícils de canviar. Malgrat que les respostes als anteriors ítems ens fan suposar que es troben a gust amb aquesta forma de treballar i que, en l'ítem 6, es veu com un 89'6 % considera que el mètode afavoreix la participació en classe, en l'ítem 5 s'aprecia que, els estudiants que estan d'acord i totalment d'acord són un 46%, és a dir, quasi la meitat dels estudiants, prefereixen treballar sols. Hem d'esmentar que és un resultat que ens ha sorprès, però que ressenyem com mostra de les dificultats que continuen mostrant-se.

Finalment, analitzarem els resultats obtinguts respecte de la satisfacció amb que s'ha treballat.

RESPECTE A LA SATISFACCIÓ AMB QUÈ S'HA TREBALLAT						
1.	M'ha ajudat a relacionar-me més amb els companys					
2.	Crec que hauria d'haver menys hores de classe d'aquesta matèria a la setmana.....					
3.	Mai tinc ganes que arribe l'hora de classe d'aquesta matèria.....					
4.	Les classes d'aquesta matèria han aconseguit atraure el meu interès.....					
5.	En classe ha hagut un clima de confiança					
6.	En classe ha hagut un clima de cooperació.....					
	% Ítem 1 N=87	% Ítem 2 N=87	% Ítem 3 N=87	% Ítem 4 N=87	% Ítem 5 N=87	% Ítem 6 N=87
Totalment d'acord	40'2	9'2	4'6	33'3	57'5	54'0
D'acord	29'9	9'2	9'2	32'2	27'6	26'4
Indiferent	19'5	31'0	41'4	28'7	9'2	14'9
En desacord	3'4	20'7	25'3	3'4	3'4	1'1
Totalment en desacord	6'9	29'9	19'5	2'3	2'3	3'4

Taula 8.15. Grau d'acord dels estudiants experimentals respecte de la satisfacció amb què s'ha treballat.

D'aquest apartat podem assenyalar que, a més d'aprendre conceptes, el mètode d'ensenyament ajuda a relacionar-se amb els companys, creant en classe un clima de confiança i cooperació, segons els percentatges d'acord que es poden veure a la taula 8.15. També cal destacar que sols una mínima part d'estudiants afirmen que no tenen ganes que arribe l'hora de classe de física i Química (sols un 13'8 estan d'acord o totalment d'acord amb aquesta afirmació) mentre que, pel contrari, un 65'5 % d'estudiants consideren que la matèria ha atret el seu interès.

En definitiva, una vegada analitzats els resultats del qüestionari, per totes les raons que acabem d'esmentar, considerem que es corrobora la hipòtesi que presentàvem al principi de la segona part d'aquest treball respecte què utilitzant el mètode d'ensenyament de canvi conceptual, procedimental i actitudinal basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada, els estudiants s'impliquen activament en el procés d'ensenyament, de forma que milloren les seues actituds envers la Química i el seu aprenentatge.

9

CONCLUSIONS I PERSPECTIVES.

Un dels camps als que s'ha donat gran importància els darrers anys per part dels investigadors en Didàctica de les Ciències, és el que fa referència als problemes que es presenten a l'alumnat que s'inicia en l'estudi de la Química per aconseguir la comprensió dels canvis químics. Segons el nostre parer, aquest és un problema al que encara no s'han donat solucions significatives i és per això que hem centrat la present investigació en la recerca de solucions.

En la primera part del treball hem tractat de posar de manifest els trets característics que posen de manifest les mancances de l'ensenyament tradicional respecte dels conceptes de substància (simple i composta) i mescla, així com pel que fa a la comprensió de les reaccions químiques com canvis substancials. Al propi temps hem fet notar com aquestes mancances influeixen notablement en forma de problemes entre l'alumnat, que es tradueixen en la manca de comprensió dels conceptes de substància, compost i reacció química.

La segona part s'ha dedicat a fer una proposta fonamentada per incorporar a les classes de Física i Química uns programes d'activitats, en els que el fil conductor que desenvolupa els continguts té en compte els problemes que es resolgueren històricament, considerant que aquesta, serà una ferramenta potent que potenciarà l'aprenentatge. A continuació hem experimentat amb els esmentats programes d'activitats per contrastar-ne l'eficàcia en l'aprenentatge i canvi d'actituds de l'alumnat.

Tot el treball s'insereix en una línia d'investigació que proposa la construcció d'un cos coherent de coneixements sobre la didàctica de les ciències experimentals i recull les aportacions de les orientacions constructivistes concretades en el model de canvi conceptual, metodològic i actitudinal, que potència la incorporació dels aspectes socials de la ciència i el

tractament de les relacions entre la ciència, la tècnica la societat i el medi ambient, així com els aspectes metodològics, que habitualment, són ignorats en l'ensenyament convencional.

Recordem que, les dues hipòtesis que hem presentat en aquest treball, són:

- **H1: Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat tenen serioses dificultats en l'aprenentatge de conceptes bàsics de Química, com substància (simple i composta) i canvi químic perquè, entre d'altres raons, l'ensenyament convencional presenta deficiències didàctiques de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i actitudinal, per no tindre en compte els resultats actuals de la recerca en Didàctica de la Química.**
- **H2: Els estudiants d'Educació Secundària i Batxillerat que participen en un procés d'ensenyament de Química basat en el model d'aprenentatge per investigació orientada al voltant de situacions problemàtiques d'interès, aconseguiran aprenentatges més significatius dels conceptes bàsics (substància, substància simple i composta i canvi químic), al temps que s'implicaran més activament en aquest procés, de forma que milloraran les seues actituds envers la Química i el seu aprenentatge.**

Per fonamentar la primera hipòtesi, hem desenvolupat un estudi històric en el què s'han resseguit els problemes a què va haver de fer front la Química, abans de constituir-se en una ciència moderna. Hem partit de la hipòtesi de l'existència d'un cert paral·lelisme entre els problemes sorgits en l'evolució històrica de les teories científiques i els obstacles epistemològics a que han de fer front els estudiants. Així, hem tractat d'acostar-nos als problemes reals que s'hagueren de resoldre per arribar al coneixement de l'estructura de la matèria, segons avui l'entendem, i extraure'n similituds amb les dificultats dels estudiants.

En aquest sentit, s'ha recordat que la hipòtesi atòmica donà una explicació microscòpica al comportament químic (macroscòpic) de les substàncies i hem plantejat la dificultat que suposa als estudiants arribar a establir aquestes relacions entre els dos nivells, macroscòpic i microscòpic, d'interpretació conceptual dels canvis químics. Considerem que establir aquestes relacions significa vèncer un conjunt d'obstacles a afegir a altres dificultats que es presenten en l'estudi de la Química.

La fonamentació de la segona hipòtesi ha consistit en l'estudi de la possibilitat de transformar l'ensenyament-aprenentatge per transmissió i recepció dels coneixements científics per un procés basat en l'aprenentatge col·lectiu, en el qual el professor és un

mediador entre l'aprenent i la ciència, i que es posa en pràctica a partir d'un programa d'activitats que ajudarà a desenvolupar els objectius i continguts del currículum.

Per verificar les hipòtesis, hem efectuat una contrastació detallada de cadascuna de les conseqüències derivades de les mateixes, per a la qual cosa s'ha elaborat un disseny múltiple, convergent i variat, dirigit, d'una banda, a confirmar les prediccions inicials respecte als problemes de l'alumnat per a la comprensió dels conceptes que ens ocupen, i d'altra, a la poca importància que el professorat i els llibres de text donen als aspectes que nosaltres considerem fonamentals. Tot seguit, utilitzant dissenys similars, hem mostrat com l'aprenentatge i les actituds dels alumnes milloren notablement amb la utilització dels programes d'activitats que proposem. Les conclusions a què hem arribat en finalitzar aquest procés, s'ofereixen a continuació.

9.1. CONCLUSIONS FINALS DE LA RECERCA

I.- L'ensenyament convencional no té en compte els resultats de la recerca, de forma que l'alumnat, fins i tot quan acaba els seus estudis, té greus problemes per respondre qüestions senzilles referents a aspectes bàsics de Química, més en concret:

1.- Els estudiants d'ensenyament Secundari Obligatori, C.O.U. i Batxillerat, tenen greus problemes per comprendre el significat de *substància química*, donant-li més bé el significat d'allò que es pot tocar, olorar, guardar en un recipient,... de manera que l'identifiquen amb material, producte o cosa, és a dir, en general es produeix una associació incorrecta, des del punt de vista químic, entre material i substància.

Corroborant la nostra hipòtesi, un percentatge molt elevat d'alumnes identifiquen com substància qualsevol producte. De fet, és important recordar que, el 70'5% d'alumnes, en ser preguntats sobre quins materials d'una llista estan formats per una única substància, identifiquen material i substància i responen que l'aigua i granit, mentre no ho són la llum i ona de ràdio, perquè els primers *"són els sòlids o líquids, no els que no podem sentir amb el tacte"*.

Una de les raons per les quals no saben què és una substància és que no coneixen la definició procedimental i, per tant, no tenen criteris per caracteritzar-la a nivell macroscòpic. De fet, un 84% de l'alumnat sotmès a enquesta no fa cap referència fonamentada davant la qüestió de si un producte determinat és una substància o, pel contrari, es tracta d'una

mescla. La resposta més general a la qüestió respecte a si la naftalina és una substància o una mescla és *"descompondre-la utilitzant utensilis químics: embuts, filtres, etc."*, és a dir, volen fer ús d'un seguit de nocions vagues i termes científics que recorden després d'anys d'estudi, però sense que se'ls haja familiaritzat mínimament amb el concepte de substància com sistema material (material, cos, etc.), que té un conjunt de propietats característiques invariables.

De la mateixa forma, tampoc tenen criteris microscòpics coherents amb una visió atomista de la matèria per determinar quan es tracta d'una substància o d'una mescla. De fet, en les respostes que donen es pot apreciar com, un 69'3% d'alumnes redueixen la substància a una partícula, és a dir, no tenen una imatge de la substància com un conjunt de moltes partícules totes iguals i superposen els nivells macroscòpic i microscòpic, confonent substància i àtom.

2.- La segona conclusió que s'ha fet apreciable entre l'alumnat és conseqüència de l'ambigüitat conceptual del terme substància i consisteix en la identificació del concepte de compost amb el de mescla, basant-se en que ambdós estan formats per més d'un element.

Així, en un primer nivell d'interpretació, el coneixement ordinari confon substància amb material (totes les substàncies són mescles). En un segon nivell de descripció s'entén que sols són substàncies els elements, de manera que, el raonament que se'n deriva, és que les substàncies compostes o compostos entren en la mateixa categoria que les mescles, és a dir, associen els conceptes de mescla i compost. De fet, quan se'ls demana que classifiquen entre mescla i compost, més de la meitat de les respostes van en el sentit d'igualar ambdós conceptes, com per exemple: *"Una mescla és el compost format per dos o més substàncies compostes"* o *"una mescla és aquella cosa formada per dues substàncies, com sal comú, el bicarbonat sòdic o la llet"*. Igualment consideren un compost com *"una substància formada per més d'una cosa, com aire, aigua o vi"*.

També a nivell microscòpic es produeix la mateixa identificació entre mescla i compost, de manera que s'ha vist que, aproximadament la meitat dels alumnes (entre el 46 i el 62% segons els diferents grups), entenen que sempre que hi ha dues classes diferents d'elements es tracta d'un compost o d'una mescla indistintament, sense tindre en compte si els àtoms estan units formant un compost, o separats perquè són els constituents d'una mescla. De fet, els propis estudiants ho fan notar en les explicacions que donen a les diferents respostes: *"Jo crec que són una mescla les caixes B i D, perquè B són àtoms solts i en eixa caixa hi ha una barreja d'àtoms diferents. En D són partícules diatòmiques formades per àtoms de diferents elements, són mescles"*.

Per últim, quan tracten d'expressar el que ha passat en un procés determinat per medi de dibuixos, no donaran importància al nombre d'àtoms que participen en la reacció, obtenint aleatòriament més o menys dels que havien inicialment.

3.- La tercera dificultat d'aprenentatge que hem observat en l'alumnat que ha participat en l'estudi és la identificació entre els conceptes de *substància pura* i *element*. Com ja hem dit anteriorment, per a la majoria (71'4%), tots els materials són mescles, de manera que identifiquen entre material i substància, i classifiquen com substància tot allò que és observable d'alguna manera. En canvi, quan parlen de *substància pura* consideren que és allò que no té cap tipus de mescla i la identifiquen amb partícules formades per una sola classe d'àtoms, és a dir, amb la idea d'element químic (69'3%). Així, el concepte de compost queda fora de la categoria de substància. En aquest cas, quan se'ls demana directament que classifiquen un seguit de productes entre substàncies i mescles, identifiquen com substàncies els elements químics, i els compostos esdevenen mescles (en percentatges que varien entre el 59% i el 86%).

4.- La conseqüència immediata (i molt important) que se'n deriva de no discriminar entre una mescla i un compost és que no sàpiguen distingir si ha tingut lloc un *canvi físic* o si, pel contrari, s'ha produït un *procés químic* entre les substàncies que hem mesclat, apareixent una nova substància diferent de les anteriors.

Per poder comprendre els canvis químics hem de reprendre el concepte macroscòpic de substància. Si no es té assolit i, pel contrari, sols es té una idea ambigua, segons la qual s'assimilen substància i material, es tractarà de diferenciar entre un canvi físic i un químic en base a alguna qualitat observable no massa significativa. Açò succeeix, per exemple, en la qüestió en la que es forma sulfur de ferro en fer reaccionar el sofre i el ferro i es demana que raonen com es podria separar el sofre del ferro. Dos de cada tres alumnes (66'9%) explica que utilitzaria l'imant o dissoldria, no havent trobat diferències significatives entre les respostes donades en els diferents grups. A més a més, en les respostes s'observa que són conscients del que afirmen en afegir en les explicacions frases com la següent: "*dissoldria, perquè el ferro és una substància difícil de dissoldre, doncs, si dissolem el sofre ens quedarà el ferro en pols que el podrem obtenir per filtració*".

La conclusió general que hem extret sobre els models mentals dels estudiants respecte a la composició dels materials que ens envolten, se'n deriva fonamentalment d'idees de sentit comú. Segons aquests models de pensament, tots els materials que es presenten a la natura

són considerats com mesclades (o "substàncies", segons la seua forma de pensar), que estan formades per altres substàncies, més simples o més pures, que són els elements. En definitiva, després d'analitzar els resultats obtinguts en els diferents dissenys, podem concloure que s'han confirmat les conseqüències contrastables que ens han anat guiant en el desenvolupament de la hipòtesi que plantejarem a l'inici d'aquest treball, referent a les dificultats d'aprenentatge que es presenten a l'alumnat que s'inicia en l'estudi de la química i que es tradueixen en la confusió entre els conceptes de material i substància, mescla i compost químic, substància i element químic i, per últim, entre canvi físic i procés químic.

II.- També entre el professorat es presenten dificultats conceptuals i epistemològiques quan a la comprensió del significat dels conceptes de substància i canvi químic. Els llibres de text mostren els mateixos problemes que es fan patents entre el professorat, situació que no és estranya si tenim en compte que estan escrits pels mateixos professors i són l'eina més emprada a l'aula. A mena de conclusió general ressaltarem que, en principi, considerem que és lògic que el professorat no es plantege el tema que estem analitzant com resposta a la qüestió "*què es conserva en els canvis químics*", perquè això implicaria tindre clar que, en el model de representació macroscòpica (que és el context en el que es planteja el tema a desenvolupar), la idea de substància és un concepte estructurant i necessari per establir els diferents mètodes de separació. Més concret, hem observat els següents aspectes:

5.- No es dóna importància a la definició operacional (macroscòpica) de substància. En molts casos, s'identifica la substància amb la idea general i ambigua de material. De fet més d'un 95% del professorat enquestat (N= 88), no considera important donar una definició macroscòpica de substància en l'estudi dels sistemes materials en 3r d'ESO, al temps que el 58'7% dels 109 llibres de text analitzats, no introdueix aquesta definició. Açò és així perquè, en general, el professorat no presenta el problema que es vol resoldre (que es possible explicar la diversitat dels materials amb una mateixa estructura (model teòric). És a dir, l'ensenyament obvia completament el model macroscòpic, però tracta de donar-li solucions amb un model atòmic (conceptual microscòpic), que és el que realment es valora. S'entén així que, quan s'introdueixen per primera vegada els coneixements químics (o qualsevol altres), es fa d'una forma en la que no sols no es tenen en compte els coneixements inicials dels estudiants per partir d'ells, sinó que, a més, es donen respostes a problemes que prèviament no s'han presentat, en una mena de presentació afàsica, amb uns arguments finals que no responen ni deixen entendre el principi d'on s'ha partit, de forma que no es produeix una interacció entre els fets observables i els models teòrics que es pretén ensenyar (Albanese et al 1997). Açò pot explicar que els aprenents no entenguen moltes de les proposicions que els

professors expressem directament, i que consideren les classes de Física i Química d'una forma totalment descontextualitzada i aliena a la vida diària.

6.- Una conseqüència de l'anterior identificació conceptual és la confusió entre la substància composta (el compost) i la mescla de substàncies, tant a nivell macro com microscòpic. Aquesta dificultat pot explicar-se a partir del fet que, més d'un 90% dels llibres de text, no exposen les diferències macroscòpiques entre mescla i compost, al temps que més d'un 95% de professors no considera important explicar-les. També hem detectat dificultats importants per comprendre el concepte de substància i per entendre que no hi ha "substàncies impures", sinó mescles de substàncies, malgrat que el terme substància s'utilitza habitualment amb l'accepció d'ésser un sistema material que posseeix en molta menor quantitat altres substàncies, considerades com impureses.

7.- No s'introdueix el concepte d'element químic a nivell macroscòpic. Com hem vist, un 85'7% del professorat (N = 42) que ha escrit una redacció no ha donat la definició d'element en aquest nivell de representació, al temps que un 96'9% dels llibres tampoc ho tenia en compte. Així, sembla que l'element és una "substància pura" a partir de la qual es formen altres més complexes. No s'especifica que no és el mateix parlar d'element químic que de substància simple o, al menys, no s'aclareix que, en un primer nivell educatiu, l'element es pot reduir al concepte de substància simple (encara que els problemes amb aquesta relació es presentaran més endavant).

8.- En general, entre el professorat es produeix certa superposició entre els dos nivells de representació, macroscòpica i microscòpica, que es pot apreciar tant quan es parla de substàncies, com en referir-se als canvis químics. Més del 87% del professorat enquestat no indica que l'esquema extret d'un llibre, que es presentava (Q4 document 8) no diferenciava entre el nivell macroscòpic i microscòpic, al temps que, més d'un 38% dels professors que han redactat el tema efectuava alguna identificació entre els dos nivells d'estudi i un 93'6% dels llibres no delimitava el camp de validesa dels nivells d'estudi macro i micro per evitar que s'extrapolaren les propietats de les substàncies a les de les partícules.

9.- El professorat centra el discurs en el nivell de representació microscòpica, deixant de banda els aspectes macroscòpics de la qüestió, de forma que es veuen les substàncies i els canvis químics des d'aquesta única perspectiva, sense tindre en compte la referència macroscòpica dels fenòmens que s'intenta explicar amb la teoria. Molt possiblement el professorat considere que el nivell macroscòpic és una "teoria antiga" (Lavoisier) i que la que

val és la teoria atòmica. Així, no tenen en compte que, primer, cal comprendre el canvi químic com canvi substancial, abans d'interpretar-lo en el nivell microscòpic de reacció. En general, és possible apreciar un model mental sobre l'estructura dels materials, que es caracteritza per ser una mena d'hibridació dels models històrics macroscòpic i microscòpic, en la que es dóna relleu al model microscòpic daltonià que és el que més es domina i valora.

10.- En general no es tenen en compte referències històriques que ajuden a l'estudiant a situar-se davant el problema i, fins i tot, a oferir-li solucions. Per posar un exemple, el 82'6% dels llibres de text analitzats no plantejaven la hipòtesi atòmica de Dalton com ferramenta per explicar les propietats de les substàncies, relacionant-les amb les partícules que les formen. Suposem que la raó d'aquesta manca d'informació és que no es tenen coneixements d'història i filosofia de la ciència, sinó que s'han après un conjunt de conceptes, lleis i teories que s'apliquen i s'accepten com veritats inqüestionables.

En definitiva, molts dels problemes de l'aprenentatge en aquest domini, poden derivar-se del fet que l'ensenyament proporciona una introducció microscòpica dels canvis químics, sense tindre en compte els aspectes macroscòpics dels processos, ni la relació existent entre ells, de manera que no es presta prou atenció al concepte de substància, quan en realitat és un concepte estructurant del qual se'n deriven tots els demés i sense el qual és difícil comprendre els conceptes de substància simple, substància composta i mescla, al temps que tampoc es pot diferenciar entre procés físic i procés químic.

III.- Es considera que ha estat possible millorar l'ensenyament convencional, aplicant a les aules de Secundària i Batxillerat un currículum de l'estudi dels sistemes materials i les reaccions químiques com canvis substancials, basat en l'anàlisi del desenvolupament històric d'aquests conceptes i en els models de canvi conceptual, metodològic i actitudinal. Les estratègies d'ensenyament proposades s'han basat en la utilització de programes d'activitats, que tenen en compte els condicionants que ja hem esmentat, de forma que, per medi d'ells, s'aconsegueix millorar notablement l'aprenentatge, com ho mostren els resultats obtinguts amb grups d'estudiants experimentals, dels que destacarem els següents:

11.- Els alumnes dels grups experimentals entenen millor que els alumnes de control el concepte macro i microscòpic de substància química. Més en concret, seran capaços de diferenciar l'aspecte macroscòpic del microscòpic, entenent que aquest s'utilitza com un model per explicar aquell. Respecte a la classificació dels materials en substàncies i mescles,

millora des d'un 19'0% dels estudiants de control al 60'8 i 81'6% dels estudiants dels grups experimentals II i I, respectivament. També augmenta la capacitat per determinar si una mostra determinada és una substància o una mescla, des del 15'5% d'alumnes de control que donaven un mètode per caracteritzar una substància al laboratori fins el 49'0% i el 76'5% dels estudiants experimentals II i I. Amb aquest coneixement, s'explica que utilitzen la definició macroscòpica del concepte de substància, per distingir una entre un seguit d'ítems amb uns percentatges de respostes correctes que augmenten des del 7'9% dels estudiants de control al 47'8% i 56'9% dels grups experimentals II i I, respectivament.

Per últim, també tenen més capacitat per identificar una substància a nivell microscòpic, com aquella que té totes les partícules iguals. Així, els percentatges de respostes correctes augmenten des del 13'7% dels estudiants de control al 51'0% i 77'2% dels estudiants dels grups experimentals II i I.

12. Segons hem vist al punt anterior, els estudiants que han seguit un curs amb estratègies de canvi conceptual, procedimental i actitudinal, utilitzant el programa d'activitats, tindran una idea més clara del concepte de substància. En conseqüència, podran distingir quan tenen una substància i quan hi ha més d'una, de forma que poden diferenciar millor que els estudiants dels grups de control els conceptes de mescla i compost. En particular, els resultats referents a aquesta qüestió milloren des del 38'0% d'estudiants dels grups de control al 68'6% i el 86'0% d'estudiants dels grups experimentals II i I, respectivament, que diferencien entre mescla i compost a nivell macroscòpic o des del 28'6% d'estudiants dels grups de control que els diferencien a nivell microscòpic front al 68'6% i el 89'0% d'estudiants dels grups experimentals II i I que ho fan.

13. Altre aspecte en que els estudiants dels grups experimentals estaran més afavorits és en la diferenciació entre els conceptes de substància i element químic. Els estudiants dels grups de control consideren que substància i material és el mateix, per tant, utilitzen el terme *substància pura* per referir-se a les substàncies, a les que, microscòpicament, identifiquen amb les substàncies simples o amb els elements. De fet, quan es demana classificar un seguit de productes en substàncies o mescles, el 44'1% d'estudiants dels grups de control identifica com substàncies únicament les substàncies simples, davant d'un 3'9% i un 8'8% dels estudiants dels grups experimentals II i I, respectivament.

A nivell microscòpic, els estudiants dels grups de control identifiquen correctament una substància simple en un 40'9% davant del 70'6% i el 73'5% dels estudiants dels grups experimentals II i I, respectivament.

14. També s'apreciarà un augment en la capacitat per respondre qüestions conceptuals relacionades amb la identificació de substàncies i els canvis químics. Els estudiants entendran que, per a que tinga lloc una reacció, cal mesclar primer els reactius, però la mescla de substàncies i la formació d'un compost són processos totalment diferents. De fet, un 22'0% d'estudiants dels grups de control saben diferenciar la mescla dels reactius de la reacció, davant del 47'1% i el 55'9% dels estudiants dels grups experimentals II i I, respectivament. Al propi temps, sabran interpretar processos químics senzills i, a partir d'ells, classificar les substàncies en simples i compostes. De fet, en la qüestió en què havien d'identificar la formació d'òxid de coure, els percentatges de respostes correctes augmenten del 41'7% dels alumnes de control al 45'1% i 66'9% dels estudiants experimentals dels grups II i I, respectivament.

Per últim, a partir de la capacitat per caracteritzar les substàncies, podran distingir si al llarg d'un procés es mantenen les mateixes que havien al principi o han aparegut de noves, és a dir, diferenciaran una reacció química d'un procés físic, com es pot apreciar en l'augment de respostes correctes des del 14'7% dels estudiants de control que consideren que es poden separar els components d'un compost per mètodes físics fins al 51'0% i el 57'3% d'estudiants experimentals II i I que responen correctament a la mateixa qüestió.

IV. La utilització a l'aula d'un model d'aprenentatge basat en el canvi conceptual, actitudinal i metodològic i recolzat en els programes d'activitats produirà canvis apreciables en els grups d'alumnes experimentals, de forma que, aquells que han seguit un curs de Física i Química seguint aquest model s'implicaran més activament en el procés d'ensenyament aprenentatge, obtenint conseqüències positives, que es veuran plasmades en diferents aspectes, dels que podem esmentar:

15. No sols tindran més capacitat per comprendre els conceptes bàsics que s'estudien en els cursos introductoris, sinó que també tindran més capacitat explicativa per verbalitzar els processos, donat que ho han fet al llarg del curs durant les classes, explicant les seues hipòtesis als companys, tant als del mateix grup com els dels altres. A més a més, el mètode afavoreix la capacitat d'anàlisi i d'identificació dels aspectes fonamentals del problema, de forma que seran capaços de reflexionar davant d'una situació determinada, donar una opinió al respecte i, el que és més important, fer nous raonaments i canviar d'opinió segons van observant nous aspectes del problema o solucions que no encaixen amb els coneixements de què disposen.

16. En general, milloraran les actituds durant les classes, augmentant la participació i l'interès de l'alumnat. La millora en l'actitud dels alumnes que han seguit el curs es pot verificar per l'elevat percentatge dels que fan una valoració positiva dels continguts que han treballat a classe, tant pel que fa a la quantitat, amb un 96'5% que estan d'acord o molt d'acord, com a la comprensió dels mateixos, amb un 90'8% que consideren que generalment els han comprés. A més a més, més de les tres quartes parts d'estudiants consideren senzill atendre i treballar en classe i un 71'2% està d'acord o molt d'acord en que el professor pose activitats contínuament per treballar en grup.

Per últim, també s'ha obtingut una valoració positiva respecte de la satisfacció amb que s'ha treballat a l'aula, amb un 70'1% d'estudiants que consideren que la forma de treballar els ha ajudat a relacionar-se amb els companys i han tingut un ambient de confiança (85'1%) i de cooperació (80'4%) en classe. És també significatiu que un 65'5% indiquen que les classes han atret el seu interès.

A mena de conclusió general, podem afirmar que s'han confirmat les hipòtesis de les que partíem en aquest treball. Per tant, considerem que, en el marc del model didàctic d'ensenyament de les ciències per investigació orientada, la incorporació dels programes d'activitats, no es té suficientment en compte en l'ensenyament i la superació d'aquesta deficiència constitueix un element fonamental per augmentar la motivació i l'interès de l'alumnat, factors que redunden en un major aprenentatge comprensiu dels conceptes.

9.2. NOVES PERSPECTIVES DE TREBALL

Les conclusions obtingudes en aquesta investigació obrin noves perspectives a l'ensenyament de la Física i la Química, entre les quals considerem:

- En primer lloc, els resultats obtinguts ens fan plantejar-nos amb més profunditat alguns dels aspectes en els què s'ha apreciat una menor comprensió per part dels adolescents, com és el cas de l'estudi de les reaccions químiques, en les que, malgrat haver-se notat canvis importants en els grups d'alumnes experimentals respecte als de control, no podem acceptar-los com definitius, considerant que cal aprofundir en les raons que motiven aquest problema.
- Ampliar l'estudi realitzat al concepte d'element, aspecte que, segons hem pogut veure, en aquest treball no quedava totalment clarificat per als estudiants.

- Aplicar a altres camps d'estudi de la Física i Química el possible paral·lelisme entre les dificultats que s'hagueren de vèncer fins aconseguir la introducció històrica dels conceptes i els problemes de comprensió que té l'alumnat en el mateix camp.
- Eixamplar el camp d'estudi d'aquest treball a la introducció de les lleis ponderals i dels gasos, així com als problemes d'estequiometria, amb l'elaboració de programes de treball que faciliten l'aprenentatge. Altra possibilitat serà ampliar aquests programes amb pràctiques de laboratori que utilitzen aquest mateix mètode.
- Dissenyar nous materials amb una orientació similar a la que proposem, referents a altres aspectes del domini de la Física i la Química.
- Estendre l'estudi realitzat a altres professors i grups de professors per mitjà de programes d'investigació i innovació didàctiques que incloguen tallers, seminaris o qualsevol altre tipus de reunions que permeten l'intercanvi d'idees i la reflexió i actualització docents.

1.- INTRODUCCIÓ	366
2.- QUÈ ÉS UNA REACCIÓ QUÍMICA?	366
3.- L'ELEMENT QUÍMIC.	370
4.- HIPÒTESI ATÒMICA DE DALTON.	372
5.- DIFERÈNCIA ENTRE SUBSTÀNCIA SIMPLE I ELEMENT QUÍMIC.	374
6. UN MODEL PER EXPLICAR LES REACCIONS QUÍMIQUES.	375
7.-SIMBOLOGIA QUÍMICA.	377
8.- EL SIMBOLISME EN LES REACCIONS QUÍMIQUES.	379
9.- L'ESTEQUIOMETRIA DE LES EQUACIONS QUÍMIQUES	381
LA CONTRIBUCIÓ DE MARIE ANNE PAULZE A LA CIÈNCIA	384

1.- INTRODUCCIÓ

Després d'estudiar el comportament de les substàncies en els estats d'agregació més comuns, i explicar-lo en base a la hipòtesi de la naturalesa corpuscular de la matèria, utilitzarem el mateix model per tractar d'explicar les reaccions químiques i els principis bàsics que les regulen, així com un model que les expliqui microscòpicament.

L'estudi de les reaccions químiques és important per a nosaltres perquè es tracta de conèixer el món immediat que ens rodeja, les coses que utilitzem per a viure i ens faciliten els quefers diaris. Són reaccions químiques el procés de preparació dels menjars, la digestió, la respiració d'animals i vegetals o la fotosíntesi de les plantes. Per medi d'una reacció es posen en marxa i funcionen els cotxes, autobusos, avions i moltes de les màquines que ens ajuden a fer la vida més fàcil. Amb ajuda de reaccions químiques es preparen els medicaments, les pintures, els productes de perfumeria, els materials amb els que es fa la roba, les carteres per anar a escola o les tintes i el paper per fer els llibres.

Ara bé, com que la química necessita un llenguatge específic, en aquest tema també relacionarem tots els coneixements que hem vist anteriorment, amb un nou nivell simbòlic de representació escrita, que és el que s'utilitza habitualment en Química.

- 1.- *Dóna algunes raons per les quals interessa conèixer i controlar les reaccions químiques i exposa tots els dubtes que t'agradaria clarificar en aquest estudi.*

2.- QUÈ ÉS UNA REACCIÓ QUÍMICA?

- 2.- *En temes anteriors hem parlat d'uns processos de separació dels components d'una mescla i d'altres, que hem anomenat d'anàlisi i síntesi, en els que una substància es descomponia, o més d'una s'unien per formar una sola. Explica les diferències que veus entre els dos tipus de processos i posa exemples de cadascun d'ells.*
- 3.- *Considerem les dues experiències següents:*
- a) *Si deixem un clau a la intempèrie durant molt de temps, podem veure que es recobreix d'una substància pulvulenta, que canvia de color, que ja no és tan resistent com abans,...*
 - b) *Escalfem aigua en un recipient tancat fins que s'evapora i després, quan es gela podem veure com es forma altra vegada l'aigua líquida.*
De quin tipus de canvi penses que es tracta en cada cas? Per què? Fes un dibuix a nivell de partícules per recolzar la teua explicació.
- 4.- *Classifica, raonant la resposta, les següents transformacions, en físiques o químiques:*
- a) *S'evapora alcohol d'un flascó obert*
 - b) *la combustió d'una espelma*
 - c) *es carbonitza sucre, escalfant-lo al foc*
 - d) *Escalfar la cera per depilar-se*
 - e) *els raigs de sol es desvien en travessar una lent*
 - f) *Respirar*

Comentaris A.2 - A.4.

En principi cal aclarir que aquestes qüestions es plantegen únicament des del punt de vista daltonià (és a dir, el mecanicista newtonià). Des del punt de vista termodinàmic o energètic les diferències deixen d'existir perquè l'energia explica amb el mateix model els canvis físics, químics, biològics i geològics. De fet, el professorat de química utilitza aquest model quan explica les energies d'enllaç (lleis de Hess, per exemple) o simplement en parlar de dissolucions de substàncies (H_2SO_4 , NH_4Cl ,...) en aigua.

L'objectiu, doncs, d'aquestes activitats és que l'alumnat faci una primera distinció entre els dos tipus de processos. El primer seria aquell en què les substàncies es mesclen unes amb altres, es separen, o canvien d'estat, però mantenen les propietats inalterables. L'anomenem **canvi físic**. En el segon observem canvis dràstics en les substàncies, alguna o més d'una desapareixen i se'n formen altres noves, amb propietats diferents de les substàncies de partida. A aquest l'anomenem **canvi químic**.

5.- *Proposa processos físics i químics que tinguen lloc a la natura, explicant les diferències que hi ha entre ells. Fes una explicació completa de cadascun d'ells i posa exemples, justificant-los.*

Comentaris A.5

L'objectiu primer d'aquesta activitat és que l'alumnat pensi sobre tots els canvis que hi tenen lloc diàriament al seu voltant i analitzi de quins tipus són. A més a més, també volem que recapitulen i estructurin tot el que saben i ja s'ha parlat sobre els canvis físics i químics. Destaquem alguns dels aspectes que es poden esmentar respecte de cadascun d'ells:

Procés físic

- Canvi produït sense alterar la naturalesa interna dels materials, és a dir, es tracta d'una transformació en la que canvia l'aspecte, però no la substància.
- Les substàncies es separen sense deixar d'ésser elles mateixa, és a dir, al final del procés tenim les mateixes substàncies que al principi, però separades unes d'altres o en un estat diferent de l'inicial.
- Poden tindre lloc amb intercanvi d'energia amb el medi o sense ell. (Recordem que alguns mètodes eren: ebullició, solidificació, decantació, filtració, separació magnètica,...)

Procés químic

- Procés en el que desapareixen les substàncies de partida i n'apareixen altres de noves, amb propietats diferents.
- Els canvis de propietats que es produeixen són permanents.
- Tenen lloc sempre amb intercanvi d'energia amb el medi, que pot ésser mitjançant calor o electricitat.
- La massa de substàncies reaccionants és sempre la mateixa que la de substàncies que s'obtenen (productes)

6.- Per visualitzar millor i explicar-nos el que ocorre en una reacció química, anem a realitzar una experiència en la que farem reaccionar un tros de zinc amb una dissolució d'àcid clorhídric. Proposa un disseny experimental per dur-la a terme i, després, tracta d'explicar tot el que ha ocorregut.



Comentaris A.6: reacció entre l'àcid clorhídric i el zinc.

Si l'alumnat no està acostumat al treball de laboratori, cal previndre'l per motius de seguretat. Cal donar importància a dos aspectes diferents de la pràctica. D'una banda, el reconeixement de les substàncies que van a reaccionar i d'altra la pròpia reacció. És per això que fem els comentaris dividits en dos apartats:

1.- La primera part de l'activitat, apartats A i B, té com objecte repassar alguns dels conceptes que s'han vist fins ara: propietats específiques de les substàncies, possibilitat de mesclar-se, concepte de dissolució...

A.- Observar dues mostres diferents de zinc, una de granalla i l'altra en pols. Comentar les propietats observables: color, estat a temperatura ambient, duresa,...

És important que vegem el zinc abans de la reacció i que tallen algun tros. Després, han de descriure al quadern l'aspecte i propietats apreciables del zinc, com color, estat a temperatura ambient, duresa,.... Buscar en la bibliografia o en l'etiqueta dels flascons algunes propietats del zinc. D'acord amb les observacions i les dades bibliogràfiques, raonar si el zinc és una substància o una mescla. Incidir en les temperatures de fusió i ebullició, perquè quan es produeix la reacció i comença a eixir fum, una de les primeres respostes que sorgeixen és que el fum és el zinc que s'ha evaporat. El coneixement de la temperatura d'ebullició els ajuda a eliminar ells mateixa eixa hipòtesi.

B.- Observar l'etiqueta de la botella d'àcid clorhídric i anotar les dades. Comentar les propietats, buscar dades de l'àcid en la bibliografia..

Observació i descripció de l'àcid clorhídric. Fer notar que fuma en obrir la botella. Explicar que l'àcid clorhídric és gas a temperatura ambient, per això seria difícil de manipular. En canvi, dissolt en aigua és fàcilment manejable. Observar l'etiqueta: indica que es tracta d'una dissolució d' HCl en aigua al 35 %. Clarificar la informació que proporciona aquesta dada. A partir de tota la informació recopilada, raonar si l'àcid clorhídric és una substància o una mescla (i en aquest cas, quines substàncies la formen).

2.- La segona part de l'activitat, apartats C i D, entronca amb l'estudi de les reaccions químiques com procés en el que desapareixen unes substàncies (en aquest cas el Zn i l'àcid clorhídric) i se'n formen altres noves (en aquest cas un gas, l'hidrogen, i una sal dissolta en aigua, el $ZnCl_2$). Els alumnes no saben de quines substàncies es tracta, però sí que poden emetre hipòtesis respecte de si són les mateixes que hi havia al principi o són altres noves.

C.- Segons hem vist, l'àcid clorhídric és una mescla d'àcid en aigua, per la qual cosa, quan tinga lloc la reacció, no sabem si és a causa de l'àcid clorhídric o de l'aigua. Per eixir de dubtes, posarem en

un tub d'assaig un tros de zinc i afegirem aigua. Mostrar que no passa res, que les dues substàncies poden estar juntes -mesclades- i no es produeix cap fenomen.

Fer notar que, en mesclar el zinc amb aigua no es produeix una reacció (en realitat, es produeix la reacció d'oxidació, però és molt lenta i en aquest nivell d'explicació no és important per a l'alumnat i els objectius que perseguim en la pràctica). Aquesta observació els permetrà deduir quines substàncies reaccionen en ajuntar el zinc i la dissolució d'àcid clorhídric

D.- Posar en un tub d'assaig un tros de zinc i deixar caure un poc d'àcid clorhídric. Observar atentament tot el que passa.

Quan acaba la reacció, el zinc ha desaparegut de la vista. Interpretar el que ha passat, primer a nivell macroscòpic, com formació de noves substàncies (es produeix una quantitat apreciable de gas) i desaparició d'altres (el zinc ja no està a la vista). A continuació, donar una hipòtesi del que ha ocorregut a nivell microscòpic, d'on han aparegut les noves substàncies, on estava el gas abans de la reacció, on ha anat a parar el zinc,...

Aprofitar l'experiència per analitzar totes les situacions que es poden presentar quan posem en contacte dues o més substàncies. L'alumnat arriba amb molta facilitat a les següents conclusions:

- No passa res, al menys de forma aparent. Les substàncies romanen inalterades, conserven les propietats i poden separar-se amb relativa facilitat.
- Les substàncies es mesclen de tal forma que, encara que conserven les propietats no es poden veure, encara que és possible separar-les fent ús de les propietats característiques.
- Les substàncies reaccionen i es transformen en altra o altres substàncies amb propietats diferents de les substàncies inicials que es posaren en contacte.

E.- Per últim, fer un dibuix que explique microscòpicament el que ha passat. En aquest punt caldrà ajudar-los, recordant que:

- Cada substància té un tipus de partícules diferent de les partícules de les altres substàncies.
- Poden haver substàncies simples i compostes.
- No és necessari que facen un dibuix correcte d'acord amb la fórmula de les substàncies que hi participen, sinó tan sols correcte des del punt de vista del tipus i quantitat de partícules.

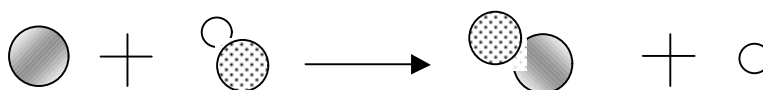


Fig. 1: Model de reacció entre el zinc i l'àcid clorhídric

Amb una relativa facilitat, els estudiants arriben a una representació com la indicada en la figura 1, segons la qual, **han conservat l'element** en el procés. Aquest és un aspecte molt important, perquè la conservació de l'element és el que dóna sentit macroscòpic a les reaccions i explica perquè no es pot produir qualsevol producte en una determinada reacció química.

Si es vol ampliar la informació, es pot oferir les fórmules de les diferents substàncies participants i elaborar l'esquema correcte de la reacció, tot i tenint en compte que aquest no és un aspecte fonamental en aquest moment.

3.- L'ELEMENT QUÍMIC.

L'experiència anterior ens ha permès observar la desaparició d'unes substàncies (el zinc ja no hi és a l'interior del tub d'assaig quan finalitza la reacció) i l'aparició d'altres noves (hem pogut observar la formació de gran quantitat de fum). La pregunta que ens podem fer ara és: on estan les substàncies que han desaparegut? D'on han eixit les noves?

Per donar resposta a aquestes i altres qüestions, ens recolzarem en el reconeixement de les substàncies a partir de les propietats característiques de les mateixes. En temes anterior hem estudiat la densitat, solubilitat i temperatures de fusió i ebullició, però hi ha moltes més. Abans de portar a terme la següent pràctica parlarem d'altra propietat de les substàncies, la coloració a la flama: cada substància, depenent de la seua composició, dona un color en acostar-la a la flama. Doncs bé, en aquesta pràctica anem a utilitzar la propietat de donar coloració a la flama per resseguir a l'element coure.



Experiència de laboratori: El cicle del coure

Igual que férem en l'experiència anterior, mostrarem a l'alumnat el coure, el ferro i la dissolució d'àcid nítric, de forma que puguem determinar les propietats de cadascuna d'elles, visualment i amb ajuda de les etiquetes i la bibliografia.

- Prenem un fil de coure i l'acostem a una flama. Es pot observar que la flama adquireix el color verdós característic del coure.
- Tot seguit, agafem un fil de coure i els introduïm amb cura en un got de precipitats que conté una dissolució d'àcid nítric. Podem observar com comença a desprendre's un gas de tonalitat rogenca (molt tòxic, raó per la qual cal realitzar l'experiència en vitrina de gasos), al temps que la dissolució es torna de color blau i el coure desapareix de la vista. Si acostem a la flama un metall inert banyat en la dissolució, es torna a observar el color verd característic del coure.
- Acostem un tros de ferro a la flama per mostrar que no dona la mateixa coloració.
- Per últim, introduïm en la dissolució de color blau un tros de ferro i, al cap d'un temps es pot observar com el ferro ha canviat de color en dipositar-se sobre ell una substància. Si ara l'acostem a la flama, tornem a obtindre el mateix color verd característic.

7.- Al tema anterior hem parlat de les propietats característiques de les substàncies. La coloració a la flama també ho és. Explica què significa que aparega la mateixa coloració quan acostem a la flama les diferents substàncies de l'experiència anterior (fil de coure, ferro, dissolució d'àcid nítric després d'afegir-hi el fil de coure i clau banyat en l'anterior dissolució).

Comentaris A.7

Hem pogut observar que el ferro no dóna el mateix color del coure, en canvi sí que ho fan la dissolució i el ferro banyat en la dissolució, fins i tot encara que estiga sec. Açò ens porta a considerar que ha d'haver coure en el fil de coure, en la dissolució i en el clau després d'haver-lo submergit en la mateixa. Caldrà recordar als estudiants que la dissolució d'àcid nítric no conté coure i, per tant, si apareix la coloració, ha de ser perquè hi ha coure present en ella, que després, passa al ferro. És a dir, aquest conjunt de reaccions ens permet mostrar que l'element es conserva al llarg de les reaccions i és el nexa que relaciona unes substàncies amb altres.

8.- Fes un dibuix que represente a nivell de partícules les reaccions que han tingut lloc en l'anterior experiència. Què es manté constant al llarg de les diverses reaccions?

Comentaris A.8

L'experiència anterior i les activitats A7 i A.8 tenen per objecte que l'alumnat se n'adone que, en els canvis químics, les noves substàncies que apareixen estan lligades entre elles per una part que sempre es conserva: l'element. A partir d'aquest descobriment s'ha d'arribar a la definició macroscòpica d'element químic com allò que es conserva en els canvis químics i pot ser comú tant a una substància simple com a qualsevol substància composta que s'obtinga d'ella. En l'exemple proposat, la coloració de la flama és una propietat característica de l'element químic coure i es posa de manifest tant en la substància simple coure, com en les substàncies compostes que s'obtenen a partir d'ella.

9.- En un tub obert pels dos extrems (com indica la figura 2), posem una substància que es comercialitza en pols, de color negre. Si s'escalfa un poc al foc no podem apreciar res però, si al mateix temps que s'escalfa, deixem passar un corrent de gas hidrogen, al final del tub s'observa la formació de gotetes d'aigua, mentre la pols negra es transforma en altra substància diferent. Explica què penses que ha passat i quines substàncies noves s'han produït.

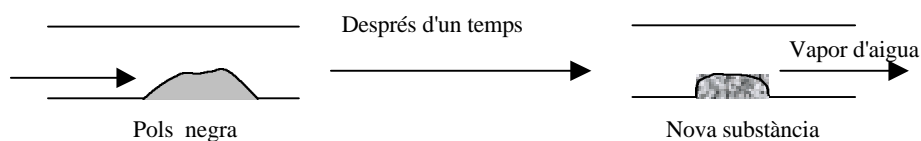


Fig. 2: Activitat 9

Comentaris A.9

L'objectiu d'aquesta qüestió és ajudar a l'assimilació de la informació de què disposem fins ara, amb la finalitat de posar de manifest que les reaccions es poden donar entre substàncies de qualsevol tipus (simples i/o compostes), per formar altres substàncies noves, que també poden ser simples i/o compostes. L'alumnat arriba amb facilitat a suposar que la pols negra era un compost del qual un dels components era l'oxigen que, en reaccionar amb l'hidrogen, forma l'aigua en estat vapor. Amb aquest raonament els introduïm també en un aspecte fonamental per a la comprensió dels processos químics: en una reacció no es pot formar qualsevol substància,

sinó que els productes estan relacionats amb els reactius per **la conservació de l'element** a nivell macroscòpic.

10.- Què canvia i què es conserva en una reacció química?

Comentaris A.10

En les reaccions químiques desapareixen unes substàncies i es formen altres noves, relacionades amb les primeres pels elements que les conformen. És a dir, en una reacció canvien les substàncies, però no es pot produir qualsevol substància perquè es mantenen els elements, que són els que en reagrupar-se de forma diferent donaran lloc a les noves substàncies.

Per ampliar la informació que s'ha ofert fins ací a l'alumnat, pot ser d'ajuda la lectura del llibre "*Or per a la llibertat*" (Izquierdo i Izquierdo, 1994). En ell, a través de les peripècies d'un jove químic de 1800, s'explica la transformació d'uns lingots d'or en dissolucions d'un compost d'or, així com la recuperació final del mateix. És a dir, es descriu un cicle de l'or, en el què exposa que l'element roman en la dissolució, malgrat els canvis que s'han produït en les substàncies. A més, el context temporal en el que està ambientada, permet fer un recorregut històric des del moment en què es comencen a reconèixer les substàncies simples de les compostes per la possibilitat o no de descompondre's en altres més senzilles, la introducció posterior de la nomenclatura i la introducció de la hipòtesi atòmica de Dalton, que donaria explicació microscòpica als coneixements macroscòpics.

4.- HIPÒTESI ATÒMICA DE DALTON.

Per entendre el comportament dels materials hem suposat un model, segons el qual, la matèria està formada per partícules totes iguals en continu moviment. Després hem vist que, en les reaccions químiques les substàncies canvien, però els elements continuen sent els mateixos. Com unificar aquests coneixements en una teoria integradora que els explique?

Al llarg de la història s'han conegut alguns intents per donar una explicació al comportament de la matèria. En el segle V abans de Crist, els filòsofs grecs Leucip i Demòcrit havien suposat que la matèria era discontinua i estava formada per àtoms en continu moviment. Aristòtil estava en contra d'aquestes idees i, donat el major pes específic d'aquest filòsof, no foren tingudes en compte. A partir del segle XVI alguns científics les reprengueren, interpretant amb elles el comportament dels gasos (la dilatació, la compressibilitat i la difusió podien explicar-se per medi de partícules que es movien en el buit). Més endavant, cap al segle XVIII s'establí el concepte macroscòpic d'element químic. Ara sols calia un model per donar explicació a tots aquests fenòmens.

La síntesi d'aquestes idees la proposà l'anglès John Dalton (1766-1844) a principis del segle XIX, encara que, al llarg del segle, rebé nombroses modificacions. D'especial menció és la proposada pel químic italià Amadeu Avogadro, segons la qual les substàncies simples també

podien estar formades per molècules, però que no fou acceptada pels científics del moment (entre ells el propi Dalton) i tardà més de 50 anys en ésser tinguda en compte.

Postulats de la teoria atòmica molecular (Dalton 1807):

- La matèria és discontinua, és a dir, els cossos estan formats per partícules diminutes i indivisibles anomenades àtoms.
- Els àtoms són invariables, no poden canviar i no poden transformar-se uns en altres al llarg dels processos químics.
- Existeixen diverses classes d'àtoms. Els àtoms d'un determinat element químic són iguals entre ells, però diferents dels àtoms de la resta d'elements. Hi ha tantes classes d'àtoms com d'elements.
- Quan s'ajunten dos o més àtoms, iguals o diferents, formen una molècula. Les molècules es diferencien unes d'altres pel nombre i tipus d'àtoms que les formen.
- Les substàncies simples estan formades per un sol element.
- Les molècules de les substàncies compostes estan formades per àtoms de diferents elements.

11.- *Quina és la diferència fonamental entre l'àtom dels primers filòsofs grecs i l'àtom de Dalton?*

12.-*Al llarg de tota l'Edat Mitjana, els alquimistes buscaren la “pedra filosofal” que els ajudaria a convertir qualsevol metall en or. La teoria de Dalton corroborava o posava en dubte aquesta recerca?*

13.- *Quins aspectes de la teoria de Dalton no són vàlids actualment? Raona les teues afirmacions.*

Comentaris A.11 – A.13

Activitats que pretenen transmetre la idea de la necessitat d'establir un model per comprendre la naturalesa quan l'explicació no està a la vista. El model grec estava basat en idees teòriques, sense cap tipus d'experiència que l'avalara, de forma que suposava àtoms amb punxes per explicar el fred, formes diferents i complementàries per enganxar-se uns amb altres,... Pel contrari, les idees de Dalton venen totalment derivades de l'experiència i fan sorgir la necessitat dels diferents elements per explicar les transformacions químiques. Al propi temps, l'acceptació d'aquesta teoria (àtoms immutables), acabava amb segles d'intents per aconseguir la transmutació dels metalls en or.

Malgrat que les idees de Dalton suposaren un avanç molt important en el seu temps i donaren peu a que s'aconseguien avanços posteriors, actualment sabem que l'àtom no és indivisible, sinó format per moltes partícules molt més menudes. També sabem que en determinats processos nuclears es poden transformar uns elements en altres o què malgrat ser iguals tots els àtoms d'un element hi ha diferències entre ells, com es veurà en estudis posteriors (isòtops).

14- Explica quina diferència hi ha entre un àtom i una molècula.

Comentaris A.14

Abans de continuar endavant és important recordar que anomenem molècula a qualsevol agrupació d'àtoms. Si es tracta d'àtoms iguals, representaran la molècula d'una substància simple i si són de diferents elements representaran la molècula d'un compost. Cal incidir en que, en moltes ocasions, l'alumnat redueix el concepte de molècula sols als compostos (pel fet d'estar formats per més d'un element), raó per la qual és important recordar el concepte de substància simple, que pot estar formada per un o més àtoms iguals junts formant una molècula. El propi Dalton negà la possibilitat d'existència d'aquestes molècules davant l'evidència que li plantejava Avogadro i no fou fins 50 anys i moltes controvèrsies que la comunitat científica acceptaria aquesta possibilitat.

5.- DIFERÈNCIA ENTRE SUBSTÀNCIA SIMPLE I ELEMENT QUÍMIC.

15.- L'oxigen atmosfèric i l'ozó estratosfèric són substàncies simples, la representació submicroscòpica de les quals es mostra a la figura 3. En els dos casos estan formades per àtoms del mateix element: l'oxigen. Fes dues llistes amb propietats de l'oxigen i de l'ozó i dóna una raó que justifiqui per què no tenen les mateixes propietats, malgrat estar formades ambdós per un únic i mateix element.

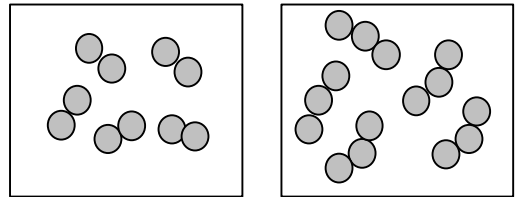


Fig. 3: Representació de l'oxigen i l'ozó

16.- Explicita les diferències que existeixen entre els conceptes de substància simple i d'element.

Comentaris A.15 i A.16

Malgrat que, en aquest nivell d'estudi es pot considerar opcional la diferenciació entre substància simple i element químic, podem indicar que no es tracta de la mateixa cosa i oferir les característiques d'ambdós.

- La substància simple és una substància, de propietats constants fixes i determinades, que no es pot descompondre en altres més simples. Pot estar formada per àtoms aïllats o molècules, però sempre amb un sol tipus d'àtoms.
- Un element químic és un conjunt d'àtoms tots iguals. Els elements químics són els components de les substàncies, podent estar presents tant en les substàncies simples com en les compostes, però no són substàncies per ells mateixa. Per exemple, la substància simple oxigen es representa per O_2 , mentre l'element oxigen està present a l'ozó (O_3), aigua (H_2O),...

6. UN MODEL PER EXPLICAR LES REACCIONS QUÍMIQUES.

Adaptant les idees de Dalton als coneixements que tenim actualment, podem proposar un nou model per a la matèria, que ens explique tant els canvis físics com les transformacions químiques. Aquest model es podria resumir com:

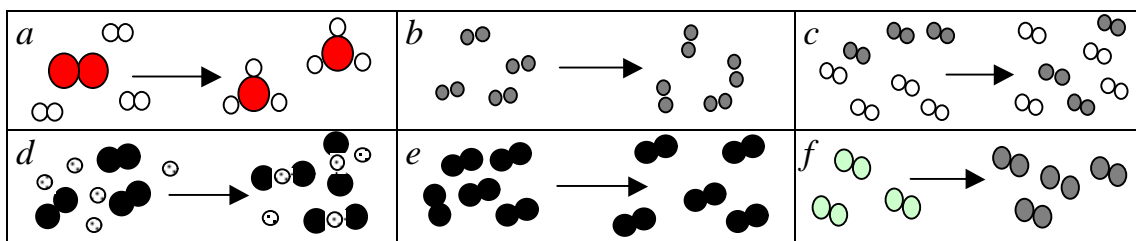
- La matèria està formada per àtoms. Quan tenim àtoms o molècules del mateix element, es tracta d'una substància simple. Els compostos estan formats per molècules de diferents elements.
- Una reacció química es pot interpretar com una transformació d'unes substàncies en altres a partir de la reorganització dels àtoms participants, de forma que no es pot obtenir qualsevol substància sinó que els productes que s'obtenen venen determinats pels elements que participen en la reacció.

17- *Quan té lloc una reacció química es produeixen unes substàncies amb propietats que no tenen res a veure amb les propietats de les substàncies reaccionants. Açò significa que pot aparèixer qualsevol substància? Dóna una explicació raonada de la teua resposta, tant a nivell macroscòpic com submicroscòpic, amb un dibuix que ho aclarisca.*

Comentaris A.17

Activitat amb la finalitat de reprendre el concepte d'element tant des del punt de vista macroscòpic (allò que es conserva en els canvis químics) com microscòpic (un conjunt d'àtoms tots iguals). També tracta de fer veure que les substàncies obtingudes en les reaccions no són qualsevol, sinó que estan determinades pels elements de les substàncies que actuen com reactius i que sols es podrà obtenir un determinat component en els productes si prèviament ha estat introduït en els reactius.

18- *En la figura següent apareixen sis representacions de diferents transformacions de la matèria. Indica, de forma raonada, quines d'elles consideres que representen canvis químics. Recolzant-te en la teoria corpuscular, com definiries què és una reacció química?*



(LLORENS, J.A., 1999. Física i química 4t ESO)

Comentaris A.18

Es tracta d'incidir en què una reacció química és una reorganització d'àtoms per formar noves substàncies, per tant, no ho seran els apartats b, c i e. Tampoc podem acceptar l'apartat f, perquè acceptar que apareixen àtoms que no hi eren als reactius, suposa una transmutació.

- 19- *A continuació plantejem un seguit de fets. Utilitza la teoria atòmica per donar una explicació teòrica del que ocorre en cada cas:*
- a) Les substàncies simples no es poden descompondre*
 - b) Els compostos son substàncies que es poden descompondre en altres més simples*
 - c) En una reacció desapareixen certes substàncies i es forma una nova amb propietats diferents*
 - d) Durant la reacció hi ha un intercanvi de calor entre les substàncies i el medi*
 - e) La massa dels productes formats es igual a la massa de reactius desapareguts*
 - f) Per què en sotmetre l'aigua a hidròlisi apareixen hidrogen i oxigen, les propietats dels quals són tan diferents a les del aigua?*
 - g) Per què en les substàncies noves no es reconeixen les propietats de les antigues?*
 - h) Per què es conserva sempre la massa en els processos químics?*
 - i) Què passa amb les molècules de les substàncies quan aquestes desapareixen en les reaccions químiques?*
 - j) Com es formen les molècules de les noves substàncies?*
 - k) Per què unes substàncies desapareixen i es formen altres de noves?*

Comentaris A.19

- a) Les substàncies simples estan formades per **àtoms** iguals, és a dir, del mateix element
- b) Els compostos estan formats per agrupacions d'àtoms diferents, que s'anomenen **molècules**. Els àtoms que formen les molècules, encara que estan units amb prou força, poden ser separats si s'aporta prou energia.
- c) Les molècules de les substàncies de partida es trenquen i els àtoms tornen a organitzar-se, unint-se amb àtoms diferents, donant com resultat molècules diferents a les inicials, que formen substàncies noves amb propietats diferents de les que tenien les substàncies inicials
- d) Fa falta energia per a superar les forces d'atracció entre els àtoms de les substàncies inicials. O, pel contrari, es desprèn energia quan àtoms diferents s'uneixen per a formar part d'una nova estructura estable
- e) Els àtoms que participen en el procés no canvien, hi ha la mateixa classe i el mateix número al principi i al final del procés, sols ha canviat la forma d'unir-se, però aquesta circumstància no afecta a la massa
- f) Una substància composta es descompon formant dues substàncies simples amb propietats diferents i característiques de les noves substàncies.
- g) Cada substància té unes propietats pròpies i característiques.
- h) Perquè es formen noves substàncies però el nombre d'àtoms inicials i finals és el mateix i per tant, tenen la mateixa massa.
- i) Les molècules es trenquen i els àtoms es reorganitzen formant noves molècules.
- j) Per reorganització dels àtoms que han quedat lliures en trencar-se les molècules dels reactius.
- k) Perquè es trenquen unes molècules i després es formaran altres noves.

7.-SIMBOLOGIA QUÍMICA.

El nombre d'elements coneguts ha anat augmentant des de l'inici dels temps. A l'antiguitat sols es coneixien uns pocs; a començament del segle XIX uns 26, cent anys després, al començament del segle XX ja es coneixien uns 81 i actualment es coneixen 109 (malgrat que no tots són naturals, alguns s'han obtingut sintèticament al laboratori).

Els alquimistes de l'edat mitjana, representaven els elements que coneixien mitjançant símbols (dels que, en moltes ocasions no oferien el significat, per evitar que altres persones pogueren fer ús dels seus descobriments), però segons s'anaven descobrint més, es va fer patent la necessitat d'una simbologia coneguda i compartida per tota la comunitat científica. Actualment es representen mitjançant lletres, derivades del nom actual o del nom grec o llatí. Quan el símbol està format per una sola lletra, sempre és majúscula. Si consta de dues lletres, la primera és majúscula i la segona, minúscula.

Actualment el nombre d'elements coneguts és major de 100, raó per la qual, pot ser de gran utilitat trobar alguna relació entre ells que els agrupe de manera sistemàtica per facilitar-ne l'estudi. Podem aprofitar que alguns d'ells tenen propietats molt semblants, per ordenar-los en funció de les mateixes. Aquesta ordenació facilita l'estudi dels elements químics, que són la base que constitueixen totes les substàncies conegudes.

- 20.- *A l'època de Dalton es coneixien al voltant de 20 elements; actualment es coneixen més de 100. Des d'aleshores fins ara, els elements s'han organitzat de diverses formes. Coneixes alguna? Dóna alguna raó que mostre els beneficis d'organitzar-los.*
- 21.- *Els elements coneguts estan classificats a la taula periòdica. Observa'n una. Quants elements es coneixen? Quants compostos es poden formar a partir d'eixos elements?*
- 22.- *Com ja hem dit, els elements es representen per medi de símbols. Observa una taula periòdica i busca elements que tinguin un nom que comence per la lletra C. Escriu-los a la llibreta, anotant al costat el seu símbol. Es representen tots amb el mateix símbol? Per què?*
- 23.- *Alguns elements de la taula periòdica tenen un símbol que no correspon a la inicial del nom. Per exemple, l'or es representa per Au. Busca al menys tres més i explica per què es representen així.*

Comentaris A.20– A.23

Grup d'activitats destinades a que l'alumnat es familiaritze amb la taula periòdica i els símbols dels elements més representatius a aquest nivell introductori a la Química. Els propis alumnes fan referència a la necessitat d'utilitzar dues lletres per distingir aquells elements que comencen per la mateixa inicial. També es pot fer referència a que hi ha molts símbols que encara fan referència al nom grec o llatí de l'element en qüestió, com per exemple: Au (aurum), Ag (argentum), Cu (cuprum), Fe (ferrum), Na (natrium),...

- 24.- *Hem dit que els elements no tenen existència real i que sols la tenen les substàncies simples i compostes. Malgrat això, algunes taules periòdiques indiquen els elements que són sòlids, líquids o gasos a temperatura ambient. Explica aquesta aparent contradicció.*

Comentaris A.24

És important recordar als estudiants que, a la taula periòdica, estan recollits sols els elements i no les substàncies simples o els compostos. L'aparent contradicció respecte dels punts de fusió o ebullició, densitat,... que apareixen en moltes taules periòdiques, es respon indicant que, en realitat, correspondrien a les substàncies simples que formen eixos elements.

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII					IB	II B	III A	IV A	VA	VIA	VII A	Gasos nobles
1 H Hidrogen																		2 He Heli	
3 Li Liti	4 Be Beril·li	Nombre atòmic Símbol Nom 47 Ag Plata										5 B Bor	6 C Carboni	7 N Nitrogen	8 O Oxigen	9 F Fluor	10 Ne Neó		
11 Na Sodi	12 Mg Magnesi											13 Al Alumini	14 Si Silici	15 P Fosfor	16 S Sofre	17 Cl Clor	18 Ar Argó		
19 K Potassi	20 Ca Calci	21 Sc Escandi	22 Ti Titani	23 V Vanadi	24 Cr Crom	25 Mn Mangnès	26 Fe Ferro	27 Co Cobalt	28 Ni Niquel	29 Cu Coure	30 Zn Zinc	31 Ga Gal·li	32 Ge Germani	33 As Arsenic	34 Se Seleni	35 Br Brom	36 Kr Criptó		
37 Rb Rubidi	38 Sr Estronci	39 Y Ittri	40 Zr Zirconi	41 Nb Niobi	42 Mo Molibdè	43 Tc Tecneci	44 Ru Ruteni	45 Rh Rodi	46 Pd Pal·ladi	47 Ag Plata	48 Cd Cadmi	49 In Indi	50 Sn Estany	51 Sb Antimoni	52 Te Tel·luri	53 I Iode	54 Xe Xenó		
55 Cs Cesi	56 Ba Bari	57 La Lantà	72 Hf Hafni	73 Ta Tantali	74 W Wolframi	75 Re Reni	76 Os Osmi	77 Ir Iridi	78 Pt Plati	79 Au Or	80 Hg Mercuri	81 Tl Tal·li	82 Pb Plom	83 Bi Bismut	84 Po Poloni	85 At Astat	86 Rn Radó		
87 Fr Franci	88 Ra Radi	89 Ac Actini	Gas a T ambient				Líquid a T ambient												

Fig. 4: Taula Periòdica dels elements

- 25.- Busca a la taula periòdica l'hidrogen, l'oxigen i l'aigua. Algun d'ells no hi és? Per què? Hi ha algun compost a la taula? Què és el que conté la taula periòdica?
- 26.- Fins ara, quan hem volgut representar un àtom o una molècula, ho hem fet dibuixant "boletes" però també es pot fer utilitzant el símbol que rep cada element
- Com representaries ara un àtom de ferro, per exemple? I un àtom de sodi?
 - Com representaries dos àtoms de ferro? I dos d'oxigen?

- 27.- Algunes substàncies simples poden estar formades per molècules de dos àtoms iguals. Aquest és el cas de l'oxigen, hidrogen, nitrogen i clor, per exemple.
- Representa en un diagrama un recipient que continga la substància oxigen i altre que continga la substància clor i escriu el símbol de les molècules que representen el que contenen els recipients anteriors.
 - Ara dibuixa un diagrama que represente la mescla d'oxigen i clor.
- 28.- a) Explica què representem quan escrivim la fórmula d'un compost.
 b) Explica el significat de les següents fórmules: òxid de calci, CaO ; metà, CH_4 i carbonat de potassi, K_2CO_3 .
- 29.- L'amoníac és un compost gasós del que sabem que cada molècula està formada per un àtom de nitrogen i tres d'hidrogen.
- Quina d'aquestes fórmules representa una molècula d'amoníac? 3HN , N_3H , NH_3 , HN_3
 - Fes un dibuix que represente en cada cas la substància indicada.

Comentaris A.25 – A.29

Quan fem referència a la mescla de dos elements diferents que mantenen la identitat després de la mescla, la representem amb el símbol de cadascun dels elements per separat. No hi ha una fórmula específica que represente a les mescles (malgrat que, en les farmàcies, continuen denominant a les mescles *fórmules magistrals*, derivat d'un costum que ve de l'edat mitjana). En canvi, quan es forma un compost apareix una substància nova amb propietats característiques pròpies i diferents de les dels elements que la componen.

Els números que acompanyen a les fórmules poden tindre diferents significats:

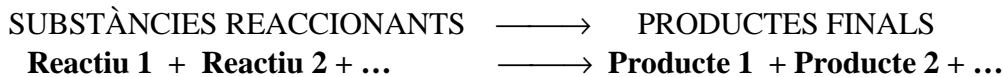
- Els compostos es representen per medi de fórmules que es construeixen amb els símbols dels elements que formen la substància i uns subíndex que indiquen la quantitat d'àtoms de cada element. Per exemple: La fórmula del sulfat de calci és CaSO_4 , que vol dir que el sulfat de calci està format per infinitud de molècules totes iguals i cadascuna d'elles està formada per un àtom de calci, un àtom de sofre i quatre àtoms d'oxigen (quan el nombre d'àtoms és 1, s'omet el subíndex).
- Un número davant d'una fórmula indica que estem referència a la quantitat de molècules expressada per eixe número. Per exemple, $2\text{H}_2\text{O}$ significa que ens referim a 2 molècules d'aigua.

8.- EL SIMBOLISME EN LES REACCIONS QUÍMIQUES.

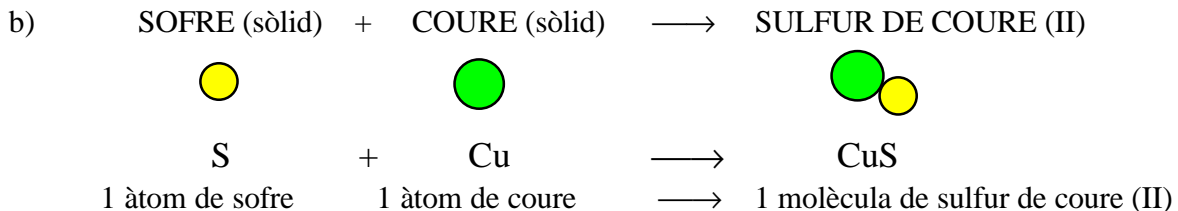
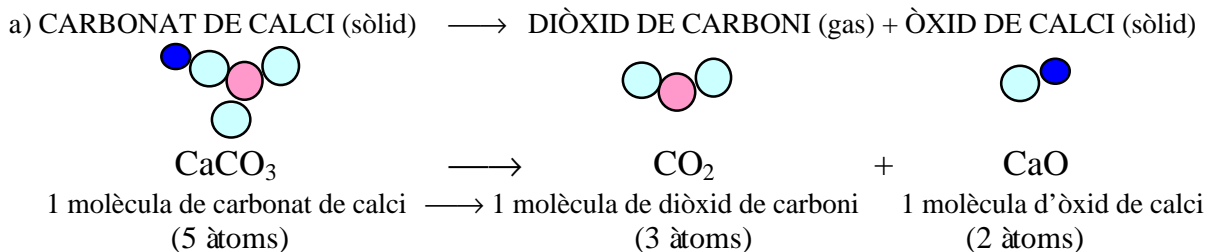
Sabem que al laboratori, a nivell macroscòpic, una reacció s'aprecia per que canvien les substàncies presents, apareixen altres noves amb propietats diferents, desapareixen les que teníem,... Per explicar-ho, hem utilitzat un model segons el qual cada àtom es representa per medi d'una boleta d'un color i grandària determinats, que agrupats simbolitzen les molècules i en reagrupar-se originen noves substàncies. Ara bé, moltes vegades aquesta representació pot ser massa entretinguda (imaginem que volem representar deu molècules de sucre $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, per

exemple), raó per la qual utilitzem una simbologia similar a la utilitzada en matemàtiques, que ens permet representar al paper el que ocorre en la realitat al laboratori.

Així, una reacció química es pot representar mitjançant una equació matemàtica en la que al primer membre de l'equació es posen les substàncies que van a reaccionar o **reactius** i al segon membre es posen les noves substàncies que s'obtenen a conseqüència de la transformació química o **productes** de la reacció. Entre les dos parts es posa una fletxa horitzontal d'esquerra a dreta que indica el sentit de la reacció.



A continuació, mostrem com exemple la interpretació corresponent a les reaccions de descomposició del carbonat de calci i síntesi del sulfur de coure (II), representades per medi de diagrames i de les fórmules químiques de les substàncies participants.



Els exemples que acabem de veure fan referència a reaccions o canvis químics. En tots ells les substàncies inicials es transformen en altres noves totalment diferents o productes de la reacció a partir del trencament d'enllaços i formació de noves unions entre els àtoms que hi participen.

30.- Imagina que en un recipient s'introdueixen dos elements gasosos A i B, que reaccionen per a donar lloc a un compost. Dibuixa en dos quadres diferents les partícules a l'estat inicial (abans de la reacció) i final (una vegada acabada) i explica quin producte creus que s'ha pogut formar i per què.

31.- En un recipient s'introdueixen dues classes d'àtoms diferents. Fes el dibuix del que es veuria abans de la reacció i el dibuix final indicant quina serà la composició:

a) Si la fórmula del compost que es forma és AB

b) Si la fórmula del compost final és A₂B

32.- *Explica en què consisteix una reacció química. des del punt de vista de les partícules.*

Comentaris A.30 – A.32

Arribats a aquest punt, l'alumnat ha de tindre clar:

- Que la fórmula representa una de les moltes partícules iguals que componen una substància
- Que cada lletra representa un element i els subíndex la quantitat d'àtoms d'eixe element que forma cada molècula.
- Per últim, en una reacció química, les substàncies canvien però es conserven els elements. Tenint açò en compte, quan té lloc una reacció química, no es pot produir qualsevol substància, sinó que sols podran produir-se aquelles que es relacionen amb els reactius per medi dels elements, que és el que es conserva en el canvi químic.

9.- L'ESTEQUIOMETRIA DE LES EQUACIONS QUÍMIQUES

La simbolització de la reacció química és **l'equació química**, en la que es representen els símbols (fórmules) de les substàncies que hi participen. Ara bé, per a què una reacció estiga ben simbolitzada, és necessari que el nombre i la classe d'àtoms representats en ella siga el mateix als dos membres de l'equació, de manera que, encara que estiguen organitzats de forma diferent, els àtoms siguen els mateixos.

33.- *El següent diagrama representa una reacció de formació d'aigua a partir de les substàncies simples hidrogen i oxigen. Dibuixa les molècules que consideres que falten per a que la reacció estiga ajustada.*

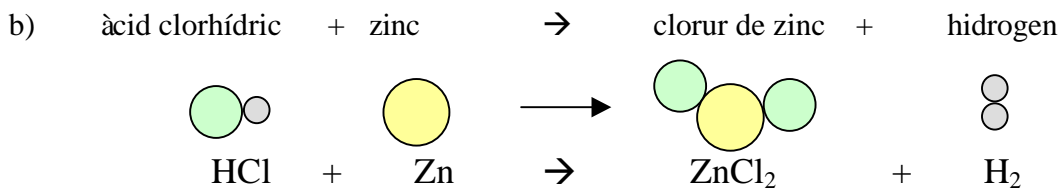
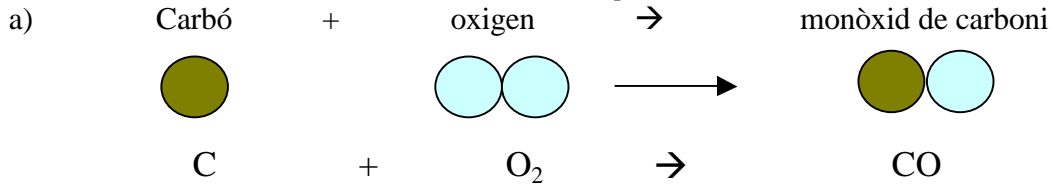


Comentaris A.33

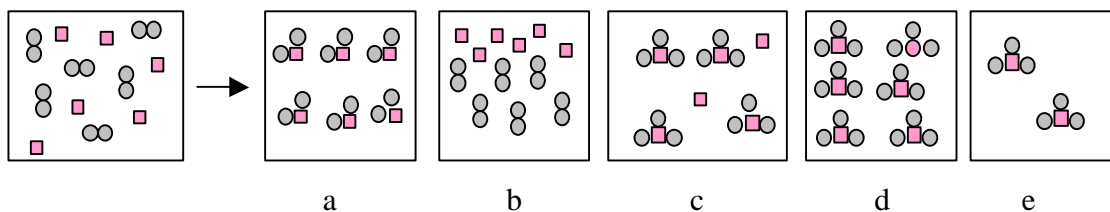
A partir de la idea que el número d'àtoms del primer i del segon membre han d'ésser iguals, l'alumnat arriba amb facilitat a concloure que cal afegir molècules de reactius i productes fins aconseguir-ho. Els coeficients que es col·loquen davant de les substàncies indiquen el número de molècules (o d'àtoms, segons els casos) que intervenen en la reacció. Aquests coeficients s'anomenen coeficients estequiomètrics.

També han de fixar-se que el nombre de molècules de reactius i productes no és el mateix, que el que es conserva són els àtoms: els mateixos en els reactius i en els productes.

34.- A continuació tens la representació de dues reaccions químiques. Ajusta-les i indica el nombre total de molècules i d'àtoms en els reactius i els productes.

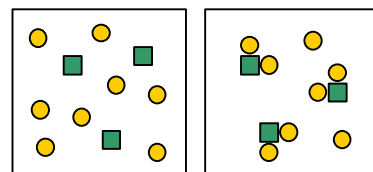


35.- L'equació d'una determinada reacció ve donada per $2 S + 3 O_2 \rightarrow 2 SO_3$. Si mesquem en un recipient tancat S (■) i O₂ (●●), segons indica el gràfic 1, i els fem reaccionar, quina de les solucions representa el resultat? (Nurrembern i Pickering, 1987)



36.- L'element X (■) reacciona amb l'element Y (○) segons indica el gràfic adjunt. Quina de les següents equacions representa millor la reacció que es produeix? (Sawrey, B.A, 1990)

- a) $3 X + 8 Y \rightarrow X_3 Y_8$ b) $3 X + 6 Y \rightarrow X_3 Y_6$
 c) $X + 2 Y \rightarrow XY_2$ d) $3X + 8 Y \rightarrow 3 XY_2 + 2 Y$
 e) $X + 4 Y \rightarrow XY_2$



Comentaris A.34, a.35 i A.36

Aquestes activitats pretenen recapitular tot el que s'ha vist respecte de l'ajust de les equacions químiques i la nomenclatura. En elles s'introdueix (encara que no s'esmenta), la conservació de la massa, conseqüència directa de la conservació dels àtoms en les reaccions. També es fa menció de forma indirecta al que més endavant s'explicarà com reactiu limitant, és a dir, una vegada un dels reactius s'ha consumit, la reacció finalitza, i queda sense reaccionar la part del reactiu que estava en excés.

37.-Fes un resum del que has estudiat en aquest tema, destacant les idees més importants.

Comentaris A.37

L'objectiu de la present qüestió és que l'alumne faci un exercici de recapitulació de tots els conceptes estudiats, lligant-los entre ells, quan siga possible. A títol d'exemple, podem recordar els següents aspectes:

- ✓ En un procés físic les substàncies es mantenen inalterables, sense que varien les propietats, és a dir, tenim la mateixa substància abans i després del canvi.
- ✓ En un procés químic desapareixen unes substàncies i apareixen altres noves, relacionades amb les primeres per la conservació dels elements.
- ✓ Quan s'uneixen dos o més àtoms formen una molècula. Totes les molècules es poden representar mitjançant diagrames moleculars, on cada element es representa per boles de diferents grandàries o colors.
- ✓ Un element (macroscòpicament) és allò que roman constant en els canvis químics i pot formar part tant de les substàncies simples com de les compostes.
- ✓ Un element (microscòpicament) és un conjunt d'àtoms tots iguals. Quan s'ajunten àtoms del mateix element formen una substància simple i en unir-se àtoms d'elements diferents es formen les substàncies compostes.
- ✓ Els elements es representen de forma abreujada per un símbol format per una o dues lletres.
- ✓ Les substàncies simples que són gasoses a temperatura ambient (excepte els gasos nobles), estan formades per molècules de dos àtoms iguals units entre ells. Aquestes substàncies simples són: oxigen, hidrogen, nitrogen, fluor, clor, brom, iode. La resta de substàncies simples estan formades per àtoms aïllats, que es representen per medi del nom de l'element que les caracteritza.
- ✓ Les substàncies compostes estan formades per molècules amb un nombre variable d'àtoms, que venen indicats en cada cas pel subíndex que porten en la fórmula.
- ✓ Les fórmules de les substàncies indiquen el tipus i nombre d'àtoms de cada classe que formen una molècula de la substància.
- ✓ En una reacció química es trenquen les molècules de les substàncies de partida i els àtoms es tornen a organitzar d'una manera diferent formant molècules distintes i característiques de les noves substàncies formades.
- ✓ Com la reacció química consisteix en una reorganització d'àtoms, la massa no varia durant el procés.

La contribució de Marie Anne Paulze a la ciència



A. L. Lavoisier i Anne Marie Paulze

El científic francès Antoine Laurent de Lavoisier va viure al segle XVIII, en un moment en què la Química ja començava a mostrar-se com una ciència experimental, malgrat que li faltava una teoria que unificara els fenòmens químics. La teoria del flogist fou la primera que ho aconseguí, malgrat que posteriorment es va mostrar que no era correcta i que feia algunes propostes que avui podem considerar com "curioses".

Segons aquesta teoria, els cossos combustibles es cremaven perquè contenen una *substància*, a la que anomenaren flogist, que es desprenia durant la combustió, al temps que la substància inicial es convertia en altra nova amb propietats diferents. La dificultat fonamental amb què s'enfrontaren els científics del moment fou que el flogist no es podia ai' llar, però l'acceptaren perquè donava resposta als fets experimentals. El descobriment que la calcinació dels metalls produïa una substància més pesada que el metall original suposà un greu problema per aquesta teoria, perquè, ¿com podia ser que s'hagués després el flogist i, al propi temps, la massa resultant fora major? Per justificar aquesta contradicció, alguns científics afirmaren que el flogist tenia una massa negativa, raó per la qual el producte resultant pesava més. Ara bé, com es pot entendre que una substància tinga una massa negativa?

Després de moltes experiències, Lavoisier donà resposta a la contradicció suposant que, el procés de combustió dels metalls era, en realitat, una combinació amb l'oxigen. Aquest raonament explicava l'augment de pes i, per tant, eliminava la necessitat d'un principi tan estrany com el flogist, de manera que, a poc a poc, fou abandonant-se aquesta teoria. A partir d'aquest moment, la Química començà un dels períodes evolutius més rics de la història.

El treball de Lavoisier fou molt important en el seu temps. A més de donar una explicació per a la calcinació dels metalls i dedicar-se a investigar noves experiències, repetí moltes de les que ja havien fet altres científics anteriors a ell, fent ús de tots els coneixements del moment per interpretar-les segons les noves teories. A partir dels seus estudis, altres científics unificaren les teories del canvi químic. La racionalització dels mètodes al laboratori i l'ús sistemàtic de la balança li permeteren formular la llei de conservació de la massa. També contribuï a establir la nomenclatura moderna i li és atribuït la publicació del primer llibre de text modern de química.

A nivell personal també fou un home progressista, defensor dels ideals de la revolució francesa i de l'equiparació dels drets per a tothom. De fet, compartí aspectes del seu treball científic amb la seua dona, Marie Anne Paulze, amb la que el podem veure a la fotografia superior, en un quadre del pintor Jacques Louis David, amb qui tenien amistat. Cal recordar que, en aquest moment de la història, la dona tenia vedat l'accés a l'estudi i el coneixement científic, per tant no era corrent en absolut aquest treball d'equip i menys fer-ho públicament. Marie Anne era filla única d'un dels directors de la Ferme Générale, societat privada compromesa amb el govern francès anterior a la república, per recaptar impostos. Lavoisier treballà com administrador en aquesta societat, la qual cosa li valgué la inculpció dels revolucionaris i, malgrat les idees revolucionaries que professava, fou guillotinat durant la revolució francesa acusat de pertànyer a la noblesa.

Quan es casaren, Marie Anne tenia sols 14 anys, però es va convertir ben aviat en eficient col·laboradora del seu marit. Posséia coneixements d'anglès, cosa que li permeté traduir i posar a l'abast de Lavoisier els treballs dels químics anglesos, la llengua dels quals ell ignorava. Marie Anne va traduir el llibre de R. Kirwan *Assaig sobre el flogist*, que havia estat publicat a Londres el 1784. La traducció aparegué el 1788, amb notes de Lavoisier i els seus col·legues. Ella també dibuixà nombroses escenes de les experiències que Lavoisier va fer sobre la respiració en companyia d'Armand Séguin i preparà els gravats d'aparells químics que il·lustraren molt dignament l'edició del *Tractat Elemental de Química*. Així mateix, participà en els treballs per al desenvolupament de la llei de conservació de la massa i en l'establiment de la nomenclatura química.

A més d'ajudar-lo en els experiments, Marie Anne continuà lluitant després de la seua mort, per a reparar les injustícies de què Lavoisier havia estat objecte i va ser la millor advocada de la seua obra. A ella li devem la primera publicació dels treballs científics que ell havia començat a reunir i la conservació del laboratori i manuscrits després de la mort del científic.

Qüestions:

- 1.- Per què es considera important actualment la teoria del flogist?
- 2.- Què opines respecte de la teoria del flogist? Penses que pot existir alguna substància amb massa negativa?
- 3.- ¿Penses que Lavoisier podria haver treballat en la teoria del flogist sense l'ajuda de Maria Anne?
- 4.- ¿Creus que l'èxit d'un treball important, tant en el cas que estem tractant com en altres molts, es deu soles a una persona?
- 5.- Quan estudies sempre apareixen científics: Newton, Galileu, Faraday, Einstein... Per què creus que no apareixen dones?
- 6.- La ciència era normalment cosa d'homes, però creus que les coses estan canviant?
- 7.- Actualment, quin creus què és el paper de la dona en el treball científic? Ha desaparegut la discriminació respecte de l'home?
- 8.- ¿De quina manera podríem aprendre a valorar millor la contribució de la dona al desenvolupament de la ciència i la tecnologia?



EXEMPLES D'ENTREVISTES.

EXEMPLES D'ENTREVISTES D'ALUMNES DE CONTROL

ENTREVISTA AMB PAU. 1r BATXILLERAT

Es tenen preparats a la vista de l'alumne els següents materials: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, òxid de plom, carbó, aigua destil·lada, alcohol, vi, aire, foc (la flama d'un ciri) i llum d'una llanterna.

Entrevistadora1: De totes les coses que tens davant, quina o quines consideres que poden ésser una substància?

Pau1: el zinc, el carbó, i ja

E2: Per què?

Pau2: Perquè els demés són mescles

E3: Tots són mescles?

Pau3: Hi ha un compost, l'aigua, el vi és un compost, però no sé de què, supose que d'alcohol i de raïm, l'alcohol, però no sé quina classe d'alcohol serà. L'àcid clorhídric és un àcid, és una mescla, el bicarbonat igual, el sucre igual, la pedra igual, és un compost

E4: Aleshores, si hagueres de definir què és una substància, què diries?

Pau4: Substància és un element que es troba sols, que no està junt en un altre.

E5: Quan dius un element, què vols dir?

Pau5: Un element... una matèria que soles existeix ella, que no se mescla en altres, que està això sols, no sé com explicar-ho.

E6: Hi ha alguna llista d'elements?

Pau6: Sí, la taula periòdica

E7: Per suposat, les partícules no es poden veure al microscopi però suposem que en tenim un, màgic, que ens permet veure-les. Imagina que estàs mirant a través d'ell i veus una substància. Vols dibuixar el que veuries?

Pau7: Elements. Els àtoms. Però dibuixar àtoms... un al costat de l'altre i tots iguals... si es tracta d'un element, són iguals.

E8: Ara t'ensenyen una cosa que no és una substància, pots dibuixar el que veuries?

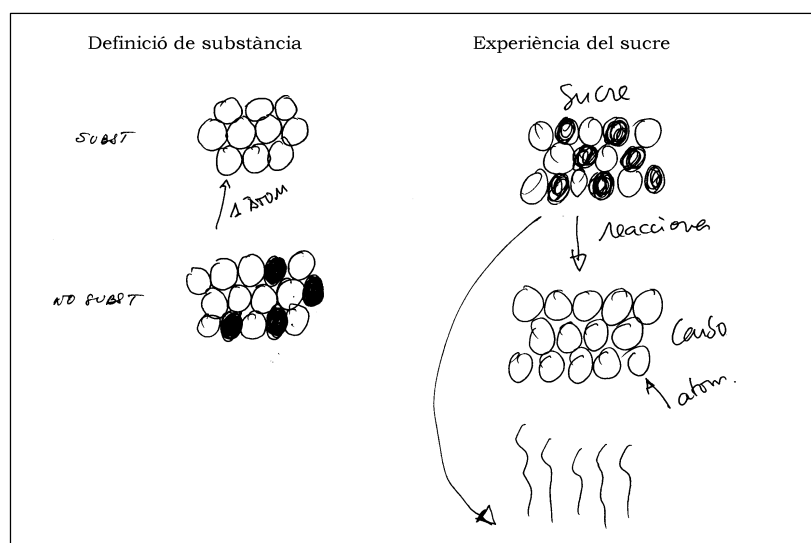
Pau8: El mateix, però diferents àtoms. Igual la composició seria la mateixa però els àtoms serien... encara que fora una mescla, un compost... Els àtoms són sempre iguals, el que canvia són els elements.

E9: Estàs dibuixant àtoms de diferents classes per a indicar que no és una substància, això representa un compost o una mescla?

Pau9: No ho sé. Tampoc sé la diferència entre compost i mescla, però el que està clar és que no és una substància.

E10: Val. Anem a deixar els dibuixos un moment. Imagina que estàs a un laboratori, et porten una mostra i et demanen que digues si es tracta o no d'una substància, sabries què fer?

Pau10: Tirar-li àcid... perquè si es composta,... l'àcid clorhídric se ho menjarà tot... No sé. Intentar separar els compostos, si és una substància composta la faria reaccionar en alguna cosa, per a què un compost s'evaporara i l'altre es quedara baix i, si fora simple, pues res, perquè es quedaria igual.



Representacions microscòpiques de substància i reacció química de Pau (1r Batx)

Experiència de la descomposició del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumne que expliqui el què ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

E11: Podries dir el que ha passat?

Pau11: Hi ha una reacció en la que es separen,... no en la que es crema el sucre, hi ha una oxidació, una reacció química, es separa una substància, que s'evapora i baix es queda una substància líquida o no queda res perquè està negre i no es veu res. Això negre és líquid o és del vidre? És líquid.

E12: Tasta'l i ho sabràs.

Pau12: És carbó, no? Sí. Bueno, és sucre cremat

E13: Si és sucre cremat, estarà dolç.

Pau13: No té perquè, igual que el compost que endolça el sucre, l'element que endolça el sucre s'ha evaporat en cremar-lo

E14: Tasta'!!

Pau14: És cendra. No és sucre.

E15: Si soles havíem posat sucre dins del tub, d'on ha eixit el carbó?

Pau15: Ha eixit de separar-se... o siga, el sucre estarà compost del carbó i de sacarosa, o glucosa o algun producte que li dona el sabor dolç i en evaporar-se lo altre s'ha quedat el carbó

E16: Quin tipus de procés creus que ha tingut lloc?

Pau16: Una separació

E17: Si, però un canvi d'estat o una reacció

Pau17: No, una reacció. S'ha separat un gas d'un... s'ha separat un sòlid que s'ha transformat en gas i en un sòlid.

E18: I eixe gas d'on ha eixit, on estava abans?

Pau18: En el sucre. Dins del sucre

E19: Com? Podries fer un dibuix a nivell submicroscòpic que el representara?

Pau19: Seria igual que abans... és que ja... es quedarien les blanques i les negres s'haurien evaporat. En principi tenim sucre i baix el carbó. Cada bola blanca és un àtom de carbó. I el fum són les boles que tindran una temperatura d'ebullició més baixa i per això s'ha evaporat.

E20: Però pel que veig, dibuixes el carbó amb àtoms, però el gas no té àtoms?

Pau20: Sí que té àtoms, però no pots veure'ls. Si això ho passes a líquid un altra volta podràs veure els àtoms.

E21: O siga que els àtoms sols es poden veure en cas que siga sòlid o líquid, en els gasos no?

Pau21: Si, això és el que he dit

E22: Creus que el sucre és simple o composta?

Pau22: Compost, perquè es queda el carbó baix i s'evapora el fum

Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumne que explique el que ocorre a la vista i el que supose que ha tingut lloc a l'interior del tub.

E23: Podries explicar el que passa?

Pau23: En tirar el zinc sobre l'àcid clorhídric ha reaccionat, s'ha fet una reacció química i ha hagut un... una... no sé ja....

E24: Si t'has donat compte el zinc era sòlid i ja no queda res, on està?

Pau24: S'ha evaporat

E25: Quan dius que s'ha evaporat, què vols dir?

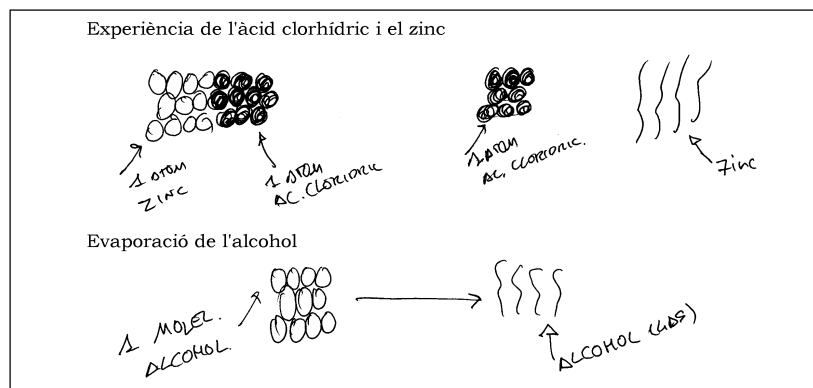
Pau25: Pues que en reaccionar en l'àcid clorhídric que... ha desaparegut, que no està... no sé,... desaparèixer no pot desaparèixer, es té que haver transformat i s'ha transformat en gas perquè ja no està. En líquid no crec que estiga. Si no està en líquid ni en sòlid és que s'ha evaporat.

E26: Evaporar és canviar de sòlid a gas o evaporar és que en el gas que s'ha format el zinc també se'n ha anat? El gas que eixia era zinc en estat gasós o era un altra cosa?

Pau26: Era un altra cosa, en entrar en contacte en l'àcid i en eixa cosa anava el zinc

E27: Podries fer un dibuix a nivell submicroscòpic que represente el procés?

Pau27: Es que no tinc ni idea... el zinc per una part, entrarà en contacte en l'àcid clorhídric,... el gas, igual que abans,... en eixe gas estaria el zinc en estat gasós... es que ja no sé ni què crec. No sé.



Representacions microscòpiques de reacció química (Pau, 1r Batx)

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumne que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe. Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

E28: On està l'alcohol?

Pau28: L'alcohol? S'ha ficat dins de la pell. No, s'ha evaporat

E29: Que vol dir que s'ha evaporat?

Pau29: Que en entrar en contacte amb la temperatura ambient, però ahí dins està a temperatura més baixa, no estarà a la mateixa temperatura que nosaltres,... no ho sé.

E30: Però quan dius que s'ha evaporat sí que sabràs què vols dir, no?

Pau30: Sí, que s'ha convertit en gas

E31: O siga que pot ser que estiga dons de la pell i si no, on pot haver anat? [...] No importa, estiga on estiga, penses que les partícules estaran igual o d'altra forma que abans de bufar? Pots fer un dibuix que les represente?

Pau31: No sé, ja no sé què fer ja. Cada boleta serà una molècula d'alcohol....

E32: El gas continuarà sent alcohol o serà un altra cosa?

Pau32: Sí, crec que continuarà sent alcohol.

ENTREVISTA ANDREA, COU

Es tenen preparats a la vista de l'alumna els següents materials: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, òxid de plom, carbó, aigua destil·lada, alcohol, vi, aire, foc (la flama d'un ciri) i llum d'una llanterna.

Entrevistadora1: De totes les coses que tens davant, quina o quines poden ser una substància?

Andrea1: Pura? El zinc, el carbó, i ja està.

E2: Per què?

Andrea2: Perquè són substàncies en si, no estan formades per més de dos, una substància pura és un element conforme estiga però un element soles.

E3: Imagina que has d'explicar a un amic què és una substància, què li diries?

Andrea3: Que una substància és... no sé definir-ho. Substància és un mateix igual d'àtoms, que siguin tots iguals, que no siguin diferents.

E4: Podries definir-ho per medi d'un dibuix? Imagina que tinguérem un microscopi màgic que ens permetera veure les partícules. Si mirarem a través d'ell una substància, què veuríem?

Andrea4: Depèn, si és una substància que està natural és una a soles pues estaria una boleta a soles, si són dos o... no sé.

E5: Però sols veuries una o dos?

Andrea5: No, perquè això seria un sol àtom, no una molècula soles, veuríem molts. Si fora l'oxigen anirien de dos en dos, el carbó seria una xarxa...

E6: Ara imagina que estàs mirant una cosa que no és una substància, què veuries?

Andrea6: Què no és una substància? Es que totes són substàncies, però són compostes, no? Substàncies, es què... les que t'he dit són substàncies pures, l'aigua també és una substància, però no és... no ho sé, sí què és substància, però no és...

E7: A veure, l'aigua, l'alcohol, el vi, són substàncies?

Andrea7: Sí... així totes serien substàncies...

E8: A veure, hi ha alguna diferència entre l'aigua i el vi? Saps de què està fet el vi?

Andrea8: D'etanol, porta raïm, porta sucre, aigua...

E9: I l'aigua destil·lada, saps de què està feta? Què té?

Andrea9: Aigua. L'aigua destil·lada és aigua normal que la destil·len i dins de la botella sols hi ha aigua

E10: Aleshores, has dit que l'aigua és substància, però no pura?

Andrea10: No ho sé, és que jo faig referència a substància pura quan és un element

E11: I quan dius element, en què estàs pensant?

Andrea11: En tots els de la taula periòdica. Quan es combinen seran substàncies compostes, ...
crec

E12: Però, deixem a banda el nom, estarien en la mateixa classificació l'aigua i el vi?

Andrea12: No crec

E13: Per què

Andrea13: Home, si que haurien d'estar, encara que una siga més complexa que l'altra, si que haurien d'estar.

E14: Bé, d'un costat has posat els que estan formats per un sol element i d'altre, tota la resta. En tots eixos inclou també l'aire, la llum i el foc?

Andrea14: No, unes són barreges i les altres no. L'aire és una barreja i podria estar en la resta, perquè és una barreja de gasos, però la llum no i el calor, no ho sé... és que tampoc són el mateix, però casi si

E15: Bé, ara tracta de dibuixar alguna cosa que no siga una substància.

Andrea15: Es que ara ja són tot substàncies, el que passa que unes pures i altres compostes i dins de les compostes hi ha barreges de moltes maneres, que poden ser homogènies, heterogènies, l'aire és una barreja de gasos, la llum són corpuscles, segons com ho mires pot ser substància, perquè es comporta com substància, no com substància no, com matèria, no ho sé si serà substància.

E16: Val, imagina que estàs al laboratori i vols esbrinar si una cosa és o no una substància, què faries?

Andrea16: Segur que seria una substància, perquè tot està fet de substància, però no sé què faria... escalfar-la, fer-la reaccionar en àcid, és que si no saps què és, ... millor no fas res, per si de cas.

Experiència de la descomposició tèrmica del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumne que explique el què ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

E17: Pots explicar el que està passant?

Andrea17: Està canviant d'estat, de sòlid a líquid i ara a gas. Ara s'està cremant, dins tenim sucre pur, no ho sé... sucre cremat, està un poc socarrat.

E18: Vols tastar-lo?

Andrea18: No, no és sucre. Ha hagut una reacció, no, una reacció tampoc. Mmm! No és sucre, no ho havia tastat mai, no sé a què sap. Pareix cendra...

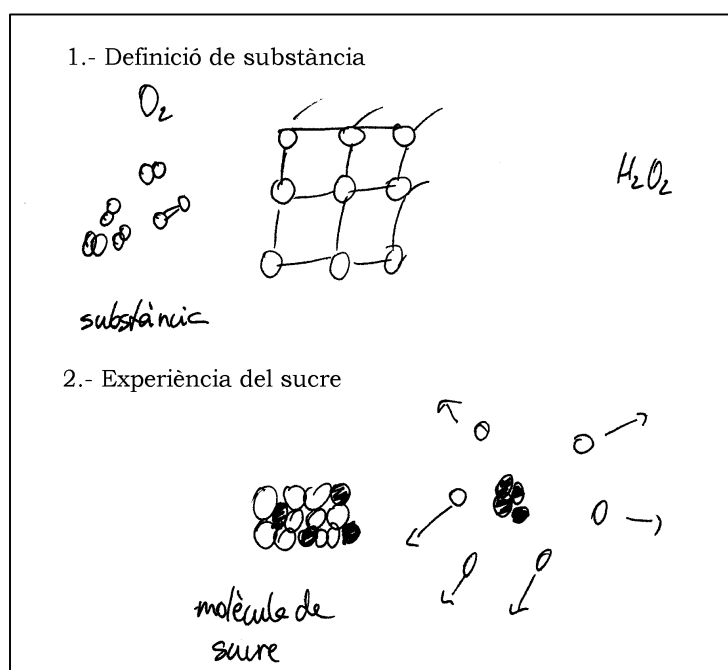
E19: Anem a veure el que ha passat. Hem posat sucre, hem escalfat, tenim carbó i ha eixit fum, què ha passat?

Andrea19: Una substància que té el sucre s'ha evaporat. Serà una barreja de substàncies i el que tinga el punt de fusió més baix serà el que s'ha evaporat i ha passat a gas i lo altre, algun li farà falta més temperatura per a passar a gas. I el carbó serà que una de les coses que forma el sucre és carbó

E20: O siga, per a tu, el sucre és simple o compost?

Andrea20: Compost, perquè està format de varies coses i una d'elles és el carbó.

E21: Podries ara fer un dibuix que represente a nivell submicroscòpic el que ha passat i el que es veuria abans i després d'escalfar?



Representacions d'Andrea (COU) respecte del concepte de substància i la descomposició tèrmica del sucre.

Andrea21: No ho sé, d'entrada no tinc idea de com és el sucre,... estaran juntes... després s'hauran quedat algunes... el gas se'n va. Al principi hi haurà àtoms de carboni, d'hidrogen, no ho sé... Tot això és la molècula de sucre. Però quan veus un granet hi ha moltes molècules. Després se'n anirien els gasos

E22: Tindríem la mateixa quantitat abans i després?

Andrea22: Home, si arreplegues els gasos si, si els deixes escapar no, però això no ho he representat, hauria de posar els mateixos. Es que com tampoc sé si apart del carbó hi ha més coses, a lo millor eixes es queden per ahí.

E23: Abans de cremar-lo ja estava el gas dins?

Andrea23: Si, però és un component que tinga el sucre. Estava en forma de sòlid, en escalfar-lo, després passa de sòlid a líquid.

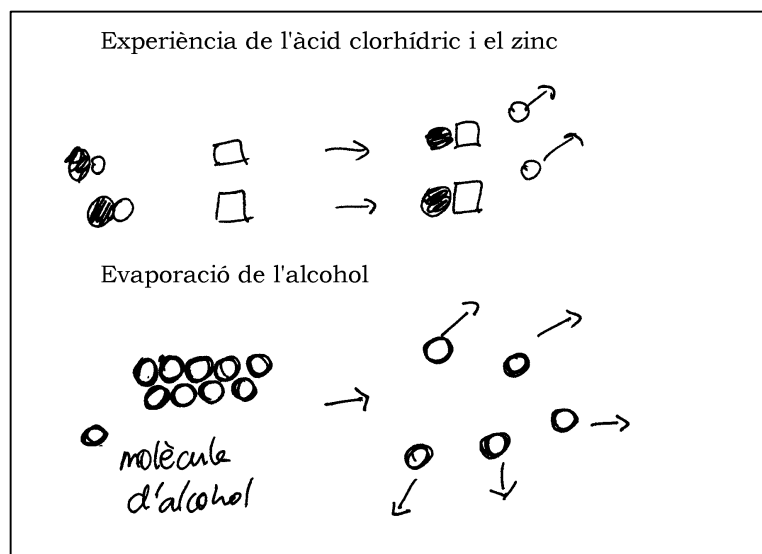
E24: Aleshores vols dir que, a banda de la reacció es produeix un canvi físic?

Andrea24: Si, clar, hi ha reaccions químiques que portent agents físics, o siga, una reacció física també.

E25: Vols dir que els àtoms estaran en estat sòlid al principi i després, quan està solt, en estat gasós?

Andrea25: No, primer passaria per líquid i després per gasos, home, pot passar directament, però crec que en aquest cas no.

Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumne que expliqui el que ha tingut lloc a l'interior del tub.



Representacions microscòpiques de reacció química (Andrea, COU)

E26: Pots explicar el que ha passat?

Andrea26: Ha reaccionat a tope.

E27: I on està el zinc?

Andrea27: Està ací. S'ha format clorur de zinc. Encara que no es veu, està dins. Ha eixit un gas, però clor no crec que fora. No ho crec, Zinc i clorhídric formarà hidrogen i clorur de zinc.

E28: Suposant que és clorur de zinc, aquest porta zinc, perquè no el podem veure?

Andrea28: Perquè estarà dissolt

E29: Però estar dissolt vol dir que ja no estan els àtoms?

Andrea29: No, estan, per suposat que estan, els àtoms sempre estan. Està dissolt.... al fi i al cap és una barreja, però no es distingeixen...

E30: Una barreja de què?

Andrea30: Dels dos, el clor i el zinc, el que passa que no es distingeixen. Una barreja homogènia....

E31: Pots fer el dibuix que represente el que teníem i el que tenim ara?

Andrea31: L'àcid clorhídric... el zinc una molècula de cada cosa

E32: Sols tindríem una de cada cosa?

Andrea32: No, haurien moltes

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumne que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe.
Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

E33: On està l'alcohol? Què ha passat amb ell?

Andrea33: És molt volàtil i s'ha evaporat. Si l'hagueres deixat en un plat no s'haguera evaporat tan ràpid

E34: Què vol dir evaporar-se?

Andrea34: Que ha passat a gas

E35: I on està? Ha reaccionat en alguna cosa?

Andrea35: No, no crec

E36: Podries fer un dibuix que represente l'alcohol abans i després de bufar?

Andrea36: Represente cada molècula com una sola boleta, perquè no sé la fórmula d'aquest alcohol en particular. En principi està en líquid,... estan ordenades... i després estan separades.

EXEMPLES D'ENTREVISTES D'ALUMNES TRACTATS

ENTREVISTA NATÀLIA, 3r ESO

Es tenen preparats a la vista de l'alumna els següents materials: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, òxid de plom, carbó, aigua destil·lada, alcohol, vi, aire, foc (la flama d'un ciri) i llum d'una llanterna.

Entrevistadora1: De totes les coses que tens davant, quina o quines creus que són una substància?

Natàlia1: Una substància? Pues, l'aigua destil·lada, i algunes coses d'aquestes... tot,... l'àcid clorhídric,... crec que sí, el zinc, el bicarbonat, crec que no,... o sí? El bicarbonat crec que no, no. Sí, el bicarbonat sí.

E2: Que tal si et plantejges primer què és una substància?

Natàlia2: Una substància és... la sal és una substància, l'alcohol també, el vi no, el foc... tampoc i la llum no. La pedra pot ser... perquè... segons la pedra que siga...

E3: Per què consideres que les que has esmentat són una substància?

Natàlia3: Perquè està fet per una mateixa cosa... perquè són compostos, però les partícules que els formen són totes iguals.

E4: Ja que parles de partícules. Sabem que no es poden veure, però si disposarem d'un supermicroscopi màgic que ens permetera veure-les. Què creus que veuries en mirar una substància?

Natàlia4: Partícules iguals. Totes així.

E5: I si el que et mostraren no fóra una substància?

Natàlia5: Partícules diferents.

E6: Suposa que vens al laboratori i et donen un recipient amb una cosa dins i et demanen que digues si es tracta o no d'una substància, què faries per esbrinar-ho?

Natàlia6: Faria proves per veure... per exemple ho ficaria a escalfar i veuria el que passa... veuria el que es desprèn i segons el que passara veuria si és una substància o no.

E7: Se t'acudeix algun mètode en particular?

Natàlia7: Escalfar-lo... o dissoldre i veure si es dissol tot o sols un tros.

Experiència de la descomposició tèrmica del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumna que expliqui el que ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

E8: Podries explicar el que està passant?

Natàlia8: Que en escalfar-lo ha passat a un altre estat... i s'ha fet líquid... i sembla que està canviant d'estat i canviant de color, no sé...

E9: Es tracta, doncs d'un canvi d'estat?

Natàlia9: Sí.

E10: El fum que eix saps què és? Podries dir d'on eix?

Natàlia10: És caramel. Sucre cremat. No és sols un canvi físic. També ha hagut una reacció... ja no és el mateix. Ja no és sucre. Ara ja no és sucre, en cremar-lo ha canviat ja no és el mateix.

E11: Vols tastar-ho?

Natàlia11: No.

E12: Per què? Si el que havies posat al tub era sucre no serà roí, no?

Natàlia12: potser que sí, perquè si ha reaccionat s'ha convertit en altra cosa... pareix carbó o alguna cosa així.

E13: A veure, tenies sucre, ha eixit molt de fum i ara dins del tub ja no tens sucre, ara hi ha carbó. Podries explicar el que ha passat?

Natàlia13: perquè era una mescla i en escalfar-lo s'han separat les coses... els components que duia.

E14: Abans havies dit que el sucre era una substància o una mescla?

Natàlia14: Una mescla, no, una substància,... no ho sé.

E15: Vols fer un dibuix que represente el que ha passat? A lo millor t'ajuda a aclarir-te.

Natàlia15: Abans era així i açò era el fum que ha eixit i ara ha quedat així...

E16: Creus que el sucre és una substància o no?

Natàlia16: No.

E17: Estàs dibuixant una sola partícula, hi haurà sols una o seran més?

Natàlia17: No, seran moltes

E18: Però estàs dibuixant-les totes iguals...

Natàlia18: Si... no, no són iguals, hi haurà diferents... [dubta i dibuixa]... no. Jo crec que sí que són iguals! És què jo pense que serà una mescla, però... l'explicació no la sé...

E19: si fóra una mescla, quina explicació donaries, d'acord amb el que estàs dibuixant?

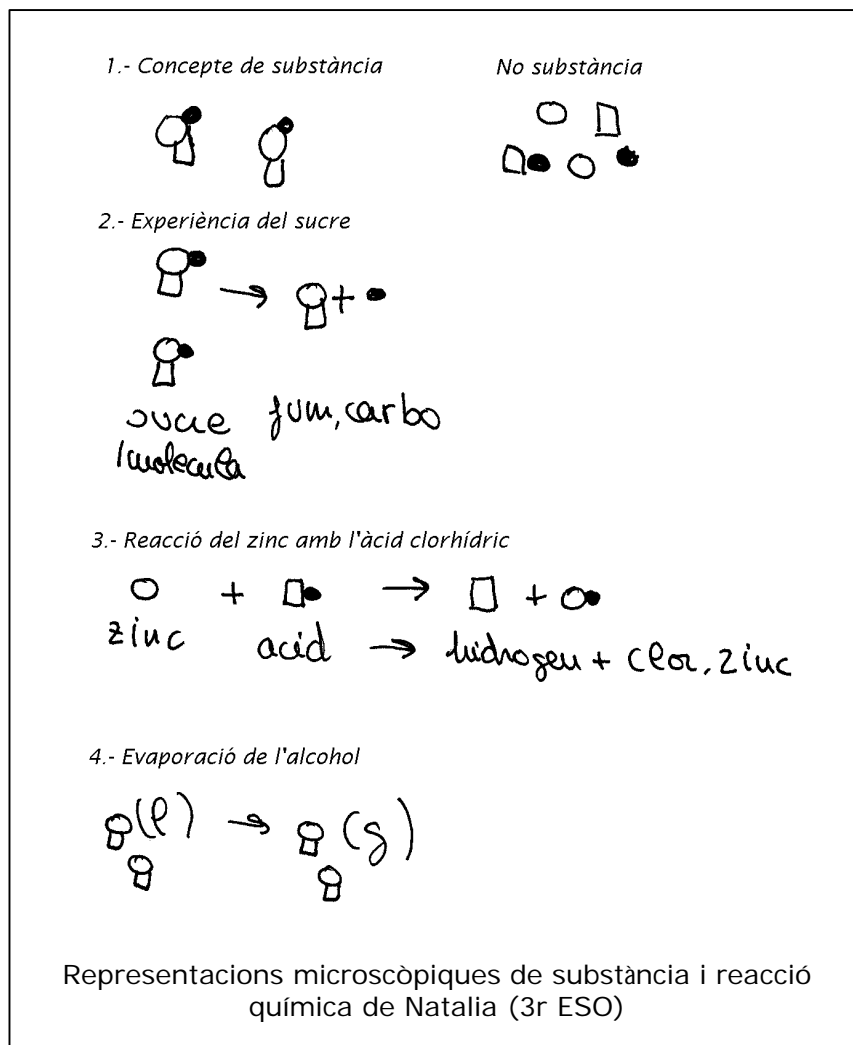
Natàlia19: si fóra una mescla les partícules del sucre no serien totes iguals, encara que després passara a ser altres coses, hi hauria diferents classes de partícules... no. Serà una substància.

E20: I si és una substància serà simple o composta?

Natàlia20: És una substància composta, perquè en escalfar-la han eixit dos coses diferents!

E21: Ara ja estàs satisfeta amb la teua explicació?

Natàlia21: Sí, ara sí.



Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumna que explique el que ha tingut lloc a l'interior del tub.

E22: Podries explicar el que ha passat?

Natàlia22: En ajuntar-se han reaccionat i les partícules s'han organitzat de diferent manera i s'ha fet altra cosa i ha eixit fum...

E23: Perquè dius que han reaccionat? No podria ser un canvi d'estat?

Natàlia23: No, perquè si els dos... no pot ser un canvi d'estat perquè s'ha format altra cosa que no és el mateix...

E24: On està el zinc que havíem posat?

Natàlia24: Ja no està, o s'ha ajuntat en lo altre... queda un poc... però havia més...

E25: D'on creus que eix el fum?

Natàlia25: Del zinc, perquè cada vegada que eix fum queda menys zinc,...

E26: Podries fer un dibuix que explique el que ha passat?

Natàlia26: L'àcid clorhídric en ajuntar-lo amb el zinc ha fet que canvie... que passe a ser un fum que ha eixit i ja no està i el que queda és àcid clorhídric. [Pensa i dibuixa]... Es què en ajuntar-lo es queda igual... perquè si el zinc se'n va pel fum no s'ajunta amb l'àcid clorhídric...

E27: Aleshores el que ha hagut és un canvi d'estat? El zinc ha passat de sòlid a gas?

Natàlia27: No... faria falta més..., perquè és un metall. No, no és un canvi d'estat. El gas que ha eixit pot ser del zinc... però no el zinc, igual s'ha ajuntat part del zinc amb l'àcid clorhídric i lo altre ha eixit. El gas pot ser clor... o també podria ser hidrogen.

E28: Podries fer un dibuix que ho represente?

Natàlia28: Es que no sé molt be el que ha passat, no sé com dibuixar-ho

E29: Penses que ha hagut un canvi físic o químic?

Natàlia29: Químic

E30: Creus que en eixe cas ha hagut algun canvi en les substàncies?

Natàlia30: Si, espera, ara ja no tens zinc... ha eixit un gas... Açò seria el zinc i el gas... el zinc ara potser que estiga dins del tub junt amb lo altre i el gas que s'ha format pot ser hidrogen... Si, açò és hidrogen i açò el que quedava del líquid i el zinc. I lo que quedava del líquid, si ha eixit hidrogen,... serà clor soles?

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumna que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe. Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

E31: On està l'alcohol que t'havia posat a la mà?

Natàlia31: Ja s'ha evaporat... en estar en contacte amb la mà, com la temperatura és més elevada que la de l'ambient, ha fet que s'evapore. Ara està en l'ambient... no sé, s'ha evaporat... un canvi físic.

E32: On estiga ara continua sent alcohol o es tracta d'una cosa nova?

Natàlia32: No, és alcohol, continuem tenint el mateix sols que en gas.

E33: Podries fer un dibuix que ho represente?

Natàlia33: Es que és el mateix que abans. Abans era líquid... ara ha passat a gas, però no li ha passat res perquè segueix sent el mateix. És un compost, però no tindria una partícula sols, hi hauria moltes igual.

ENTREVISTA M^a PILAR, 3r ESO.

Es tenen preparats a la vista de l'alumna els següents materials: una pedra, bicarbonat sòdic, sucre, sal, zinc en pols, òxid de plom, carbó, aigua destil·lada, alcohol, vi, aire, foc (la flama d'un ciri) i llum d'una llanterna.

Entrevistadora1: De totes les coses que tens davant, quina o quines creus que són una substància?

M^a Pilar1: L'aigua, l'àcid clorhídric, el zinc, l'alcohol, òxid de plom, clorur sòdic, sucre i bicarbonat, el carbó no ho sé, perquè no sé què és... si té nom és una substància. La pedra no sé què és...

E2: Perquè dius que aquestes són substàncies i les altres no?

M^a Pilar2: perquè eixes tenen nom i perquè mitjançant processos físics com per exemple l'aigua, jo la puc colar, la puc fer tot però continua sent aigua, no canvia

E3: Si en un laboratori et donaren una mostra i te demanaren que digueres si es tractava o no d'una substància, sabries què fer?

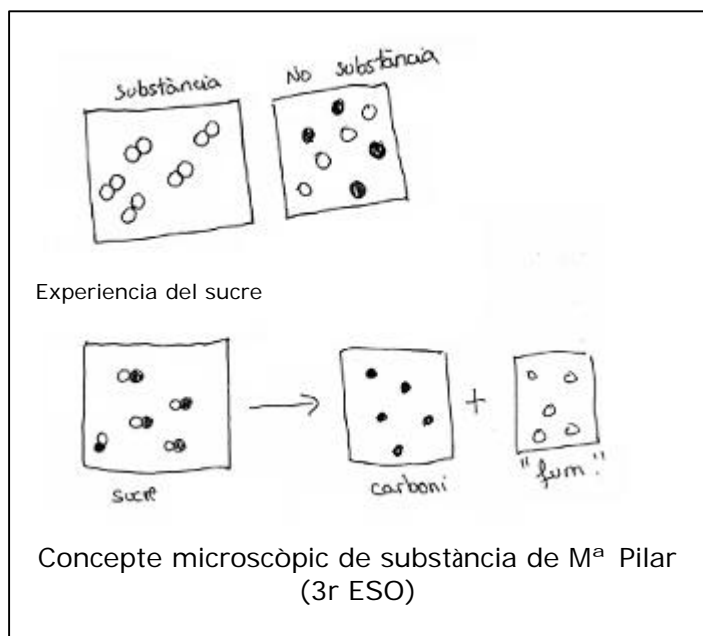
M^a Pilar3: Supose que sí. El primer que faria seria processos físics, colar-la faria destil·lació, decantació, el que se m'ocorreguera i si continua sent això pensaria que es una substància i aleshores la faria reaccionar i veuria si és simple o composta.

E4: Si tingueres un supermicroscopi màgic que et permetera veure les substàncies, podries dibuixar el que veuries?

M^a Pilar4: Una substància de qualsevol cosa? Dibuixa una molècula. Esta substància està formada per una molècula de dos àtoms iguals, és una substància simple

E5: I si al microscopi te posaren una cosa i te digueren que no és una substància, què veuries?

M^a Pilar5: Veuria una mescla. Les que són d'un color representen una substància i les de l'altre color altra substància, que estan formades soles per un àtom. Cada bola és un àtom



Experiència de la descomposició tèrmica del sucre: S'introdueix un poc de sucre en un tub d'assaig i s'escalfa. Es demana a l'alumna que expliqui el que ocorre des del principi fins que tot el sucre es carbonitza.

E6: Pots explicar tot el que passa?

M^a Pilar6: El sucre s'ha sotmès a una reacció química escalfant-lo i ens han aparegut unes substàncies noves. Ens ha aparegut açò... és com lo dels reis, com si fora carbó dolç.

E7: Vols provar-lo?

M^a Pilar7: .Aj!!! És carbó

E8: Penses que el que ha ocorregut és un canvi físic o químic?

M^a Pilar8: Ha ocorregut una reacció química al tub s'ha quedat carbó i s'ha evaporat un fum que també formava part de la substància però no sé que era. Quan es produeix una reacció química, esta substància desapareix i apareixen altres substàncies que tenen altres propietats i no tenen res a veure en l'altre

E9: Penses que el sucre serà una substància simple o composta?

M^a Pilar9: Serà composta, perquè d'eixa mateixa substància han aparegut altres noves diferents i si fora simple es reagruparien d'altra manera però... els àtoms serien del mateix tipus, no canviarien, sols es reagruparien però ací ha aparegut altre element, el carbó, i això vol dir que estava composta i el fum que no sé què és.

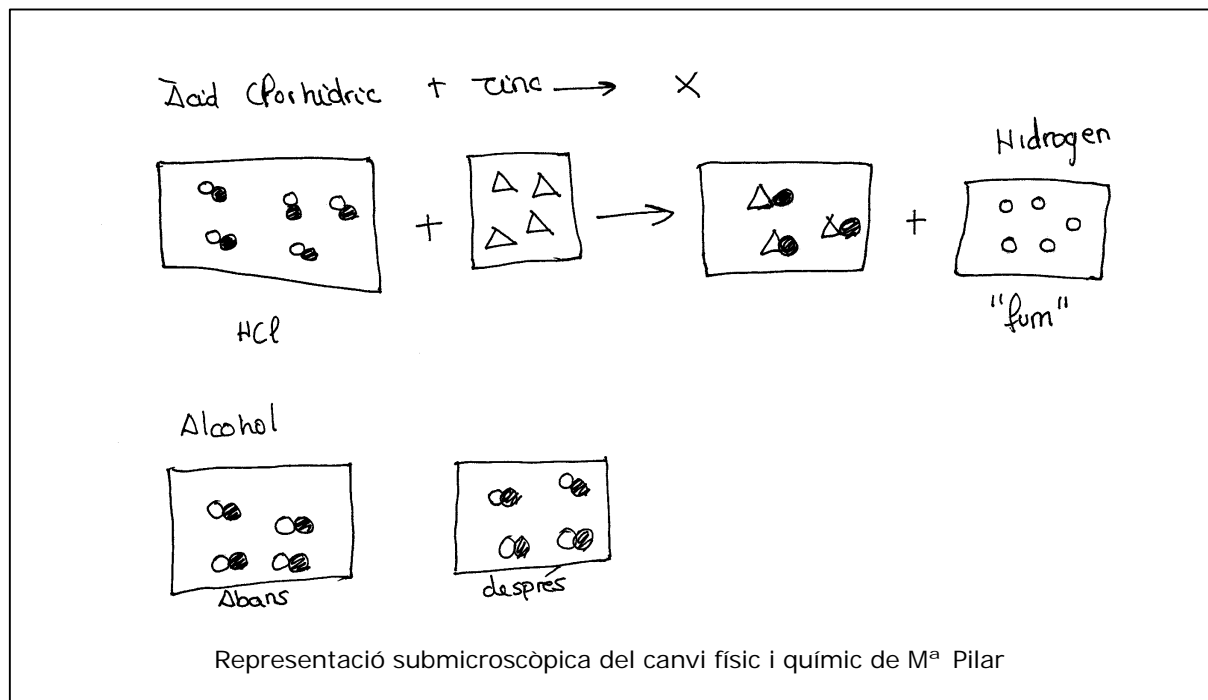
E10: Podries fer un dibuix que la represente? Teníem sucre i ha eixit fum i carbó...

M^a Pilar10: El sucre és una substància composta, que està composta per diversos elements. En la reacció química ens hem quedat amb el que és el carboni, més un fum que s'ha evaporat, s'ha fet vapor. Era una substància composta, perquè no diguem: mira, tu ets carbó i tu... no, és una fórmula i dintre de la fórmula està format per tot i per això apareixen substàncies noves, però els elements ja estaven dins del sucre.

E11: I podria haver-nos aparegut per exemple no sé, has pintat cercles blancs i negres, podria haver eixit un triangle per exemple?

M^a Pilar11: Si al principi els teníem si, en cas contrari, no.

Experiència de l'oxidació del zinc: Es posa un poc de zinc en pols a l'interior d'un tub d'assaig i s'afegeix amb cura àcid clorhídric. Es demana a l'alumna que expliqui el que ha tingut lloc a l'interior del tub.



E12: Podries explicar el que ha passat?

M^a Pilar12: Ha hagut un canvi... se l'ha menjat... queda un poc... al cap del temps li passarà alguna cosa o es queda igual?

E13: Eixa és justament la pregunta que estic fen-te. Què ha passat?

M^a Pilar13: Estava com reaccionant el zinc i és com si l'àcid clorhídric s'haguera menjat el zinc i aleshores han començat a pujar unes bambolletes... s'ha format un gas que està com dins, però ara ja no ix, està dins...

E14: On penses que està ara el zinc que havíem posat?

M^a Pilar14: Se suposa que si s'ha produït una reacció química ara els àtoms de zinc estaran inclosos als àtoms que teníem l'àcid clorhídric

E15: I el gas que s'ha format?

M^a Pilar15: A veure, jo crec que s'ha produït una reacció química perquè el zinc ja no el tenim i el que supose que ha passat és que el zinc en ajuntar-se amb l'àcid clorhídric s'ha evaporat, s'ha transformat en fum i eixes gotetes que queden ahí deuen de ser de zinc, les gotetes de gas que no han eixit

E16: Pots fer un dibuix que represente el que ha passat?

M^a Pilar16: Sí, s'ha produït una reacció entre l'àcid clorhídric i el zinc, perquè crec que han reaccionat, s'ha quedat l'àcid clorhídric i se n'ha anat el zinc, seria el mateix...

E17: Perdona, no recorde si havies dit que era una reacció química o no.

M^a Pilar17: Sí, sí que ho és. Aleshores... l'àcid clorhídric... és hidrogen i clor... el zinc és un element. Podria haver passat que ha reaccionat l'àcid clorhídric amb l'oxigen de l'aire, però és molt estrany, no sé...

E18: Si reaccionara amb l'oxigen de l'aire què passaria cada vegada que obrim el pot?

M^a Pilar18: Que reaccionaria... per això pense que no serà així. Tinc clorhídric... es forma alguna cosa... a mi m'ha donat algo i fum... el fum podria ser l'hidrogen. És l'única cosa que pot ser i després que el clor ha reaccionat amb el zinc... seria l'única cosa que tindria un poc més de sentit.

Vaporització de l'alcohol: Es demana a l'alumna que es pose un poc d'alcohol a la mà i que bufe. Després ha d'explicar el que ha ocorregut.

E19: L'última qüestió. Açò que et pose a la mà és alcohol. Bufem un poc i... què passa?

M^a Pilar19: S'ha evaporat

E20: Què significa que s'ha evaporat? On està?

M^a Pilar20: Ves i busca'!! Era líquid i en estar amb contacte amb la mà, per una diferència de temperatura, ha canviat d'estat, de líquid ha passat a gas, no està... està en l'aire

E21: I on estiga, continuarà sent alcohol o serà altra cosa?

M^a Pilar21: No ho sé. Se suposa que continuarà sent alcohol, no?

E22: Estàs fent el mateix dibuix. Perquè?

M^a Pilar22: L'alcohol continua sent alcohol, el que passa que ha canviat d'estat, pot estar en tres estats, sòlid líquid i gasos, però continuarà sent el mateix.



LLIBRES UTILITZATS EN L'ANÀLISI DE TEXTOS.

3r ESO

1. AGAPITO, M.V., 1998. Secundaria 2000. Física y Química 3º ESO. (Santillana: Madrid)
2. ALBALADEJO, E. i VILELLA, M., 1998. Física i Química 3r ESO (Almadraba: València)
3. ANDRÉS, D.M. et al., 1999. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. 3º ESO (Editex: Madrid)
4. ANTÓN, J.L. et al., 1996. Ciencias de la Naturaleza Física-Química. Proyecto ESO. (Editex: Madrid)
5. ARRIBAS PURAS, C., ESPAÑA TALÓN, J.A., LÓPEZ FENOY, V. y MORALES ORTIZ, J.V., 1998. Ciencias de la Naturaleza, Física y Química 3º ESO. (Edelvives: Zaragoza)
6. BAEZA, D., DELGADO, A.Mª, GALINDO, E., GARCÍA, A.J., LABOURDETTE, A.J., MESA, A., 1995. Física y Química 3º ESO (Teide: Barcelona)
7. BALIBREA, S., REYES, M., CORREA, J., ÁLVAREZ, A. i SÁEZ, A., 2002. Física y Química 3º ESO (Anaya: Madrid)
8. BARRIO, del, J.I., ROMO, N. i LOWY, E., 1999. Interacción. Física y Química 3º ESO (SM: Madrid)
9. BOIXADERAS, N. i PASTOR, J.M., 1998. Entorno 3. Física y Química. (Vicens Vives: Barcelona)
10. BRINCONES, I. et al., 1995. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. (Santillana: Madrid)
11. CAAMAÑO, A. et al., 1996. Ciències de la Naturalesa. Els materials que ens envolten. Primer cicle. (Teide: Barcelona)
12. CAÑAS, A., FERNÁNDEZ, M. i SORIANO, J., 2002. Física y Química 3º ESO. Proyecto Ecosfera (SM: Madrid)
13. CARRIÓN, J.L. et al., 1998. Física y Química. Dos ciencias integradas para el conocimiento de la materia. (Ediciones Tilde: Valencia)
14. CRUZ, A. i RODRÍGUEZ, I., 1994. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. (Bruño: Madrid)
15. DOMÉNECH, J.L. et al., 1998. Ciències de la Natura: Física i Química. (Marfil: Alcoi)

16. DOU, J.M. et al., 1997. Física y Química ESO 3. (Casals: Barcelona)
17. ENCISO, E., MIRET, F i SENDRA, F., 2002. Física y Química 3º ESO (ECIR: Valencia)
18. FIDALGO, J.A. i FERNÁNDEZ, M.R., 1996. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. (Everest: León)
19. FONTANET, A. i PASTOR, J.M^a., 2002. Física y Química 3º ESO. Helio (Vicens Vives: Barcelona)
20. GARCÍA, F., VILLA, M. i SÁNCHEZ, D., 2002. Física y Química 3º ESO (Santillana: Madrid)
21. GARCÍA POZO, T. et al., 1995. Física y Química 3º ESO. (Edebé: Barcelona)
22. GARRIDO GONZÁLEZ, A. et al., 2002. Física y Química 3º ESO. (Edebé: Barcelona)
23. HERNÁNDEZ, J., PAYÁ, J., SOLBES, J. i VILCHES, A., 1998. Física y Química (Rialla-Octaedro: Valencia)
24. HIERREZUELO, J. et al., 1993. Física y Química 3º ESO. (Elzevir: Vélez-Málaga)
25. ILLANA, J., GARCÍA, J.A., PEÑA, A., POZAS, A., 1994. Física i Química 3º ESO. (Mc Graw Hill: Madrid)
26. LLORENS, J.A., 1998. Física y Química 3º ESO. (Tabarca llibres: Valencia)
27. LLORENTE, M^a D., RODRÍGUEZ, M., SANZ, R. i VAQUERO F.J., 2002. Física y Química 3º ESO (Almadraba: Madrid)
28. MANUEL TORRES, E. de et al., 1993. Física y Química 3º ESO. Proyecto 2000. (Algaida: Sevilla)
29. ONTAÑÓN, G. i ONTAÑÓN, E., 1998. Ciències de la Natura. Física i Química. (Bruño: Madrid)
30. PEÑA, A., POZAS, A., GARCÍA, J.A. i CARDONA, A., 2002. Física i Química 3º ESO. (Mc Graw Hill: Madrid)
31. PEÑA, A. POZAS, A., GARCÍA, J.A. i ILLANA, J., 1998. Física i Química 3. Ciències de la Natura. 3r ESO. (Mc Graw Hill: Madrid)
32. PIÑAR, I., 1998. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. 3º ESO. (Oxford: Madrid)
33. PIÑAR, I., 2002. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. 3º ESO. (Oxford: Madrid)
34. PUENTE, J., VIGUERA, J.A. y GONZALO, P., 2002. Newton Física y Química 3º ESO (SM: Madrid)
35. SATOCA, J. i VISQUERT, J.J., 1998. Sèrie el nostre món. Ciències de la Natura. Física i Química. 3r ESO. (Anaya: Madrid)
36. SENDRA, F., ENCISO, E. i CHORRO, F., 1995. Física i Química. Projecte Avizor. (Bruño: Valencia)

4t ESO

1. ALBALADEJO, E. i VILELLA, M., 1998. Física y Química 4º ESO (Almadraba: Valencia)
2. ANDRÉS, D.M. et al., 1996. Ciencias de la Naturaleza. Física-Química. 4º ESO. (Editex: Madrid)
3. ANDRÉS, D.M. et al., 1999. Ciencias de la Naturaleza. Física y Química. 4º ESO. (Editex: Madrid)
4. CANDEL, A., SATOCA, J., SOLER, J.B. i TENT, J.J., 1995. Física y Química 4º ESO (Anaya: Madrid)
5. CARRIÓN, J.L., GOBERNA, A. i LÓPEZ, J.J., 1999. Física-Química. Dos ciencias para el progreso tecnológico. 4º ESO (Tilde: Valencia)
6. DOMÉNECH, J.L. et al., 1999. Física y Química 4t ESO (Marfil: Alcoy)
7. DOU, J.M. et al., 2000. Física y Química ESO 4. (Casals: Barcelona)
8. ESPAÑA TALÓN, J.A., LÓPEZ FENOY, V., MORALES ORTIZ, J.V. y ARRIBAS PURAS, C., 1995. Ciencias de la Naturaleza, Física y Química 4º ESO. (Edelvives: Zaragoza)
9. ESPAÑA TALÓN, J.A., LÓPEZ FENOY, V., MORALES ORTIZ, J.V. y ARRIBAS PURAS, C., 2000. Física i Química 4t ESO. (Edelvives: Zaragoza)
10. FIDALGO, J.A. y FERNÁNDEZ, M.R., 1997. Física y Química 4º ESO (Everest: León)
11. HIERREZUELO, J. et al., 1993. Física y Química 4º ESO (Elzevir: Málaga)
12. LLORENS, J.A., 1999. Física i química 4t ESO (Tabarca: Valencia)
13. MANUEL TORRES, E. De, et al., 1993. Física y Química 4º ESO. Proyecto 2000. (Algaida: Sevilla)
14. MARTÍN, J., RUIZ, E., FRAILE, J.M^a, 1998. Física i Química 4t ESO (Santillana: Madrid)
15. ONTAÑÓN, G. y ONTAÑÓN, E., 1999. Proyecto NOVA. Física y Química 4º ESO. (Bruño: Madrid)
16. ONTAÑÓN, G. i ONTAÑÓN, E., 1999. Ciències de la Natura. Física i Química. (Bruño: Madrid)
17. PASTOR, J.M. i BOIXADERAS, N., 1999. Entorn 4. Física i Química. (Vicens-Vives: Valencia)
18. PIÑAR, I., 1998. Física y Química 4º ESO (Oxford: Madrid)
19. POZAS, A. et al., 1999. Física i Química 4. Ciències de la Natura. 4t ESO. (Mc Graw Hill: Madrid)
20. SENDRA, F., ENCISO, E., CHORRO, F. i GARCÍA, M., 1996. (Ecir: Valencia)
21. SATOCA, J. i VISQUERT, J.J., 1998. Sèrie el nostre món. Ciències de la Natura. Física i Química. 4t ESO. (Anaya: Madrid)

1r Batxillerat

1. AGUSTENCH, M., CASTILLO, V. Del, BARRIO, J.J. Del, ROMO, N., 1996. Física y Química 1 (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y la Salud - Tecnología) (SM: Madrid)
2. AGUSTENCH, M., CASTILLO, V. Del, BARRIO, J.J. Del, ROMO, N., 2002. Física y Química 1. Proyecto Ecosfera (SM: Madrid)
3. ALIBERAS, J., RULL, M. i SERRA, A., 1997. Física i Química 1r Batxillerat (Castellnou: Barcelona)
4. ANDRÉS, D.M. et al., 1995. Física y Química 1. 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y Salud - Tecnología) (Editex: Madrid)
5. BALLESTERO, M. y BARRIO, J., 1999. Física y Química 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y la Salud – Tecnología) (Oxford: Navarra)
6. BALLESTERO, M. y BARRIO, J., 2002. Física y Química Proyecto Exedra. 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y la Salud – Tecnología) (Oxford: Navarra)
7. BARRIO, J.I. del, 1998. Física i Química 1r Batxillerat (Cruï lla: Barcelona)
8. BENEDITO, J. et al., 1997. Física y Química 1º Bachillerato. (Marfil: Alcoy)
9. CARRASCOSA, J., et al., 2000. Física y Química 1 (Santillana: Madrid)
10. CHORRO, F. et al., 1997. Física y Química 1º Bachillerato (ECIR: Valencia)
11. DALMAU, J.F. et al., 2002. Física y Química 1º Bachillerato (Anaya: Madrid)
12. DE MANUEL, E. et al., 1996. Física y Química 1º Bachillerato Logse. (Algaida: Madrid)
13. DOU, J.M. et al., 1999. Física y Química 1º Bachillerato. (Casals: Barcelona)
14. FERNÁNDEZ CRUZ, R. et al., 1999. Eurema 1. Física y Química 1º Bachillerato (Vicens-Vives: Barcelona)
15. FERNÁNDEZ CRUZ, R. et al., 2000. Fotón 1. Física y Química 1º Bachillerato (Vicens-Vives: Barcelona)
16. FERNÁNDEZ CRUZ, R. et al., 2002. Enlace 1. Física y Química 1º Bachillerato (Vicens-Vives: Barcelona)
17. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A. y FERNÁNDEZ PÉREZ, M.R., 1998. Física y Química 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y Salud - Tecnología) (Everest: León)
18. GALINDO, A. et al., 1996. Física y Química 1º Bachillerato LOGSE (Mc Graw Hill: Madrid)
19. GARCÍA, T. et al., 1998. Física y Química. 1º Bachillerato. (Edebé: Barcelona)
20. GARRIDO, A., et al., 2002. Física y Química 1º Bachillerato (Edebé: Barcelona)
21. HIERREZUELO, J. et al., 1995. Física y Química 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y Salud - Tecnología) (Elzevir: Málaga)
22. LORENTE, S. et al., 2002. Física y Química 1º Bachillerato (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y Salud - Tecnología) (ECIR: Valencia)
23. MORALES ORTIZ, J.V. et al., 2000. Física y Química 1r. Batxillerat Terra Nostra (Ciències de la Natura i Salut - Tecnologia) (Edelvives: Zaragoza)
24. ONTAÑÓN, G. i ONTAÑÓN, E., 1997. Física y Química 1. Bachillerato. (Modalidad Ciencias de la Naturaleza y Salud, Modalidad Tecnología) (Bruño: Madrid)
25. PEÑA, A. et al., 1998. Astralia XXI. Física i Química 1r Batxillerat. (Mc Graw Hill: Madrid)
26. POZAS, A. et al., 2002. Física y Química 1º Bachillerato (Mc Graw Hill: Madrid)

27. SATOCA, J., TEJERINA, F. i DALMAU, J.F., 2000. Física i Química 1r Batxillerat (Anaya: Madrid)
28. SOLBES, J., VILCHES, A., CALATAYUD, M^a L. i HERNÁNDEZ, J., 1995. Física y Química 1º Bachillerato. (Octaedro: Barcelona)

2n BUP

1. AGUILAR, J. i GARZÓN, J.L., 1977. Física y Química 2º BUP. (Anaya: Madrid)
2. ALSINA, J., ESTRADÉ, S. i FORNELLS, M., 1987. GAMMA. Física i Química 2n BUP (Barcanova: Barcelona)
3. ARRIOLA, A. et al., 1991. Energía 2. Física y Química 2º BUP. (SM: Madrid)
4. BÁSCONES, F. et al., 1990. Física y Química 2º BUP. (Edelvives: Madrid)
5. BÁSCONES, F. et al., 1991. Física y Química 2º BUP. (Edelvives: Madrid)
6. BELTRAN, J. et al., 1988. Física y Química 2º BUP. (Anaya: Madrid)
7. BURBANO, E. i MARTÍN, R., 1976. Física y Química 2º BUP (Ed. Librería General: Zaragoza)
8. CAAMAÑO, A. et al., 1991. Física i Química 2n BUP. (Teide: Barcelona)
9. CANDEL, A. et al., 1987. Física y Química 2º BUP. (Anaya: Madrid)
10. CANDEL, A., 1995. Física y Química 2º BUP (Anaya: Madrid)
11. DOU, J.M. et al., 1989. Física y Química 2º BUP. (Casals: Barcelona)
12. ESCUDERO GONZÁLEZ, P., et al. 1991. Física y Química 2º BUP (Santillana: Madrid)
13. FEO, R., et al., 1976. Física y Química 2º BUP (Bello: Valencia)
14. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1976. Física y Química 2º BUP (Everest: León)
15. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1983. Física y Química 2º BUP (Everest: León)
16. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1988. Física y Química 2º BUP (Everest: León)
17. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1989. Física y Química 2º BUP (Everest: León)
18. GÓMEZ-CORNEJO GARCÍA, L., DÍEZ DÍEZ, M.H. y del CAMPO GARCÍA, P., 1976. Física y Química 2º BUP (Didascalía: Madrid)
19. LASHERAS, A.L. i CARRETERO, M. P., 1982. Positrón. Física y Química 2º BUP. (Vicens-Vives: Barcelona)
20. LASHERAS, A.L. i CARRETERO, M. P., 1989. Neutró. Física i Química 2n BUP. (Vicens-Vives: Barcelona)
21. LOZANO, J.J. i VIGATÁ, J.L., 1985. SPIN. Física y Química 2º BUP (Alhambra: Madrid)
22. MARÍN, F. i NEGRO, J.L., 1982. Física y Química 2º BUP (Alhambra: Madrid)
23. MARTÍNEZ LORENZO, A., 1990. Fase II 2º BUP (Bruño: Barcelona)
24. OLARTE, M. A. et al., 1990. Física y Química 2º BUP. (SM: Madrid)

25. ONTAÑÓN, G. i MARTÍNEZ, A., 1991. Làser 2. Física i Química 2n BUP. (Bruño: Barcelona)
26. PASTOR BENAVIDES, J.M., et al., 1989. Física i Química 2n BUP (Santillana: Barcelona)
27. PUJAL, M. i BOZAL, J., 1976. Física y Química 2º BUP (Teide: Barcelona)
28. SENDRA BAÑULS, F. y ENCISO ORELLANA, E., 1991. Física y Química 2º BUP (ECIR: Valencia)
29. VIGATÁ CAMPO, J.L., 1985. SPIN. Física y Química 2º BUP (Alhambra: Madrid)

3r BUP

1. ARAGÓ, C., CACHO, F., RUBIO, E. y SUÁREZ, M.A., 1977. Física y Química 3º BUP (Santillana: Madrid)
2. BELTRAN, J., et al., 1985. Física y Química 3º BUP. (Anaya: Madrid)
3. BLANCH, J.M. i VIDAL, A. M., 1991. Quantum. Física i Química 3r BUP. (Barcanova: Barcelona)
4. CANDEL, A. et al., 1987. Física y Química 3º BUP. (Anaya: Madrid)
5. DEL BARRIO, J.I. et al., 1991. Energía 3. Física y Química 3º BUP. (SM: Madrid)
6. DOU, J. M. et al., 1989. Física y Química 3º BUP. (Magisterio Casals: Barcelona)
7. ESCUDERO GONZÁLEZ, P., PASTOR BENAVIDES, J.M., LAUZURICA VALDEMOROS, M.T. y PASCUAL GONZÁLEZ, R., 1991. Física y Química 3º BUP (Santillana: Madrid)
8. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1977. Física y Química 3º BUP (Everest: León)
9. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1985. Física y Química 3º BUP (Everest: León)
10. FIDALGO SÁNCHEZ, J.A., 1990. Física y Química 3º BUP (Everest: León)
11. GÓMEZ-CORNEJO GARCÍA, L., DÍEZ DÍEZ, M.H. y DEL CAMPO GARCÍA, P., 1977. Física y Química 3º BUP (Didascalía: Madrid)
12. LÓPEZ LASHERAS, A. y CARRETERO MAYAYO, M.P., 1986. Protó. Física i Química 3r BUP (Vicens-Vives: Barcelona)
13. LOZANO, J.J. i VIGATÁ, J.L., 1990. Física y Química 3º BUP. (Alhambra: Madrid)
14. MARÍN ALONSO, F. y NEGRO FERNÁNDEZ, J.L., 1986. Física y Química 3º BUP (Alhambra: Madrid)
15. MARTÍNEZ LORENZO, A., RIAÑO DIEZ, J., COUSELO ESPERON, J. y CASTRILLO, P., 1977. Enlace III, Física y Química 3º BUP. (Bruño: Madrid)
16. MARTÍNEZ, A. et al., 1989. Fase III. Física i Química 3r BUP. (Bruño: Barcelona)
17. NAGORE GÓMEZ, E. y MIRALLES CONESA, L., 1978. Física y Química 3º BUP (ECIR: Valencia)
18. OLARTE, M. A. et al., 1985. Física y Química 3º BUP. (SM: Madrid)

19. ONTAÑÓN, G. y MARTÍNEZ, A., 1991. Láser 3. Física y Química 3º BUP. (Bruño: Barcelona)
20. PASCUAL, R. et al., 1986. Física y Química BUP 3. (Santillana: Madrid)

COU

1. CAAMAÑO, A., OBACH, D. i SERVENT, A., 1991. QUÍMICA COU (Ed. Teide: Barcelona)
2. CLIMENT, M.D., DOMINGO, R., LATRE, F., SANZ, V., SILLA, E., SOLER, V. y VICHE, J., 1989. Química de COU. Una perspectiva práctica. (Centro Editorial: Valencia)
3. ESTEBAN, J.M. y NEGRO, J.L., 19____. Curso de Química Orientación Universitaria. Proyecto MT-62 (Alhambra: Madrid)
4. GUILLEM MONZONIS, C., 1979. QUÍMICA COU. (Ed. Marfil: Alcoy)
5. GUILLEN BARONA, J., JULIA ARECHAGA, S., MASANA MARÍN, J. y PASCUAL VALLEJO, A., 1978. QUÍMICA COU. (Ed. Magisterio español: Madrid)
6. LATRE, F i USÓ, J., 1991. Química COU. (Fernando Latre y José Usó: Vila-Real)
7. MARTÍNEZ LORENZO, A. y GARÓN MARQUÉS, S., 1975. Química COU (Bruño y Magisterio Español: Madrid)
8. MARTÍNEZ LORENZO, A., COUSELO ESPERÓN, J., GONZÁLEZ MARTÍNEZ, T., LOMILLO GALLO, R., CARPINTERO DEL REGUERO, A., 1978. Química COU-78 (Bruño: Madrid)
9. MASJUAN, M.D., DOU, J.M. y PELEGRÍN, J., 1991. Química COU (Casals: Barcelona)
10. MORCILLO, J. i FERNÁNDEZ, M., 1986. Química COU. (Anaya: Madrid)
11. MORCILLO, J. i FERNÁNDEZ, M., 1990. Química COU. (Anaya: Madrid)
12. MORCILLO, J. y FERNÁNDEZ, M., 1995. Química COU. (Anaya: Madrid)
13. NEGRO, JOSÉ L. i ESTEBAN, JOSÉ M., 1975. Cerca de la Química. Proyecto MT-62 (Alhambra: Madrid)
14. OROZ, JORGE, 1986. Química COU. (SM: Madrid)
15. ROYO, P. et al, 1982. Química COU. (Santillana: Madrid)
16. SALINAS, F i DE MANUEL, E., 1990. Química COU. (LUIS VIVES: Zaragoza)
17. SAURET, M., 1991. Química COU. (Bruño: Barcelona)
18. USÓ, J. i LATRE, F., 1990. Química COU (Latre i Usó: Vila-Real)

2n Batxillerat

1. ANDRÉS, D.M. et al., 1997. Química 2º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y la Salud (Editex: Madrid)
2. Del BARRIO, J.I. y MONTEJO, C., 1997. Química 2º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y la Salud y Tecnología (SM: Madrid)

3. Del BARRIO, J.I. i MONTEJO, C., 1999. Química 2n Batxillerat. Ciències de la Naturalesa y la Salut (Cruïlla: Barcelona)
4. CALATAYUD, M^a L., HERNÁNDEZ, J., PAYÁ, J., VILCHES, A., 1996. Química 2º Bachillerato. (Octaedro: Barcelona)
5. FIDALGO, J.A. i FERNÁNDEZ, M.R., 1999. Química 2º Bachillerato. Ciencias de la Naturaleza y la Salud. (Everest: León)
6. QUÍLEZ, J. et al., 1998. Química 2n Batxillerat. Ciències de la Natura i la Salut i Tecnologia (Ecir: València)
7. RUIZ, A. et al., 1996. Química 2º Bachillerato. (Mc Graw Hill: Madrid)
8. SAURET, M., 1998. Química 2º Bachillerato. (Bruño: Barcelona)
9. ALONSO, P., CEBEIRA, R y GARCÍA, M^a J., 1999. Curso de Química 2º Bachiller (McGraw Hill: Madrid)
10. del BARRIO, J.I. y MONTEJO, C., 2003. Química 2º Bachillerato (SM: Madrid)
11. CARDONA, A.R., POZAS, A., MARTÍN, R. y RUIZ, A., 2003. Química 2º Bachillerato. (Mc Graw Hill: Madrid)

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.

- ABRAHAM, M. R. i WILLIAMSON, V. M., 1992. Integrating the laboratory and lecture with computers. in W.J. McIntosh & M.W. Caprio (eds). *Successful Approaches to Teaching Introductory Science Courses*, pp. 21-28 (Society for College Science Teachers. Southern Utah University, Cedar City, UT). [243]
- ABRAHAM, M. R., GRZYBOWSKI, E. B., RENNER, J. W. i MAREK, E. A., 1992. Understandings and misunderstandings of eight graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (2), 105-120. [54, 106]
- ADEY, P., 1995. Barmy theories. *SSR*, 76 (276), 95-100. [240]
- AHTEE, M. i VARJOLA, I., 1998. Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 305-316. [138]
- AIKENHEAD, G. S., 1985. Collective decision making in the social context of science. *Science & Education*, 69, 453-475. [20, 243, 251]
- ALBANESE, A., DANHONI NEVES, M. C. & VICENTINI, M., 1997. Models in science and in Education: A critical review of research on students' ideas about the Earth and its place in the Universe. *Science&Education*, 6, 573-590. [103, 222, 358]
- ALONSO, M., 1994. *La evaluación en la enseñanza de la Física como instrumento de aprendizaje*. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. [243]
- ALONSO, M., GIL, D. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1996. Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26. [243]
- ANDERSSON, B., 1989. *Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16)*. Paper presented at the International Seminar on relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in Secondary Science Education. (Utrecht, The Netherlands). [51]
- ANDERSSON, B., 1990. Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16); *Studies in Science Education*, 18, 53-85. [1,15,17,22,27,56,71,75,77]

- ANDERSON R. D. i MITCHENER C. P., 1994. Research on Science Teacher. En D.L Gabel (ed.), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y). [244]
- ASTOLFI, J. P., 1994. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 206-216. [71]
- ASTOLFI, J. P. i DEVELAY, M., 1989. *La didactique des sciences*. (PUF: Paris). [245]
- ATWATER, M. M., 1994, Research on cultural diversity in the classroom. En Gabel D. L (ed), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y). [243]
- AUSUBEL, D. P., 1978. *Psicología educativa. Un punto de vista cognitivo*. (Trillas: México). [61, 62]
- AVOGADRO, A., 1811. Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons. *Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle*, 73, pp. 58-79; citat en *Les Atomes, Une anthologie historique*, 1991. Presses Pocket, Paris. [46]
- AZCONA, R., 1997. *Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos "cantidad de sustancia" y de mol. Una alternativa didáctica basada en el aprendizaje por investigación*. Tesis doctoral no publicada. Departamento de Polímeros. Facultad de Químicas de Donostia. Universidad del País Vasco. [15,48,239,249,253,266]
- BACHELARD, G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique* (Vrin: Paris). [1]
- BACHELARD, G., 1973a. *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne* (Vrin: Paris). [68]
- BACHELARD, G., 1973b. *La filosofía del no. Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. (Amorrurtu: Buenos Aires). [131]
- BAKER, D. R., 1998. Equity Issues in Science Education. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education*. (Kluwer Acad. Publishers: London). [243]
- BAR, V. i GALILI, I., 1994. Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16 (2), 157-174. [68]
- BARKER, V., 1998. From Rabelais to reactions. *Education in Chemistry*, 35 (4), 112. [13]
- BARKER, V. i MILLAR, R., 1999. Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based port-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 21 (6), 645-665. [21]
- BARLET, R. i PLOUIN, D., 1997. La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. *Aster*, 25, 143-174. [57,58,71]
- BEHRENDT, H. et al. (Eds) 2001. *Research in Science Education – Past, present and future* (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht). [242]
- BELL, B. F., 1998. Teacher development in Science Education. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education*. (Kluwer Acad. Publishers: London). [244]
- BELL, B. i FREYBERG, P., 1985. Language in the Science classroom. En R. Osborne & P. Freyberg (eds), *Learning in Science* (pp. 29-40). Surrey, England: Heineman Publishers. [20,51]

- BELL, B. F. i PEARSON, J., 1992. Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14(3), 349- 361. [246]
- BENARROCH, A., 2000. Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique*, 23, 95-108. [76]
- BENSAUDE-VINCENT, B. i STENGERS, I., 1997. *Historia de la Química*. (Addison-Wesley, Universidad autónoma de Madrid). [33,44,45,47,151,181]
- BEN-ZVI, R., EYLON, B i SILBERSTEIN, J., 1982a. *A study of student conceptions of structure and process*. (Weizmann Institute of Science, Revohot, Israel). [19]
- BEN-ZVI, R., EYLON, B i SILBERSTEIN, J., 1982b. Students conceptions of gas and solid Difficulties to function in a multi-atomic context. Paper presented in NARST Conference, Lake Geneva. National Association for Research in Science Teaching. [17,53,57,60]
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. i SILBERSTEIN, J., 1986. Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63 (1), 64-66. [15,17,27,50,53,58,59,60]
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. i SILBERSTEIN, J., 1987. Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24 (4), 117-120. [15,55,56,60,70,71]
- BEN-ZVI, R., EYLON, B. i SILBERSTEIN, J., 1988. Theories, principles and laws, *Education in Chemistry*, 25, 89-92. [1,17]
- BLACK, P., 1995. Les enseignants peuvent-ils utiliser l'évaluation pour améliorer l'apprentissage? *Didaskalia*, 6, 99-114. [243]
- BLACK, P., 1996. La valoración del aprendizaje al servicio de la innovación en la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación*, 310, 157-171. [243]
- BOAS, M., 1952. The establishment of the mechanical Philosophy. *Osiris*, 10, 412-541. [33]
- BOAS, M., 1969. Structure of matter and chemical theory in the seventeenth and eighteenth centuries. In Clagett, M. (ed), *Critical problems in the history of science*, 499-515, University of Wisconsin Press. Madison, Milwaukee, London. [34,37,39]
- BODNER, G. M., 1986. Constructivism: A Theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63 (10), 873-878. [246,249]
- BODNER, G. M., 1991. I have found you an argument: the conceptual knowledge of beginning Chemistry Graduate Students. *Journal of Chemical Education*, 68, 385-388. [1,17]
- BOO, H. K. i WATSON, J. R., 2001. Progression in high school Students' (aged 16-18). Conceptualisations about chemical reactions in solution. *Science Education*, 85, 568-575. [55]
- BORSESE, A. i ESTEBAN, S., 1998. Los cambios de la materia, ¿deben presentarse diferenciados en químicos y físicos? *Alambique*, 17, 85-92. [53]
- BOURQUE, D.R. i CARLSON, G.R., 1987. Hands-on versus computer simulation methods in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64, 232-234. [243]
- BRIGGS, H. i HOLDING, B., 1986. *Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in Chemistry* (Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education: University of Leeds). [56]

- BROCK, W. H., 1998. *Historia de la Química*. (Alianza Editorial S.A.: Madrid). [38]
- BROOK, A., BRIGGS, H. i DRIVER, R., 1984. *Aspects on secondary students' understanding of the particular nature of matter*. Children's Learning in Science Project, Leeds, UK: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds. [17,74]
- BROSNAN, T., 1999. When is a chemical change not a chemical change? *Education in Chemistry*, 36 (2), 56. [53]
- BROWN, T. M., COOKSEY, A. T. i McLACHLAN, T. R. B., 1998. 20th century "alchemy". *Education in chemistry*, 35 (1), 15-16. [35]
- BRUSH, S. G., 1989. History of science and science education, *Interchange*, 20 (2), 60-70. [28]
- BULLEJOS, J., 2001. *La enseñanza y el aprendizaje del cambio químico en la educación secundaria. Análisis crítico y propuesta de mejora*. Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada. [70,76,80,94,141,181,331]
- BULLEJOS, J., de MANUEL, E. i FURIÓ, C., 1995. ¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 9, 27-42. [59,60,76]
- BURBULES, N. i LINN, M., 1991. Science Education and philosophy of science: congruence or contradiction? *International Journal of Science Education*, 13 (3), 227-241. [19,261]
- BUTZOW, J. W. i GABEL, D., 1986. We all should be researchers. *The Science Teacher*, 53(1), 34-37. [253]
- BYBEE, R. W., 1991. Integrating the history and nature of science and technology in science and social studies curriculum. *Science Education*, 75 (1), 143-155. [61]
- BYBEE, R. W. i De BOER, G. E., 1994. Research on goals for the science curriculum. En Gabel D.L (ed), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y). [243]
- BYBEE, R. W. i BEN-ZVI, N., 1998. Transforming Goals to Practices. En Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (Ed). *International Handbook of Science Education*, 487-498 .(Kluwer Academic P.; Dordrecht). [243]
- CAAMAÑO, A., MAYOS, C., MAESTRE, G. i VENTURA, T., 1983. Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (3), 198-200. [52,59,70,74,139,157,194]
- CALATAYUD, M. L., GIL, D. et al. 1990. *La construcción de las ciencias físico-químicas*.(Ed NAU llibres: València). Llibre de l'alumne i llibre del professor. [249]
- CAMPBELL, B., 1999. Classroom continuity: Pupils' perceptions of science education at primary and secondary school. *Proceedings Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.) Research in Science Education, Past, Present and Future*. Vol 2. pp. 587-589. Kiel, Germany. [13]
- CAÑAL, P., 1990. *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes: un estudio didáctico en la educación básica*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Sevilla. [245]

- CAÑAL, P., 1997. La fotosíntesis y la "respiración inversa" de las plantas: ¿un problema de secuenciación de los contenidos? *Alambique*, 14, 21-36. [240]
- CAÑAL, P. i CRIADO, A., 2002. ¿Incide la investigación en Didáctica de las Ciencias en el contenido de los libros de texto escolares? El caso de la nutrición de las plantas. *Alambique*, 34, 56-65. [253]
- CARBONELL, F. i FURIÓ, C., 1987. Opiniones de los adolescentes respecto del cambio sustancial en las reacciones químicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 3-9. [1,15,17,71,72,75]
- CARNICER, J., 1998. *El cambio didáctico en el profesorado de Ciencias mediante tutorías en equipos cooperativos*. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. [244,270]
- CARRASCOSA, J., 1983. Errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias: Selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1, 63-65. [62,242]
- CARRASCOSA, J., 1985. Errores conceptuales en la enseñanza de la Física y la Química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 230-234. [1,242]
- CARRASCOSA, J., 1987. *Tratamiento didáctico de los errores conceptuales en la enseñanza de las ciencias*. Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València. [14,15,62]
- CARRASCOSA, J. i GIL, D., 1992. Concepciones alternativas en Mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 314-328. [242]
- CARRASCOSA, J. i MARTÍNEZ, S., 1997. *Problemas, cuestiones y ejercicios de Física*. (Santillana: Madrid). [242]
- CARRETTO, J. i VIOVY, R., 1994. Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Aster*, 18, 11-26. [54,55,141,181]
- CASSIRER, E., 1910. *Substance et fonction*, 236-254 (traducció al francès 1977, Ed. Minuit). [47]
- CATALÁN, F. i CATANY, M., 1986. Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la historia. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 163-166. [243]
- CHALMERS, A., 1998. Retracing the Ancient Steps to Atomic Theory. *Science & Education*, 7 (1), 69-84. [22,33,35,37]
- CHI, M. T. H., SLOTTA J. i de LEUW, N., 1994. From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27 – 43. [245]
- CLEMINSON, A., 1991. Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 429- 445. [19]
- COLL, C., 1988. *Conocimiento psicológico y práctica educativa* (Barcanova: Barcelona). [241]
- COLL, C., POZO, J. I., SARABIA, B. i VALL, E., 1992. *Los contenidos de la reforma: Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. (Aula XXI. Santillana. Madrid). [245]

- COLLINS, S. i OSBORNE, J., 1999. Pupils' and parents' views of the role and value of the science curriculum. In M. Komorek et al (eds). *Proceedings Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.). Research in Science Education, Past, Present and Future*, Vol 2. pp. 584-586. Kiel, Germany. [13]
- COLMANT, P., 1972. Querelle à l'Institut entre équivalentistes et atomistes. *Revue des questions scientifiques*, 143 (4), 493-519. [39]
- De JONG, O. i VAN DRIEL, J., 1999. The development of preservice teachers' concerns about teaching chemistry topics at a macro-micro-representational interface. In M. Komorek et al (eds). *Proceedings Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.). Research in Science Education, Past, Present and Future*, Vol 2. pp. 596-598. Kiel, Germany. [20,57]
- De MANUEL, J. i GRAU, R., 1996. Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico. *Alambique*, 7, 53-63. [242]
- De POSADA, J. M., 1993. Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 12-19. [58]
- De VOS, W., 1984. *Chemie in duizend vragen*. (Diesterweg Salle: Frankfurt). [60,68]
- De VOS, W. i VERDONK, A. H., 1985a. A new road to reactions. Part 1. *Journal of Chemical Education*, 62 (3), 238-240. [15,17]
- De VOS, W. i VERDONK, A. H., 1985b. A new road to reactions. Part 2. *Journal of Chemical Education*, 62 (3), 648-649. [15,556]
- De VOS, W. i VERDONK, A. H., 1987a. A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 692-694. [17,52,59]
- De VOS, W. i VERDONK, A. H., 1987b. A new road to reactions. Part 5. The elements and its atoms. *Journal of Chemical Education*, 64 (12), 1010-1013. [17,52,58,59]
- De VOS, W. i VERDONK, A. H., 1996. The particulate nature of matter in Science Education and in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (6), 657-664. [35,60]
- Del CARMEN, L., 1990. La elaboración de proyectos curriculares de centro en el marco de un currículo de ciencias abierto. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 37-45. [243]
- DICKINSON, D. K., 1987. The development of a concept of material kind. *Science Education*, 71 (4), 615-628. [51]
- DIERKS, W., 1981. Teaching the mole. *European Journal of Science Education*, 3 (2), 145-158. [15]
- DOMÉNECH, J. L., 2000. *L'ensenyament de l'energia en l'Educació Secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora*. Tesi doctoral. Universitat de València. [253]
- DOMÍNGUEZ, C. i FURIÓ, C., 2001. Knowing the history of science to understand students' difficulties with the concept of chemical substance. En D. Psillos et al. (eds). *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*. Vol I, 365-367 (ESERA-Aristotle University of Thessaloniki: Greece). [57,68,239]
- DORAN, R. L., 1972. Misconceptions on selected concepts held by elementary school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 9 (2), 127-137. [14]

- DORI, Y. J., 1995. Cooperative studyware development of an organic chemistry module by experts, teachers and students. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 163-170. [243]
- DORI, Y. J. i BARNEA, N., 1993. A computer-aided Instruction module on polymers. *Journal of Chemical Information in Computer Science*, 33, 325-331. [243]
- DRIVER, R., 1973. *The representations of conceptual frameworks in young adolescents science students*. Tesis doctoral publicada. University of Illinois. Urbana, Illinois. [241]
- DRIVER, R., 1981. Pupils' alternative frameworks in Science. *European Journal of Science Education*, 3 (1), 93-101. [15,250]
- DRIVER, R., 1985. Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations. In R. Driver, E. Guesner and A. Tiberghien (eds). *Children's Ideas in Science*, 145-169. (Milton Keynes: Open University Press). [17,55]
- DRIVER, R., 1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15. [1,61,242,249]
- DRIVER, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120. [1,61]
- DRIVER, R. i ERICKSON, G., 1983. Theories in action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science. *Studies in Science Education*, 10, 37-60. [14]
- DRIVER, R. i OLDHAM, V., 1985. A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122. [28,239,246,249,252,261]
- DRIVER, R. GUESNE, E. i TIBERGHIE, A., 1989. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid). [28,240]
- DRIVER, R., et al., 1994. Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12. [55]
- DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. i SCOTT, P., 1996. *Young people's images of science*. (Buckingham: Open University Press). [252]
- DUIT, R. i TREGUST, D., 2003. Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688. [253]
- DUSCHL, R., 1995. Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 3-14. [3,62]
- DUSCHL, R. i GITOMER, D., 1991. Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858. [3,14,19,244,245,254]
- ENGEL, E. i DRIVER, R., 1986. A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70 (4), 473-496. [61]
- ESCÁMEZ, J. i MARTÍNEZ, B., 1993. Cómo se aprenden los valores y las actitudes. *Aula*, 16-17, Julio-Agosto, 30-34. [243]
- ESCUADERO, T., 1985a. Notas sobre la evaluación científica. En *Aspectos didácticos de Física y Química (Química 1)*. (I.C.E. de la Universidad de Zaragoza: Zaragoza). [243]

- ESCUADERO, T., 1985b. Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo. *Revista de Educación*, 278, 5-25. [13,243]
- FENSHAM, P., 1992. Beginning to teach Chemistry. Comunicación presentada en *Content Pedagogy Writing Workshop*, Monash University Centre for Science, Mathematics and Technology, Melbourne (Australia). [51,57]
- FENSHAM, P., 1994. Beginning to teach Chemistry. In P. Fensham, R. Gunstone and R. White (eds). *The content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning* (Falmer: London), 14-28. [50]
- FENSHAM, P., 2001. Science content as problematic issues for research. En H. Behrendt et al. (eds) *Research in Science Education, Past, Present and Future*. (Kluwe Academic Publishers: Dordrecht), 27-41. [1,242]
- FERNÁNDEZ, M., 1999. Elementos frente a átomos. Raíces históricas e implicaciones didácticas. *Alambique*, 21, 59-66. [33,38,39]
- FERNÁNDEZ, E. I., 2000. *Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: una propuesta de transformación*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. [63,244]
- FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. i PRAIA, J., 2002. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488. [62,63]
- FEYERABEND, P., 1975. *Against Method* (Verso: London. Hi ha traducció al castellà en Siglo XXI: Madrid). [246]
- FILLON, P., 1993. Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, 12, 91-120. [28]
- FOX, D., 1987. *El proceso de investigación en educación*. Universidad de Navarra. Pamplona. [79]
- FRASER, B. J, 1994. Research on classroom and school climate. En Gabel D.L (ed), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y). [243]
- FURIÓ, C., 1986. Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 73-76. [1,15,242]
- FURIÓ, C., 1994. Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 188-199. [3,20,244,245,251,252]
- FURIÓ, C., 1995. El pensamiento espontáneo docente sobre la ciencia y su enseñanza. *Educación Química*, 6(2), 112-116. [249,250,253]
- FURIÓ, C., 1996. Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17. [240,249]
- FURIÓ, C., 2001. *Proyecto docente. Didáctica de las Ciencias Experimentales*. (Universidad de Valencia: Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales). [253]
- FURIÓ, C. i GIL, D., 1978. *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química*. (ICE de la Universidad de Valencia). [249]
- FURIÓ, C. i HERNÁNDEZ, J., 1983. Ideas sobre los gases en alumnos de 11 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, 83-91. [15,27,58,60,76]

- FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. i HARRIS, H., 1987. Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (7), 616-618. [15,18,27,29,62,68,239,240]
- FURIÓ, C. i GIL, D., 1989. *El programa guía, una propuesta para la renovación de la didáctica del Física y Química en el bachillerato*. Universidad de Valencia. ICE. [245,252]
- FURIÓ, C. i GUIASOLA, J., 1993. Conceptos históricos de carga y potencial eléctricos. *Revista española de Física*, 7 (3), 46-50. [62]
- FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA, J. i MÚJICA, E., 1993. Concepciones de los alumnos sobre una magnitud olvidada en la enseñanza de la Química: la cantidad de sustancia. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 107-114. [15]
- FURIÓ, C., ITURBE, J. i REYES, J. V., 1994a. La résolution de problèmes comme activité de recherche, *ASTER*, 19, 87-102. [44]
- FURIÓ, C., ITURBE, J. i REYES, J. V., 1994b. Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las Ciencias. *Investigación en la Escuela*, 24, 89-99. [71,238,243]
- FURIÓ, C., BULLEJOS, J. i de MANUEL, E., 1994c. L'apprentissage de la reaction chimique comme activité de recherche. *Aster*, 18, 141-164. [1,17,21,76]
- FURIÓ, C., GAVIDIA, V., GIL, D. i RODÉS, M. J., 1995. *Materiales Didácticos. Ciencias de la Naturaleza (Propuesta A)*. Madrid: M.E.C. [254]
- FURIÓ, C. i VILCHES, A., 1997. *Las actitudes del alumnado hacia las ciencias y las relaciones ciencia, tecnología y sociedad*. En Luis del Carmen (coord), *La enseñanza y el aprendizaje de la naturaleza en la educación Secundaria*, capítulo 2, 47-69 (ICE-Horsori: Barcelona). [13]
- FURIÓ, C. i GIL, D., 1999. Hacia la formulación de programas eficaces en la formación continuada del profesorado de Ciencias. En J. M^a Sánchez, A. Oñobre e I. De Bustamante (eds.), *Educación Científica. Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales. Formación Permanente de Profesores*, p. 129 - 146. Universidad de La Serena, La Serena (Chile). [244]
- FURIÓ, C. i GUIASOLA, J., 1999. Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (2), 259-271. [242]
- FURIÓ, C., DOMÍNGUEZ, C., AZCONA, R. i GUIASOLA, J., 2000a. La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. En F. J. Perales y P. Cañal (coord.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 421-448. (Marfil: Alcoy). [20,28,58,76,141,181]
- FURIÓ, C., CALATAYUD, M^a L., BÁRCENAS, S. i PADILLA, O. M., 2000b. Functional fixedness and functional reduction as common sense reasoning in chemical equilibrium and polarity of molecules. *Science Education*, 84 (5), 545-565. [256]
- FURIÓ, C., AZCONA, R. i GUIASOLA, J., 2001. La enseñanza-aprendizaje de los conceptos de 'cantidad de sustancia' y de mol. Análisis de las investigaciones realizadas. *Enseñanza de las Ciencias* (document en revisió). [15,242]
- FURIÓ, C. i CARNICER, J., 2002. El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las ciencias*, 20 (1), 47-73. [244]

- FURIÓ, C., VILCHES, A., GUIASOLA, J. i ROMO, V., 2002. Spanish teachers views of the goals of Science Education in Secondary Education. *Research in Science & Technological Education*, 20 (1), 39-52. [63]
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J. M. i CEBERIO, M., 2003. Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87, 640-662. [249]
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J. M. i CEBERIO, M., 2004. Enseñanza de los conceptos de "cantidad de sustancia" y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. (*Document en premsa*). [249]
- GABEL, D., 1993. Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 193-194. [17,19,58,60]
- GABEL, D. L. (Ed.) 1994. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (Macmillan Pub. Co: New York). [27]
- GABEL, D., 1998. The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. In B.J.Frazer and K.G. Tobin (eds.). *International Handbook of Science Education* pp 233-248. (Kluwer Academic Publishers: London). [1,17,20,50,254,256]
- GABEL, D. L., SAMUEL, K. V. i HUNN, D., 1987. Understanding the particular nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697. [15,27,50,58]
- GAGLIARDI, R., 1988. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 291-296. [28]
- GAGLIARDI, R. i GIORDAN, A., 1986. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 253-259. [240]
- GARCIA, J. E., 1987. La interacción con el medio en relación con la investigación en la escuela. *Investigación en la Escuela*, 1, 58-62. [243]
- GARCIA, J. E., 1995. La transición desde un pensamiento simple hacia un pensamiento complejo en la construcción del conocimiento escolar. *Investigación en la Escuela*, 23, 65-76. [245]
- GARNETT, P. J., GARNETT, P. J. i TREAGUST, D., 1990. Implications of research on students' understanding of electrochemistry for improving science curricula and classroom practice. *International Journal of Secondary Education*, 12 (2), 147-156. [20]
- GARNETT, P. J., GARNETT, P. J. i HACKLING, M.W., 1995. Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95. [16,17]
- GARRETT, R. M., 1987. Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9 (2), 125-137. [251]
- GAUDILLIÈRE, J. P., 1994. Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxygène, de l'étude de controverse à la répliation pédagogique. *Aster*, 18, 183-215. [71]
- GAULD, C. F. i HUKINGS, A., 1980. Scientific attitudes a review. *Studies in Science Education*, 7, 129-161. [13]
- GELI, A. M., 1986. *L'avaluació de la Biologia en la segona etapa d'EGB*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. [243]

- GENÉ, A., 1986. *Transformació dels treballs pràctics de biologia. Una proposta teòricament fonamentada*. Tesis doctoral no publicada. Barcelona. [242]
- GENSLER, W. J., 1970. Physical versus Chemical change. *Journal of Chemical Education*, 47 (2), 154-155. [53]
- GENTIL, C., IGLESIAS, A. i OLIVA, J. M., 1989. Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de bachillerato. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 126-131. [50]
- GEORGIADOU, A. i TSAPARLIS, G., 2000. Chemistry teaching in lower secondary school with methods based on: a) psychological theories; b) the macro, representational and submicro levels of chemistry. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 1 (2), 217-226. [57]
- GIL, D., 1983. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 26-33. [61,62]
- GIL, D., 1985. El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa. *Revista de educación*, 278, 27-38. [61]
- GIL, D., 1991. ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69-77. [249]
- GIL, D., 1993. Contribución de la historia y filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212. [61,62,63,238,243,245,246]
- GIL, D., 1994. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 154-164. [245]
- GIL, D., 1996. New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18 (8), 889-901. [61,63,246,261]
- GIL, D., 1998. El papel de la educación ante las transformaciones científico-tecnológicas. Memoria del Congreso Iberoamericano. Las transformaciones educativas. Buenos Aires. [14,241]
- GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236. [14,15,18,61]
- GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1987. What to do for science misconceptions. In J. D. Novak (Ed.), *Proceedings of the "Second International Seminar of Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, vol II, pp. 149-157. (Department of Education, Cornell University: Ithaca, NY). [27]
- GIL, D. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1987. Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12. [261]
- GIL, D. i PAYÁ, J., 1988. Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. *Revista de enseñanza de la Física*, 2 (2), 73-79. [62]
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1991a. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (Colección Cuadernos de Educación, Horsori: Barcelona). [1,3,15,18,20,61,62,239,240,243,244,245,250]

- GIL, D., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., RAMÍREZ, L., DUMAS-CARRÉ, A., GOFARD, M. i PESSOA DE CARVALHO, A. M., 1991b. La didáctica de la resolución de problemas en cuestión: elaboración de un modelo alternativo. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 6, 73-85. [14,238,242,261]
- GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1992. Approaching pupils' learning to scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education*, 78 (3), 301-315. [18]
- GIL, D. i CARRASCOSA, J., 1994. Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education*, 78 (3), 301-315. [246]
- GIL, D. i PESSOA, A. M., 1994. *Formación del profesorado de ciencias*. (Editorial Popular: Madrid). [62,244]
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1995a. *Curso de formación de profesores de ciencias. Unidad Introductoria: Como comenzar un curso elemental de ciencias*. (M.E.C.: Madrid). [246]
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J., 1995b. *Curso de formación de profesores de ciencias. Comprender y orientar los cambios de la materia* (5 vols). (M.E.C.: Madrid). [246]
- GIL, D., VILCHES, A. et al, 1999a. Visiones de los profesores de ciencias sobre las problemáticas a las que la comunidad científica y la sociedad deberían prestar una atención prioritaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 13, 81-97. [243]
- GIL, D., FURIÓ, C., SALINAS, J., MARTÍNEZ, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. i PESSOA, A. M., 1999b. ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, solución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 311-320. [245]
- GIL, D., CARRASCOSA, J. i MARTÍNEZ, F., 2000. La Didáctica de las Ciencias: una disciplina emergente y un campo específico de investigación En F.J. Perales y P. Cañal (coord.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 421-448. (Marfil: Alcoy). [241]
- GIL, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMÁS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. i GALLEGU, R., 2002. Defending constructivism in science education. *Science Education*, 11, 557-571. [63,238]
- GILBERT, J. K. OSBORNE, R. J. i FENSHMAN, P. J., 1982. Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66 (4), 623-633. [15,20,27,51]
- GIORDAN, A., 1978. Observation - Expérimentation: mais comment les élèves apprennent-ils?. *Revue Française de Pédagogie*, 44, 66-73. (Traducción española en Infancia y Aprendizaje, 1978, número 13). [61]
- GIORDAN, A., 1996. ¿Cómo ir más allá de los modelos constructivistas? La utilización didáctica de las concepciones de los estudiantes. *Investigación en la Escuela*, 28, 7-22. [245]
- GÓMEZ, M. A. POZO, J. I., SANZ, A. i LIMÓN, M., 1992. La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la escuela*, 18, 23-40. [240]
- GONZÁLEZ, E., 1994. *Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de física*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [62,242]

- GONZÁLEZ, L. G., 2003. *Las prácticas de laboratorio de Química en la enseñanza universitaria. Análisis crítico y propuesta de mejora basada en la enseñanza aprendizaje por investigación orientada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [242]
- GRAU, R., 1993. Revisión de concepciones en el área de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 87-89. [242]
- GRECA, I. M. i MOREIRA, M. A., 1998. Modelos mentales y aprendizaje de la física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289-303. [245]
- GRIFFITHS, A. K. i PRESTON, K. P., 1992. Grade-12 students misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (6), 611-628. [57,58,74]
- GUISASOLA J, 1996. *Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista*. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. [239,249,253,266]
- GUNSTONE, R. F., 1994. The importance of specific science content in the enhancement of metacognition. In Fensham, P. J., Gunstone, R.F. i White, R. T. (eds) *The content of science: A constructivist approach to its teaching and learning*. (Cap 10) (London: Falmer Press). [252]
- HARMES, N. C. i YAGER, R. E., 1981. *What research says to the science teacher* (Vol. 3) (Report N. 471-14476). (Washington DC: National Science Teacher Association). [106]
- HARRISON, A. G. i TREAGUST, D. F., 1996. Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science & Education*, 80 (5), 509-534. [59]
- HARRISON, A. G., TREAGUST, D. F., 2000. A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026. [103]
- HASHWEH, M. Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249. [15]
- HELM, H., 1980. Misconceptions in Physics amongst south African students. *Physics Education*, 15, 92-97 i 105. [61]
- HELM, H. i NOVACK, J. D. (eds), 1983. *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Sciences and Mathematics*. (Ithaca, NY: Department of Education, Cornell University). [27]
- HEMPEL, C. G., 1976. *Filosofía de la ciencia natural*. (Alianza: Madrid). [246]
- HERNÁNDEZ, J., 1997. *Dificultades de aprendizaje sobre la naturaleza corpuscular de la materia en la enseñanza secundaria. Una propuesta para superarlas*. Tesi doctoral. Universitat de València. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. [23,30,51,60,68,162,169,179,239,240,249,253,266,330]
- HERRON, J. D., 1975. Piaget for chemists. *Journal of chemical Education*, 52 (3), 146-150. [250]
- HERRON, J. D., 1978. Piaget in the classroom. *Journal of Chemical Education*, 55, (3) 165-170. [17,250]

- HESSÉ, J. J. i ANDERSON, C. W., 1992. Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (3), 277-299. [22,55,60]
- HEWSON, P. W., 1981. A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249. [61,242]
- HEWSON, P. W. i HEWSON, M. G., 1987. Science teachers' conception of teaching: implications for teachers education. *International Journal of Science Education*, 9 (4), 425-440. [1,61,242]
- HEWSON, P. W., KERBY, H. W. i COOK, P. A., 1995. Determining the conceptions of teaching science held by experienced high school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (5), 503-520. [72]
- HIERREZUELO, J. i MONTERO, A., 1989. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Ed. Laia MEC: Barcelona). (Reeditat per Ed. Elzevir: Vélez-Málaga 1991). [62]
- HILL, D., 1988. Misleading illustrations. *Research in Science Education*, 18, 290-297. [15,27]
- HODSON, D., 1985. Philosophy of Science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57. [62]
- HODSON, D., 1990. A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70 (256), 33-40. [242]
- HODSON, D., 1992. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566. [245]
- HODSON, D., 1993. In search of a rationale for multicultural science education. *Science Education*, 77 (6), 585-711. [62,244]
- HODSON, D., 1994. Seeking directions for change. The personalisation and politicisation of science education. *Curriculum Studies*, 2 (1), 71-98. [243]
- HOLMES, F. L., 1996. The communal context for Etienne-François Geoffroy's "Table des rapports". *Science in Context*, 9 (3), 289-311. [37]
- HOLTON, G. i ROLLER, D., 1963. *Fundamentos de la física moderna. Introducción histórico-filosófica al estudio de la física*. (Ed. Reverté: Barcelona). [18,22,36]
- HSIN-KAI-WU, 2003. Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: Intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87 (6), 868-891. [17]
- HUDDLE, P. A. i PILLAY, A. E., 1996. An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South Africa university. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 65-77. [55]
- IHDE, A. J., 1956. Antecedents to the Boyle concept of the element. *Journal of Chemical Education*, 33 (11), 548-551. [33,34]
- IHDE, A. J., 1969. On the papers of Cyril Stanley Smith and Marie Boas En Clagett, M. (ed) *Critical problems in the history of science*, pp. 519-524. (University of Wisconsin Press. Madison, Milwaukee, London). [34]

- IZQUIERDO, M., 1996. Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, 7-21. [61]
- IZQUIERDO, M., 1999. Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 3-4. [1]
- IZQUIERDO, M. i IZQUIERDO, A., 1996. *Or per a la llibertat*. (Edicions del Bullent: València). [372]
- JENSEN, W. B., 1998a. Logic, History and the chemistry textbook. I. Does Chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679-687. [105]
- JENSEN, W. B., 1998b. Logic, History and the chemistry textbook. II. Can we unmuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75 (7), 817-828. [105]
- JENSEN, W. B., 1998c. Logic, History and the chemistry textbook. III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75 (8), 961-969. [105]
- JIMÉNEZ, M^a P., 1997. Libros de texto: un material entre otros. *Alambique*, 11, 5-6. [245]
- JOHNSON, P. M., 1996. What is a substance? *Education in Chemistry*, march, 41-42, 45. [16,20,22,51,52,56,76]
- JOHNSON, P. M., 1998a. Progression in children's understanding of a "basic" particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 393-412. [50]
- JOHNSON, P. M., 1998b. Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1: Boiling water and the particle theory. *International Journal of Science Education*, 20 (5), 567-583. [50,68]
- JOHNSON, P. M., 1998c. Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point. *International Journal of Science Education*, 20 (6), 695-709. [50]
- JOHNSON, P. M., 1999. Particle ideas and the understanding of chemical change. In M. Komorek et al (eds). *Proceedings Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.). Research in Science Education, Past, Present and Future*, Vol 2. pp. 399-401. Kiel, Germany. [20,56]
- JOHNSON, P. M., 2000a. Children's understanding of substances, part 1. Recognising chemical change. *International Journal of Science Education*, 22 (7), 719-737. [20,22,52,54,59]
- JOHNSON, P. M., 2000b. Developing students' understanding of chemical change: what should we be teaching? *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 1 (1), 77-90. [22,52,55,60,71,251]
- JOHNSON, P. M., 2002. Children's understanding of substances, part 2. Explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24 (10), 1037-1054. [17]
- JOHNSTONE, A. H., 1982. Macro and Micro-Chemistry. *School Science Review* 64, 377-379. [17]
- JOHNSTONE, A. H., 1991a. Thinking about thinking – A practical approach to practical work. In *Proceedings of the International Conference on Chemical Education*, pp. 69-76. (University of Glasgow: Glasgow, U.K.). [17]
- JOHNSTONE, A. H., 1991b. Why is Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83. [15,17,27]

- JOHNSTONE, A. H., 1993. The development of Chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-703. [17]
- JOHNSTONE, A. H., 1999. The nature of Chemistry. *Education in Chemistry*, 36 (2), 45-47. [20]
- JOHNSTONE, A. H. i SELEPENG, D., 2001. A language problem revisited. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2 (1), 19-29. [20,51]
- JORBA, J. i SANMARTÍ, N., 1995. Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4, 59-77. [243]
- JUSTI, R. i GILBERT, J., 1999. Development of the notion of model. In M. Komorek et al (eds). *Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.). Research in Science Education, Past, Present and Future*, Vol 2. pp. 638-640. Kiel, Germany. [103,222]
- KAHLE, J. B. i MEECE, J., 1994. Research on gender issues in the classroom. En Gabel D.L (ed), 1994, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (MacMillan Pub Co: N.Y). [243]
- KAUTZ, C. H., LOVERUDE, M. E., HERON, P. R. i McDERMOTT, L. C., 1999. Research on student understanding of the ideal gas law. In M. Komorek et al (eds). *Proceedings Second International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.). Research in Science Education, Past, Present and Future*. Vol 1. pp. 83-85. Kiel, Germany. [57,58]
- KEMPA, R. F. i WARD, J. E., 1988. Observational threshold in school chemistry. *International Journal of Science Education*, 10, 275-284. [139]
- KEMPA, R. F. i AYOB, A., 1995. Learning from group work in science. *International Journal of Science Education*, 17(6), 743-754. [238]
- KLEIN, U., 1994. Origin of the concept of chemical compound. *Science in Context*, 7, 163-204. [22,37]
- KLEIN, U., 1996. The chemical workshop tradition and the experimental practice: discontinuities within continuities. *Science in Context*, 9 (3), 251-287. [38]
- KLOPFER, L. E., 1983. Research and the crisis in science education. *Science Education*, 67 (3), 283-284. [241]
- KRNEL, D., WATSON, R. i GLAŽAR, S. D., 1998. Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 257-289. [16,18,22,51]
- KRNEL, D., GLAŽAR, S. D. i WATSON, R., 2003. The development of the concept of "matter": a cross-age study of how children classify materials. *Science Education*, 87 (5), 621-639. [16]
- KUHN, T. S., 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de cultura económica: Méjico). [29,244,246]
- LAKATOS, I., 1982. *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid). [246]
- LARKIN, J. H. i RAINARD, B., 1984. A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (3), 235-254. [79]

- LAUGIER, A. i DUMON, A., 2000. Travaux pratiques en chimie et representation de la reaction chimique par l'equation-bilan dans les registres macroscopique et microscopique: une etude en classe de seconde (15-16 ans). *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (1), 61-75. [48]
- LEACH, J. i SCOTT, P., 2003. Individual and socio-cultural views of learning in science education. *Science & Education*, 12, 91-113. [252]
- LEE, O., EICHINGER, D. C., ANDERSON, C. W., BERKHEIMER, G. D. i BLAKESLEE, T. D., 1993. Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3), 249-270. [20,56]
- LEICESTER, H. M., 1971. *The historical background of chemistry*. (Dover publications inc.: New York). [35]
- LINJSE, P. L., 1994. La recherché-développement: une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée. *Didaskalia*, 3, 93-108. [251]
- LINJSE, P. L., LICHT, P., De VOS, W. i WAARLO, A. J., 1990. *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles* (proceeding of a seminar). (Centre for Science & Mathematics Education, University of Utrecht). [57]
- LINN, M. C., 1987. Establishing a research base for science education: Challenges, trends and recommendations. *Journal of Research in Science Teaching*, 24 (3), 191-216. [245]
- LLORENS, J. A., 1988. La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48. [51,57]
- LLORENS, J. A., 1989. Propuesta de un modelo constructivista para la enseñanza/aprendizaje de la física en educación secundaria. *Revista de Educación*, 289, 307-332. [15,75]
- LLORENS, J. A., 1991. *Comenzando a aprender Química. Ideas para el diseño curricular*. (Ed. Visor: Madrid). [22,60,70,141,181]
- LLORENS, J. A., 1994. Introducción a los conceptos básicos de la Química. En *Aspectos didácticos de Física y Química*, pp. 53-103 (*Química* 5). (I.C.E. de la Universidad de Zaragoza: Zaragoza). [22,51]
- LLORENS, J. A., 1996. ¿Cómo está constituida la materia? Introducción de un modelo corpuscular a través del desarrollo de situaciones problemáticas. *Alambique*, 9, 120-130. [51,249]
- LLORENS, J. A. i De JAIME, M^a C., 1987. El medio cultural y la formación de los conceptos científicos: una aproximación lingüística. *Infancia y Aprendizaje*, 47-55. [51]
- LONGRIGG, J., 1976. The Roots of All Things. *ISIS*, 67, 420-438. [29,30]
- LYTHCOTT, J., 1985. "Aristotelian" was given as the answer, but what was the question? *American Journal of Physics*, 53, 428-432. [18,27]
- MARCO, B., 2000. La alfabetización científica. En F. Perales y P. Cañal (dir): *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 141-164 (Marfil: Alcoy). [243]
- MARGEL, H., EYLON, B. i SCHERZ, Z., 2001. A longitudinal study of junior high-school students' perceptions of the particulate nature of matter. En N. Valanides (ed) *Proceedings of the 1st IOSTE Symposium in Southern Europe*, Vol II, pp 21-30 (Department of Educational Sciences. University of Cyprus: Cyprus). [16,50]

- MARTÍN DEL POZO, R., 1994a. *El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinarias y didácticas de los estudiantes de Magisterio*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. [27,71]
- MARTÍN DEL POZO, R., 1994b. Tentative de définition d'un savoir professionnel sur le changement chimique pour la formation des enseignants. *Aster*, 18, 217-240. [27]
- MARTÍN DEL POZO, R., 1995. El conocimiento escolar y profesional sobre el cambio químico en el diseño curricular Investigando Nuestro Mundo. *Investigación en la Escuela*, 27, 39-48. [249]
- MARTÍN DEL POZO, R., 1998. La construcción didáctica del concepto de cambio químico. *Alambique*, 17, 65-75. [56,252,265]
- MARTÍN DEL POZO, R., 2001. Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 199-215. [17]
- MARTÍN, J., 1999. *La introducción del concepto de campo en física*. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. [253]
- MARTINAND, J. L., 1982. Contribution a la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques. Tesis doctoral. Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay. [47]
- MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1987. *La resolución de problemas de física como investigación: un instrumento de cambio metodológico*. Tesis doctoral. Facultat de Física: Universitat de València. [61,242]
- MASKILL, R., CACHAPUZ, A. i KOULALIDIS, V., 1997. Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 631-645. [51]
- MATTHEWS, M. R., 1987. Experiment as the objectification of theory: Galileo's revolution. In J.D. Novak (Ed.) *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol I, pp. 289-298. (Department of Education, Cornell University: Ithaca, NY). [18,27]
- MATTHEWS, M. R., 1988. A role for History and Philosophy in Science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20 (2), 67-81. [13]
- MATTHEWS, M. R., 1990. History, Philosophy and Science: a rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, 25-51. [240]
- MATTHEWS, M. R., 1994a. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277. [28,103]
- MATTHEWS, M. R., 1994b. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. (Routledge: New York). [28,103]
- MATTHEWS, M. R., 1997. James T. Robinson's account of philosophy of science and science teaching: some lessons for today from 1960s. *Science & Education*, 81 (3), 295-315. [28]
- McCLOSKEY, M., 1983. Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 299-324). (Lawrence Erlbaum. Hillsdale, NJ). [18,27]
- McDERMOTT, L. C., 1984. Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, July, 24-34. [242]

- MÉHEUT, M., 1982. *Combustions et réactions chimiques dans un enseignement destiné à des élèves de sixième*. Thèse de 3e cycle. Université Paris 7. [71]
- MÉHEUT, M., SALTIEL, E. i TIBERGHIE, A., 1985. Pupils' (11-12 year old) conception of combustion. *European Journal of Science Education*, 7, 83-93. [54,71]
- MEICHSTRY, Y., 1993. The impact of science curricula on students views about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (5), 429-443. [62]
- MELLADO, V., 1998. La investigación sobre el profesorado de Ciencias Experimentales. En E. Banet y A. de Pro (coords.). *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias* (D.M.: Murcia). [244]
- MELLADO, V. i GONZÁLEZ, T., 2000. La formación inicial del profesorado de Ciencias. En F.J. Perales y P. Cañal, *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Ed. Marfil: Alcoy), 535-555. [244]
- MIERZECKI, R., 1991. *The historical development of chemical concepts*. (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Warsaw). [39]
- MILLAR, R., 1996. Investigations des élèves in Science: une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30. [240]
- MONK, M. i OSBORNE, J., 1997. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science & Education*, 81 (4), 405-424. [18,28]
- MORTIMER, E. F., 1995. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4 (3), 267-285. [131]
- MORTIMER, E. F., 1997. Para além das fronteiras da Química: Relações entre filosofia, psicologia e ensino de Química. *Química Nova*, 20 (2), 200-207. [36]
- MUNBY, H. i RUSSELL, T., 1998. Epistemology and context in Research on learning to teach Science. En B.J. Fraser i K. Tobin (eds.) *Handbook of Science Education*, Vol. II, pp. 643-667 (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht). [244]
- NAGEL, E. i COHEN, M. R., 1973. *Introducción a la Lógica y al Método Científico* (Agora: Barcelona). [246]
- NAKHLEH, M.B., 1992. Why some students don't learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196. [17,62,242]
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996): *National Science Education Standards*. (Washington DC: National Academy Press). [250,259]
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000): *Inquiry and the National Science Education Standards*. (National Academy of Sciences) (file:///D:/stills.nap.edu/html/inquiry_addendum/index.html). [250,259]
- NICHOLS, S.E. et al., 1998. Women in Science: expanding the vision. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education* (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht). [243]
- NOVAK, J. D. i MUSONDA, D., 1991. A twelve - year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28, 117-153. [21]

- NOVICK, S. i NUSSBAUM, J., 1978. Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science & Education*, 62 (3), 273-281. [1,15,27,57]
- NOVICK, S. i NUSSBAUM, J., 1981. Pupils' understanding of the particular nature of matter: A cross-age study. *Science & Education*, 65 (2), 187-196. [1,15,27,57]
- NURRENBERN, S. C. i PICKERING, M., 1987. Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64 (6), 508-510. [55,382]
- NUSSBAUM, J., 1983. Classroom conceptual change: The lesson to be learned from the history of science. In H. Helm & J. D. Novak (Eds.), *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics* (pp. 272-281). (Department of Education, Cornell University. Ithaca, NY). [18,27]
- NUSSBAUM, J., 1989. La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. En *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia* (Cap. 7). (Morata: Madrid). [58,60]
- NUSSBAUM, J. i NOVIK, S., 1982. Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: towards a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200. [61]
- OLIVA, J. M., 1999. Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las ciencias*, 17 (1), 93-108. [244]
- OÑORBE, A. 1993. La resolución de problemas. *Alambique*, 5, 4-5. [242]
- OÑORBE, A. et al, 1993. *Resolución de problemas de Física y Química ESO. Una propuesta metodológica de enseñanza-aprendizaje* (Akal: Madrid). [242]
- OPEN UNIVERSITY, 1979. *Research methods in education and social science*. (Milton: Keynes). [79]
- OSBORNE, R.J. i COSGROVE, M. M., 1983. Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20 (9), 825-838. [50,55,58]
- OSBORNE, R. i WITTROCK, M., 1983. Learning science: a generative process. *Science & Education*, 67, 490-508. [1,14,62]
- OSBORNE, R. i WITTROCK, M., 1985. The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 12, 59-87. [245]
- OSTWALD, W., 1909. *L'évolution d'une science, la chimie*. Ed Flammarion. [47]
- OTERO, J., 1985. Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7 (4), 361-369. [62,240]
- PAIXAO, M.F. i CACHAPUZ, A., 2000. Mass conservation in chemical reactions: the development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (2), 201-215. [13]
- PALMER, B. i TREAGUST, D. F., 1996. Physical and Chemical change in textbooks: an initial view. *Research in Science Education*, 26 (1), 129-140. [53]
- PARTINGTON, J. R., 1948. The concepts of substance and chemical element. *Chymia*, 1, 109-121. [33,34,35]

- PARTINGTON, J.R., 1961. *A history of chemistry* (Ed. Martino Publishing: New York). [33]
- PASDELOUP, M. i LAUGIER, A., 1994. Le concept de reaction chimique en gestation. Entre les affinités électives et l'attraction universelle. *Aster*, 18, 165-182. [240]
- PAYÁ, J., 1991. *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la Física y la Química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [62,242,249]
- PEREIRA, M. P. i PESTANA, M. E. M., 1991. Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 313-319. [57,58,60]
- PÉREZ, H., 2003. *La teoría de la relatividad y su didáctica en el bachillerato*. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. [253]
- PFUNDT, H., 1981. Pre-instructional conceptions about substances and transformations of substances. In W. Jung, H. Pfundt and C. Rhoneck (eds). *Proceedings of the international workshop on problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge*. (Ludwigsburg, Germany: Ludwigsburg University), 320-341. [52,54,71,72]
- PFUNDT H i DUIT R., 1993. *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (state june 1993). (INP at the University of Kiel: Kiel, Germany). [243]
- PFUNDT H i DUIT R., 1998. *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (state august 1998). (INP at the University of Kiel: Kiel, Germany). [243]
- PHYE, G., 1997. *Handbook of Academy Learning. Construction of knowledge* (Academic Press: San Diego). [243,250,259]
- PICKERING, M., 1990. Further studies on concept learning versus problem solving. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 254-255. [57,58]
- PINTRICH, P. R., MARX, R. W. i BOYLE, R. A., 1993. Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63 (2), 167-199. [20,251]
- POPE M. L. i GILBERT. J., 1983. Personal experience and the construction of knowledge in science. *Science Education*, 67, 193-203. [20]
- PORLÁN, R., 1989. *Teoría del conocimiento, teoría de la enseñanza y desarrollo profesional: las concepciones epistemológicas de los profesores*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. [244]
- PORLÁN, R., 1993. *Constructivismo y escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. (DIADA: Sevilla). [62,244]
- PORLÁN, R., 1998. Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 175-185. [245]
- PORLÁN, R. i MARTÍN, R., 1996. Ciencia, profesores y enseñanza: unas relaciones complejas. *Alambique*, 8, 23-32. [62]
- PORLÁN, R. i RIVERO, A., 1998. *El conocimiento de los profesores* (Díada: Sevilla). [244]
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. I GERTZOG, W. A., 1982. Accommodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227. [245]

- POZO, J. I., 1989. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. (Morata: Madrid). [243]
- POZO, J. I., 1996. Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de donde vienen, a donde van... y mientras tanto, qué hacemos con ellas. *Alambique*, 7, 18-26. [238]
- POZO, J. I., SANZ, A., GÓMEZ-CRESPO, M. A. i LIMÓN, M., 1991. Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94. [252]
- POZO, J. I. et al, 1994. *La solución de problemas* (Santillana: Madrid). [242]
- POZO, J. I. i GÓMEZ, M. A., 1998. *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. (Ediciones Morata SL: Madrid). [71,245]
- PRAIA, J. i CACHAPUZ, F., 1994. Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 350-354. [62]
- PREECE, P., 1984. Intuitive science: Learned or triggered? *European Journal of Science Education*, 6, 7-10. [18,27]
- PRIETO, T., BLANCO, A. i RODRÍGUEZ, A., 1989. The ideas of 11-to-14-year old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*, 11 (4), 451-463. [22,55]
- PRIETO, T., WATSON, J. R. i DILLON, J., 1992. Pupils' understanding of combustion. *Research in Science Education*, 22, 331-340.[22]
- RAHAYU, S. i TITLER, R., 1999. Progression in primary school children's conceptions of burning: towards an understanding of the concept of substance. *Research in Science Education*, 29 (3), 295-312. [76,240]
- RAMÍREZ, L., 1990. *La resolución de problemas de Física y Química como investigación en la enseñanza media, un instrumento de cambio metodológico*. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Barcelona. [242]
- RAMÍREZ, L., GIL, D. i MTNEZ-TORREGROSA, J., 1994. *La resolución de problemas de Física y de Química*. [242]
- RAÑADA, A.F., 1995. Los muchos rostros de la Ciencia. (Nóbel: Oviedo). [61]
- RENSTROM, L. et al., 1990. Student's conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82, 555-569. [15,27]
- REYES, V., 1991. *La resolución de problemas de Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio conceptual*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas: Universidad del País Vasco. [242]
- RITCHIE, S.M., 1998. The teacher's role in the transformation of students' understanding. *Research in Science Education*, 28 (2), 169-185. [252]
- ROLETTO, E. i PIACENZA, B., 1994. Faut-il construire le concept de substance? *Aster*, nº 18, 63-74. [20,52,53,60]
- ROLLER, D., 1981. Greek atomic theory. *American Journal of Physics*, 49 (3), 206-210. [30]

- RUSSELL, A. A., STASKUN, M. G. i MITCHELL, B. L., 1985. The use and evaluation of videodiscs in the chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 62, 420-422. [243]
- SAKKOPOULOS, S. A. i VITORATOS, E. G., 1996. Empirical foundations of atomism in ancient Greek philosophy. *Science & Education*, 5, 293-303. [27]
- SALINAS, J., 1994. *Las prácticas de física básica en laboratorios universitarios*. Tesis doctoral: Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals. Universitat de València. [242]
- SALTIEL, E. i VIENNOT, L., 1985. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las ciencias*, 3 (2), 137-144. [28,61,62,239,240]
- SANMARTÍ, N., 1989. *Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. [22,56,60,68,70,76,80,141,151,180]
- SANMARTÍ, 2000. El diseño de unidades didácticas. En F. J. Perales i P. Cañal (coord.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 239-266 (Marfil: Alcoy). [261]
- SANMARTÍ, N., IZQUIERDO, M. i WATSON, R., 1995. The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of science. *Science & Education*, 4, 349-369. [22,52]
- SAVOY, L. G. i STEEPLES, B., 1994. Concept hierarchies in the balancing of chemical equations. *Science Education Notes*, 75, 97-103. [55]
- SAWREY, B.A., 1990. Concept learning versus problem solving: revisited. *Journal of Chemical Education*, 67 (3), 253-254. [17,57,58,382]
- SCHIBECI, R. A., 1984. Attitudes to science un update. *Studies in Science Education*, 11, 26-59. [13]
- SCHMIDT, H.J., 1997. Students' misconceptions- Looking for a pattern. *Science Education*, 81, 123-135. [242]
- SCHOLLUM, B., 1982. Reactions. In R. Osborne, P. Freyberg and R. Tasker (eds.), *Towards changing children's ideas: Selected working papers from the action-reaction phase*. (Section 9). Learning in Science Project, University of Waikato, Hamilton, New Zealand. [71]
- SELLEY, N.J., 1978. The confusion of molecular particles with substances. *Education in Chemistry*, 15 (5), 144-145. [57]
- SEQUEIRA, M. i LEITE, L., 1991. Alternative conceptions and History of science in Physics Teacher education. *Science Education*, 75 (1), 45-56. [62]
- SÉRÉ, M.G., 1986. Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 413-425. [68]
- SÉRÉ, M.G., 1989. The gaseous state. En R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien (eds). *Children's ideas in Science*. (Milton Keynes, UK: Open University Press). [68]
- SÉRÉ, M.G., 2002. La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender, en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 357-368. [244]

- SHANON, B., 1976. Aristotelianism, Newtonianism, and the physics of the layman. *Perception*, 5, 241-243. [27]
- SHEPHERD, D.L. i RENNER, J.W., 1982. Student understandings and misunderstandings of states of matter and density changes. *School Science and Mathematics*, 82 (8), 650-665. [50,54]
- SIERRA, R., 1982. *Técnicas de investigación social*. (Paraninfo: Madrid). [310]
- SIMPSON, R.D., KOBALLA, T.R., OLIVER, S., CRAWLEY, F.E., 1994. Research on the affective dimension of science learning. En D.L. Gabel (Ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. 211-234. (MacMillan: New York). [243]
- SMITH, C., CAREY, S. i WISER, M., 1985. On differentiation: A case study of the development of size, weight and density. *Cognition*, 21, 177-237. [51]
- SOLBES, J., 1986. *La introducción de los conceptos básicos de Física moderna*. Tesi Doctoral. Facultat de Ciències Físiques. Universitat de València. [62,253]
- SOLBES, J. i VILCHES, A., 1989. Interacciones Ciencia-Técnica-Sociedad: Un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20. [14,20,251,256]
- SOLBES, J. i TRAVER, M.J., 1996. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 103-112. [28]
- SOLBES, J., i VILCHES, A., 1997. STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81 (4), 377-386. [62,243]
- SOLBES, J. i TRAVER, M., 2001. Resultados obtenidos introduciendo historia de las ciencias en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 151-162. [28]
- SOLIS, C., 1985. *ROBERT BOYLE, Física, Química y Filosofía mecánica* (Alianza: Madrid). [31,33]
- SOLOMON, J., 1999. Science education and the popularisation of science in the new Europe. En M. Baudiera, S. Caravita, E. Torracca i M. Vicentini (eds). *Research in Science Education in Europe*, pp. 225-233. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London. [28]
- SOLOMON, J., et al., 1992. Teaching about the nature of Science through History. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (4), 409-421. [28]
- SOLOMONIDOU, C. i STAVRIDOU, H., 1987. À propos de la distinction entre phénomène physique et phénomène chimique. En A. Giordan et J.L. Martinand (eds) *Actes des IXes JIES*, 367-372. [15,54,60]
- SOLOMONIDOU, C. i STAVRIDOU, H., 1994. Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, 18, 75-95. [15,54,60,71]
- SOLOMONIDOU, C. i STAVRIDOU, H., 2000. From inert object to chemical substance: Students' initial conceptions and conceptual development during an introductory experimental Chemistry sequence. *Science Education*, 84 (3), 382-400. [20,52,54]
- SOLOMONIDOU, C., STAVRIDOU, H., MARTINAND, J. L., VIOVY, R. i CARRETO, J., 1993. Substance versus object: changing common conceptions in chemistry. In *Proceedings of the 2nd European Conference on Research in Chemical Education*. (University of Pisa, Italy). [55,60]

- SOLSONA, N. i IZQUIERDO, M., 1998. La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria. *Alambique*, 17, 76-84. [36,75]
- SOLSONA, N. i IZQUIERDO, M., 1999. El aprendizaje del concepto de cambio químico en el alumnado de secundaria. *Investigación en la escuela*, 38, 65-75. [71]
- SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. i GUTIERREZ, R., 2000. El uso de razonamientos causales en la significatividad de los modelos teóricos. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (1), 15-23. [179]
- SOLSONA, N., IZQUIERDO, M. i de JONG, O., 2003. Exploring the developments of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25 (1), 3-12. [55]
- STAVRIDOU, H. i SOLOMONIDOU, C., 1989. Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11 (1), 83-92. [20,22,51,54]
- STAVRIDOU, H. i SOLOMONIDOU, C., 1998. Conceptual reorganisation and the construction of the chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20 (2), 205-221. [55]
- STAVRIDOU, H., SOLOMONIDOU, C. i PAPADEMETRIOU, V., 1993. Student – teachers conceptions about physical and chemical matter transformations. In the *Book of abstracts of the 2nd European Conference on Research in Chemical Education*. [54]
- STAVY, R., 1988. Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10 (5), 553-560. [27,51,60,68]
- STAVY, R., 1990a. Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (3), 247-266. [23]
- STAVY, R., 1990b. Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12 (5), 501-512. [23]
- STAVY, R., 1991a. Children's ideas about matter. *School Science and Mathematics*, 91 (6), 240-244. [51]
- STAVY, R., 1991b. Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (4), 305-313. [51]
- STEINBERG, M. S. et al., 1990. Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12 (3), 265-273. [61,62,240]
- STINNER, A., 1995. Contextual settings, science stories and large context problems: towards a more humanistic science education. *Science Education*, 79 (5), 555-581. [61]
- STRIKE, K.A. i POSNER G., 1992. A revisionist theory of conceptual change. En R.A. Duschl i R.J. Hamilton (eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice* (State University of New York Press: Albany). [244]
- SUMFLETH, E. i PITTON, A., 1999. Problems of communication in Chemistry classes. In M. Baudiera, S. Caravita, E. Torracca i M. Vicentini (eds). *Research in Science Education in Europe*, pp. 73-80. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London. [252]

- SUTTON, C., 1997. Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32. [242]
- TABER, K. S., 1994. Student reaction on being introduced to concept mapping. *Physics Education*, 29, 276-281. [252]
- TABER, K. S., 1998. An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education*, 20 (5), 597-608. [21]
- TABER, K.S., 1999. Alternative frameworks in chemistry. *Education in Chemistry*, 36 (5), 135-137. [15]
- TABER, K. S., 2001. Constructing chemical concepts in the classroom?: using research to inform practice. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2 (1), 43-51. [253]
- TABER, K. S. i WATTS, M., 2000. Learners' explanations for chemical phenomena. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1 (3), 329-353. [252]
- TAMIR, P., 1998. Assessment and evaluation in science education: opportunities to learn and outcomes. En B.J. Fraser i K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education* (Kluwer Academic Press: London). [243]
- TARIN, F., 2000. *El principio de conservación de la energía y sus implicaciones didácticas*. Tesis doctoral. Universitat de València. [253]
- TAYLOR, R., 1963. *A short history of science and scientific thought*. (Norton: New York). [27]
- TIBERGHIEU, A., 1985. Quelques éléments sur l'évolution de la recherche en didactique de la physique. *Revue Française de Pédagogie*, 72, 71-86. [241]
- TIBERGHIEU, A., JOSSEM, E. L. i BAROJAS, J., 1998. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education (International Commission on Physics Education). (<http://www.physics.ohio-state.edu/jossem/ICPE/TOC.html>). [253]
- TIROSH, D. i STAVY, R., 1996. Intuitive rules in Science and Mathematics: the case of "everything can be divided by two". *International Journal of Science Education*, 18 (6), 669-683. [51]
- TOBIN, K., 1984. Student engagement in science learning tasks. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 339-347. [252]
- TOBIN K. G. i ESPINET M., 1989. Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120. [239]
- TRAVER, M.J., 1996. *La història de les ciències en l'ensenyament de la física i la química*. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. [240,251,253]
- TREAGUST, D.F., CHITTLEBOROUGH, G. i MAMIDA, T.L., 2003. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1353-1368. [17]

- VALDEZ, S., FLORES, F., GALLEGOS, L. i HERRERA, M^a T., 1998. Ideas previas en estudiantes de Bachillerato sobre conceptos básicos de química vinculados al tema de disoluciones. *Educación en Química*, 9 (3), 155-162. [60,151]
- Van BERKEL, B., DE VOS, W., VERDONK, A. H. i PILOT, A., 2000. Normal Science education and its dangers: the case of school chemistry. *Science & Education*, 9, 123-159. [240]
- Van den AKKER, J., 1998. The Science curriculum: between ideals and outcomes. En Fraser i Tobin (eds.) *International Handbook of Science Education* (Kluwer: London). [243]
- VIENNOT, L., 1976. *Le raisonnement spontan en dynamique elementaire*. Tesis Doctoral. Universite Paris 7. (Publicada el 1979 per Herman, Paris). [61,241,242]
- VIENNOT, L., 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221. [14]
- VIIRI, J., HIRVONEN, P.E., SAARI, H., SORMUNEN, K., i NISIMOV, S., 1999. Is an iron atom made of iron? In M. Baudiera, S. Caravita, E. Torraca i M. Vicentini (eds). *Research in Science Education in Europe*, pp. 89-95. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London. [19,58,60]
- VILCHES, A., 1993. *Las interacciones CTS y la enseñanza de las ciencias físico-químicas*. Tesis doctoral. Universitat de València. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. [13,20,243,249,251,253]
- VILCHES, A. i GIL, D., 2003. *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. (Cambridge University Press: Madrid). [20]
- VOGELEZANG, M.J., 1987. Development of the concept "chemical substance" – some thoughts and arguments. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 519-528. [21,22,71]
- VOSNIADOU, S., 1994. Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 54-69. [245]
- WALLACE, J. i LOUDEN, W., 1998. Curriculum change in science: riding the waves of reform. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (eds.), *International Handbook of Science Education* (Kluwer Academic Press: London). [243]
- WANDERSEE, J. H., 1986. Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 581-597. [27]
- WANDERSEE, J. H. MINTZES J. J. i NOVAK J. D., 1994. Research on alternative conceptions in Science. En Gabel D.L. (ed), 1994, *Handbook of research on Science Teaching and Learning* (McMillan Publishing Company: New York) 177-210. [22,27,62,240,241]
- WATSON, J., 1994. Diseño y realización de investigaciones en las clases de ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 2, 57-65. [259,261]
- WELCH W., 1985. Research in science education: review and recommendations. *Science Education*, 69, 421-448. [20]
- WHEATLEY, G. H., 1991. Constructivist perspectives on science and mathematical learning. *Science Education*, 75 (1), 9-21. [20,238,249,261]
- WISER, M. i CAREY, S., 1983. When heat and temperature were one. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 267-297). (Lawrence Erlbaum. Hillsdale, NJ). [27]

YAGER, R. E. i PENICK, J. E., 1983. Analysis of the current problems with school science in the USA. *European Journal of Science Education*, 5, 463-469. [14,62]

YAGER, R. E. i PENICH, J. E., 1986. Perception of four age groups towards science classes, teachers and the values of science. *Science & Education*, 70, 355-363. [13,14,243]

YARROCH, W. L., 1985. Student's understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 449-459. [15,55,58]