

DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES
EXPERIMENTALS I SOCIALS

L'ENSENYAMENT-APRENENTATGE DE LA
TERMOQUÍMICA. ANÀLISI CRÍTICA I PROPOSTA DE
MILLORA

CRISTINA FURIÓ GÓMEZ

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
Servei de Publicacions
2009

Aquesta Tesi Doctoral va ser presentada a València el dia 23 de gener de 2009 davant un tribunal format per:

- Dr. Joaquin Martínez Torregrosa
- Dra. Mercé Izquierdo Aymerich
- Dr. Esteban De Manuel Torres
- Dr. Jenaro Guisasola Aranzabal
- Dr. Valentín Gavidia Catalán

Va ser dirigida per:

Dr. Carles Furió Mas

Dr. Jordi Solbes Matarredona

©Copyright: Servei de Publicacions
Cristina Furió Gómez

Dipòsit legal: V-3734-2009

I.S.B.N.: 978-84-370-7491-7

Edita: Universitat de València

Servei de Publicacions

C/ Arts Gràfiques, 13 baix

46010 València

Spain

Telèfon:(0034)963864115

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



L'ENSENYAMENT -APRENENTATGE DE LA TERMOQUÍMICA.
ANÀLISI CRÍTICA I PROPOSTA DE MILLORA

TESI DOCTORAL

AUTORA: **Cristina Furió Gómez**

DIRECTORS: Drs. **Carles Furió Más** i **Jordi Solbes Matarredona**

València, setembre de 2008

AGRAÏMENTS

La finalització d'aquest treball ha segut possible gràcies a l'ajuda entusiasta d'un seguit de persones sense les quals no haguera pogut aconseguir-ho. Vull expressar a totes elles les meus sincers agraiments i de manera molt especial:

Al meu home, Bruno, i als meus fills Maria i Jordi que han sabut animar-me sense perdre la paciència i sense reclamar part del temps que he dedicat a aquest treball.

A la meua mare, Teresa, que m'ha recolzat sempre incondicionalment i va ser, en part, la responsable que emprenguera aquesta tasca.

També vull agrair la col·laboració desinteressada del meu company Santiago Peris i dels seus alumnes del I.E.S. de Tavernes Blanques així com la de la Dra. M^a Lluïsa Calatayud i la de Joan Martínez Fortanet pel seus treballs previs en aquesta temàtica.

I sobre tot, el meu agraiment al Dr. Jordi Solbes per l'acurada correcció del treball i, a la persona que ha emprat més el seu temps en revisar, discutir i perfeccionar en mi tots els aspectes relacionats amb aquesta memòria, mon pare, Carles Furió.

PRESENTACIÓ I ÍNDEX

La termodinàmica sempre ha segut una matèria de difícil comprensió, o al menys així em semblava a mi en el meu temps de Facultat. Les nostres classes consistien en aplicar fórmules sense cap sentit a la col·lecció de problemes que havia confeccionat el professor. A més la feina es complicava quan cada problema pareixia un cas particular sense cap coherència amb els altres i els càlculs matemàtics s'entrellaçaven mitjançant diferencials parcials entre les distintes magnituds.

Anys després, recordant el passat, m'he adonat de que, llevat de la calorimetria, que ja havíem experimentat al Batxillerat, la veritat és que mai vaig saber diferenciar el més bàsic: de quin tipus de procés es tractava (en particular, quan era molt ràpid i no el considerava com quasi adiabàtic) i com interaccionaven els sistemes, així com en què consistia la conceptualització i aplicació de les principals magnituds i de les lleis que s'anaven introduint sense cap explicació.

Amb aquest treball tractem d'aprofundir en aquest assumpte, reflexionant sobre quines són les principals dificultats amb les que ens trobem sent estudiants o professors en l'estudi de la termodinàmica i ja que aquest camp és tan extens, hem acotat la qüestió a l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica i d'on es deriva un concepte complex com el d'entalpia.

El treball consta fonamentalment de dues parts. En la primera part es planteja el problema que consisteix en definir què s'entén per tenir una bona comprensió dels conceptes d'energia interna i entalpia amb els qual s'interpreten les interaccions energètiques entre els sistemes i quines són les principals dificultats que es poden presentar en el procés convencional d'ensenyament- aprenentatge de la termoquímica en el batxillerat i en els estudis universitaris. En la segona part del treball es tractarà de cercar una solució didàctica a aquest problema basant-se en el model d'aprenentatge com activitat de recerca orientada i de veure fins a quin punt és eficaç en la superació de les dificultats trobades.

El treball es desenvolupa, bàsicament, en set capítols. En el primer capítol es presenta una revisió de la recerca didàctica que tracta de les dificultats de l'aprenentatge en aquesta temàtica a fi de determinar quin és l'estat de la situació del problema en la recerca didàctica. La revisió bibliogràfica feta avarca des de la presentació de concepcions alternatives en prerequisits conceptuals com la calor, el treball i l'energia fins a raonaments de sentit comú sobre aquests processos que poden obstaculitzar l'aprenentatge. Finalment en aquest capítol es concreta el problema mitjançant les

preguntes fonamentals sobre el procés d'ensenyament-aprenentatge de la termoquímica que es van a tractar de respondre.

En el segon capítol es presenta la solució al problema en forma de dues hipòtesis principals. La primera hipòtesi principal suposa que existeix una manca de comprensió dels estudiants pre-universitaris i universitaris a l'hora d'explicar els intercanvis energètics en els processos físics i químics i que aquestes dificultats, entre altres possibles raons, són degudes majoritàriament a les deficiències conceptuals, epistemològiques i didàctiques de les metodologies convencionals d'ensenyament. La segona hipòtesi principal suposa que es poden superar aquelles deficiències d'ensenyament mitjançant un model d'aprenentatge d'orientació constructivista d'acord amb els resultats de la recerca didàctica. En aquest capítol es fonamentaran, a la vegada, les dues hipòtesis ja que, en el fons, l'anàlisi crítica de la primera hipòtesi i la solució donada en la segona hipòtesi es basaran en els mateixos resultats de la recerca en didàctica de les ciències. Aquesta fonamentació tindrà varies parts: una part històrica important que tracta de mostrar una síntesi de la construcció dels coneixements termodinàmics, i una altra part on es presenten les principals mancances didàctiques de l'ensenyament habitual de la termoquímica vistes des d'una perspectiva didàctica d'orientació constructivista.

Al capítol tercer s'operativitza la primera hipòtesi principal presentada al capítol anterior desglossant-se en dues hipòtesis derivades, una relativa a l'aprenentatge i l'altra a l'ensenyament, i a la seua vegada s'extrauen conseqüències que poden posar-se a prova, és a dir, que siguen fàcilment contrastables. En aquest capítol es presenten també els dissenys experimentals per a poder verificar aquestes conseqüències.

Al capítol quart tenim la presentació i l'anàlisi dels resultats obtinguts per contrastar la primera hipòtesi principal posant a prova les diferents conseqüències derivades.

En el capítol cinquè es recorda la segona hipòtesi principal i les conseqüències derivades presentant els dissenys que s'han elaborat per a posar-les a prova.

Al capítol sisè es presenten i analitzen els resultats obtinguts en els dissenys elaborats per contrastar la segona hipòtesi principal i que es presentaren en el capítol anterior.

Finalment, en el capítol setè s'exposa, a mena de síntesi, les conclusions a que s'ha arribat en aquest treball d'investigació així com possibles perspectives futures.

Una descripció més detallada dels continguts dels capítols es desenvolupa en el següent índex:

| | |
|---|------|
| I. Plantejament del problema | p.15 |
| 1.0. Introducció..... | p.17 |
| 1.1. Dificultats d'aprenentatge diagnosticades sobre conceptes termodinàmics..... | p.18 |
| 1.1.1. Dificultats degudes a l'existència de concepcions alternatives detectades en la literatura sobre l'aprenentatge de la termodinàmica..... | p.18 |
| 1.1.1.1. Concepcions alternatives sobre calor i temperatura..... | p.18 |
| 1.1.1.2. Estudis sobre concepcions alternatives en energia..... | p.20 |
| 1.1.1.3. Idees alternatives trobades en estudiants universitaris sobre energia en canvis químics | p.22 |
| 1.1.2. Obstacles epistemològics en Termodinàmica deguts a formes de raonament de "sentit comú"..... | p.25 |
| 1.2. Quines són les qüestions fonamentals que es tracta de respondre. en aquest treball? | p.27 |
| II. Formulació i fonamentació de les hipòtesis principals | p.29 |
| 2.0. Introducció..... | p.31 |
| 2.1. Formulació de la primera i segona hipòtesis principals..... | p.31 |
| 2.2. Fonamentació de les hipòtesis..... | p.32 |
| 2.2.1. Breu fonamentació històrica del naixement de la termodinàmica com a ciència moderna..... | p.33 |
| 2.2.1.1. La hipòtesi del calòric i el seu qüestionament..... | p.33 |

| | |
|--|------|
| 2.2.1.2. La relació entre la calor i el treball i la introducció del concepte d'energia. | p.34 |
| 2.2.1.3. Contribució de la Termodinàmica a la interpretació energètica de les reaccions químiques: el concepte d'entalpia d'un sistema. | p.38 |
| 2.2.1.4. Contribució mecanística de Boltzmann a la Termodinàmica. | p.41 |
| 2.2.2. Fonamentació epistemològica i didàctica de les dues hipòtesis. | p.43 |
| 2.2.2.1. Visions deformades sobre la natura de la ciència i de l'activitat científica que es solen transmetre en l'ensenyament de la Termoquímica. | p.44 |
| 2.2.2.2. Contribucions de la recerca didàctica als nous models d'aprenentatge com a canvi conceptual, epistemològic i actitudinal. | p.47 |
| 2.2.2.3. Visions actuals de la Ciència i característiques de l'activitat científica. | p.51 |
| 2.2.2.4. El model d'ensenyament/aprenentatge de les Ciències basat en el desenvolupament d'investigacions orientades. | p.55 |
| 2.2.2.5. Mancances axiològiques, conceptuals, epistemològiques i metodològiques en l'ensenyament convencional de la Termoquímica. | p.60 |
| 2.2.2.5.1. Deficiències docents en la dimensió axiològica de l'aprenentatge. | p.60 |
| 2.2.2.5.2. Errors conceptuals sobre Termodinàmica en llibres de text. | p.61 |
| 2.2.2.5.3. Mancances conceptuals i epistemològiques sobre l'ensenyament de les ciències. | p.64 |
| 2.2.2.5.4. Deficiències en la dimensió metodològica del procés d'ensenyament/aprenentatge de les ciències | p.66 |
| 2.3. Recapitulació | p.67 |

| | |
|--|------|
| III. Operativització de la primera hipòtesi i disseny experimental per al seu qüestionament. | p.69 |
| 3.0. Introducció. | p.71 |
| 3.1. Operativització de la primera hipòtesi i visió general del disseny. | p.71 |
| 3.2. Quins indicadors de l'aprenentatge dels conceptes i principis bàsics de la Termoquímica poden servir com criteris per avaluar la comprensió dels estudiants? | p.73 |
| 3.3. Conseqüències per posar a prova l'existència de dificultats d'aprenentatge en els estudiants. | p.78 |
| 3.4. Dissenys centrats en veure l'aprenentatge aconseguit en l'ensenyament convencional de la Termoquímica | p.80 |
| 3.4.1. Dissenys per veure si la majoria dels estudiants saben aplicar el primer principi de la Termodinàmica en dos fenòmens senzills. | p.80 |
| 3.4.1.1. Qüestionari Q1 per veure les dificultats d'aprenentatge quan s'ha d'analitzar energèticament dos canvis físics familiars. | p.81 |
| 3.4.1.2. Entrevista estructurada davant de fenomen, E1, sobre dos canvis físics semblants als del qüestionari Q1. | p.84 |
| 3.4.2. Dissenys per veure si la majoria dels estudiants utilitzen i comprenen el concepte d'entalpia en processos físics i químics. | p.87 |
| 3.4.2.1. Qüestionari Q2 per veure les dificultats conceptuals quan hi ha que donar significació química a l'entalpia d'una substància o a la variació d'entalpia d'un procés químic. | p.88 |
| 3.4.2.2. Entrevista estructurada davant de fenomen, E2, sobre tres canvis químics. | p.90 |
| 3.5. Conseqüències derivades de la primera hipòtesi per posar a prova l'existència de mancances en l'ensenyament de la termodinàmica i/o termoquímica. | p.90 |

| | |
|---|--------|
| 3.6. Disseny experimental per a l'anàlisi crítica de l'ensenyament convencional de la Termoquímica. | p.94 |
| 3.6.1. Xarxa d'anàlisi de llibres de text. | p.94 |
| 3.6.2. Qüestionari Q3 sobre l'ensenyament de la Termoquímica per a professors en formació i en actiu. | p.103 |
| 3.7. Recapitulació. | p.110 |
| IV. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en la contrastació experimental de la primera hipòtesi | p. 113 |
| 4.0. Introducció. | p.115 |
| 4.1. Resultats obtinguts a l'analitzar l'aprenentatge aconseguit pels estudiants en l'ensenyament convencional.. | p.115 |
| 4.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats de l'aprenentatge al interpretar energèticament dos canvis físics familiars. | p.115 |
| 4.1.1.1. Saben les estudiants delimitar els sistemes que interaccionen al fer anàlisis qualitatiu energètics d'aquests dos canvis físics? | p.121 |
| 4.1.1.2. Hi ha dificultats en el diagnòstic sobre com interaccionen els sistemes en els casos dels dos ítems de Q1? | p.124 |
| 4.1.1.3. S'utilitza correctament el concepte d'energia interna en les explicacions de Q1? | p.126 |
| 4.1.1.4. Els estudiants utilitzen correctament el model atòmic-molecular en l'explicació d'aquests canvis físics? | p.128 |
| 4.1.1.5. Com interpreten els estudiants de 2ón de Batxillerat els efectes tèrmics de dos fenòmens físics? | p.132 |
| 4.1.2. Presentació i anàlisi dels resultats d'aprenentatge sobre el concepte d'entalpia. | p.134 |

| | |
|--|--------------|
| 4.1.2.1. Com interpreten els estudiants de segon de Batxillerat els efectes tèrmics en processos físics i químics ? | p.134 |
| 4.1.2.2. Quins significats atribueixen els estudiants al concepte d'entalpia d'un sistema? | p.139 |
| 4.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en l'estudi crític dels llibres de química utilitzats a l'ensenyament habitual. | p.148 |
| 4.2.1. S'introdueix el tema de Termoquímica amb una visió socialment descontextualitzada al no tenir en compte la dimensió axiològica de l'aprenentatge? | p.150 |
| 4.2.2. Els llibres de Química tenen en compte l'existència de concepcions alternatives detectades en la recerca? | p.151 |
| 4.2.3. Els textos posen èmfasi en aspectes fonamentals de la metodologia científica eixint al pas de raonaments de sentit comú que poden entrebancar l'aprenentatge? | p.153 |
| 4.2.4. S'ix al pas d'una visió rígida i algorítmica de la ciència presentant idees qualitatives sobre el concepte d'entalpia abans de la seva definició operativa? | p.156 |
| 4.2.5. S'emfatitza la cerca de coherència entre les explicacions termodinàmiques macroscòpiques i les atomistes? | p.159 |
| 4.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts en el qüestionari Q3 aplicat a professors de química | p.160 |
| 4.4. Recapitulació. | p.167 |
| V. Operativització de la segona hipòtesi i disseny experimental per al seu qüestionament | p.169 |
| 5.0. Introducció. | p.171 |
| 5.1. Operativització de la segona hipòtesi principal. | p.172 |

| | |
|--|--------------|
| 5.1.1. Selecció i organització dels continguts d'un microcurriculum que problematitze l'ensenyament/aprenentatge de la termoquímica. | p.173 |
| 5.1.2. Elaboració d'un programa d'activitats de termoquímica que desenvolupe els continguts seleccionats i incloga les estratègies del model d'aprenentatge per investigació orientada. | p.177 |
| 5.1.3. L'aplicació del programa d'activitats elaborat a grups experimentals d'estudiants universitaris aconseguirà guanys significatius en l'aprenentatge de la Termoquímica?. | p.183 |
| 5.2. Disseny experimental per contrastar les conseqüències derivades de la segona hipòtesi. | p.188 |
| 5.2.1. Disseny d'una estructura problematitzadora dels continguts a desenvolupar en el microcurriculum de la Termoquímica. | p.188 |
| 5.2.2. Disseny d'un programa d'activitats que precise els continguts conceptuals, procedimentals i axiològics del microcurriculum de Termoquímica. | p.189 |
| 5.2.3. Disseny experimental que avaluï l'eficàcia de la instrucció desenvolupada en forma de programa d'activitats a grups experimentals d'estudiants universitaris. | p.190 |
| 5.2.3.1. Disseny per veure la possible reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic. | p.190 |
| 5.2.3.2. Disseny per posar a prova l'eficàcia de l'aprenentatge amb l'índex de guany de Hake. | p.195 |
| 5.2.3.3. Disseny per veure si s'aconsegueixen diferències significatives en els aprenentatges dels grups experimental i de control. | p.195 |
| VI. Presentació i anàlisi dels resultats trobats en la contrastació de la segona hipòtesi | p.197 |
| 6.0. Introducció. | p.199 |

| | |
|--|--------------|
| 6.1. Programa d'activitats sobre Termoquímica desenvolupat en la classe de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques a professors en formació. | p.199 |
| 6.2. Presentació i anàlisi de resultats obtinguts en l'avaluació dels aprenentatges aconseguits en l'aplicació del programa d'activitats. | p.232 |
| 6.2.1 Presentació i anàlisi dels resultats per veure la possible reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic. | p.233 |
| 6.2.2 Presentació i anàlisi dels resultats per posar a prova l'eficàcia de l'aprenentatge amb l'índex de guany de Hake. | p.239 |
| 6.2.3 Presentació i anàlisi dels resultats per veure si s'aconsegueixen diferències significatives en els aprenentatges dels grup experimental i de control. | p.242 |
| 6.3. Recapitulació. | p.245 |
| VII. Conclusions i perspectives | p.247 |
| 7.0.Introducció. | p.249 |
| 7.1. Conclusions sobre el que significa comprendre i aplicar la primera llei de la Termodinàmica i el concepte d'entalpia. | p.250 |
| 7.2.Conclusions sobre les principals dificultats d'aprenentatge en aquest domini | p.253 |
| 7.2.1. Conclusions sobre les dificultats del que significa comprendre el primer principi de la Termodinàmica | p.253 |
| 7.2.2. Conclusions sobre les dificultats en la comprensió del concepte d'entalpia. | p.256 |
| 7.3. Conclusions sobre les principals mancances | |

| | |
|--|--------|
| en l'ensenyament de la termoquímica | p.258 |
| 7.3.1. Conclusions sobre les mancances que presenten els llibres de Química General en el domini particular de la Termoquímica. | p.258 |
| 7.3.2. Conclusions sobre les mancances que presenten els professors quan ensenyen la Termoquímica. | p.260 |
| 7.4 Conclusions sobre els resultats obtinguts a l'aplicar el programa d'activitats 'Energia i processos químics' a estudiants universitaris. | p.263 |
| 7.4.1. Sobre el programa d'activitats elaborat. | p.263 |
| 7.4.2. Conclusions sobre la reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic. | p.265 |
| 7.4.3. Conclusions sobre l'aprenentatge aconseguit en el grup experimental. | p.266 |
| 7.4.4. Conclusions sobre les diferències trobades entre els aprenentatges dels grup experimental i de control. | p.267 |
| 7.5. Perspectives futures. | p.268 |
| 7.6. Annexes | p.271 |
| Annex I. Exemples d'entrevistes (E1 i E2) davant de fenomen. | p.273 |
| Annex II. Relació de llibres de text de química analitzats. | p.281 |
| Annex III. Exemples d'aplicació de la xarxa d'anàlisi a llibres de text. | p. 283 |
| Annex IV. Taula dels resultats de la xarxa d'anàlisi de llibres de text. | p. 293 |
| Annex V. Exemples de respostes de professors de Química al qüestionari Q3 sobre mancances didàctiques en l'ensenyament de la termoquímica | p.295 |
| Annex VI. Exemples de respostes d'estudiants universitaris a la activitat A.11 (pretest) sobre com s'interpreta energèticament | |

| | |
|---|-------|
| l'equilibri tèrmic al mesclar un gas calent amb un gelat. | p.303 |
| Annex VII. Exemples de respostes d'estudiants universitaris als qüestionaris Q4 (pretest) i Q5 (postest). | p.309 |
| Referències bibliogràfiques | p.317 |

CAPÍTOL I.- PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.

1. INTRODUCCIÓ

Hi ha certa tradició entre els professors de Física i Química de Batxillerat en reconèixer les grans dificultats que tenen els estudiants en l'aprenentatge significatiu dels conceptes i les lleis de la Termodinàmica. S'accepta un alt grau d'incomprensió d'aquests coneixements científics si bé els docents solen establir un gradient de dificultat entre els conceptes que s'introdueixen en la primera llei (energia interna i entalpia) i els de la segona llei (entropia i energia lliure o exergia). A més a més, el cas s'agreuja quan s'han d'aplicar aquests conceptes i lleis al domini de les reaccions químiques, és a dir, en la Termoquímica. Aquest reconeixement de l'existència de problema en l'ensenyament és positiu però no ho és tant atribuir com única causa d'aquestes dificultats d'aprenentatge al caràcter abstracte dels conceptes o als estudiants sense cap responsabilitat de l'ensenyament (Gabel, 1998).

D'altra banda, l'ensenyament actual de les ciències té com objectiu bàsic formar futurs ciutadans i ciutadanes que tinguin en compte que vivim en un món cada vegada més necessitat d'energia que ens està abocant a una situació d'emergència planetària (Vilches i Gil, 2003). És, doncs, necessari que els estudiants compreguen les interaccions energètiques que es produeixen en les reaccions químiques salvant les dificultats d'aprenentatge esmentades abans. Si, a més a més, es comprova l'existència d'un buit d'investigació didàctica respecte a la interfície energia-processos químics tot plegat justifica l'elecció d'aquest tema d'estudi.

El propòsit d'aquest treball de recerca consisteix en analitzar les principals dificultats que van a tenir els estudiants de Batxillerat i d'Universitat quan estudien les interaccions energètiques produïdes en els canvis químics i cercar alternatives didàctiques que faciliten la millor comprensió i aplicació d'aquests coneixements en la vida quotidiana. Així doncs, en aquest capítol es presentarà, en primer lloc, un resum de l'extensa bibliografia sobre les dificultats d'aprenentatge degudes a l'existència de concepcions alternatives sobre el tema com, per exemple, calor i energia així com aquelles altres causades per raonaments de sentit comú. Finalment, s'acotarà més la situació problemàtica a investigar plantejant les principals qüestions que vol resoldre aquesta recerca.

1.1. DIFICULTATS D'APRENTATGE DIAGNOSTICADES SOBRE CONCEPTES TERMODINÀMICS.

Molts són els treballs que hi ha en la bibliografia sobre dificultats d'aprenentatge relatives a calor i energia dins de la línia de recerca sobre concepcions alternatives. En aquest apartat tractarem de presentar la situació del que s'ha investigat sobre els aspectes esmentats abans a fi de mostrar la importància del problema abordat i la necessitat d'aprofundir en ell.

1.1.1. Dificultats degudes a l'existència de concepcions alternatives detectades en la literatura sobre dominis relatius a la termodinàmica.

En aquest subapartat farem un resum de la recerca realitzada sobre les dificultats d'aprenentatge dels estudiants al voltant de la calor, l'energia, la seva conservació i sobre quines formes de raonaments s'han detectat que contribueixen a la incomprensió dels estudiants quan interpreten les interaccions energètiques en els canvis físics i químics.

1.1.1.1. Concepcions alternatives sobre calor i temperatura.

Les línies de recerca preocupades per l'estudi de les idees dels alumnes sobre calor i temperatura tenen més de vint anys i encara mantenen plena vigència com veurem en aquest subapartat. En efecte, en el capítol 5é de l'*Handbook of Research in Science Teaching and Learning* editat per D.L.Gabel (1994) i escrit per Wandersee, Mintzes i Novak (1994), apareixen ressenyats els primers treballs importants sobre aquesta temàtica en dues orientacions diferents. D'una banda, trobem l'article de Shayer y Wylam (1981), basat en la teoria dels estadis operacionals de Piaget, i, d'altra, els de Tiberghien (1980) i Erickson (1980) emmarcats en la que més tard seria la línia de recerca sobre les concepcions alternatives. En el primer treball, també citat per Jiménez (2000), es distingeixen quatre nivells de desenvolupament en els nens i adolescents a l'hora de comprendre les dificultats d'aprenentatge de la calor i temperatura. En l'estadi *concret inicial* pels nens no hi ha diferències entre calor i temperatura, s'associen als objectes i la calor i el fred depenen del seu tamany. En l'estadi *concret avançat* entenen que la temperatura és un grau (mesura) de la calor però encara roman la identificació entre calor i temperatura. Quan els adolescents estan en l'estadi *formal inicial* utilitzen un model semblant al del '*calòric*' per a explicar, per exemple la conducció de la calor (accepten el model cinètic de la matèria però no li donen significat de calor). Finalment en l'estadi *formal avançat* usen la teoria cinètica com model predictiu i poden començar a assimilar la primera llei de la termodinàmica. Pel contrari, en el treball d'Erickson s'explora les idees dels adolescents de 10 a 12 anys sense comparar-los amb cap

estàndard prèviament fixat. Aquest investigador mitjançant entrevistes clíniques detectà la presència de tres categories de resposta sobre la idea de calor: i) la calor fa que les coses puguen; ii) la calor i el fred són substàncies materials que poden transferir-se d'un cos a un altre; iii) la calor s'acumula en algunes àrees (d'una barra metàl·lica) per anar propagant-se com un fluid fins a unes altres més gelades.

Moltes d'aquestes concepcions alternatives apareixen assenyalades per autors antics i més recents que s'han preocupat d'aquesta problemàtica i que podem resumir de la següent manera:

- *La calor com a sensació que serveix per a designar un estat calent* (en estudiants de Secundària Obligatòria) (Thomas, Malaquias, Valente i Antunes 1994).

- *No s'estableixen diferències entre calor i temperatura*, per exemple "la temperatura és mesura de la calor", "o "les unitats de la calor i la temperatura són les diferències entre ambdues magnituds" (Tiberghien 1983; Carlton 2000).

- *La calor com una substància o fluid existent en els cossos* i que pot passar d'uns als altres (Thomas et al. 1994; Harrison, Grayson & Treagust 1999).

- *La calor com una forma d'energia* que està en els cossos calents i que es pot transferir d'uns als altres (en estudiants de batxillerat de 14 a 18 anys) (Kesidou & Duit 1993; Martínez y Pérez B. A. 1997; Harrison et al. 1999; Carlton 2000).

Una revisió més exhaustiva en la bibliografia sobre aquestes concepcions alternatives és pot trobar en l'Handbook (1994) abans esmentat, en seleccions bibliogràfiques temàtiques fetes en revistes internacionals (Cervantes 1987) o en tesis doctorals com la de Nunes (2003). En aquest domini de la recerca és freqüent trobar, com és lògic, treballs sobre la calor i la temperatura lligats a estudis sobre les idees que tenen els alumnes del model cinètic de la matèria (Domínguez 2004). A títol d'exemple es presenten els treballs de Novick & Nussbaum (1981) i de Scott (1987). En el primer treball, els autors entrevistaren a estudiants israelians de 8é (14 i 15 anys), enquestaren a 500 estudiants de nivells elemental, secundària i batxillerat sobre aspectes de la natura corpuscular de la matèria i detectaren tres aspectes problemàtics:

i) que les molècules de gas estan en moviment continu (sols estaven d'acord del 20 en el nivell elemental fins al 50% en el més superior); ii) que escalfar o refredar causa un canvi en el moviment de les partícules (d'acord entre un 10 i un 40%); iii) que hi ha un espai buit entre les partícules (d'acord entre 10 i 40%). Aquesta 'preocupació' dels estudiants per emplenar els espais buits amb 'aire pur, altres gasos i brutedat' es va

trobar també en el treball de Scott (1987). Nogensmenys haver-hi prou bibliografia en aquest domini, ja Tiberghien (1983) va cridar l'atenció sobre l'absència de treballs en aquests dominis en els nivells de Batxillerat i de la Universitat.

1.1.1.2. Estudis sobre concepcions alternatives en energia.

Els treballs d'investigació sobre concepcions alternatives dels estudiants en energia també van sovint lligats als de calor i temperatura. Així, podem trobar que el concepte d'energia està associat a certes idees dels estudiants que podem resumir dels treballs de Duit (1981); Watts (1983) i Solomon (1983) i que han estat corroborades per autors posteriors. Aquestes idees són, principalment, les següents:

- *energia com "fluid" o flux invisible que es pot transferir d'uns cossos a altres.*
- *energia com "activitat" associada a éssers humans o objectes (com el vent, la mar, etc...) que poden realitzar treball, força (Duit 1984) o inclòs que duen moviment (Driver i Warrington 1985; Gil, Furió i Carrascosa 1996).*
- *energia com a "combustible" (ingredient o depòsit) que tenen les substàncies que pot i inclòs crear-se com a subproducte per a ser utilitzada (Ogborn 1990; McClelland 1989; Trumper 1993).*

Segons els autors l'origen d'aquestes idees pot evolucionar segons l'edat Així quan es pregunta a xiquets per l'energia és molt freqüent l'associació que fan amb éssers vius, especialment humans. Esmenten el creixement, bona salut física, exercici i l'alimentació. L'energia sembla ser una noció antropomòrfica carregada d'imatges de moviment o activitat. Quan es passa a adolescents aquestes idees van assimilant entitats inanimades com gasolineres, Sol i foc (Bliss i Ogborn 1985). Watts (1983) identificà un nombre de concepcions diferents en estudiants de secundària a més de les centrades en l'home o en models basats en activitats. La principals idees foren: la de *l'energia com a font de força que es gasta i recarrega, com un ingredient que està dormit i ha de ser disparat* i com un *combustible associat amb processos que ens fa la vida confortable*.

Solomon (1983) assenyala que les dificultats en l'aprenentatge de l'energia són degudes que els alumnes pensen en dos dominis diferents: el quotidià i el científic. Segons Solomon "el primer resulta ambigu, amb multitud de significats; en el segon, pel contrari, té un sentit molt definit".

La influència del nostre llenguatge, així com la dificultat per a expressar una propietat d'un sistema, ha segut també assenyalada per Pintó (1991) per a justificar la idea substancial que els alumnes tenen de l'energia:

" .los cambios de energía que tienen lugar mediante la interacción entre sistemas los referimos con el término transferencia de energía o simplemente diciendo que fluye energía de uno a otro, nuestros alumnos amplían la acepción del lenguaje y así la transferencia de energía equivale al trasvase de un fluido-sustancia".

De la mateixa manera, les idees d'energia com a combustible i flux, abans mencionades, estan associades també a la idea d'energia com a substància material. Els alumnes pensen que l'energia és una substància que s'obté de certes matèries primes com el petroli (Duit 1987), necessària per que funcionen les maquines o aparells de la vida quotidiana (Duit 1981), que està emmagatzemada i es gasta.

Per altra banda, la idea d'energia com activitat pot venir associada a la de causa del canvi o com indica Ogborn (1990) "pensamos en la energía como un poder creativo para generar diferencias". Aquesta idea no és recent, Mayer (1842) en el seu assaig titulat "Observaciones sobre las energías de naturaleza inorgánica" ja es referia a l'energia en aquestos termes:

"Las energías son causas, por lo tanto, podemos aplicarles el principio de que -causa aequat effectum". (extret de Holton i Roller, 1963).

Pintó (1991) també constata que un gran percentatge d'alumnes universitaris identifica a l'energia com l'agent causant de les transformacions.

A més de les assenyalades, podem trobar altres associacions d'idees amb el terme energia. Així, per exemple, Trumper (1990) assenjala que la majoria d'alumnes d'ensenyament secundari associa l'energia a "fenòmens" mentre que els de cursos superiors la identifiquen amb "*conceptes físics*".

Nicholls i Ogborn (1993) indiquen que el principal esquema mental sobre l'energia es refereix a la diferencia entre fonts i consumidors d'energia. Les fonts són les coses de les que s'extrau energia i les que són considerades com a energia. Aquestes inclouen als combustibles, aliments i el Sol, però també entren a formar part d'aquest grup els fenòmens naturals actius com l'aigua, la mar i el vent. Per alumnes menuts pèrdua d'energia està associat a pèrdua d'activitat mentre que per alumnes majors està associat al de consumidor d'energia. Els consumidors d'energia són coses que necessiten energia, incloent ací als éssers humans i a les seues activitats.

No obstant, segons Tarín (2000a i 2000b) "els alumnes segueixen mantenint les seues idees equivocades sobre energia. Associen l'energia al moviment, localitzen l'energia potencial en el cos (Mallinckrodt i Leff 1992; Bauman 1992; Arons 1997), creuen que l'energia es gasta...". Però, al nostre parer, és més greu el que indica aquest autor quan diu "... *A més, (els estudiants) no utilitzen espontàniament l'energia per a interpretar qualsevol classe de fenòmens físics, inclosos els mecànics (Driver i Warrington 1985; McDermott 1993; Guisasola et al. 1997; Solbes y Tarín 1998 y 2004)*".

1.1.1.3. Idees alternatives trobades en estudiants universitaris sobre energia en canvis químics.

Segons Barlet i Mastrot (2000) es pot observar que els articles concernents a la didàctica de la termoquímica són relativament escassos, especialment quan es refereix al primer principi de la termodinàmica que té reputació de ser molt menys problemàtic per als estudiants que el segon principi.

En nostra opinió, una adequada comprensió del que passa amb l'energia en els canvis químics requereix un cert domini de la primera llei de la Termodinàmica (a la qual se li atribueix un significat de conservació de l'energia en qualsevol canvi) i també estar familiaritzat amb el context químic al qual es va a limitar l'estudi de la problemàtica que es proposa. Aquest és un exemple de l'establiment de relacions entre dos cossos teòrics. *Per una banda tenim la teoria termodinàmica que intenta explicar els canvis, en general, des del punt de vista macroscòpic i, de l'altra, la teoria atòmica de la matèria substancial que anem a aplicar als sistemes que interaccionen produint canvis químics, des del punt de vista microscòpic.* Aquesta idea de relació conceptual entre dos teories pot explicar les grans dificultats cognitives que tenen els estudiants pre i universitaris.

A més de les dificultats que suposa la comprensió dels prerequisits conceptuals en els alumnes, cal considerar els obstacles epistemològics que l'existència de concepcions alternatives dels estudiants està posant en relleu aquesta línia de recerca.

Així doncs, tenim, per una banda, dificultats en els estudiants, abans esmentades, per a comprendre els conceptes de calor, energia i temperatura com, per exemple, quan es confon l'energia interna amb la calor o la temperatura (Pintó 1991; Martínez i Pérez 1997; Harrison et al. 1999). D'altra banda, està la connexió amb el context microscòpic amb termes com, per exemple, *energia d'enllaç* que per a molts alumnes expressa l'energia alliberada al trencar un enllaç químic, error que pot trobar-se originàriament en

els seus estudis previs de biologia quan es parla d' *'enllaços rics en energia'* (Cohen i Ben-Zvi, 1992).

Segons De Jong (2000) l'anàlisi del pensament de professors en formació, mostra que s'utilitzen dos esquemes per a explicar el concepte de calor de reacció: un basat en interpretar el que ocorre a partir del mecanisme de reacció i que utilitza el concepte d'energia d'enllaç i un altre usat de manera minoritària que ho explica a partir de l'esquema de la reacció utilitzant el diagrama entàlpic (més pròxim a un raonament termodinàmic macroscòpic). Els primers obliden comparar quantitativament els valors de la ruptura dels enllaços i la formació dels mateixos i no més tenen en compte o la ruptura o la formació. És a dir, aquestos professors cauen en un reduccionisme funcional, raonament causal de sentit comú que ja s'ha detectat en altres camps de la química (Furió et al. 2000).

En opinió de Barlet i Mastrot (2000) es prioritzen els aspectes quantitatius (l'algoritmització) front als qualitius (la conceptualització). Així es revelen nombroses dificultats degut que “els alumnes no uneixen entre si les diferents nocions ensenyades en termoquímica i es refugien en els procediments algorítmics, degut que en l'ensenyament es privilegien el saber-fer i els càlculs més que la comprensió conceptual”. Segons aquestos autors s'ha pogut comprovar varis aspectes relacionats amb l'aprenentatge de la termoquímica que resumim:

- Els alumnes no saben que el primer principi de la termodinàmica és la base dels càlculs fets en termoquímica.
- La noció de funció d'estat es coneguda pels estudiants però no és operacional.
- No tenen clara la relació entre calor i entalpia.
- L'energia interna pareix una magnitud sense status particular, que no té un paper formal.
- Existeix confusió entre entalpia de formació i entalpia de reacció.
- Els estudiants saben calcular un exercici utilitzant la llei de Hess, però no saben resoldre'l si es tracta d'un exercici de conceptualització innovador.

Altres errors conceptuals més concrets que semblen comuns en estudiants que finalitzen un curs de termodinàmica són els esmentats per Granville (1985). Per exemple, associar una variació d'energia interna nul·la ($\Delta U = 0$) a qualsevol procés isoterm, quan això és sol vàlid per a gasos ideals ja que l'energia interna en aquestos no depèn del seu volum, però no ocorre així en el cas de sòlids, líquids i gasos reals o en canvis d'estat que ocorren a la mateixa temperatura. O bé associar la idea de 'procés endotèrmic' sempre a un increment d'entalpia positiu ($\Delta H > 0$). En aquest cas, els alumnes són induïts a pensar que els termes endotèrmic i exotèrmic estan basats

exclusivament en el signe de l'increment d'entalpia (ΔH) originant una 'fixació funcional' que evita qualsevol dubte i reflexió (Furió et al 2000). D'aquesta manera explica Granville (1985):

"... De fet, el terme endotèrmic està correctament aplicat a qualsevol sistema reaccionant que absorbisca calor dels voltants. Si una reacció es portada irreversiblement mesclant directament els reaccionants a pressió constant, el flux de calor està relacionat amb la variació d'entalpia : $Q_p = \Delta H$.

Nogensmenys, emmarcant la mateixa reacció en una cel·la electroquímica reversible, no canviarà la ΔH però el flux de calor podrà ser determinat per la variació d'entropia: $Q_p = T \cdot dS = \Delta H - \Delta G$. Llavors, qualsevol reacció amb $\Delta H < 0$ y $\Delta S > 0$ (sempre un cas espontani en química general) serà endotèrmica, es a dir, absorbirà calor, quan estiga realitzada en una cel·la electroquímica".

Aquest exemple ens mostra la importància que té fer amb molta cura l'anàlisi energètic dels canvis químics i tenir present també el camp de validesa dels conceptes utilitzats i, en aquest cas, de l'entalpia. No obstant, segons Bauman (1992), els errors conceptuals també es poden trobar en aspectes més senzills com, per exemple, la no distinció entre fenòmens isotèrmics, adiabàtics i isoèrgics.

1.1.2. Obstacles epistemològics en Termodinàmica deguts a formes de raonament de "sentit comú".

A l'apartat anterior ja s'han esmentat alguns errors conceptuals deguts a formes de raonament comú dels estudiants que tendeixen a simplificar l'anàlisi de problemes científics complexes com són el *reduccionisme* i la *fixació funcionals*. Aquest subapartat es centrarà en la presentació dels pocs treballs existents en la literatura sobre el coneixement estratègic emprat pels estudiants universitaris de Termodinàmica.

L'article de Rozier & Viennot (1991) és il·lustratiu de les tendències dels estudiants a reduir la complexitat de situacions problemàtiques multivariants on han d'aplicar coneixements termodinàmics. Per una banda, els autors ressalten la *reducció funcional* que suposa tractar una magnitud física que depèn de varies variables com si fora funció d'una sola, és a dir, ignorant algunes variables importants. Per exemple, en aquest treball, es demana que expliquen els estudiants universitaris, des del punt de vista microscòpic, per què la pressió i la temperatura augmenten en una compressió adiabàtica d'un gas . Quasi la meitat dels estudiants donaren respostes com:

"El volum decreix, per això hi ha més molècules per unitat de volum i la pressió

augmenta”.

“El volum decreix, per això, les molècules estan més a prop unes d'altres, el que augmenta el nombre de col·lisions i la pressió augmenta”.

Segons Viennot (1998) “en el que concierneix a la pressió, es reflexa exclusivament una relació d'aquesta variable amb la densitat de partícules i, en aquest cas, altre factor rellevant, com és la velocitat quadràtica mitjana de les partícules és ignorat. Açò constitueix una associació preferent entre pressió i densitat de partícules a expenses de l'aspecte cinètic. En aquest sentit, el paper de la temperatura s'ignora.

Un altra forma de raonament comú dels estudiants, presentat per Rozier & Viennot (1991) és la tendència a utilitzar un *raonament causal lineal*. En aquest cas es pregunta als estudiants que expliquen l'increment de volum resultant d'un (quasiestàtic) escalfament isobàric d'un gas. Prop del 40% dels estudiants universitaris donaven respostes del tipus:

“La temperatura del gas augmenta. Conegut que $P.V = n.R.T$, a volum constant, si la pressió augmenta: el pistó es lliure de relliscar i llavors es mou i el volum augmenta”.

(com es veu també hi ha una contradicció entre la resposta i l'enunciat del problema on s'indica que es tracta d'un procés a pressió constant).

L'estructura lineal d'aquesta resposta es manifesta com:

Al donar-li calor \rightarrow T augmenta \rightarrow P augmenta \rightarrow V augmenta.

Segons Rozier “*aquesta resposta contradictòria pot ser entesa si el fenomen descrit no s'ha suposat que és simultani. Es a dir, en aquesta estratègia en cadena, on cada fenomen s'especifica amb una sola variable, la causalitat referida amb una fletxa té dos continguts: un lògic (llavors) i un altre cronològic (més tard). En general, els arguments semblen ser històries amb successos simples i episodis successius*”.

Per altra part, Viennot (1998) explica un altre tipus de raonament comú dels estudiants quan parla de “la permanència: un cas oblidat”. En aquest cas, els estudiants emfatitzen els arguments centrant-se en un aspecte particular del canvi sense tenir en compte la globalitat del procés (es a dir, no arriben a presentar un raonament sistèmic u holístic).

Viennot (1998) ha trobat comentaris, que corroboren el que s'assenyala, quan, per exemple, se li pregunta a estudiants sobre la temperatura d'uns caragols a l'introduir-los en un forn a 60 °C, responen: "*Els cargols estaran a més de 60°C perquè el metall s'escalfa més ràpid*". En opinió de l'autora, l'alumne que dóna aquesta resposta es basa solament en la velocitat d'adquisició de la temperatura, sense tenir en compte que s'arriba a una temperatura final d'equilibri (permanent). En aquest cas, la idea que roman en els estudiants és, segons Viennot, que la capacitat d'escalfament d'un cos és una propietat "natural" o característica d'algunes substàncies.

La importància que se li dona a "les velocitats de canvi" en els fenòmens tèrmics també ha estat esmentada per Kesidou et al. (1995). Aquests autors han investigat el cas d'estudiants de 15-16 anys els quals neguen, per exemple, que una peça de metall a 20 °C introduïda en aigua a 80 °C no assolirà la mateixa temperatura que aquesta, argumentant que la rapidesa d'adquisició de les temperatures és diferent per als dos cossos que estan en contacte.

Aquests tipus de raonament venen justificats, segons Millar (1998), perquè els estudiants els utilitzen per a explicar fenòmens "de manera familiar". Així diu:

"Quan es movem en terrenys en els quals estem segurs del nostre coneixement, el nostre estil de raonament és també més bàsic.(...) Ajudant als alumnes a desenvolupar formes científiques de raonament es possible que adquireixen pràctica per a raonar a propòsit de sistemes multivariables familiars a ells per a qualsevol context, i els facen explícits."

Aquesta manera de pensar està també relacionada amb la que molts autors anomenen "metodologia del sentit comú" o "metodologia de la superficialitat" segons les quals els estudiants tracten de donar respostes ràpides i segures basant-se en evidències de sentit comú (Gil i Carrascosa 1985, Hasweh 1986, Gil et al, 1991). Aquests raonaments poc reflexius indueixen fixació funcional d'idees apreses memorísticament o causalismes simples en forma de reduccionismes funcionals com ja s'ha vist.

1.2 QUINES SÓN LES QÜESTIONS FONAMENTALS QUE ES TRACTA DE RESPONDRE EN AQUEST TREBALL?

La revisió bibliogràfica dels apartats anteriors ens ha pogut mostrar algunes deficiències en l'àmbit de l'aprenentatge i ensenyament de les interaccions energètiques, però caldrà precisar més la situació problemàtica didàctica que volem resoldre.

En primer lloc, el treball de recerca abordat es centrarà en les dificultats d'aprenentatge dels estudiants que han optat per estudiar Física i Química, no sols en el Batxillerat científic (1^{er} i 2^{on}), sinó també en estudiants universitaris de carreres científiques (com, per exemple, físics, químics i biòlegs).

En segon lloc, l'estudi s'adreçarà a la interpretació de "com" tenen lloc els intercanvis energètics en els canvis, preferentment, físics i químics i no s'entrarà en el "per què" ocorren. És a dir, una primera limitació de l'estudi serà que sols entrarem a aplicar la primera llei de la termodinàmica a aquests canvis, deixant de costat l'aspecte de la degradació de l'energia.

D'aquesta manera la primera qüestió en la que ens centrarem serà:

¿Què entenem per tenir una "bona comprensió" d'energia interna i d'entalpia a l'hora d'interpretar les interaccions energètiques entre sistemes materials?

I, en relació, a la selecció feta sobre la comprensió d'aquests conceptes i de la primera llei de la termodinàmica, es plantejarà una segona qüestió:

¿Quines són les principals dificultats d'aprenentatge de qualsevol tipus (conceptual, procedimental, epistemològic i axiològic) que es poden presentar en una classe de Física i/o Química de Batxillerat o dels primers cursos d'Universitat?

Ara bé, com que la principal variable externa que pot influir en l'aprenentatge és precisament l'ensenyament, serà obligat qüestionar-se:

¿Quines són les principals mancances de l'ensenyament de la primera llei de la termodinàmica que entrebanca la comprensió dels conceptes termodinàmics esmentats abans i l'aplicació de la primera llei de la termodinàmica?

Conseqüentment, fet l'anàlisi crítica de l'ensenyament habitual en aquest domini a la llum dels avanços de la didàctica de les Ciències, caldria finalment cercar alternatives didàctiques que puguin donar resposta a la qüestió:

¿Què caldria canviar de l'ensenyament de les interaccions energètiques en els canvis físics i químics per afavorir la construcció dels coneixements termodinàmics i així superar les principals dificultats d'aprenentatge?

CAPÍTOL II.- FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LES HIPÒTESIS PRINCIPALS.

2.0 INTRODUCCIÓ.

Després d'haver presentat en el capítol anterior el problema didàctic consistent en trobar alguna solució a les principals dificultats d'aprenentatge que tenen els alumnes en la interpretació energètica de com tenen lloc els canvis i, en particular, fixant-nos en els canvis químics, cal una reflexió fonamentada sobre quins són els motius pels quals no es superen aquestes dificultats. I com que el factor extern que més pot influir en l'aprenentatge és l'ensenyament, en aquest capítol es tractarà d'establir en quina mesura l'ensenyament habitual és parcialment responsable del fracàs dels estudiants en aquest domini científic. Així doncs, el capítol II constarà de dues parts relacionades entre sí. En la primera d'elles es formularà com a solució del problema didàctic una primera hipòtesi que lligue les dificultats d'aprenentatge amb l'ensenyament rebut. I, en la segona part, es tractarà de fonamentar teòricament una segona hipòtesi didàctica que aporte solució al problema tractant d'elaborar una alternativa d'ensenyament que al implementar-la en grups d'estudiants mostre certa eficàcia i els ajude a superar aquelles dificultats.

2.1 FORMULACIÓ DE LA PRIMERA I SEGONA HIPÒTESIS PRINCIPALS.

Tenint en compte les principals preguntes esmentades en el capítol anterior que volem respondre en aquest treball, caldrà fonamentar possibles respostes mitjançant dues hipòtesis didàctiques. Una primera hipòtesi (I) que presente la relació entre la manca d'eficàcia de l'ensenyament habitual i les dificultats d'aprenentatge bé degudes a l'existència de concepcions alternatives en els estudiants (sobre els conceptes bàsics de la Termoquímica) o bé degudes a formes de raonament de sentit comú al relacionar les seves idees. La segona hipòtesi (II), com ja s'ha dit abans, avança la suposició que utilitzant com a variable fonamental la metodologia d'ensenyament s'afavorirà l'aprenentatge de la Termoquímica, d'acord amb el que diu la recerca didàctica. A continuació es presenten redactades aquestes dues hipòtesis principals que tracten de donar solució al problema de l'aprenentatge de la Termoquímica en grups d'estudiants universitaris:

Hipòtesi I: *‘La introducció del primer principi de la Termodinàmica i/o dels principals conceptes implicats (com el treball, la calor, l’energia interna i l’entalpia) en l’ensenyament convencional de la Química es fa sense tindre en compte els resultats de la recerca didàctica i, en particular, els nous models d’aprenentatge d’orientació constructivista. Aquests ensenyaments no afavoriran la comprensió dels intercanvis energètics en els processos físico-químics en estudiants preuniversitaris i universitaris’.*

Hipòtesi II: *‘L’elaboració i implementació a l’aula d’un programa d’activitats del tema de Termoquímica per a Batxillerat basat en el model d’aprenentatge com activitat de recerca orientada impartit a estudiants universitaris de Física i de Química, que estan formant-se com futurs professors de batxillerat, produirà millores substancials en la seva comprensió dels continguts respecte a l’aconseguida en l’ensenyament universitari habitual’.*

Passem, doncs, a fonamentar teòricament aquesta suposició.

2.2. FONAMENTACIÓ DE LES HIPÒTESIS.

La fonamentació de les hipòtesis es basarà en dos apartats, un d’ells de tipus històric i epistemològic que tractarà de clarificar com s’han construït els coneixements termodinàmics i s’han aplicat en les reaccions químiques. Es farà un èmfasi especial en *els problemes conceptuals i epistemològics que la ciència ha tingut que superar per arribar a interpretar els intercanvis energètics en els processos físics i químic*. El segon apartat es destinarà a fer una anàlisi crítica de l’ensenyament habitual de les ciències contextualitzat en el domini concret de la termodinàmica aplicada a la química, que es basarà en el cos teòric de la didàctica de les ciències i, en particular, en fer una anàlisi crítica de l’ensenyament habitual on es presentaran les visions deformades de la ciència que es transmeten a l’aula i les mancances didàctiques degut a que no es tenen en compte les noves orientacions constructivistes dels models d’ensenyament-aprenentatge de la química (National Research Council, 2000; Phye, 1997; Furió 2001a i 2000b; Leach & Scott, 2003; Guisasola, Furió i Ceberio, 2008).

Tant els arguments històrics i epistemològics com els didàctics tractaran de mostrar com, en l’ensenyament de la termodinàmica química, el professorat no té en compte les components conceptual, epistemològica, metodològica i axiològica necessàries per aconseguir un aprenentatge significatiu d’aquestes construccions científiques.

2.2.1. Breu fonamentació històrica del naixement de la termodinàmica com a ciència moderna.

La termodinàmica naix, a principi del S.XIX, com una gran síntesi que tractà d'unificar l'explicació de les diferents forces introduïdes en els processos mecànics, elèctrics, químics, tèrmics i magnètics. Aquesta síntesi es sol comparar amb la feta per la mecànica newtoniana entre la dinàmica celeste i terrestre i va començar pel procés d'unificació dels estudis del calor i de la mecànica considerats com ciències separades (Arons 1970). Aquest procés va ésser complex i el resumirem en quatre fites importants que varen marcar el seu desenvolupament fins arribar a consolidar-se com a ciència a principis del S. XX.

2.2.1.1 La hipòtesi del calòric i el seu qüestionament.

El primer dels problemes que va haver de resoldre la ciència de la calor fou la diferenciació entre aquest concepte i la temperatura. Gràcies a la construcció i ús de termòmetres, J. Black (1728-1799) va definir operacionalment la temperatura d'un cos com el número que marcava el termòmetre posat en contacte amb ell i la calor s'entenia com quelcom que s'intercanviaven els cossos a diferent temperatura fins arribar a l'equilibri tèrmic. Així doncs, la calor es definí relacionant-la amb la variació de temperatura i la massa de cos escalfada o refredada. Es va anar construint la calorimetria com un mètode (el de les mescles) que permetia predir i contrastar la temperatura d'equilibri al posar en contacte dos cossos a diferent temperatura. Precisament la no distinció entre calor i temperatura és avui una preconcepció existent entre els estudiants que se inicien en aquest domini que hi haurà de tindre's present.

En relació a la natura de el calor cal dir que malgrat que, com diu Arons (1970), Bacon, Hooke i Newton mantenien en el segle XVII que *'la calor era una propietat del cos escalfat resultant del moviment (vibratori) o agitació de les seves parts'*, durant el segle XVIII havien proliferat teories tant en electricitat com en química i la calor basades en fluids. Així, per exemple, els efectes elèctrics eren descrits a base de fluids i efluvis que intercanviaven els cossos electritzats i el mateix ocorria en l'explicació dels efectes magnètics (Furió et al 1998). La combustió de la matèria orgànica era explicada pels químics de l'època mitjançant l'intercanvi d'una mena de fluid anomenat 'flogiste' o principi d'inflamabilitat dels cossos. En el cas de la calor, estava la *'teoria del calòric'* en la que es suposava que la calor era una substància material formada per partícules que es repel·lien entre sí però que eren atretes per les partícules de les substàncies ordinàries (Holton i Roller 1963). La major o menor atracció entre les

partícules de calòric i de les substàncies explicava la diferent capacitat calorífica d'aquestes. Aquest model també donava compte de la distinció entre 'calor sensible' i 'calor latent' en funció del tipus d'unió dels àtoms de calòric amb els dels materials. En el cas de la calor sensible, els àtoms ordinaris es rodejaven d'una atmosfera de calòric i en el de la calor latent, s'unien de manera més forta semblant a les combinacions químiques (Arons 1970). Així com la teoria del flogiste va ésser posada seriosament en qüestió per Lavoisier amb les seves investigacions sobre combustió i oxidació dels metalls, en canvi aquest químic va mantenir el calòric com un dels elements de la seva famosa Taula. També aquesta idea de la calor com una substància o fluid material apareix reflectida en treballs actuals sobre concepcions alternatives dels estudiants com ja s'ha dit en el capítol I.

Un dels pocs investigadors que posà en qüestió el caràcter material del calòric al final del segle XVIII fou el nord-americà B. Thompson (1753-1814), més conegut com el compte de Rumford. Aquest personatge estava interessat en l'estudi de sistemes d'escalfament a vapor, construcció de xemeneies, etc. i és sabut, que fent de supervisor de la perforació de canons de bronze en els tallers de l'arsenal militar de Munic (Baviera), va posar en qüestió el caràcter substancial del calòric al considerar que la font de calor generada pel fregament de l'aparell que tallava les llimadures en el bronze dels canons era inesgotable. Llavors la hipòtesi més plausible era considerar que la calor fora moviment.

2.2.1.2 La relació entre la calor i el treball i la introducció del concepte d'energia.

La crítica del compte de Rumford sobre la natura substancial del calòric fou continuada ja en el segle XIX en un clímax científic i social molt diferent on es cercaven explícitament relacions entre la mecànica, el calor, l'electricitat i la química. En efecte, els problemes de la mecànica a l'hora d'explicar les limitacions del principi de conservació de la 'força viva'(energia cinètica) de Leibniz (en particular, quan hi havia xocs inelàstics en els que desapareixia l'energia cinètica i apareixia simultàniament calor) i, d'altra, el problema de la natura de la calor, va fer que es cercaren relacions entre els fenòmens mecànics i tèrmics que explicaven aquests dues ciències. D'altra banda, s'estava en plena revolució industrial on era fonamental optimitzar el rendiment mecànic de les màquines tèrmiques que cremaven carbó. És en aquesta època on jugaren un paper fonamental enginyers industrials com Sadi Carnot (1796-1832) i investigadors com J. Joule (1818-1881) i J.R. Mayer (1814-1978).

En aquest context, cal recordar que després de l'establiment del concepte actual de treball realitzat per un grup d'enginyers francesos entre els que figuren H. Navier

(1785-1836), G. Coriolis (1792-1843) i J.V. Poncelet (1788-1867), la principal preocupació va ser saber què era la calor per aprofitar-ho en la possibilitat de fer treball. Així Sadi Carnot publica en 1824 el seu treball, "*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à augmenter cette puissance*", on tracta de millorar el rendiment de la "potència motriu del foc" en les màquines tèrmiques. En aquest treball parla de la "calor" quan es refereix al procés de transferència d'energia tèrmica d'un cos a un altre que són a diferent temperatura. En canvi, reserva la paraula "calòric" per a designar el que avui anomenem com "l'energia interna" del sistema material per estar a una temperatura donada. Aquesta darrera idea significava acceptar que la calor està associada al moviment de les partícules inherent al model corpuscular de la matèria. Nogensmenys, Carnot parteix de la teoria del calòric per arribar a l'expressió del rendiment de les màquines tèrmiques. L'anomenat "teorema de Carnot" expressava que el treball màxim realitzat per una màquina tèrmica es feia funció de la quantitat de calòric i de les temperatures del focus calent i el fred entre els quals treballava la màquina. El calor intercanviat entre els dos focus s'aprofitava per produir treball i la quantitat de calor que passa d'un focus a l'altre es manté constant. En aquest treball s'arribava a la conclusió que no podia aprofitar-se tota la calor de la font calenta per convertir-ho en treball.

És a principis dels anys 1840 quan Joule i Mayer estableixen una relació quantitativa d'equivalència entre el treball i la calor, i comença a introduir-se el concepte d'energia diferenciant-ho de força i a abandonar-se el model del calòric. És interessant recordar que la principal obra de Mayer, '*Comentaris sobre les forces (energies) de natura inorgànica*' va aparèixer en *Annalen der Chemie und Pharmacie* i tenia com objectiu explicar perquè la calor específica a volum constant dels gasos era menor que la calor específica a pressió constant. Aquesta explicació consistia en acceptar que en l'expansió tèrmica d'un gas a pressió constant, la calor subministrada en excés es convertia en treball fet pel gas a l'expandir-se contra la pressió atmosfèrica (Arons 1970). Basant-se en aquesta relació Mayer obtingué en 1840 un valor de l'equivalent mecànic de la calor que resultà molt semblant a l'obtingut posteriorment per Joule per diferents mètodes elèctrics i mecànics ja coneguts (1843). Caldria, doncs, en l'ensenyament prestar suficient atenció a aquesta realització de treball quan interaccionen mecànicament un sistema (com, per exemple, el gas tancat en una xeringa a pressió) i un segon sistema com, per exemple, el medi atmosfèric que també està empenyant.

En aquesta dècada de 1840 és quan la ciència deriva de la relació entre treball i calor, per primera vegada, el *concepte d'energia* com una funció general dels sistemes

que els permet fer treball. Definició limitada, d'entrada, a la 'força viva' (energia cinètica) i als canvis mecànics i que, anirà evolucionant fins a arribar a definir-la com la capacitat dels sistemes per a fer transformacions -en particular, fent treball i/o transferint calor- segons el primer principi de la termodinàmica. El concepte energia es converteix en estructurant doncs serveix per explicar, en general, les diferents interaccions que s'havien anat introduint per les distintes ciències (mecànica, electricitat, magnetisme i química) i qualsevol tipus de canvi. En aquesta nova ciència s'aplica la teoria matemàtica dels camps -ja ideada a principis de segle XIX per Poisson (1811), entre d'altres- primer al cas del camp vectorial de forces elèctriques (que havia iniciat intuïtivament de manera geomètrica Faraday en 1825,) i, després, a les altres tipus d'interaccions. A aquests camps de forces s'associaven els respectius camps escalars corresponents a les diferents energies potencials que s'introduïen (gravitatòria, elàstica, elèctrica, magnètica i química). Les transformacions d'unes formes d'energia en unes altres en un sistema aïllat o entre sistemes que interaccionen va conduir a l'establiment del principi de conservació de l'energia formalitzat per Helmholtz en 1847, iniciant-se així l'origen de la termodinàmica com síntesi de les dues ciències, la mecànica i la calor. Nogensmenys, restaven problemes teòrics per resoldre. Així, en 1849, W. Thomson (més tard lord Kelvin) fa palesa la contradicció entre els resultats exposats per Carnot i els donats per Joule. Aquest demostrava que la calor es podia produir de manera inesgotable fent un treball de fregament i que per tant l'energia es degradava, mentre que Carnot suposava que el calòric sempre es conservava. En el fons, s'estava plantejant el conflicte entre la teoria del calòric, en la qual es basava Carnot i la teoria cinètica de la calor, defensada per Joule i els científics contemporanis.

Aquesta controvèrsia va ser resolta per R Clausius (1868) en 1850. A més, el naixement de la teoria daltoniana va fer més acceptable la idea de considerar la calor com una forma d'energia, com l'energia cinètica associada al moviment de les molècules de la matèria. Així, en la seua memòria publicada en *Poggendorff's Annalen*, Clausius analitza la relació entre el treball i el calor realitzats sobre un sistema i com cal introduir el concepte *d'energia interna* que serà la que variarà en aquestes interaccions mecànica i tèrmica entre aquest sistema i un altre extern. Aquesta relació fou considerada com la primera llei mecànica de la calor. Així doncs, els resultats de l'estudi de Carnot es consideraren vàlids però modificant la hipòtesi de la conservació del calòric pel *principi de conservació de l'energia total* en un sistema aïllat. Nogensmenys, es varen tindre que clarificar certes confusions relatives als conceptes introduïts que avui encara subsisteixen com són la identificació entre *calor* i *energia interna* i entre aquesta *energia interna* i la *total*. La idea qualitativa d'energia interna introduïda per Clausius, i que Duhem (1910) mostra en la segon lliçó de la seva '*Thermodynamique et Chimie*' titulada '*La quantité de chaleur et l'énergie interne*', ve

a ésser l'energia potencial associada a les forces interiors del sistema. En efecte, en la pàgina 28 d'aquest llibre Duhem esmenta: “*Certains auteurs, au lieu de réserver un nom particulier à la grandeur U_x préfèrent considérer le produit $E.U_x$ (E és l'equivalent mecànic de la calor), qu'ils nomment **énergie potentielle** du système dans l'état x ; l'énergie potentielle est alors une grandeur de même espèce que T_e (treball de les forces exteriors) et W (energia cinètica), partant une grandeur qui se mesure en unités de travail; on peut dire que **l'énergie potentielle est l'équivalent mécanique de l'énergie interne**. Les mêmes auteurs donnent, en général, à la force vive (W segons l'autor) le nom d'**énergie actuelle** ou d'**énergie cinétique**; à la somme $E.U_x + W_x$ ils donnent le nom d'**énergie totale du système dans l'état x** ”.*

Encara que en aquest text l'autor sembla identificar l'energia interna amb la calor, més endavant dedica l'apartat 35 de la tercera lliçó del mateix manual (p. 42 i 43) a fonamentar que “*la calor no es una forma de l'energia*” i aprofundeix en el concepte qualitatiu d'energia interna quan diu:

“La valeur de l'énergie interne du système dans un état donné dépend de toutes les propriétés qui caractérisent cet état: figures des divers corps dont le système est composé, positions de ces corps les uns par rapport aux autres, température, densité, consistance solid, liquid ou gazeuse, état chimique, magnétique, électrique de chacun d'eux, etc.”

Posa com exemple concret que l'energia interna pot dependre de tres termes: *energia físico-química* (associada a la temperatura, al tipus de estat físic i a la seva constitució química), *energia elèctrica* (associada a la configuració elèctrica) i *energia magnètica* (en el cas de que el sistema estiga imantat). Llavors acaba mostrant que la calor no apareix com una component de l'energia interna encara que s'accepte que la variació d'aquest potencial dels sistemes pot ésser mesurat en un calorímetre quan, per exemple, la interacció química es realitza a volum constant .

2.2.1.3 Contribució de la Termodinàmica a la interpretació energètica de les reaccions químiques: el concepte d'entalpia d'un sistema.

Ara bé, també cal tenir en compte les aportacions de la ‘branca química’ a la construcció de la Termodinàmica general durant tot el segle XIX que tenen per finalitat descriure ‘l'energia química’ i relacionar-la amb la famosa ‘afinitat’ de les substàncies alhora de reaccionar, encara que ja s'havia tractat el problema anteriorment, per exemple, al explicar el fenomen del foc.

El foc va ser considerat des de molt antic com a un element metafísic per Empèdocles i posteriorment per Aristòtil. En 1661, Boyle s'oposà a aquesta idea materialitzant-la basant-se en els seus estudis de l'aire i del nitro que va discutir amb Spinoza. Nogensmenys, la idea del foc continuava essent interpretada per la teoria del "flogist" de Stahl (1697), en la "matèria del foc" del seu deixeble Boerhaave (1732). I, fins i tot, està com element químic en el "Tractat elemental de Química" de Lavoisier com a "calòric" (1788), com ja hem dit abans. Respecte als intercanvis energètics en els processos químics, el propi Lavoisier i també Laplace proposaren que la calor produïda en una reacció química estava associada a les forces de l'afinitat dels reaccionants.

En 1840 Hess assumeix la hipòtesi de Lavoisier i estudia més detingudament la calor de reacció quan mesura la calor de dilució de dissolucions aquoses d'àcid sulfúric de diferents concentracions afegint-li parts alíquotes d'aigua pura. Aquest investigador suposava que les dissolucions eren '*compositos imperfectes*' d'acord amb la hipòtesi de Berthollet de finals del XVIII (Bensaude-Vincent & Stengers, 1998) i va constatar que la quantitat de calor produïda era constant i independent del camí (per exemple, en successives dilucions).

Més tard, Julius Thomsen en 1854 va explicitar la idea de que la calor alliberada era realment una mesura de l'afinitat química, a més enuncia el que després serà dit per Berthelot com principi del màxim treball -citat per Duhem(1910) en la pàgina 109-:

"Per a que una reacció química es pugui produir a una temperatura mantinguda invariable, cal que aquesta reacció vingui acompanyada d'un despreniment de calor".

El mateix Duhem critica aquesta afirmació i esmenta que aquest principi ha de restringir-se a processos químics de gran 'vivacitat' i sols pot utilitzar-se pels químics, en aquests casos per veure el sentit de la reacció possible. Presenta, al mateix temps, un conjunt de reaccions i de compostos que són endotèrmics com, per exemple, l'anhídrid hipoclorós, l'ozó i l'aigua oxigenada que també es produeixen encara que són inestables. Molt possiblement trobem a l'ensenyament que els processos espontanis endotèrmics més simples, com per exemple les vaporitzacions, seran difícils d'explicar energèticament pels estudiants.

En treballs publicats entre 1862 i 1866, Berthelot afirmà que part de la calor mesurada per mètodes termoquímics podia venir del treball mecànic o elèctric fet sobre el sistema. En particular, en la seua publicació "*Essai de mécanique chimique fondée sur la thermochimie*" publicada a Paris en 1879,

resumeix en tres principis les seues concepcions sobre la interpretació energètica de perquè ocorren les reaccions químiques:

“ I. El treball molecular o la calor obtinguda en el procés químic és una mesura del treball físic i químic fet en el curs de la reacció. I és una mesura de l'afinitat química.

II. La calor absorbida o alliberada en un canvi químic (aïllat) depèn exclusivament de l'estat inicial i final del sistema i no dels estats intermitjos.

III. El principi de màxim treball : Cada canvi químic realitzat sense l'acció d'energia externa tendeix a produir un cos o un conjunt de cossos amb el màxim calor possible:

Cada reacció química que pot fer-se sense treball inicial i sense l'acció d'energia externa sobre els cossos presents en el sistema, pot donar-se espontàniament si dona calor a l'exterior.”

Com es veu, Berthelot defineix la calor que es desenvolupa en una reacció química com una funció d'estat i, d'altra part, també es pot observar que utilitza la calor i el treball indistintament, tal vegada per influència de Joule. En efecte, el segon principi de Berthelot és una derivació de l'equivalència entre la calor després i el treball molecular en les reaccions. Aquest podríem dir que és el primer precedent en el que es relaciona la calor obtinguda en una reacció química amb el treball de trencament de les unions entre els àtoms de les molècules que formen les substàncies reaccionants.

En relació als calors de reacció a pressió constant, els termodinàmics varen derivar de la primera llei de la termodinàmica un nou potencial energètic, $U + P.V$, al que, ja entrat el segle XX, l'holandès Kamerling Onnes va anomenar *entalpia d'un sistema*, H . La *variació d'entalpia*, ΔH , que es produeix al reaccionar les substàncies fou definida operacionalment com *la calor de reacció sempre que es realitze el procés a pressió constant* i es pot mesurar en un calorímetre. Nogensmenys, la nova funció d'estat pot tindre dificultats en la comprensió del seu significat, en particular, pel segon sumand $P.V$. En primer lloc, cal recordar el camp de validesa de aquella definició operacional ($Q_p = \Delta H$) ja que s'introdueix a partir del primer principi de la termodinàmica imposant algunes restriccions al sistema com són que en la interacció sols es puga produir treball d'expansió-compressió, a més de calor. Per tant, si, per exemple, es fa treball elèctric o es produeixen altres radiacions no considerades com calor, no serà vàlid igualar la calor de reacció a pressió constant i la variació d'entalpia. D'altra banda, mentre no hi ha cap problema en el significat qualitatiu de l'energia interna que ja hem vist, no passa el mateix amb el producte PV que també forma part del concepte d'entalpia. Cal revisar

les fonts i analitzar el que varen dir termodinàmics com Duhem (1910) quan defineixen la idea de potencial termodinàmic. En la primera lliçó del manual abans esmentat, Duhem defineix, en general, el que és un *potencial de les forces* que actuen sobre un sistema, Ω , d'aquesta manera: “*Lorsque le travail des forces appliquées à un système est entièrement déterminé par la connaissance de l'état initial et de l'état final, on peut, à chaque état du système, faire correspondre une certaine grandeur, Ω , variable d'un état à l'autre; le travail effectué au cours d'une certaine modification est égal à l'excès de la valeur initiale de Ω sur la valeur finale de cette même grandeur ($T = \Omega_0 - \Omega_1$)*”.

És a dir, en lloc de dir que, en aquests casos, el treball de les forces exteriors depèn de l'estat inicial i final del sistema, l'autor diu que aquestes *forces admeten un potencial*. A continuació en la pàgina 19 d'aquest manual s'aborda un apartat que titula ‘*Forces que admeten un potencial en virtut de restriccions imposades al sistema*’ en el qual indica que encara que no hi hagi un sistema de forces que, en general, no admeta cap potencial pot, en determinats casos, admetre un, degut a que se li imposen determinades restriccions. Després, l'autor passa a exposar el cas del potencial P.V dient: “*Lorsque les forces qui sollicitent un système se réduisent à une pression normale, uniforme et constant, P, ces forces admettent le potentiel: $\Omega = P.V$, où V est le volume variable du système*”.

En resum, el significat qualitatiu atribuït a l'entalpia d'un sistema que va a interaccionar amb un altre seria el d'un potencial energètic suma d'uns altres dos potencials, un derivat de la seva energia interna i un segon, el potencial P.V. Aquest últim potencial suposa admetre la possibilitat de fer treball de compressió-expansió sobre el sistema per un altre extern (per exemple, l'entorn atmosfèric), sempre que la pressió siga constant.

2.2.1.4 Contribució mecànica de Boltzmann a la Termodinàmica

En la segona meitat del XIX, els termodinàmics s'havien dividit en dos grups. Els partidaris de la termodinàmica general macroscòpica que no participava de les hipòtesis atòmiques de la matèria i els de la termodinàmica especial o atomística. Però aquestes posicions no eren irreconciliables. El propi Clausius va adoptar hipòtesis atomístiques segon convinguera o no a la teoria que estava desenvolupant (Boltzmann, 1986). Un dels principals teòrics de la termodinàmica atomística fou el físic austríac Ludwig Boltzmann (1844-1906) que va contribuir a l'establiment d'un camp específic que avui rep el nom de Mecànica Estadística. En l'article titulat “*Sobre el significat mecànic del segon principi de la calor*” que va publicar en 1866, Boltzmann va desenvolupar un nou mètode estadístic en processos on hi ha gran número de partícules mitjançant el qual

explica el concepte d'*entropia* que havia estat introduït per Clausius l'any anterior (Boltzmann, 1986). En aquest treball apareix derivada la famosa expressió microscòpica de l'entropia d'un sistema i la definició relacional de la temperatura absoluta en funció de l'energia cinètica de les molècules d'un gas ideal. Les seves aportacions d'aquest nou mecanicisme foren ben rebudes en el món científic anglosaxó. En aquest sentit cal recordar les excel·lents relacions existents entre aquest investigador i Maxwell i la importància que va tindre aquest físic teòric en el desenvolupament de les idees científiques de Boltzmann.

Malauradament no passà el mateix en la comunitat científica centreuropea d'aquell temps. Les lluites entre l'energetisme i l'atomisme de la segona meitat del segle XIX són ben conegudes en la literatura (Boltzmann 1986; Rocke 1986; Brock 1998; Furió, Azcona, Guisasola & Ratcliffe 2000; Moreno 2007).

L'escola energetista, representada per físics com Duhem i per químics com Ostwald, amic i adversari filosòfic de Boltzmann, pretenia desenvolupar una ciència superior, l'*Energètica*, que unificarà la diversitat de ciències particulars oposant-se a una suposada excessiva influència de la Mecànica racional. Per això l'energetisme rebutjava l'ús de

models mecànics en la física i, també, el model atòmic-molecular de la matèria. En canvi, s'acceptava l'energia i la conservació de l'energia com a realitats últimes i no com un coneixement hipotètic. La polèmica més notable entre Boltzmann i Ostwald va tindre lloc en la 76 reunió anual de la Societat Alemanya de Científics i Físics celebrada en Lübeck en 1895 (Boltzmann, 1986). Aquest debat es centrà en el problema de la fonamentació de la termodinàmica, qüestió que va dividir a físics i químics. Aquests últims estaven representats per Ostwald, Helm i V. Meyer. Precisament quan V. Meyer presentà una ponència sobre 'Els problemes de l'atomisme' es va generar un gran debat entre energetistes i atomistes. Segons paraules d'un jove físic assistent a la reunió anomenat Sommerfeld "la batalla entre Boltzmann i Ostwald semblava, interna i externament, la lluita entre el brau i l'espasa. Però, en aquest cas, malgrat l'escola que tenia l'espasa, el brau matà al torero" (Boltzmann, 1986). Nogensmenys, Boltzmann va haver de suportar la incomprensió del seu treball de part del seus col·legues alemanys i des de la seva estada com professor en Leipzig en 1900 caigué en una profunda depressió de la que mai es va recuperar. En 1905 viatjà per darrera vegada a Califòrnia on un atac d'asma augmentà la seva depressió que no va poder véncer fins que es suïcidà a Trieste en 1906.

En resum, la contribució de Boltzmann amb la visió microscòpica de la termodinàmica especial fou convergent amb la visió macroscòpica aportada pels termodinàmics generals i va ajudar a consolidar el cos teòric de la termodinàmica com a ciència moderna. Com diu Atkins (1992) en les pàgines 6 i 7 del seu famós llibre “*La segunda ley*”:

“Los objetivos y actitudes adoptadas por Carnot y Boltzmann compendian la termodinámica. Carnot viajó hacia la termodinámica desde el mundo de las máquinas, símbolo de la sociedad industrial de su época, y pretendió mejorar su rendimiento. Boltzmann, en cambio, lo hizo desde el átomo, símbolo del naciente fundamentalismo científico: buscó dilatar nuestra comprensión del mundo hasta los niveles más profundos. La termodinámica sigue abarcando hoy ambos enfoques y refleja objetivos, actitudes y aplicaciones complementarias. Nacida de tosca máquina, ha adquirido tal refinamiento que se ha convertido en instrumento de exquisita delicadeza. Ocupa todos los ámbitos de interés humano y cubre la organización y el despliegue de ideas y recursos, en particular de las ideas acerca de la naturaleza del cambio en el mundo que nos rodea. Pocas contribuciones han enriquecido tanto nuestro conocimiento como esta hija de la máquina de vapor y del átomo”.

Precisament aquesta complementarietat entre les visions macroscòpiques i microscòpiques de l'energètica dels processos físics i químics és un dels aspectes que volem destacar en aquest treball perquè molt possiblement facilite la comprensió d'aquests coneixements científics. En la nostra hipòtesi es suposa que les relacions macro-micro estaran absents en l'ensenyament actual de la Termodinàmica i, per tant, no eixirà al pas de les dificultats que, en aquest sentit, tindran els estudiants.

2.2.2. Fonamentació epistemològica i didàctica de les dues hipòtesis.

La segona fonamentació teòrica de la hipòtesi consistirà en posar en qüestió el procés d'ensenyament de la Termoquímica que es fa habitualment ja que no té present els avanços de la didàctica de les ciències en els darrers vint anys. En particular, caldrà tindre en compte els resultats aportats, entre d'altres, per la línia de recerca sobre les concepcions alternatives dels estudiants (que va suposar, a nivell teòric, un seriós revulsiu al model hegemònic de transmissió-recepció dels coneixements científics ja construïts) i pel moviment ‘Ciència, Tecnologia i Societat, (CTS), que pretén una educació científica més social i comprensiva per a tothom. És a dir, aquest moviment de científics i filòsofs pretén una alfabetització científica i tecnològica dels futurs ciutadans i ciutadanes a fi d'arribar a una comprensió pública de la ciència i així podran prendre decisions fonamentades respecte als problemes socials derivats de l'ús de la ciència i la

tecnologia (Solbes i Vilches, 1997; Edwards et al 2002). Així doncs, en aquest apartat presentarem les principals mancances de l'ensenyament convencional dels conceptes i principis termodinàmics la qual cosa no ajudarà a la comprensió dels estudiants quan hagen d'aplicar-los en l'explicació dels canvis físico- químics.

Per tal d'exposar aquestes reflexions, dividirem aquest apartat en dos subapartats relatius, d'una banda, a l'existència de visions deformades que tenim els professors i professores de ciències sobre la ciència i l'activitat científica i, d'altra banda, la presència de possibles mancances didàctiques de l'ensenyament convencional respecte a les diferents dimensions del procés d'aprenentatge (axiològica, conceptual, epistemològica i metodològica) que la didàctica de les ciències està posant en relleu en els models de canvi conceptual, metodològic i actitudinal (Gil et al. 1991; Duschl 1995):

2.2.2.1 Visions deformades sobre la natura de la ciència i de l'activitat científica que es solen transmetre en l'ensenyament de la Termoquímica.

Un aspecte al que la didàctica de les ciències li està donant gran relleu són les visions deformades que tenim els professors sobre la ciència i com es construeixen els coneixements científics que tenen importància perquè es solen transmetre's conscient o inconscientment en l'ensenyament de les ciències com han posat de manifest diferents investigadors (Duschl 1995; Gil 1996; McComas 2000; Fernández 2000; Abd-El-Khalick 2001; Gil et al 2002; Furió et al 2003). Ens detindrem en analitzar quines són algunes d'aquestes imatges que la recerca ha detectat en els professors i professores de ciències:

- ***la visió descontextualitzada socialment de la ciència*** que ha mostrat el moviment investigador de les interaccions CTSA on s'ha vist la necessitat de fer una educació científica més social que mostre els problemes del desenvolupament científic i de les seves conseqüències tant positives com negatives. Aquesta contextualització de l'ensenyament científic en els problemes anteriors i actuals de la comunitat científica i de la societat en la que està inserida és necessària per despertar l'interès i la motivació dels estudiants cap a les ciències i el seu aprenentatge (Solbes i Vilches 1989, 1992 i 1997; Vilches i Gil 2003). Precisament en l'ensenyament de la termoquímica és fàcil trobar situacions problemàtiques d'interès personal i social que poden anar des del plantejament del que significa alimentar-se bé (eixint al pas de malalties com l'anorèxia i la bulímia), com funcionen els cotxes o estudiar quins problemes hi ha al món respecte a les necessitats energètiques que tenim, etc.;

- **la visió empirista i atèdrica** del professorat de ciències prou investigada en la didàctica (Matthews 1994a i 1994b) i on es prioritza l'anomenat per Piaget '*el mite sensorial en la construcció dels coneixements científics*'. Com diu Lopez-Gay (2001) en la seva tesi doctoral: '*...hay que tener en cuenta que la visión fuertemente empirista que caracteriza nuestro pensamiento implica que uno encuentra plausible un modelo mental cuando se puede relacionar (e identificar) con un objeto real fuertemente interiorizado. Así es como funciona nuestra mente (...) ligando ideas o estructuras mentales ya establecidas en nuestro pensamiento...*'. Eixa pot ésser la raó per la qual alguns conceptes científics es lliguen fàcilment amb definicions procedimentals de baix nivell cognitiu i no ho fan amb definicions relacionals del mateixos conceptes de major nivell. Per exemple, la definició procedimental de la temperatura com el número que marca el termòmetre introduïda per Black no té cap dificultat pels estudiants però, en canvi, si en té la concepció estadística de la temperatura on hi ha que relacionar-la amb l'energia cinètica mitja de les partícules d'un gas com varen fer Maxwell i Boltzmann. El mateix passa amb el concepte d'entalpia d'un sistema que té prou dificultats de comprensió i, en canvi, resulta molt més fàcil la definició procedimental de la variació d'entalpia d'un procés ja que s'identifica amb la calor de reacció a pressió constant;
- **la visió rígida i massa formalista dels coneixements científics** com el que ocorre habitualment en la introducció de conceptes en Termoquímica on s'abusa d'un operativisme cec que, de vegades, arriba a ésser dogmàtic. És freqüent en aquest domini derivar matemàticament un concepte sense tindre prèviament alguna idea o representació qualitativa d'ell (Toulmin 1977) o sense presentar abans els problemes, fenòmens o referents empírics que es volen explicar amb aquell concepte científic. Per exemple, està el cas de la introducció del concepte d'entalpia d'un canvi sense haver mostrat prèviament els fenòmens calorífics o i/o mecànics (fent treball) que acompanyen als processos físics o químics, interaccions que conformen el problema general que es vol estudiar i explicar des del punt de vista energètic. La investigació didàctica en el domini de la Química ja ha ressaltat aquestes deficiències, en general (Johnstone 1993), o en temàtiques més específiques com, per exemple, en la neutralització d'àcids i bases i en la hidròlisi de sals (Furió et al 2003);
- **la visió ahistòrica i aproblemàtica en la introducció dels conceptes i teories científiques** que no mostra com, per exemple, l'origen d'un concepte és la resposta hipotètica donada pel cos teòric a un o varis problemes existents en un moment donat. És habitual veure com l'ensenyament de les ciències oblida el caràcter

problemàtic i històric dels conceptes, és a dir, que aquests naixen intentant solucionar problemes, es desenvolupen, canvien i, inclòs, poden arribar a desaparèixer. Un exemple prototípic d'evolució conceptual en la Termodinàmica és la del mateix concepte d'energia. És ben sabut que l'energia fou definida originàriament, a meitat del segle XIX, com la capacitat dels sistemes per a fer treball en el camp de la mecànica. I, encara que aquesta idea és prou útil per introduir als estudiants novells en aquest domini, ha quedat superada per una altra concepció de l'energia com la capacitat dels sistemes per produir transformacions o canvis (Saltiel i Viennot 1985; Solbes i Traver 1996 y 2003; Domènech 2001; Domènech et al, 2003). És més, avui és pot considerar que aquesta definició també és transitòria i haurem de modificar-la en un futur pròxim perquè aquesta capacitat de canvi bé donada per l'energia útil o aprofitable de Gibbs i no per l'energia total del sistema quan interacciona;

- ***la visió acumulativa lineal dels conceptes i teories científiques*** que també es pot observar en l'ensenyament de la Termodinàmica. Per exemple, el primer model termodinàmic que es va desenvolupar en el segle XIX per interpretar els intercanvis energètics fou un model teòric macroscòpic, oposat a l'atomisme. Va transcorre més de mig segle perquè s'acceptara la interpretació atomista de Boltzmann sobre la segon llei de la termodinàmica. Nogensmenys, en l'actualitat la major part dels llibres de text de termodinàmica no presenten explicacions microscòpiques i quan les presenten ho fan superposant aquest nivell microscòpic d'interpretació amb el nivell macroscòpic termodinàmic. Cal, com diu Atkins (1992), establir unes correctes relacions macro-micro que, a més a més, donen coherència al cos teòric. Aquesta superposició dels nivells macro i micro es presenta sovint en l'ensenyament de la Química (Gabel 1998, Furió et al 2003) i es justifica en base al desconeixement de la història de la ciència (Kuhn 1971) i en el caràcter acrític i poc reflexiu de la formació del professorat de Ciències (Gil i Solbes 1993, Fernández et al 2002);
- ***la visió excessivament analítica de les construccions científiques*** oblidant que la ciència cerca explicar el món i, en particular, els distints fenòmens naturals amb el mínim nombre d'hipòtesis i, per això, tracta de realitzar grans síntesis de cossos de coneixements teòrics com, per exemple, fou la mecànica newtoniana en el segle XVII que trencà les barreres entre la física del cel i la de la terra. En el cas que ens ocupa, la Termodinàmica general va unificar els cossos teòrics de la mecànica i la calor per interpretar successos que no podia explicar la mecànica com, per exemple, la desaparició de la 'vis viva' en els xocs inelàstics i l'aparició simultània de calor. Posteriorment s'arribà a la gran

síntesi de les ciències de la mecànica, el calor, l'electricitat, el magnetisme, l'acústica i l'òptica en el que s'anomena la Física Clàssica que va tindre lloc a finals del segle XIX.

Cal dir que totes aquestes visions epistemològiques deformades de la ciència estan interrelacionades. Així per exemple, el creure que la primera passa en una recerca és sempre l'observació d'un fenomen és un tret característic d'una visió empirista-inductivista de la ciència però, al mateix temps, es pot reconèixer el seu caràcter aproblemàtic ja que el que és habitual en la ciència és iniciar una recerca plantejant-se algun problema derivat del cos teòric.

2.2.2.5. Contribucions de la recerca didàctica als nous models d'aprenentatge com a canvi conceptual, epistemològic i actitudinal.

Les noves propostes curriculars de molts països occidentals consideren que l'ensenyament de les ciències deu ajudar a la ciutadania a analitzar situacions i prendre decisions sobre assumptes socials que estan relacionats amb el coneixement científic-tècnic (Laugksch 2000, Millar y Osborne 1999, National Research Council 1996). Això implica un model d'ensenyament que tinga com objectius principals 'aprendre ciència' i 'aprendre sobre ciència'. Aprendre ciència, implica comprendre els coneixements teòrics de la disciplina i les seues explicacions dels fenòmens naturals. Aprendre sobre ciència, implica comprendre les estratègies de l'activitat científica, les seues formes de raonament i justificació, i ser conscients de les complexes relacions ciència, tecnologia i societat, com indiquen diversos autors (Leach y Scott 2002; Solbes y Vilches 1997).

Malgrat que els objectius assenyalats estan proposats en molts dels curricula de ciències, la investigació en l'ensenyament de les ciències i la nostra pròpia experiència com docents, ens indica que aquests objectius sols s'aconsegueixen en un grau molt petit. La preocupació per aquesta situació ha portat a realitzar múltiples i variades investigacions en l'ensenyament de les ciències (Millar 2003). En les darreres dècades del segle passat la investigació en educació va produir un desplaçament de paradigma al reconèixer que no es pot considerar als estudiants com recipients buits a emplenar amb els coneixements científics, sinó que hi ha que concebre l'aprenentatge com canvi conceptual (Driver y Oldham 1986, Posner et al. 1982). El paradigma del canvi conceptual subratlla que els estudiants han de partir en el seu aprenentatge de les seues pròpies idees sobre els conceptes de la disciplina i que la instrucció és una intervenció mediatadora i transformadora. El resultat desitjat de l'ensenyament és la reestructuració

de les concepcions alternatives de forma que les seues noves representacions s'aproximen a aquells conceptes i argumentacions amb els que els científics interpreten la realitat. La perspectiva del canvi conceptual ha segut convergent amb una imatge de transformació del coneixement que és central en la visió socioconstructivista de l'aprenentatge: els estudiants construeixen activament el seu propi aprenentatge a través de la interacció amb les seues idees prèvies i les seues noves experiències amb la necessària ajuda dels professors (Leach & Scott 2003; Duschl y Hamilton 1998, Duit y Treagust 1998, Strike y Posner 1992).

Aquest enfocament de l'ensenyament de les ciències ha donat lloc a nombroses investigacions que han identificat les idees prèvies dels estudiants en diferents àrees de la ciència i, posen de manifest la seua importància a l'hora d'ensenyar ciències (Driver et al. 1994, Wandersee et al. 1994). Aquestes investigacions han proporcionat evidències que és precís considerar las idees que els estudiants porten a l'aula a l'hora de definir seqüències de continguts i de proposar metodologies per a ensenyar les citades seqüències. Aquestes idees prèvies tenen caràcter funcional ja que son útils per a justificar les explicacions que deuen donar-se en les experiències quotidianes. En conseqüència, estan fermament arrelades en l'estructura conceptual dels estudiants i són molt resistents al canvi (Duit, Treagust y Mansfield 1996, Marton 1981).

Les investigacions sobre com els estudiants modifiquen les seues idees prèvies aproximant-se a les científiques han evolucionat des de posicions inicials en les que es considerava l'aprenentatge com un procés discontinu i de canvi radical (conflicte, superació, substitució...) a un enfocament actual en el que es considera l'aprenentatge com un procés de creixement i reestructuració (Duit y Treagust 1998, Roth 1998). Com indica Roschelle (1998) "*Education does not require black-and-white categorizations of understanding versus misunderstanding rather is needs articulation of grey areas and directions for change*". Les investigacions sobre l'aprenentatge dels estudiants han evolucionat arribant a tenir en compte noves dimensions, a més de la conceptual, en aquest procés de reestructuració (Duschl y Hamilton 1998, Gil-Pérez et al 2002). Aquestes investigacions venen a ressaltar alguns elements essencials que deuen tenir en compte les propostes d'ensenyament que vullguen afavorir la transformació de les idees dels estudiants i que s'indiquen a continuació:

- Les idees dels estudiants no existeixen de forma aïllada i són resistents a la instrucció, fins i tot quan aquesta s'orienta explícitament a produir el canvi conceptual (Hewson y Thorley 1989, Oliva 1999, Viennot 1996). Així mateix,

aquestes idees estan dotades de certa coherència interna, estructurant-se en autèntics ‘marcs conceptuals alternatius’ (Pozo 1999). Això no significa que en un mateix individu no puguem coexistir concepcions aparentment contradictòries que són utilitzades segons el context i que al ser repetides en contextos similars acaben convertint-se en representacions ‘estables’ (Marton & Booth 1997).

- L’aprenentatge no es redueix a la dimensió conceptual sinó també cal tenir en compte altres dimensions igualment importants tal com, per exemple, l’epistemològica i l’afectiva. Abundants treballs sobre la Naturalesa de la Ciència i el seu paper en l’ensenyament expliquen que l’avanç del coneixement científic és degut a una varietat de components sociològics, epistemològics, axiològics i ontològics i que, aquests aspectes deuen tenir-se en compte en l’ensenyament de las ciències (Duschl 1994, McComas 2000a i 2000b, Matthews 1994a).
- Aprendre ciències no implica necessàriament supplantar uns coneixements per altres, sinó més be aprendre a integrar jeràrquicament diferents concepcions, de manera que la més potent pugui explicar les més simples però sense que les anul·le, ja que aquestes segueixen sent útils en moltes situacions quotidianes. Podem seguir comprant gel ‘per a proporcionar fred’ sense que això supose que ignorem la possibilitat d’explicar el fenomen en termes d’explicacions més científiques. Així doncs, no s’ha de posar l’èmfasi en el conflicte cognitiu d’idees dels estudiants sinó en aquelles estratègies que permeten la seua reestructuració (Mortimer y Scott 2003).

Tots aquests elements han contribuït a augmentar la nostra comprensió sobre els processos d’ensenyament de l’aprenentatge. Tanmateix, aquests elements no donen molts detalls sobre la seua concreció en propostes didàctiques. Freqüentment el repte real consisteix en l’eficàcia que s’aconsegueix amb aquests elements orientadors a l’aplicar-los en el disseny i desenvolupament de seqüències d’ensenyament/aprenentatge. Es freqüent pensar que les propostes d’ensenyament d’aula pertanyen a la necessària llibertat i competència del professorat. Més encara, aquest tipus de reflexions xoquen amb la creença generalitzada que no existeix “una millor proposta” d’ensenyar un tema. No obstant això, pensem que no s’ha de subestimar la dificultat d’adaptar els principis generals de les teories d’ensenyament-aprenentatge a la pràctica i, que no es deuen sobreestimar les competències del professorat, sobre tot en secundària i universitat on la seua formació didàctica és molt deficient (Mellado 1998a i 1998b). Encara que ‘la millor proposta’ per ensenyar un tema siga una utopia pensem que hi ha unes propostes millors que altres i que per tant, pot ser

important per a l'ensenyament de les ciències proposar estratègies didàctiques que constitueixen un pont entre aquells principis orientadors generals i les seqüències d'ensenyament en l'aula (Lijnse y Klaassen 2004). Aquestes estratègies didàctiques no deuen considerar-se com receptes per que els professors puguin ensenyar un determinat tema, sinó orientacions que indiquen els aspectes on es deu centrar l'atenció en el procés de disseny i desenvolupament de seqüències d'ensenyament. Des d'aquest punt de vista discutirem ací una proposta d'ensenyament basada en la realització d'investigacions guiades la finalitat de la qual consisteix en familiaritzar als estudiants amb estratègies utilitzades en l'activitat científica i que, al mateix temps, els permetrà eixir al pas de visions deformades de la naturalesa de la ciència.

2.2.2.3. Visions actuals de la Ciència i característiques de l'activitat científica.

Un anàlisi de les activitats associades amb el desenvolupament del coneixement científic ens porta a definir la ciència com un procés de plantejament de problemes, la solució dels quals implica elaborar explicacions amb distintes capacitats de predicció (Kuhn 1977, Losee 1980). La meta de la indagació científica és la construcció de teories científiques sòlides. Les teories científiques són el resultat d'activitats científiques orientades a proporcionar explicacions dels fenòmens i representen el coneixement raonat sobre el món que ens envolta. En el procés de construcció de les teories, segons Laudan (1984), existeixen tres tipus de compromís: a) els compromisos amb les teories; b) els compromisos amb les metodologies emprades en la investigació; c) els compromisos amb les finalitats i objectius de la ciència. Aquests tres tipus de compromís uneixen els processos (d'elaboració d'explicacions a partir d'objectius inicials, emissió d'hipòtesis i interpretació de dades) amb els productes (teories explicatives). Així mateix, no es consideren els compromisos teòrics com els de major nivell en la jerarquia, sinó que els objectius, mètodes i teories gaudeixen del mateix status.

Al contrari que en els models jeràrquics (Kuhn 1971; Lakatos 1970) que defensen canvis holístics en els mètodes i objectius quan es produeixen canvis en la teoria, Laudan advoca per canvis més fragmentaris. En el procés de producció de coneixements científics es poden produir canvis en els objectius, mètodes i teories per separat i en períodes distints. És possible que durant un període determinat de temps els científics alteren els seus compromisos amb la teoria, mantenint encara els compromisos amb els mètodes i objectius cognitius desenvolupats a partir d'una teoria prèvia. Així mateix, cal destacar el paper dels nous objectius i mètodes de la ciència que donen lloc a noves perspectives d'indagació i, per tant, a nous conjunts de dades. Quan s'han acumulat suficient nombre de dades com per a posar de manifest la necessitat

d'un canvi, existeix un notable desacord respecte del marc teòric en la comunitat científica. Així doncs, el procés de producció del coneixement científic s'entén com un teixit d'objectius, mètodes i teories interrelacionats que permet explicar fenòmens naturals i prevenir nous fets (Duschl y Gitomer 1991, McComas 2000a).

En la mesura que l'empresa científica és complexa i de desenvolupament no lineal, resulta difícil definir amb precisió les seues característiques. Les característiques fonamentals de la Natura de la Ciència han segut freqüentment debatudes en el camp de la filosofia de la ciència (Turner y Sullenger 1999). Una de las conclusions que sobresurt dels estudis en el camp de la filosofia de la ciència és que no existeix un consens sobre les característiques que defineixen el procés de construcció del coneixement científic (Alster 1997). Tanmateix, altres estudis realitzats no sols dins de la comunitat de filòsofs de la ciència sinó també amb membres de les comunitats científiques de la sociologia de la ciència, de la història de la ciència i de l'educació científica (Abd-El-Khalick i Lederman 2000; Bell et al. 2001; Hodson 1992; Izquierdo i Adúriz-Bravo 2003; Matthews 1994a; Osborne et al. 2002; Vazquez et al. 2006) indiquen que existeix un conjunt d'aspectes de la pràctica científica en els que hi ha un ampli consens. D'ara en avant, ens referirem a aquells aspectes que han assolit en la comunitat científica un major consens sobre les característiques del treball científic.

Analitzant les aportacions de l'història, filosofia, sociologia y didàctica de les ciències sobre com es desenvolupa el procés de construcció del coneixement científic, es possible extraure alguns elements que permetrien caracteritzar el procés que segueixen els científics en la construcció del coneixement (Abd-El-Khalick 2001; Chalmers 1982; Cleminson 1990; Collins et al. 2003; Duschl 1990; Glasson i Benteley 2000; Guisasola et al. 2005; Hodson 1992; Koballa et al. 2005; Leach i Scott 2002; Lederman et al. 2001; Mason 2002; McComas y Olson 1998; Osborne et al. 2002; Rubba et al 1996; Vazquez et al. 2006). En definitiva, es possible definir alguns elements que caracteritzen el conjunt d'objectius, mètodes i teories que constitueixen el procés de producció del coneixement científic. Les característiques que exposem s'agrupen en el Quadre 1 en tres nivells interrelacionats: el dels objectius, l'epistemològic (descriu las activitats d'indagació i determina la forma de coneixement) i l'ontològic (el status dels productes científics).

Quadre 1.- Resum d'alguns aspectes de la Natura de la Ciència a tenir en compte.

| Aspecte de la Natura de la Ciència | Característiques |
|--|---|
| a) Objectius: El paper de la ciència. | a.1) El paper de la ciència és proveir explicacions dels fenòmens naturals, la ciència està considerada com una disciplina dirigida a qüestions a propòsit del món natural que a.2) utilitza una metodologia pròpia i evidències experimentals que juguen un important paper que separa la ciència d'altres "camins de coneixement". a.3) Nogensmenys, la ciència està involucrada dins d'un context sociocultural i per tant està influenciada per valors culturals i socials, subjectivitat personal i la inferència de programes d'investigació. a.4) La Ciència és una activitat que implica <i>creativitat i imaginació</i> , com altres activitats humanes, i algunes idees científiques són grans èxits intel·lectuals . |
| b) Epistemologia de la ciència | b.1) Els científics desenvolupen <i>hipòtesis</i> i prediccions sobre els fenòmens naturals que són provades experimentalment. b.2) La ciència utilitza un seguit de mètodes i enfocaments i no hi ha només un mètode científic o enfocament únic. |
| c) Ontologia del coneixement científic | c.1) La ciència utilitza evidències experimentals per posar a prova les seues idees, però el coneixement científic no emergeix simplement de les dades, sinó a través d'un procés d'interpretació i de teories construïdes. c.2) El treball dels científics inclou un procés continu i cíclic de plantejar qüestions i donar respostes que poden derivar en noves qüestions. Es a dir, el coneixement científic és <i>temptatiu</i> (subjecte a canvis) i els canvis en ciència ocorren gradualment. c.3) El coneixement científic ordinari és la millor cosa que tenim, però si la teoria canvia s'hauran de donar noves interpretacions de les antigues evidències; a causa de problemes amb prediccions o universalitat; o <i>noves evidències</i> . c.4) Les idees científiques estan afectades pel <i>context històric i social</i> . |

Per començar el nostre comentari dels aspectes indicats en la quadre 1, volem destacar que els processos d'investigació científica se solen realitzar amb l'objectiu de resoldre un problema del món natural. Aquest problema sol estar relacionat amb el context sociocultural i/o amb els problemes derivats del camp teòric. A partir del problema general es defineixen objectius específics que guien el treball del grup o grups implicats. Això implica realitzar una aproximació qualitativa al problema que du a definir de manera concreta el problema a resoldre a través dels seus objectius específics. En definitiva, les persones implicades en la investigació han de definir els objectius que

persegueixen o tenir coneixement dels mateixos. A partir dels objectius inicials es busquen dades inicials (observacions directes o indirectes, qualitatives o quantitatives). En aquest estadi de la investigació en el que es cerquen dades és en el que es dona la major part dels fets científics. En aquest estadi les persones es familiaritzen amb altres fenòmens objecte d'estudi i amplien les seues experiències anteriors. Tanmateix, els fets per si mateixos no proporcionen comprensió del món. Són les relacions entre els fets (explicacions, models, teories) les que constitueixen les nostres representacions mentals d'aquesta comprensió.

A partir de l'obtenció i organització de les experiències intervenen la creativitat, la imaginació i la utilització adequada dels esquemes conceptuals per avançar en la solució del problema. En aquesta fase, s'emeten hipòtesis sobre les possibles solucions del problema. En aquest estudi el terme 'hipòtesi' es refereix a la capacitat dels estudiants de proposar qualsevol solució temptativa capaç d'orientar una indagació (Wenham 1993). Dins d'aquesta definició en els processos d'investigació es poden donar diferents tipus d'hipòtesis que ens mostren com els científics utilitzen la seua creativitat i imaginació en un procés temptatiu. Tres categories diferents d'hipòtesis seran considerades (Fernández et al., 2002; Laudan, 1977; Hempel, 1966):

- a) La hipòtesi descriptiva és una proposició que afirma quelcom que és una veritat encara no confirmada. Aquest tipus d'hipòtesis està relacionada amb el coneixement factual (successos, fenòmens, fets). Aquestes hipòtesis són característiques de períodes preparadigmàtics en els que no hi ha constituït un 'nucli dur', com indica Lakatos, ja que s'està en una fase d'acumulació empírica de dades, evidències i fets.
- b) La hipòtesi explicativa especula sobre el que causa que les coses siguin com són. Aquestes hipòtesis es refereixen al coneixement del 'per què' (explicacions, models, esquemes, teories...). Les prediccions poden ser derivades de les hipòtesis explicatives per raonaments deductius. La conseqüència que prediu ha de ser aquella que s'espera si la hipòtesis fora certa.
- c) La hipòtesi procedimental es refereix al coneixement del 'com' portar a terme els experiments, mesures i altres procediments pràctics. Aquest tipus d'hipòtesis són relatives a l'elaboració, modificació i refinament de mètodes d'anàlisi i mesura.

La formulació de les hipòtesis està clarament situada al principi de la investigació i juga un paper fonamental en el qüestionament de la validesa dels resultats obtinguts. Pot no haver-hi anàlisi de resultats, en el sentit més ampli, si no hi ha pronòstics plausibles que els contrasten. En el treball científic una hipòtesi ha de ser plausible (coherent lògicament tant interna com externament amb la teoria), consistent amb l'evidència (els fets del problema) i superior amb altres possibles especulacions. Aquests criteris són construïts per la comunitat científica i són d'ús quotidià.

En la següent fase, s'analitzen els resultats obtinguts d'acord amb les hipòtesis explicatives i es generen explicacions científiques. Per a proporcionar explicacions

científiques es deu, per un costat, desenvolupar relacions legítimes entre els fets i, per altre, establir àrduament i amb rigor, generalitzacions que es poden extraure de les relacions anteriors i de les hipòtesis emeses (Suppe 1977). En ciència, les teories donen significat a les dades i no al contrari. A partir d'ací es comença a comprovar el model o teoria explicativa definida. La tasca a la que s'enfronten els científics és com distingir i validar les teories ben fonamentades d'aquelles idees excèntriques o idiosincràtiques. Ací s'utilitzen múltiples i diferents tipus de criteris (empírics o conceptuals) que s'apliquen per a contrastar les explicacions elaborades. Una teoria decau si tropeça amb problemes empírics (conjunt de dades, fets i relacions empíriques que no explica) o conceptuals (aspectes controvertits en el marc teòric). En qualsevol cas, si l'explicació falla en relació amb les previsions realitzades, s'entra en un període de revisió i noves comprovacions. Les explicacions científiques són temptatives i estan sotmeses a un procés cíclic de qüestionament i reflexió. Així doncs, en general, quants més problemes empírics i conceptuals explique major serà la validesa i fiabilitat de la teoria construïda. Quan la teoria explicativa té èxit, s'inicia un procés de socialització dels resultats on es fan explícits tant en l'àmbit de la validesa de la teoria com en les seues possibles limitacions en relació amb el problema plantejat.

Les reflexions abans exposades sobre el procés de construcció del coneixement científic han tractat d'organitzar i desenvolupar les característiques que s'han exposat en el quadre 1, però en cap cas es tracta d'establir receptes de passos a seguir en el treball científic. Les diferents fases indicades solen superposar-se i estan interrelacionades, de forma que cada investigació concreta pot obviar algunes de les característiques indicades, tal i com es pot constatar en l'estudi històric de les teories científiques (Losee 1980).

2.2.2.4 El model d'ensenyament/aprenentatge de les Ciències basat en el desenvolupament d'investigacions orientades.

La nostra proposta tracta de fonamentar l'ensenyament de les ciències en activitats que involucren als estudiants en la pràctica de les característiques del treball científic exposades anteriorment, partint de la importància que li donem a les noves aportacions de la investigació en l'ensenyament de les ciències exposades en la introducció i als objectius 'd'aprendre a fer ciència' i 'aprendre sobre ciència'. Aquest enfocament té com a finalitat implicar als estudiants en la construcció del coneixement, aproximant l'activitat dels estudiants a la riquesa d'un tractament científic dels problemes. Un enfocament, en didàctica de les ciències que, explícitament, té aquesta finalitat que nosaltres anomenem *ensenyament de les ciències basat en el desenvolupament d'investigacions orientades* (Gil i Carrascosa 1994, Furio et al. 2003, Gil 2003). La construcció de coneixements dins d'aquest enfocament d'investigació orientada és, en el context escolar, similar al procés de construcció de coneixement professional dins de la pròpia ciència. L'èmfasi d'un enfocament "d'investigació

orientada” és aquell que porta als estudiants a una situació en la que la seqüència d’activitats ha de tenir sentit per a ells i els ha de guiar en la utilització de procediments de treball propis de la ciència i familiaritzar-los amb l’argumentació científica. Com Duschl (2000) indica “el repte és dissenyar seqüències d’instrucció i condicions en l’ambient d’aprenentatge que ajude als estudiants a convertir-se en membres de comunitats epistèmiques”.

La proposta que presentem es basa en la utilització, per part del professorat, de les característiques del treball científic ja exposades i la seua posada en pràctica en l’aula. No es tracta de presentar a l’alumne una sèrie de regles per que les utilitze com un algoritme. Al contrari, es tracta que en la mesura que els estudiants es troben immersos en una pràctica amb aquestes característiques, desenvolupen una forma de pensar que s’aproxime a la forma de treballar de la comunitat científica i, puguin aplicar-la en diferents contextos per analitzar situacions i prendre decisions personals i socials relacionades amb la ciència.

Convé resumir les característiques de la natura de la ciència exposades en l’apartat anterior amb un esquema més simple que permeta realitzar la transposició de les característiques del treball científic a la planificació de l’ensenyament i la seua posada en pràctica. Aquest esquema ens permetrà discutir els diferents nivells d’activitat a programar per a seguir el procés de construcció de coneixement que duen a terme els científics. Aquest esquema es presenta en la figura 1 i tant els seus elements com les etapes que intervenen es discuteixen a continuació.

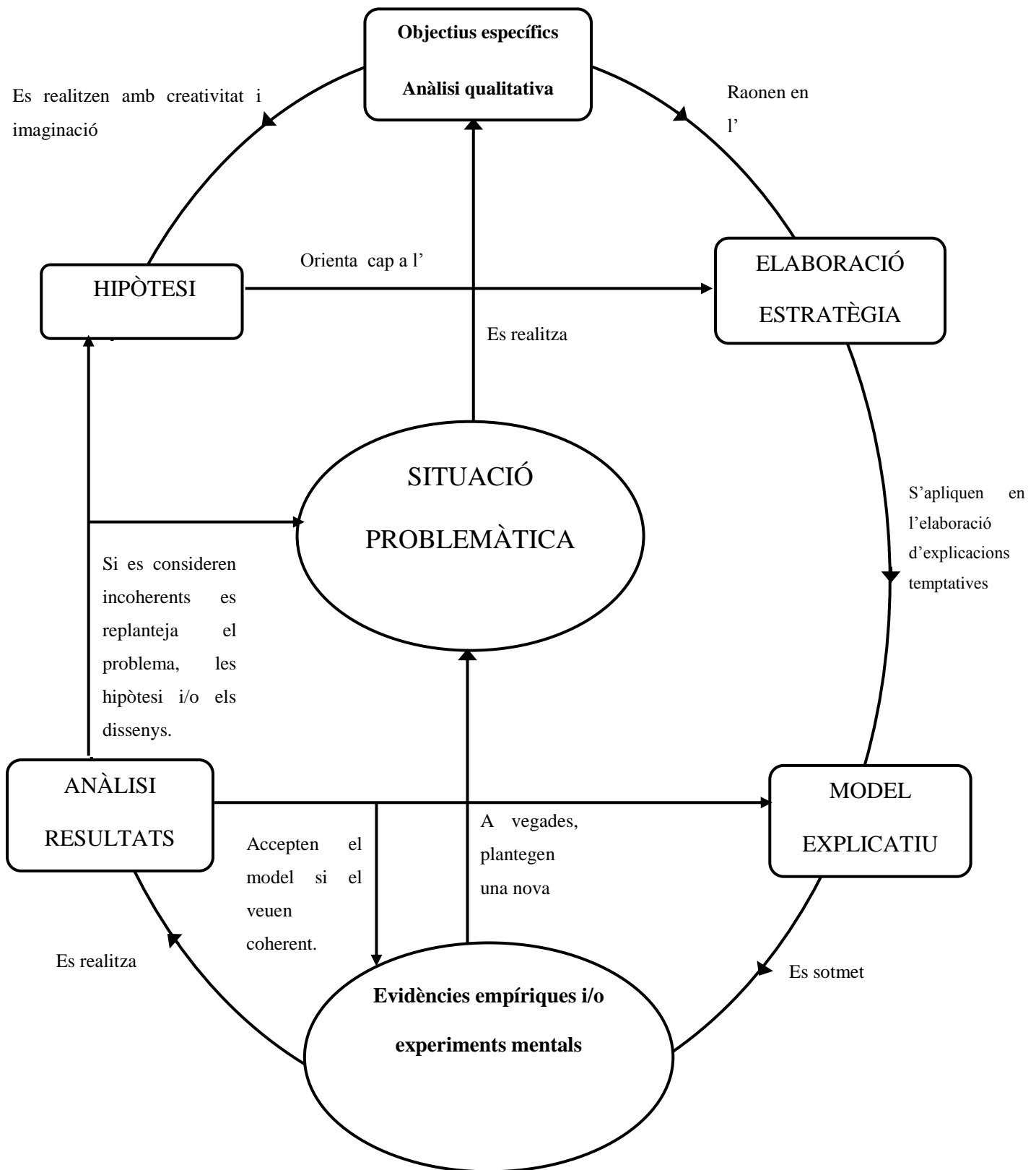


Figura 1. Un esquema del procés de construcció del coneixement científic per a la seua transposició a l'ensenyament de les ciències (Guisasola, Furió i Ceberio 2008).

En aquesta proposta podem distingir tres nivells en la implementació del treball a desenvolupar en la classe. En un primer nivell, desenvolupem activitats d'ensenyament-aprenentatge que plantegen als estudiants un problema general amb referències socioculturals. Aquest conjunt d'activitats té un doble objectiu. Per un costat, intentar que el problema siga interessant als estudiants per que s'impliquen en la resolució del mateix i per l'altre que prenguen consciència dels objectius que es proposen. Els estudiants deuen conèixer en tot moment, del procés d'ensenyament-aprenentatge, l'objectiu del que s'està treballant. Si això és d'aquesta manera, serà més probable que el procés d'ensenyament-aprenentatge tinga sentit per als estudiants i que construeixen o acomoden els nous coneixements sobre bases comprensibles per a ells mateixos. Les activitats guien als estudiants per a que realitzen plantejaments qualitius i prenguen decisions que precisen i concreten el problema i defineixen objectius concrets. D'aquesta manera els nous conceptes, lleis, i teories que es vagen introduint respondran als objectius fixats i per això, la seua construcció i acceptació es basarà en la seua funcionalitat per a aconseguir-los.

En aquest primer nivell de treball, el caràcter de la investigació guiada queda reflejat en el fet que el procés d'ensenyament-aprenentatge no comença des del marc teòric, com sol ser habitual en els llibres de text, sinó que es plantegen problemes que són interessant resoldre's per les seues implicacions tecnocientífiques. Es deu ressaltar que el conjunt d'activitats inicials realitza la transició des del problema general relacionat amb el mon científic i tecnològic de la vida quotidiana a un nivell qualitativament més concret que defineix objectius a aconseguir. Així mateix, aquestes activitats busquen familiaritzar als estudiants amb les experiències i fenòmens naturals que es volen explicar.

Aquesta aproximació qualitativa als objectius a investigar permet que els estudiants expliciten els seus esquemes conceptuals i els analitzen críticament en relació amb el problema concret a resoldre. Ací el professor ha de tenir en compte les idees alternatives dels estudiants i valorar les possibles dificultats que de cara a la construcció d'una teoria científica poden presentar-se. El disseny de les activitats no busca el conflicte cognitiu de les idees, sinó que es discuteixen i analitzen la viabilitat de les seues concepcions amb el fi que siguen més útils. Per això, la classe s'estructura en grups petits d'estudiants que treballen com equips d'investigació sota la direcció del professor. Aquesta estructura organitzativa facilita els processos de raonament i justificació d'idees entre parells i amb el professor.

El funcionament dels grups d'estudiants no és autònom sinó que els estudiants han d'estar orientats en l'ús dels seus propis procediments del treball científic i començar a familiaritzar-se amb l'argumentació científica (Jiménez-Alexandre et al 2000). Ha d'haver-hi un equilibri entre la llibertat que els estudiants necessiten per explicitar les seues construccions i les orientacions que són necessàries per que els estudiants progressen en el seu procés de construcció o acomodació del seu coneixement sobre bases per ells mateixos puguem entendre. En aquesta proposta no es considera convenient deixar a soles als estudiants en la construcció dels coneixements científics que tant ha costat a la comunitat científica, sinó col·locar-los en una situació en la que puguem familiaritzar-se, mitjançant l'ajuda d'un professor, amb el treball científic i els seus resultats, plantejant-se problemes coneguts i ben planificats pel professor.

És en aquest segon nivell de treball on es dissenyen activitats per que els estudiants aborden els problemes des d'un enfocament científic. Aquesta és una fase complexa que implica l'organització de les experiències amb criteris adequats, la utilització de la imaginació i la creativitat per a emetre hipòtesis i idear possibles estratègies de resolució. En el disseny d'aquestes activitats s'han de cobrir dues objectius. Un, en relació amb els objectius concrets definits en la fase anterior i altre, en relació a les capacitats dels estudiants que han de resoldre-les. El primer objectiu es refereix a què les activitats han d'estar emmarcades en un context teòric determinat de forma que **serveisca** per a construir un cos coherent de coneixements. Respecte del segon objectiu, s'ha de tenir en compte que resoldre un problema requereix de l'alumne la utilització d'accions intel·lectuals i procedimentals que pertanyen al que Vygotsky (1989) denomina zona de desenvolupament potencial pròxima dels estudiants. Vygotsky defineix el nivell evolutiu potencial com el resultat de processos evolutius cognitius que es troben en processos de maduració, i que es manifesten a través d'accions intel·lectuals i operatives que l'individu pot desenvolupar baix la guia d'un expert o en col·laboració amb altre company més capaç. Aquest nivell defineix 'una zona de desenvolupament potencial pròxima' a la que l'aprenent pot accedir si és convenientment ajudat.

En aquest segon nivell de treball, les activitats proposades pel professor implicaran als estudiants en l'anàlisi funcional de les variables que consideren que poden intervindre en la solució del problema així com en el disseny dels experiments que permeten establir evidències empíriques de la funcionalitat de la teoria explicativa. Així mateix, les activitats orientades a l'anàlisi de resultats donaran peu a la possibilitat de conflictes entre posicions explicatives diferents. La seqüència d'activitats ha de guiar als estudiants a què decideixen el marc explicatiu adequat i si és necessari, a que es

generen expectatives en ells per a que el professor actue de mediador induint a la introducció de nous conceptes que es necessiten. Al finalitzar aquesta fase del treball s'espera que existisca un marc explicatiu consensuat en l'aula, els elements essencials del qual coincideixen amb els objectius curriculars. Per altra banda, és raonable suposar que la teoria explicativa consensuada en l'aula continga elements d'explicacions anteriors que han segut reformulats i adaptats a la nova teoria.

En el tercer nivell de treball en l'aula, es dissenyen activitats per a que els estudiants utilitzen els nous coneixements en situacions diverses. Es plantejaran problemes amb una orientació Ciència/Tecnologia/Societat que mostren, de nou, la utilitat dels nous coneixements. Així mateix, es donarà importància a situacions que condueixen a analitzar el rang de validesa i les limitacions del marc explicatiu consensuat. La resolució d'aquestes situacions conduirà a nous interrogants que donen lloc, en futurs capítols, a la construcció de marcs explicatius més complexos i generals.

2.2.2.5 Mancances axiològiques, conceptuals, epistemològiques i metodològiques en l'ensenyament convencional de la Termoquímica.

La major part de les visions deformades de la ciència i de l'activitat científica exposades en el subapartat anterior hem dit que tenen la seva repercussió en la imatge que tenim els professors sobre l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències i molt possiblement es poden trobar relacions en les mancances didàctiques que anem a exposar a continuació i que hem dividit, per simplificar, en tres grups de deficiències: i) axiològiques; ii) conceptuals i epistemològiques; iii) metodològiques.

2.2.2.5.1 Deficiències docents en la dimensió axiològica de l'aprenentatge.

Cada vegada més es va afermant en la didàctica de les ciències el '*moviment per una educació científica i tecnològica per a tots*' en el qual es defensa la necessitat d'alfabetització tecnocientífica per als futurs ciutadans i ciutadanes que han d'estar informats per a la presa de decisions davant dels problemes que avui té el món per aconseguir en el futur el desenvolupament sostenible en el planeta (Vilches i Gil, 2004).

No hem d'oblidar que la motivació i l'interès dels estudiants solen estar lligats als problemes socials que els envolten i, per altra part a l'autoestima i la confiança que els dona tindre unes expectatives positives d'avanç i de comprensió de les ciències.

Lluny d'açò, l'ensenyament convencional propicia un descens d'actituds favorables en els alumnes envers les ciències basada en una visió descontextualitzada des del punt

de vista social de la ciència que tenim els professors. A l'ensenyament convencional és habitual presentar el concepte d'energia, en un tema de Termoquímica, sense cap relació amb els principals problemes que tenim avui al voltant de l'alimentació, la contaminació ambiental o l'esgotament dels combustibles fòssils, per posar alguns exemples. La no implicació en els problemes amb l'absència de situacions problemàtiques obertes d'interès per als alumnes, o la no introducció d'aspectes històrics relatius a quins varen ser els principals problemes científics i tecnològics que es resolgueren a l'introduir aquell concepte, fa que les actituds dels estudiants envers l'aprenentatge de les ciències siguin passives quan no negatives. Es a dir, aquesta manca de relació entre els conceptes i les teories científiques i els problemes de la vida quotidiana o del nostre passat que se sol donar en l'ensenyament són deficiències actuals de tipus axiològic que està mostrant la recerca en didàctica de les ciències, recerca que encara no ha tingut un impacte notable en el desenvolupament professional de la majoria del professorat de Física o de Química (Gilbert et al. 2004; Furió 2006).

2.2.2.5.2 Errors conceptuals sobre Termodinàmica en llibres de text.

En aquest apartat revisarem la bibliografia referent als errors conceptuals que s'ha comprovat transmet l'ensenyament i que també podem trobar, de manera implícita o explícita, quan s'analitzen els llibres de text.

El concepte d'energia resulta difícil d'entendre i per tant de definir (Feynman 1972; Warren 1982; Bunge 1999). La utilització pel professor d'un llenguatge inadequat i, de vegades, deliberat porta als alumnes a pensar en l'energia com a una substància material (Carr i Kirwood 1988; McClelland 1989). Segons alguns autors l'energia hauria d'introduir-se, amb una orientació constructivista i abordant, a ser possible, els processos de la seua transformació, transferència, conservació i degradació (Duit 1986; Pintó 1991; Solbes i Tarin 1998 y 2004; Domènech 2001).

En aquestos termes, la introducció de l'energia hauria d'ésser de caràcter unificador i interfenomenològic, abraçant els diferents marcs de la física i tractant d'explicar els fenòmens que ocorren en la vida quotidiana.

En canvi, l'ensenyament tradicional sol, d'una banda, no tenir en compte les concepcions alternatives dels estudiants en aquesta temàtica i, d'altra, presentar una compartimentació excessiva i pobra del concepte d'energia. En efecte, es redueix l'aplicació de l'energia al camp de la mecànica tant quan s'introdueix inicialment aquest concepte - lligat al de treball- com quan es presenta la seva conservació - només s'exposa el principi de conservació de l'energia mecànica. Nogensmenys, a l'abordar

l'estudi de la termodinàmica es deixa de banda la definició anterior assenyalant "la conveniència de no limitar-la a la capacitat dels sistemes de fer treball, sinó també de produir calor"(Doménech et al. 2003).

Així per exemple, en l'anàlisi de llibres de text de secundària realitzada per Doménech (2001) es diu: "... en cap d'ells (llibres) es posa en relleu que, històricament, la mecànica i la fenomenologia de la calor es desenrotllen per separat i que fou la utilització, per part de Joule, de la idea de treball per a estudiar el fenòmens calorífics allò que permet elaborar una concepció més adequada de la calor i, a més, avançar en la construcció d'un cos de coneixements més general". Això ens permetria, en certa manera, justificar aquesta separació inicial en la introducció del concepte d'energia però amb la finalitat posterior de fer una síntesi de la calor i el treball com formes de transferència d'energia entre sistemes. La universalitat i el caràcter integrador del concepte d'energia es podria donar a conèixer, inicialment, utilitzant el principi de conservació de l'energia.

No obstant, l'anàlisi dels llibres de text indica que es fa tot el contrari. Segons Tarín (2000) dels 34 textos analitzats (de 2^{on} i 3^{er} BUP, FP1 i de COU), sols un assenyalava que "el primer principi de la termodinàmica, en la seua forma tradicional, és d'aplicació general per a qualsevol transformació: mecànica, tèrmica, elèctrica, magnètica, química..." Per altra part, sols el 10% dels textos indica el camp de validesa de la conservació de l'energia en termodinàmica, es a dir que l'energia interna no inclou l'energia en repòs de les partícules o la dels camps lliures.

Un altre aspecte a considerar, tal com indica Baumann (1992) és la confusió, prou estesa, entre l'equació de la primera llei de la termodinàmica ($\Delta E = Q + W$) i la llei de conservació de l'energia (primer principi de la termodinàmica).

Segons Baumann, per a poder identificar aquesta equació amb la primera llei de la termodinàmica hem de considerar que la conservació de l'energia implica a tots els sistemes que interaccionen, d'aquesta manera es podria expressar com:

$$\Delta E_{(\text{sistema} + \text{voltants})} = 0$$

que més que una excepció dels sistemes aïllats (on $Q = W = 0$), s'hauria de considerar que :

a) $Q_{\text{sistema}} = - Q_{\text{voltants}}$ i que $W_{\text{sistema}} = - W_{\text{voltants}}$.

b) El calor i el treball estan sempre definits, independentment de la natura del procés.

c) No hi altra manera de transferir energia (per exemple per radiació).

Per a Baumann, el primer punt es té en compte normalment, encara que de manera implícita, però els altres dos no es consideren.

La dificultat en distingir la transformació, transferència, conservació i degradació de l'energia unida als errors conceptuals que apareixen en els llibres de text, fa que la termodinàmica, i en particular el primer principi de la termodinàmica, siguin difícils d'entendre pels estudiants. Per exemple, segons Tarín (2000) el concepte de calor s'introdueix en un 25% dels llibres de COU identificant-ho amb *energia tèrmica* i és considerat com un procés de transferència d'energia sols en un 5,3% del conjunt de tots els llibres.

La meitat dels textos de tots el nivells donen una interpretació mecanicista de l'energia interna. En alguns casos, es mostra erròniament l'energia interna com '*el contingut energètic d'un sistema*', '*l'energia total del sistema*' o '*l'energia que tenen els cossos per trobar-se a una determinada temperatura*' (Baumann 1992). També hi ha textos que utilitzen l'expressió '*energia calorífica*' per definir l'energia interna o, a vegades, per expressar la calor quan aquesta expressió és incoherent ja que la calor no pot ser energia sinó un procés de transferència d'energia (Warren 1982).

Respecte als aspectes fonamentals de l'energia, la conservació es tractada en tots els textos, però de manera poc significativa, utilitzant-la generalment sols en la resolució de problemes de mecànica. La degradació de l'energia apareix, segons l'estudi de Tarín (op.cit.) en la meitat dels llibres analitzats, però encara que els textos descriuen la conversió de l'energia en calor (47,1%), no expliquen la seua transformació en energia interna (11,8%). La utilització de la degradació d'energia en l'explicació de fenòmens quotidians (com la crisi energètica o l'escalfament global) o l'aparent contradicció amb el principi de conservació no apareix de manera explícita en els llibres de text (Tarín 2000a; Doménech 2001).

En resum, caldrà investigar més a fons com s'introdueixen els conceptes termodinàmics bàsics com l'energia interna i l'entalpia quan s'han d'interpretar les reaccions químiques i establir relacions entre l'ensenyament i les dificultats d'aprenentatge que es presenten en el darrer curs del batxillerat i els primer cursos universitaris.

2.2.2.5.3 Mancances conceptuals i epistemològiques sobre l'ensenyament/aprenentatge de les ciències.

És habitual trobar en els professors universitaris i de secundària, certes creences ingènues sobre l'ensenyament/aprenentatge de les ciències. Es pensa que ensenyar és fàcil doncs sols consisteix en saber-se bé ell els conceptes i principis, motivar un poc als estudiants i explicar aquella teoria el més clarament possible. Per exemple, la seqüència seguida en l'explicació d'un concepte sol començar presentant un o dos exemples quotidians i d'ací el professor generalitza la definició conceptual (Kalali 1998). Se suposa que l'aprenentatge s'aconseguirà directament doncs els estudiants atents sols han d'assimilar aquella idea en la seva estructura cognitiva (Driver 1986). És a dir, la hipòtesi manejada pel professor és la de que la ment de l'estudiant és com una *'tabula rasa'* on s'inscriurà el missatge docent. En tot cas i com a màxima participació dels alumnes, després de l'explicació es presenta un exercici d'aplicació del concepte o del principi explicat a fi de que aquells repliquen o repeteixen la idea en un cas concret. S'ignora la importància del coneixement i habilitats prèvies, és a dir, de les concepcions prèvies i de les formes de raonar assolides per l'estudiant que la psicologia cognitiva i la didàctica de les ciències ha mostrat i que, en general, tenen la clau de la selecció i ancoratge de la nova informació en la seva ment.

D'altra banda i com ja s'ha exposat a l'apartat anterior, existeixen en els professors concepcions epistemològiques de sentit comú sobre com s'han anat construint les teories científiques. Això fa que apareguen en l'ensenyament mancances docents d'aquest tipus que són conseqüència del desconeixement de la filosofia i història de la Ciència (Gil i Carrascosa 1994). Fins i tot, el professorat desconeix que, de vegades, existeixen certes versemblances entre les preconcepcions dels alumnes en alguns dominis i les concepcions trobades en la història de la Ciència. Preconcepcions que han estat posades en qüestió i, després, reemplaçades pels coneixements acceptats avui en dia (Furió et al. 1987; de Berg 1997). És, doncs, d'esperar que alguns dels problemes i obstacles epistemològics que s'han presentat en la construcció històrica de la termodinàmica com a ciència moderna continuen existint actualitzades en els estudiants.

Aquestes mancances conceptuals i epistemològiques es manifesten sovint en la forma d'introduir els conceptes científics i, en particular, els termodinàmics. És d'esperar, doncs, que la introducció d'aquests conceptes adoleisquen d'alguna de les següents característiques:

- Presentar els conceptes de forma arbitrària sense indicar quins problemes volen resoldre.
- No es tenen en compte els possibles obstacles conceptuals i epistemològics dels estudiants, deguts a les seues concepcions alternatives (per exemple, no saber

que els estudiants en la vida quotidiana solen identificar calor i temperatura), al poc domini de prerequisits conceptuals (per exemple, el càlcul de la calor o del treball fet) o a l'existència de formes de raonament simples com, per exemple, el reduccionisme funcional. En aquest tipus de raonament de 'sentit comú' se simplifica l'anàlisi de la dependència d'una funció de varies variables reduint-la a sols una d'elles sense oblidant-se de controlar la resta de variables (Viennot 1996; Furió, Calatayud, et al 2000 i Furió, Azcona i Guisasola 2002).

- S'utilitzen directament les definicions operatives dels conceptes sense donar-li un significat físic o químic qualitatiu previ. És a dir, el professor prefereix presentar una definició matemàtica cega a una conceptualització física o química amb sentit (Barlett i Mastrot 2000).
- No es té en compte el camp de validesa dels conceptes o de les lleis (Vasini i Donati 2005).

A més a més, la recerca està mostrant el poc ús i aplicació dels conceptes termodinàmics que es fa a l'analitzar situacions energètiques en l'ensenyament (per exemple, en el tractament de problemes de mecànica sempre s'utilitza l'anàlisi dinàmica) i, en particular, i, a més a més, en els pocs anàlisis energètics dels fenòmens tèrmics que es fan, s'utilitzen tractaments macroscòpics i no se solen acompanyar de les oportunes interpretacions atomistes.

2.2.2.5.4 Deficiències en la dimensió metodològica del procés d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències.

Una quarta sèrie d'insuficiències són les de tipus metodològic referides més, en particular, a l'absència d'estratègies pròximes a les utilitzades en la recerca científica que tant de resultat estan donant en la construcció dels coneixements científics. Aquestes mancances estan basades, d'una banda, en l'existència de visions inadequades sobre la natura de la ciència que tenim els professors i que ja hem tractat a l'apartat anterior 2.2.2.1 i, de l'altra, en la visió simple del procés d'ensenyament-aprenentatge del professorat basada en la transmissió/recepció dels coneixements científics ja construïts.

És a dir, en l'ensenyament convencional el professor té una epistemologia de sentit comú sobre com aprenen els estudiants i com s'han d'ensenyar els conceptes i les teories científiques (Carnicer i Furió, 2002). La tasca del professor fonamental consisteix en explicar el més clarament possible el cos de coneixements i, en tot cas, la participació de l'alumnat va a consistir, fonamentalment, en aplicar el coneixements transmès mitjançant algun exercici o problema. Pel contrari, els resultats de la recerca

mostren que l'assimilació dels conceptes pels estudiants s'afavorirà si aquestos s'enfronten als problemes i, per tant, s'ha de canviar les metodologies emprades a l'aula. Açò només serà possible si ajudem als alumnes al tractament científic de situacions problemàtiques obertes que siguen d'interès, utilitzant les estratègies emprades en la investigació científica, com per exemple, acostumar als estudiants a fer l'anàlisi qualitatiu d'aquestes situacions problemàtiques fins a arribar a problemes acotats de les interaccions entre sistemes, afavorir l'emissió d'hipòtesi per solucionar les situacions, proposar als estudiants que facen el disseny dels experiments per posar a prova les hipòtesis, que analitzen els resultats obtinguts, veure les aplicacions científiques i tecnològiques que es deriven dels coneixements construïts sempre afavorint les relacions CTSA, això com impulsar la participació dels estudiants en la classe mitjançant el treball cooperatiu de grup i la interrelació dels diferents grups de la classe, etc.(Gil et al 1991; National Research Council, 1996; Furió, 1997; Rocard et al, 2007).

En resum, totes aquestes mancances docents a l'hora de proposar l'ensenyament de l'energia aplicada als processos físics i químics molt possiblement no afavoreixen l'aprenentatge d'aquest tema i ajudaran molt poc a la comprensió dels coneixements termodinàmics. Nogensmenys, caldrà definir clarament quan poden dir que els estudiants comprenen i apliquen aquests coneixements científics.

2.3 A títol de recapitulació.

En aquest capítol s'ha donat una solució hipotètica al suposat problema del poc aprenentatge significatiu que aconseguixen els estudiants quan s'enfronten a la interpretació energètica dels canvis físics i químics. Aquesta hipòtesi atribueix aquestes dificultats discents, entre d'altres, a les mancances conceptuals, epistemològiques, metodològiques i aixològiques de l'ensenyament de la Termoquímica. A continuació s'ha fonamentat la hipòtesi basant-se en els coneixements actuals de filosofia i història de la ciència i, sobre tot, en els resultats que se'n deriven de l'aplicació de la didàctica de les ciències al domini específic de l'ensenyament de la Termoquímica.

Com a nova perspectiva de treball estarà l'operativització de les hipòtesis en forma de conseqüències o hipòtesis derivades que puguem posar-les en qüestió directament així com l'elaboració dels oportuns dissenys experimentals per poder obtindre resultats experimentals que les falsen o verifiquen. Això serà el que concretarem en el proper capítol.

CAPÍTOL III.- OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI PRINCIPAL I DISSENY EXPERIMENTAL PER AL SEU QÜESTIONAMENT.

3.0 INTRODUCCIÓ

Al problema didàctic exposat en el primer capítol d'aquesta memòria se li ha donat una solució hipotètica que ja ha estat enunciada en el capítol anterior on s'indica, *grosso modo*, que hi ha una falta de comprensió de les interpretacions energètiques en els processos físicoquímics degut principalment a què l'ensenyament de la Termoquímica tal com es fa habitualment, no té en compte els resultats de la recerca didàctica.

En aquest capítol correspon operativitzar aquesta hipòtesi en el sentit d'idear hipòtesis derivades que puguin posar-la en qüestionament de forma directa. És a dir, es tractarà d'arribar a establir conseqüències concretes de les dificultats existents en l'aprenentatge i de les deficiències en l'ensenyament en aquest domini. A continuació, s'elaboraran els corresponents dissenys de les conseqüències a contrastar que, a l'aplicar-los a mostres d'estudiants preuniversitaris i universitaris de Química que han rebut ensenyaments de Termodinàmica i/o Termoquímica, donaran resultats que permeten la falsació o no de la hipòtesi. .

3.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI I VISIÓ GENERAL DEL DISSENY.

L'operativització de la hipòtesi va a consistir en analitzar els aspectes implicats en el procés d'ensenyament-aprenentatge dels conceptes i lleis de la Termoquímica a fi d'arribar a altres hipòtesis derivades i, després, a conseqüències més concretes que permeten posar-la a prova directament. Com que la hipòtesi, com abans s'avançava, estableix una relació entre les dificultats de l'aprenentatge i la poca eficàcia de l'ensenyament tal com es fa convencionalment, podem operativitzar-la abordant, en primer lloc, la part relativa a l'aprenentatge i, en segon lloc, la corresponent a l'ensenyament.

Així doncs, com se suposa en aquesta investigació que un ensenyament basat en la transmissió verbal per part dels professors dels coneixements científics ja construïts serà poc eficaç a l'hora de facilitar l'aprenentatge en els estudiants, podem establir bàsicament dues hipòtesis derivades com les següents:

1. Els estudiants de l'últim curs de Batxillerat (2n o COU), els universitaris de les carreres de Física i Química i els professors en formació de Física i Química que han rebut ensenyaments convencionals de Termodinàmica i/o de Termoquímica presentaran dificultats d'aprenentatge en la construcció dels conceptes d'energia interna, entalpia i en l'aplicació de la primera llei de la Termodinàmica a fenòmens físics i químics.
2. L'ensenyament que es fa habitualment en aquest domini no té en compte els resultats de la recerca didàctica i, en particular, no eixirà al pas de com es construeixen els coneixements en la ciència presentant greus mancances epistemològiques i, també, didàctiques que no ajuden a què els estudiants aconseguisquen superar les dificultats que hi ha en l'aprenentatge.

La falsació d'aquestes hipòtesis derivades es portarà endavant detectant les dificultats d'aprenentatge i les mancances didàctiques mitjançant un disseny experimental variat i convergent com correspon a una investigació en didàctica de les ciències diferent a les realitzades en uns altres camps de les ciències socials com, per exemple, la psicologia o la sociologia. Aquest tipus de disseny general en la investigació educativa es justifica, en primer lloc, en base a la necessitat de tindre múltiples instruments que permeten obtenir resultats des de moltes perspectives donada la complexitat del que significa aprendre ciències (Cohen i Manion 1990). Per altra banda, en aquestes recerques no és rellevant disposar de grans mostres com pot ésser-ho, per exemple, en les enquestes d'opinió utilitzades en sociologia. Pel contrari, com el que es vol en didàctica de les ciències és veure, en general, si un nou mètode d'ensenyament produeix millores significatives de l'aprenentatge respecte al que es fa habitualment, no serà important la grandària de les mostres ja que tenen poca influència en la desviació estàndard i es prefereix que el disseny tinga moltes mostres petites on es pugui veure si les diferències estadístiques trobades al comparar dues metodologies son molt grans i convergents (Larkin i Rainard 1984).

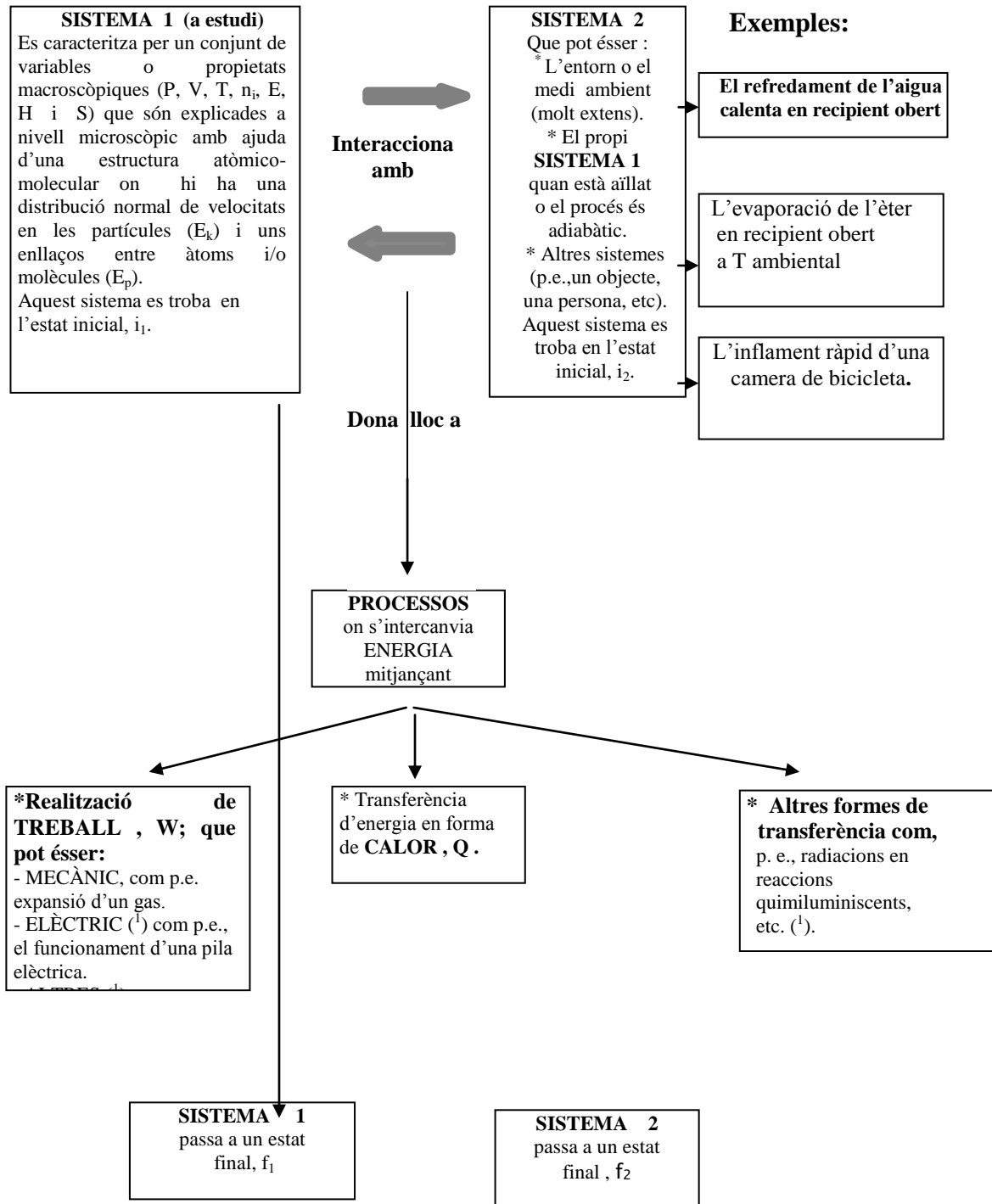
En resum, una vegada decidit el disseny general per posar a prova les dues hipòtesis 1 i 2, es continuarà l'operativització derivant dos tipus de conseqüències. Un primer d'ells cercarà conseqüències on es pugui mostrar que hi ha una manca d'aprenentatge significatiu a l'hora d'aplicar el primer principi de la termodinàmica i el concepte d'entalpia a processos físics i químics en els estudiants preuniversitaris i universitaris que han estudiat Termodinàmica i/o Termoquímica. El segon tipus de conseqüències centrarà la seva atenció en l'ensenyament que fan el professorat i que presenten els llibres de text de Química General per veure si els capítols dedicats a

l'ensenyament de la Termoquímica presenta insuficiències i/o deficiències de tipus conceptual, epistemològic, metodològic i axiològic.

3.2. QUINS INDICADORS DE L'APRENTATGE DELS CONCEPTES I PRINCIPIS BÀSICS DE LA TERMOQUÍMICA PODEN SERVIR COM CRITERIS PER AVALUAR LA COMPRESIÓ DELS ESTUDIANTS?

Encara que no se sap molt bé que s'entén per comprensió d'un domini específic, o millor encara, per *progressió de l'aprenentatge*, s'accepta que és un procés continu i multidimensional que podem caracteritzar des del punt de vista teòric analitzant l'evolució de les idees i teories al llarg de la història de la ciència i comparar-les amb la de les concepcions dels estudiants que ens mostra la didàctica de les ciències (Furió et al, 1987; Mortimer, 1995; Domínguez & Furió 2001). Així doncs, a títol d'hipòtesi didàctica, en el quadre 2 es presenta un mapa conceptual que recull els principals aspectes que considerem ens aporta la filosofia i història de la ciència i que seria el referent expert per poder fer un anàlisi significatiu de les transferències d'energia en qualsevol canvi físic o químic. Aquest mapa expert pot servir per extreure les competències en forma de coneixements i destreses conceptuais i epistemològics, que han d'aconseguir els estudiants a l'hora de tenir una comprensió adequada dels intercanvis energètics en les reaccions químiques. A aquest referent conceptual hi haurien d'afegir-se les components axiològiques i metodològiques a les quals hem fet referència en l'apartat anterior.

Quadre 2.- Mapa conceptual per a l'anàlisi energètica de la interacció de dos sistemes.



Totes aquestes interaccions s'expliquen amb el principi de conservació de l'energia

En qualsevol interacció entre dos sistemes hi ha transferències d'energia de manera on sempre es compleix el principi de conservació de l'energia. La relació entre les variacions dels distints tipus d'energia en les dos sistemes es pot expressar com:

$$[\Delta E_{k,1} + \Delta E_{pot,1}] + [\Delta E_{k,2} + \Delta E_{pot,2}] = 0$$

on $\Delta E_{k,1}$ és la variació de l'energia cinètica del sistema 1 en el procés i $\Delta E_{pot,1}$ representa la suma de les variacions de les diferents energies potencials (química, elèctrica, etc.) del mateix sistema. Ídem significat tenen les variables introduïdes en el segon parèntesi per al segon sistema

* Cas del sistema aïllat:
 $\Delta E = 0$ on E és l'energia total del sistema.
* Cas en que sols es consideren les variables d'estat del primer sistema i les variables de procés de la interacció:
 $\Delta E = Q + W$ on Q i W són la calor i el treball de les forces exteriors al sistema.

A títol d'hipòtesi, es presenta a continuació en el quadre 3, el conjunt de competències (en sentit ample de coneixements, habilitats i actituds) que hauria d'adquirir un estudiant per poder resoldre amb èxit una situació problemàtica d'interès (fent l'anàlisi energètica adequat de canvis físic o químic) i així eixir al pas de les possibles dificultats d'aprenentatge que poden sortir en aquest domini científic.

Quadre 3.- Competències (coneixements, habilitats i actituds) a aconseguir en el procés d'ensenyament-aprenentatge dels intercanvis energètics en canvis físics i químics.

*** Saber quin (o quins) problema estructurant és el que pretén resoldre's (en un possible tema d'Energia i canvis químics).** Es suposa que els estudiants de Química ja han vist estequiometria en les reaccions químiques i han resolt el problema de quant de producte/s es formarà/n si es transforma una quantitat determinada de reaccionants mitjançant la introducció del concepte de quantitat de substància (n) que mesura macroscòpicament el nombre de partícules que interaccionen en aquells canvis. Ara interessa fixar l'atenció en les manifestacions energètiques que acompanyen a qualsevol canvi físic o químic. És a dir, quan les substàncies reaccionen, al mateix temps que es formen noves substàncies, es produeixen canvis energètics que es poden observar mitjançant el desprendiment o l'absorció de calor i/o realització de treball que poden fer els sistemes que interaccionen. Com explicar aquest fenomen termoquímic serà l'objectiu bàsic d'aquest domini. Com exemples de situacions problemàtiques obertes que es poden proposar en un ensenyament d'orientació constructivista es poden triar varies que poden anar des de l'interès personal fins a qüestions de tipus social. A títol d'exemples es poden presentar: ¿Com saber si una persona s'alimenta bé? ¿Com funcionen els cotxes? ¿Quines necessitats energètiques hi ha al món i quines se satisfan cremant combustibles fòssils? ¿Quines són les fonts o recursos de tipus energètic que utilitzem per a produir les transformacions - moure's, escalfar-se, il·luminar-se, sentir música, etc.- que ens interessa i quines previsions hi ha respecte al seu esgotament?, etc.

*** Saber valorar quin interès pot tindre solucionar la situació problemàtica proposada.**

No sols caldrà veure quin és el problema estructurant que va a orientar el desenvolupament de la unitat didàctica sinó també l'interès i la importància que té per a les persones i, fins i tot, per a la humanitat la solució d'aquest problema: plantejar-se el problema social de les possibles noves fonts d'energia, tenint en compte l'esgotament dels combustibles fòssils anunciat per al segle XXI, veure la necessitat de prendre decisions sobre accions envers l'estalvi d'energia en el planeta (informe del Club de Roma 1992, reunió de Kioto 1999, cimera de Johannesburg 2001), afavorir la recerca de combustibles nets que no contaminen (energies renovables, energia de reaccions de fusió nuclear similar a la que ens arriba del Sol, l'ús de l'hidrogen com a combustible alternatiu als combustibles fòssils, etc.) (Vilches i Gil-Pérez, 2003).

*** Decidir quins són els sistemes que van a interaccionar i saber classificar macroscòpicament els canvis físics i químics en exotèrmics i endotèrmics.** És a dir, saber, per exemple, delimitar quin és el sistema físic o químic que reacciona i el que passa tèrmica i mecànicament entre aquest sistema i un segon sistema que, habitualment, és l'ambient exterior. En aquest sentit, és important que els estudiants sàpien que si passa la calor del sistema a l'ambient o a l'inrevés, serà precís que el sistema estudiat torni a la temperatura inicial (escalfant-ho o gelant-ho) i així poder classificar la reacció com exo o endotèrmica. En cas que el sistema estiga aïllat tèrmicament de l'exterior o es faci massa apresa –procés adiabàtic- també caldrà saber classificar-los observant què és el que passa amb la temperatura del propi sistema (ja que és ell el primer que s'escalfa o es gela).

*** Saber analitzar qualitativament les situacions problemàtiques exo o endotèrmiques on es tractarà d'acotar la situació problemàtica plantejada.** Per poder fer aquesta anàlisi hi haurà de tenir-se cert domini dels dos contextos

teòrics dels quals va sorgir els problemes anteriorment esmentats. Caldrà que l'estudiant sàpia, d'una banda, modelitzar el que és una substància i una reacció química (modelització atomista) i, de l'altra, saber associar a aquestos sistemes i canvis les corresponents energies i els intercanvis energètics que ocorren (modelització termodinàmica).

- Manejar bé la primera modelització suposa:

* **Saber el model atòmic-molecular de la matèria (gasosa i condensada) així com el model elemental de reacció**, el que implica els següents coneixements:

- interpretació significativa de la *pressió* i el *volum* d'un gas ideal;

- **menció especial requereix la idea estadística de la temperatura del gas relacionada amb l'energia cinètica mitjana de les partícules que es mouen caòticament (aquesta idea de T és important per entendre la de l'energia interna tèrmica com energia cinètica de les partícules d'un gas ideal, sense estructura, on se suposa que no hi ha interacció entre elles);**

- distribució normal de les velocitats de les partícules (segons l'estadística de Maxwell-Boltzmann) que depèn de la temperatura;

- cas d'haver-hi en el sistema matèria condensada cal saber de l'existència de moviment vibratori en les partícules lligades o enllaçades a qualsevol temperatura i que això suposa saber associar a aquestes configuracions atòmiques vibratòries una *energia interna potencial de tipus electromagnètic* (alguns autors la titulen *energia química*);

- saber el **model elemental de reacció química** en els dos nivells de conceptualització macroscòpica (canvi substancial) i microscòpica (trencament d'enllaços en les estructures de les substàncies reaccionants i formació de nous enllaços en els productes). En el darrer nivell s'ha de saber associar al canvi químic amb una variació d'energia interna potencial si se suposa que roman constant la temperatura.

- **Manejar bé la segona modelització implica:**

* Que els estudiants han d'haver superat les dificultats –en molts casos, concepcions alternatives- que ha detectat la recerca i que suposen obstacles a *una correcta comprensió de l'energia*. En particular es poden referenciar els següents coneixements i destreses:

- saber **diferenciar macroscòpicament el calor de la temperatura** i establir correctament les relacions entre aquestes magnituds (en relació a aquest ítem s'hauran d'indicar les concepcions alternatives més freqüents en l'apartat corresponent de les dificultats d'aprenentatge);

- saber **analitzar les transferències i transformacions energètiques entre sistemes físics o químics mitjançant la realització de treball i/o de calor**. Això implica:

- saber què es el treball com una forma de transferir energia entre sistemes i, en particular, si estan formats per gasos (treball de compressió-expansió);

- saber que la calor és una altra forma de transferència d'energia entre dos sistemes solament quan són a diferent temperatura i com es calcula;

- **saber reconèixer l'equivalència mecànica de la calor i que sempre que es presenten en les interaccions forces no conservatives part o tot el treball realitzat es convertirà en calor (superació de la hipòtesi substancial de la calor);**

- saber el **significat d'energia interna** (i els sinònims utilitzats en la literatura com 'energia tèrmica' i/o 'energia química', tenint en compte no caure en reduccionismes conceptuals) i saber **diferenciar-la del concepte de 'calor'** utilitzat com a procés per a transferir energia entre sistemes a diferent temperatura (es recorda que la no diferenciació en l'ensenyament entre calor i energia interna és el que, al nostre parer, provoca un gran nombre de confusions);

- saber **aplicar correctament les relacions entre la calor, el treball i la variació d'energia interna d'un sistema** quan interacciona aplicant macroscòpicament el primer principi de la Termodinàmica;

- saber el **significat d'entalpia** com un potencial energètic que pot associar-se a l'energia que pot transferir un sistema no sols per ésser a una temperatura i tindre una configuració determinada (és a dir, contant amb *l'energia interna* del conjunt de partícules del sistema) sinó també per tindre un **potencial P.V** al poder interaccionar mecànicament amb l'ambient a pressió exterior constant (és a dir, el sistema, a més de gelar-se o escalfar-se, pot intercanviar energia fent o rebent treball d'expansió-compressió del segon sistema);

- saber que *l'entalpia d'un sistema és una funció d'estat* i això significa que la seva variació al passar a un altre estat és independent del camí seguit pel sistema per arribar a aquell estat. És a dir, encara que el sistema, quan interacciona amb un altre, passe d'un estat H_0 a un altre H_1 mitjançant distints camins transferint calor i/o treball, la variació d' H serà la mateixa. El reconeixement d' H d'un sistema com funció d'estat suposa assumir que es compleix el primer principi de la Termodinàmica i que sol presentar-se en Química com a llei de Hess;

- saber que això no és contradictori amb la definició operacional (i, en particular per poder mesurar) de *ΔH com la calor produïda o absorbida pel sistema quan el procés es realitza a pressió i temperatura constants però sempre que no hi hagen altres processos de transferència d'energia com, per exemple, realització de treball elèctric o emissió de radiacions distintes a les admeses en el calor;*

- saber que per poder comparar entalpies de formació de substàncies i de processos cal emprar *un sistema de referència estàndard que assigne un origen d'entalpies a les substàncies en els canvis químics. A tal efecte s'ha de saber que s'assigna entalpia zero a l'estat físic de les substàncies simples en la seua forma alotròpica més estable a la pressió d'1 atmosfera i a la temperatura de 25°C;*

- saber manejar, des d'un punt de vista microscòpic, *la ΔH d'un canvi físic o químic com el balanç entre l'energia aportada per a trencar els enllaços en les substàncies reaccionants i l'alliberada al forma nous enllaços en les substàncies que s'originen en el procés a temperatura constant;*

- saber *explicar qualitativa i calcular quantitativament les transferències energètiques* que es produeixen en els canvis físics i químics i, en particular, en *els processos endotèrmics;*

- saber aplicar els coneixements adquirits per prendre decisions i actuar en moltes qüestions relatives a les relacions ciència, tecnologia, societat i ambient esmentades abans i, en particular, pel que toca a la gestió planetària dels recursos energètics tant des del punt de vista personal com social (adequada alimentació, estalvis energètics, recursos energètics, etc.).

* **Saber utilitzar aspectes bàsics del tractament científic del problema fins arribar a la seva solució.** Això implicarà l'emissió d'hipòtesis, l'elaboració d'estratègies i, fins i tot, idear de dissenys experimentals, realitzar experiments, interpretar físicament o químicament dades numèriques, analitzar críticament proposicions, impulsar la comunicació i el treball cooperatiu i saber analitzar aplicacions CTSA que permeten contextualitzar la teoria apresada i adoptar en el futur actituds responsables envers el desenvolupament científic i tecnològic i les implicacions socials que això comporta.

3.3. CONSEQÜÈNCIES PER POSAR A PROVA L'EXISTÈNCIA DE DIFICULTATS D'APRENENTATGE EN ELS ESTUDIANTS.

Per tal de qüestionar la hipòtesis derivada relativa a les dificultats dels estudiants en aquest domini hem estret un conjunt de conseqüències que puguen ser contrastades i que han d'estar relacionades amb el que entenem per tenir una bona comprensió del primer principi de la termodinàmica i del concepte d'entalpia que ja hem presentat en el primer capítol. A tal efecte es presenten en els quadres 4 i 5 dos blocs de conseqüències contrastables relatives a les dificultats conceptuals i epistemològiques que es suposarà van a tindre els estudiants en l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica i en la comprensió de l'entalpia, respectivament.

Quadre 4. Dificultats d'aprenentatge pressuposades en l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica al interpretar energèticament canvis físics senzills.

A. Els estudiants tindran dificultats en *l'anàlisi energètic de canvis físics o químics on es presenten efectes tèrmics i/o mecànics al no aplicar o aplicar incorrectament el primer principi de la Termodinàmica*. En aquest anàlisi hi haurà, en particular, les següents dificultats:

A.1. La majoria dels estudiants no sabran *delimitar quins són els sistemes o les parts del sistema que interaccionen*.

A.2. Els estudiants no s'adonaran *com interaccionen els sistemes*. És a dir, no sabran analitzar quins poden ésser *els processos de transferència d'energia que ocorren i que són, fonamentalment, el calor i/o el treball*. En particular, especial dificultat tindrà l'anàlisi d'un procés que es realitza de forma ràpida i que sol considerar-se *adiabàtic* (és a dir, on el sistema *està aïllat tèrmicament* de l'exterior com sol passar en la majoria dels processos físics o químics presentats en l'ensenyament).

A.3. Els estudiants *no faran servir o no comprendran el concepte d'energia interna dels sistemes i/o la seva variació* a l'hora d'explicar els efectes tèrmics i/o mecànics en els processos analitzats. És d'esperar l'aparició de concepcions alternatives on en lloc d'aquest concepte s'utilitzi la temperatura, la calor o l'energia tèrmica que s'atribuiran al sistema.

A.4. *Tampoc els estudiants utilitzaran o ho faran incorrectament el model atòmic-molecular de la matèria ordinària* en l'explicació mecanística dels efectes tèrmics de processos físics o químics. És de suposar que en aquestes interpretacions microscòpiques *s'utilitzen raonaments de sentit comú* (transferències macro-micro, fixacions i reduccionismes funcionals, etc.).

Quadre 5. Dificultats d'aprenentatge pressuposades en la comprensió del concepte d'entalpia d'un sistema i la seva variació en canvis químics ordinaris.

B. Els estudiants tindran dificultats en *la comprensió del concepte d'entalpia dels sistemes o de la variació d'entalpia en els canvis físics o químics quan han d'explicar els efectes tèrmics produïts*. En particular, es presentaran les següents dificultats:

B.1. Els estudiants de Batxillerat i COU *no tindran massa clara la classificació macroscòpica dels processos en exotèrmics i endotèrmics*. És d'esperar que *augmente aquesta dificultat a l'hora d'explicar els processos endotèrmics adiabàtics*.

B.2. La majoria dels estudiants preuniversitaris, universitaris i professors en formació *no hauran adquirit una concepció qualitativa de l'entalpia d'un sistema com un potencial termodinàmic associada a la seva energia interna i, a més, al potencial energètic $P_{ext} \cdot V$ que pot variar quan interacciona a pressió constant amb un segon sistema*. Molt possiblement es presenten concepcions alternatives de l'entalpia (calor d'un sistema o calor necessària per a reaccionar), reduccionismes conceptuals (energia interna del sistema) o definicions operatives sense explicació ($H = U + P \cdot V$).

B.3. És previsible que la majoria dels estudiants recorden *la definició procedimental correcta de la variació d'entalpia associada a una substància o a un canvi com la calor de reacció a pressió constant*. Nogensmenys, *la majoria dels estudiants*, independentment del seu nivell educatiu, *no explicitarà quin és el camp de validesa de l'entalpia* (com, per exemple, no sabran que la calor de reacció a pressió constant

d'un procés no mesurarà la variació d'entalpia si en ell també es produeixen altres transferències d'energia com, per exemple, treball elèctric i/o radiacions luminiscentes).

B.4. *La majoria dels estudiants recordaran que l'entalpia és una funció d'estat però també apareixeran dificultats en donar explicacions correctes d'aquesta característica del concepte. És presumible que no ho expliquen o que utilitzen reduccionismes conceptuals (com, per exemple, que l'entalpia sols depèn de la pressió o de la temperatura).*

B.5. *Es presentaran dificultats, fins i tot, quan els estudiants han de comparar els valors de les entalpies de dos sistemes en els que sols canvia l'estat físic d'una substància com, per exemple, quan han de comparar l'associada al vapor de l'aigua versus la de l'aigua líquida a la mateixa temperatura i pressió.*

B.6. *Els estudiants no associaran, des del punt de vista microscòpic, la ΔH d'un canvi físic o químic al balanç entre l'energia necessària per al trencament d'enllaços intermoleculars o intramoleculars en les partícules de les substàncies reaccionants i l'energia alliberada en la formació de nous enllaços en les partícules de les substàncies producte*

A continuació passarem a descriure els dissenys elaborats que s'hauran d'aplicar a grups d'estudiants que han rebut ensenyament habitual amb la finalitat de veure si es falsen o verifiquen les conseqüències de la hipòtesi derivada relativa a la poca eficàcia d'aquest procés.

3.4. DISSENYS CENTRATS EN VEURE L'APRENTATGE ACONSEGUIT EN L'ENSENYAMENT CONVENCIONAL DE LA TERMOQUÍMICA.

Aquest apartat es dividirà en dos subapartats destinats a explicar els instruments utilitzats en aquest treball per contrastar els dos grups de conseqüències que venen en els quadres anteriors 3 i 4, respectivament. Tant en un cas com en el altre s'ha decidit triar l'enquesta de preguntes semiobertes amb èmfasi en l'explicació i les entrevistes estructurades a fi de poder extreure la major informació possible dels estudiants i així poder analitzar en profunditat i categoritzar millor els arguments emprats.

En qualsevol cas, l'estudi i interpretació de les explicacions donades en les respostes dels estudiants als dissenys experimentals, que es proposen per a veure si es falsen o no aquestes conseqüències, ens donarà una informació valuosa sobre els models mentals que utilitzen i quines són les principals dificultats amb que es troben per arribar a assolir els coneixements científics que volem que aprenguen en el domini de la Termodinàmica i, en particular, de la Termoquímica.

3.4.1. Dissenys per veure si la majoria dels estudiants saben aplicar el primer

principi de la Termodinàmica en dos fenòmens físics senzills.

Els dos primers dissenys, una enquesta i una entrevista, tenen el mateix objectiu general: analitzar si els estudiants que han seguit un procés d'ensenyament convencional tenen dificultats a l'hora d'explicar energèticament dos canvis físics com l'expansió d'un gas tancat en una xeringa que està aïllada tèrmicament i l'evaporació quasi adiabàtica de l'èter. A través d'aquests dos instruments es tractarà de veure en quina mesura es contrasten les quatre conseqüències A.1 a A.4.

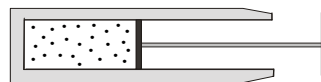
3.4.1.1. Qüestionari, Q1, per veure les dificultats d'aprenentatge quan s'ha d'analitzar energèticament dos canvis físics familiars.

La primera prova és un qüestionari, Q1, que s'adjunta com document 1 i consta de dos ítems de resposta semioberta.

Document 1.- Qüestionari Q1 per a contrastar que la majoria d'estudiants no sap analitzar qualitativament el que passa amb la temperatura del gas que s'expansiona i de l'èter que s'evapora ràpidament.

1.El dibuix adjunt presenta una xeringa aïllada tèrmicament de l'ambient que conté un gas ideal a pressió major que l'atmosfèrica. Què li passarà a la temperatura del gas quan s'expansioni?

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura.
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.



Justifica detalladament el per què de la resposta.

2. Si fem en una càpsula de porcellana èter líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (c) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

Aquest qüestionari (Q1) i el següent (Q2), que veurem sobre el concepte d'entalpia, va ser aplicat i contestat per un total de 207 alumnes distribuïts de la següent manera:

| | |
|--|----|
| Grup 0 (G0): Estudiants de COU (17-18 anys): | 44 |
| Grup 1 (G1): Estudiants de 3r de Químiques (20-21 anys): | 45 |
| Grup 2 (G2): Estudiants de 5é de Químiques (23-24 anys): | 55 |

Totes aquestes persones enquestades havien estudiat la Termoquímica, des d'un nivell introductori com els estudiants de Química de COU fins un nivell de llicenciatura com els físics o químics dels cursos del CAP.

PROTOCOL PER A L'ANÀLISI DE LES RESPOSTES DELS ESTUDIANTS EN Q1.

Ítem 1.- Aquesta pregunta té com objectiu veure quin és l'anàlisi energètic que fan els estudiants a l'hora d'explicar què li passa a la temperatura del gas aïllat tèrmicament quan s'expansiona contra l'ambient que actua com segon sistema. És a dir, l'estudiant ha de saber aplicar bé el primer principi de la Termodinàmica a aquest fenomen la qual cosa significa que s'ha de donar compte que: i) hi ha dos sistemes que interaccionen (és a dir, saber superar la dificultat A.1); ii) adonar-se com interaccionen sabent que encara que no hi ha 'connexió tèrmica' entre els sistemes per estar aïllada la xeringa (és a dir, saber que $Q = 0$), la hi ha mecànica perquè el gas fa treball contra l'exterior (és a dir, donar-se compte de que hi ha un treball de les forces exteriors al sistema, W_{ext} , superant així l'obstacle A.2); iii) introduir l'energia interna del gas, U , i la seva variació, ΔU , per explicar la realització d'aquest treball (és a dir, reconèixer i fer servir U en contra de A.3); iv) finalment, l'estudiant ha de saber relacionar aquestes variables aplicant correctament el primer principi de la Termodinàmica en aquest ítem i arribar a una *resposta declarativa final* on diga que li va a passar a la temperatura del gas i que, en aquest cas, el correcte és que baixarà.

Però el que realment interessarà és l'avaluació de la *resposta explicativa* que done l'estudiant al *com és* que baixa la temperatura, perquè és possible que tinga ja assumit de forma empírica aquest coneixement declaratiu i no sàpiga els arguments macroscòpics o microscòpics que podem utilitzar en l'explicació científica del fenomen. És a dir, l'èmfasi de la comprensió científica es posarà no sols en veure les idees expressades pels estudiants sinó, i sobre tot, en les formes de raonament o coneixement procedimental i explicatiu emprat (Viennot 1996). És per això que es valorarà en la resposta si l'explicació donada esmenta d'alguna manera que el treball fet pel gas al empenyar l'èmbol contra l'exterior es traduirà en una disminució de la seua energia interna, ja que el sistema està aïllat tèrmicament del medi i, per tant, no hi ha possibilitat de transferir energia en forma de calor. Així doncs, al aplicar el primer principi de la Termodinàmica:

$$\Delta U = Q + W_{\text{ext}}$$

on Q és nul·la i el treball fet per les forces exteriors és negatiu, es dedueix que hi haurà una disminució de l'energia interna del gas. I com en aquesta interacció, l'energia

interna del gas ideal (al no haver interacció entre les seues partícules) sols depèn de la seva temperatura, és lògic derivar que la disminució de l'energia interna implicarà una baixada de la temperatura i el gas es refredarà. També s'avaluarà com resposta explicativa correcta d'aquest canvi, si l'estudiant utilitza arguments microscòpics on es considera que el treball molecular fet per les partícules dels gas al empenjar l'èmbol de la xeringa es realitza a costa de l'energia interna tèrmica associada a l'energia cinètica mitjana de les partícules (al no haver enllaços entre les molècules del gas no es considerarà l'existència d'energia interna potencial). Així doncs, l'argument correcte acabarà dient finalment que al disminuir aquesta energia interna, la seua temperatura disminuirà.

Així doncs, es considerarà com resposta explicativa correcta tant si l'argument emprat pel estudiant és de tipus macroscòpic on s'utilitza correctament, per exemple, el primer principi utilitzant les variables energètiques esmentades, sense implicar el comportament de les partícules del gas, com algun altre de tipus microscòpic semblant al que s'ha indicat en el paràgraf anterior. Aquest últim anàlisi servirà per posar a prova la conseqüència A.4 indicada en el quadre 3.

En resum, en aquest ítem 1 s'avaluarà, per una banda, *la resposta declarativa final* i, de l'altra, *la resposta explicativa* prenent com a referents les conseqüències A.1 a A.4 esmentades en l'apartat anterior. Es recorda que la nostra suposició és que els alumnes no faran un anàlisi energètic adequat del fenomen ni macroscòpic ni microscòpic, començant per no tindre en compte els dos sistemes que interaccionen per a explicar-ho.

Ítem 2.- En aquesta qüestió l'objectiu principal es el mateix que en el ítem 1, és a dir, veure si els estudiants apliquen correctament el primer principi de la termodinàmica en un cas distint a l' anterior com és l'evaporació ràpida -i, per tant, quasi adiabàtica- de l'èter a temperatura ambiental. La nova situació plantejada difereix de la de l'ítem 1 en que l'anàlisi energètic a fer és distint, al menys, inicialment. En aquest anàlisi l'estudiant ha de considerar que hi ha interacció entre les parts d'un mateix sistema -el líquid que s'evapora- i que en els moments inicials es pot simplificar la situació acceptant que aquest únic sistema al evaporar-se ràpidament està aïllat des del punt de vista energètic encara que el sistema és obert ja que està emetent vapor a l'ambient. Més concretament, l'estudiant ha de saber analitzar què i com ocorre el procés, el que significa prendre algunes decisions respecte a com organitzar l'anàlisi al llarg de l'espai i el temps. Això implica les següents competències: i) saber (o, més bé, decidir) si es considera que són dos els sistemes (el líquid i l'ambient) que van a interaccionar

tèrmicament (cosa que passa al final quan ja l'èter s'ha refredat) o si sols ho fan les parts d'un mateix sistema a la mateixa temperatura perquè, pràcticament, està aïllat des del punt de vist energètic (com passa al principi del fenomen); ii) també s'ha de valorar si es considera que el procés transcorre de forma ràpida, és a dir, de manera quasi adiabàtica (no dona temps a que passe calor a un segon sistema), i no es faça pràcticament treball. En casos com el presentat és convenient diferenciar els moments inicials en la interacció del que passa després quan ja pràcticament de forma isoterma interaccionen el sistema i l'ambient; iii) finalment l'estudiant ha de saber fer l'anàlisi energètic introduint l'energia interna del sistema per explicar la disminució de temperatura i utilitzant el primer principi de la termodinàmica on es relacionaran el treball, la calor i la variació d'energia interna del sistema estudiat.

En definitiva, al igual que es farà a l'ítem 1, es valoraran el percentatge de les *respostes declaratives finals correctes* (que responen a la pregunta què passa amb la temperatura) i, sobre tot, el de les *respostes explicatives correctes o quasi correctes* (que respon a l'explicació científica de com ocorre el refredament de l'èter líquid) tant si utilitzen un argument macroscòpic o bé un microscòpic. L'anàlisi dels arguments es farà d'acord amb el que es persegueix en les conseqüències A.1 a A.4. Aquest estudi també ens servirà per analitzar quines dificultats es presenten en les respostes explicatives incorrectes i poder deduir quins models mentals (macro o microscòpics) estan utilitzant els estudiants quan interpreten aquest fenomen.

3.4.1.2. Entrevista estructurada davant de fenomen, E1, sobre dos canvis físics semblants als del qüestionari Q1.

Una segona prova del disseny ha consistit en l'elaboració d'una *entrevista estructurada davant de fenomen (E1)* similar a altres plantejades en Electricitat (Bevilacqua 1999) que s'aplicarà a una mostra petita d'alumnes del segon curs de Batxillerat (N = 12). L'objectiu de la prova consisteix en complementar els resultats obtinguts en el disseny anterior que poguera aprofundir en el coneixement declaratiu i explicatiu d'aquests estudiants novells i veure si es confirmaven les categories de respostes explicatives incorrectes realitzades en el qüestionari escrit. A més a més, interessa en aquesta recerca registrar en profunditat el coneixement espontani dels estudiants sobre aquests successos.

La estructura d'aquestes entrevistes es presenta en el següent document 2.

Document 2.- Estructura de l'entrevista, E1, sobre l'inflament ràpid d'una camera de bicicleta i sobre l'evaporació d'èter en recipient obert.

A) Fase de predicció realitzada per l'estudiant abans de fer l'experiència.

Pregunta plantejada en el cas de l'inflament de la camera:

Entrev.: *Anem a inflar una camera de bicicleta amb un bombí, què creus que passarà amb la temperatura de l'aire que hi ha dins de la camera després de varies embolades? Es gelarà, s'escalfarà o seguirà a la mateixa temperatura?*

Pregunta plantejada en el cas de l'evaporació de l'èter:

Entrev.: *Ací tenim una botella d'èter de la qual anem a posar un poc en una capsuleta com aquesta. Aquesta substància ja saps que s'evapora molt ràpidament. Què creus que li passarà a la temperatura del líquid? I, com diries que és aquest procés: exotèrmic, endotèrmic o sense transferència de calor?*

B) Fase de disseny de l'experiència per part de l'estudiant i, si fora necessària, reformulació de l'entrevistadora.

Entrev.: *Com podríem saber si el sistema (l'aire o l'èter, respectivament) s'escalfa, es gela o es manté a la mateixa temperatura? Què fariem?*

C) Fase de realització de l'experiència per l'estudiant.

L'estudiant procedeix a la realització de l'experiment dissenyat.

D) Fase d'explicació final de l'estudiant.

L'estudiant davant del resultat obtingut (que verifica o no la predicció feta inicialment) ha de donar una resposta explicativa del que ha ocorregut en el fenomen. Per tant se li planteja la següent pregunta en els dos casos:

Entrev.: *Com explicaries que s'hagi escalfat (o refredat) el sistema?*

PROTOCOL PER ANALITZAR LES ENTREVISTES E1

En cadascuna de les entrevistes se li planteja una experiència a l'alumne i se li pregunta què creu que li passarà al sistema des del punt de vista tèrmic (si augmentarà o disminuirà la seua temperatura i en les preguntes adients si el sistema serà exotèrmic o endotèrmic). Després de la seua resposta declarativa, han de comprovar-la fent l'experiment i veure si concorda o no amb la que han donat. Finalment l'estudiant ha de donar una resposta plausible que explique el que ha passat tant si la resposta era la que esperava com si no.

Els objectius específics que es valoraran en cadascuna de les fases de l'estructura exposada abans són els següents:

Fase A. En aquesta fase de predicció del què passarà, l'estudiant mostrarà quin és el seu referent empíric. En el primer cas, s'espera que la majoria dels estudiants tinguen un coneixement encertat (que s'escalfarà el gas que hi ha dins de la camera i, per tant,

també el bombí) que es tracta d'un succés prou familiar des del punt de vista vivencial. No passarà el mateix en el segon cas de l'evaporació de l'èter. Tant en un cas com en l'altre es registrarà aquest coneixement descriptiu o declaratiu classificant les respostes en correctes, incorrectes o no es sap.

En el segon fenomen els estudiants poden donar dues respostes que poden ser considerades correctes depenent de si trien una descripció del que passa inicialment (on l'èter es refreda ràpidament) o més endavant a mitjà termini (una vegada refredat l'èter serà escalfat pel medi exterior).

Especial èmfasi es posarà en registrar la resposta quan es pregunte si aquest fenomen es pot considerar exotèrmic o endotèrmic. Per poder fer correctament aquesta classificació caldrà analitzar què passa amb la temperatura del sistema a observar havent decidit 'com veure el canvi'. Podem veure que el canvi és ràpid i decidir observar-lo al principi, caldrà considerar que hi ha un únic sistema i que el procés és quasi adiabàtic o podem decidir observar, a mig termini, la interacció energètica després d'haver-se escalfat o gelat inicialment. En el primer cas la resposta serà que no hi ha transferència de calor entre el sistema i l'ambient i, pel contrari, en el segon cas es quan es pot donar la resposta correcta de que el procés és endotèrmic ja que, al haver-se gelat el líquid, perquè torne a la temperatura inicial que tenia l'exterior haurà de cedir calor fins que s'arribe a la temperatura de l'ambient.

Fase B. La majoria de les respostes dels estudiants en els dos casos no presentarà cap dificultat perquè el coneixement procedimental requerit per contestar la pregunta que li farà l'entrevistadora és de baix nivell cognitiu (quasi tots diran que hi ha que posar un termòmetre). En el cas de que l'estudiant no expresse aquest coneixement l'entrevistadora li ajudarà donant-li la informació pertinent.

Fase C. En la realització de l'experiment no es farà cap valoració pels objectius que es persegueixen en el treball. En efecte, la recerca no pretén registrar les destreses manipulatives dels estudiants sinó arribar a veure que passa tèrmicament i que l'estudiant passe a la següent fase perquè ho explique.

Fase D. Finalment en les explicacions que els estudiants donen al que ha passat es valoraran els següents aspectes ressaltats en les conseqüències pressuposades:

- i) Veure si donen una explicació correcta de la classificació dels processos en exotèrmics o endotèrmics.

- ii) Veure si utilitzen correctament el primer principi de la Termodinàmica o si és una explicació microscòpica correcta dels intercanvis energètics emprant el trencament i formació d'enllaços de les substàncies implicades en aquests processos.
- iii) Veure si fan un ús correcte dels conceptes d'energia interna o d'entalpia en els canvis físics o químics presentats.
- iv) Registrar les representacions mentals que empren els estudiants per a descriure i/o explicar aquests fenòmens i quines són les principals dificultats que tenen en relació al marc conceptual

3.4.2. Dissenys per veure si la majoria dels estudiants utilitzen i comprenen el concepte d'entalpia en processos físics i químics.

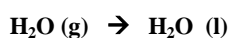
Els dos següents dissenys, també una enquesta (Q2) i una entrevista (E2), tenen com objectiu general: analitzar si els estudiants que han seguit un procés d'ensenyament convencional tenen dificultats a l'hora de donar significació química al concepte d'entalpia bé quan s'aplica, per exemple, a una substància o bé quan s'ha d'explicar energèticament varis canvis químics. A través d'aquests dos instruments es tractarà de veure en quina mesura es contrasten les sis conseqüències B.1 a B.6.

3.4.2.1. Qüestionari, Q2, per veure les dificultats conceptuals quan hi ha que donar significació química a l'entalpia d'una substància o a la variació d'entalpia d'un procés químic.

La primera prova és un qüestionari, Q2, que s'adjunta com document 3 i que consta de tres ítems que s'han triat de tipus conceptual perquè solen ser les preguntes prototípiques que es fan a classe i que les respostes que es fan pels alumnes tenen fàcil memorització.

Document 3.- Qüestionari Q2 per a contrastar que els estudiants tenen dificultats en donar una significació química correcta a l'entalpia.

1. Què entens per entalpia de formació d'una substància?
2. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- a) L'entalpia del gas és major.

- b) L'entalpia del líquid és major.
- c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

3. En l'esquema de reacció següent: $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta\text{H} = -241.6 \text{ kJ}$

Quan valdrà la variació d'entalpia del procés si es realitza en un recipient a volum constant?

- a) La ΔH no varia.
- b) La ΔH augmenta
- c) La ΔH disminueix
- d) No ho sé.

Justifica la teva resposta.

L'objectiu específic de l'ítem 1 és saber quin significat li donen els estudiants a entalpia d'una substància. L'ítem 2 pretén mostrar quina relació estableixen els estudiants entre l'estat físic d'una substància (gas i líquid) i l'entalpia associada i, al mateix temps, analitzar les possibles explicacions macro i microscòpiques que donen al procés de condensació del vapor d'aigua, ben conegut per tots. Finalment l'objectiu de l'ítem 3 és veure si es reconeix que l'entalpia és una funció d'estat independent del procés de transferència energètica (calor o treball) per passar d'un estat inicial a un final.

PROTOCOL PER A L'ANÀLISI DEL QÜESTIONARI Q2.

Ítem 1.- El criteri de valoració de la resposta serà la següent: es considerarà correcta o quasi correcta si al concepte d'entalpia se li atribueix encara que siga de manera ambigua el significat de qualsevol tipus d'energia (per exemple, contingut energètic, energia tèrmica, etc.) que s'intercanvia en forma de calor i/o de treball en el procés de formació d'un mol de la substància a partir dels seus elements (o en el de descomposició d'aquesta). No serà necessari que s'especifiquen totalment les condicions estàndard de pressió i temperatura que habitualment s'utilitzen de referència (25 °C i 1 atm), però si que el procés ha de realitzar-se a pressió i temperatura constants.

D'altra banda, també s'analitzarà si l'explicació donada contempla el camp de validesa del concepte definit. És a dir, si s'especifica que en aquest procés de formació no ha d'haver transferències en forma de treball elèctric ni emissió de radiacions diferents a les associades al concepte de calor.

Ítem 2.- El criteri de valoració adoptat en aquest cas serà doble. D'una banda, es valorarà si es correcta la resposta declarativa i que correspon a assumir que el gas tindrà una major entalpia que el líquid i, d'altra banda, la resposta explicativa correcta o quasi correcta. En aquest darrer cas, s'acceptarà que la resposta és correcta o quasi correcta quan s'utilitzi qualsevol contestació macroscòpica o microscòpica adient. Com exemple de resposta macroscòpica correcta s'acceptaran inclòs raons de tipus que 'el líquid per passar a gas requereix energia, així doncs el gas per passar a líquid ha d'alliberar energia i, per tant, el gas tindrà major entalpia que el líquid'. També es considerarà com correctes les respostes microscòpiques que associen, per exemple, una entalpia zero a les partícules del gas ja que no hi ha enllaços intermoleculars i una entalpia negativa (i, per tant, menor) a les partícules lligades del líquid.

Ítem 3.- En aquest ítem també s'utilitzaran dos criteris de valoració com en l'anterior. Un per a les respostes declaratives correctes on s'afirma que la variació d'entalpia serà l'indicat en l'equació independentment del procés i un segon relatiu a l'explicació correcta basada en que l'entalpia és una funció d'estat i, per tant, sols va a dependre de l'estat inicial i final del sistema.

3.4.2.2. Entrevista estructurada davant de fenomen, E2, sobre tres canvis químics semblant a l'E1.

Una segona prova del disseny ha consistit en l'elaboració d'una *entrevista estructurada davant de fenomen (E2)* que també s'aplicarà als mateixos 12 estudiants de 2n de Batxillerat. Els objectius, l'estructura (document 2) i el protocol d'anàlisi de les enregistraments en els criteris de valoració emprats en aquesta entrevista E2 són idèntics als exposats en el subapartat 3.2.1.2 i al qual remetin al lector. L'únic que canvia és el tipus de processos que es realitzaran davant de l'estudiant i que són reaccions químiques on es manifesten clarament els efectes tèrmics que s'hauran d'explicar, tal com els següents:

- La dilució d'àcid sulfúric concentrat en aigua.
- La dissolució de cristalls de clorur amònic en aigua.
- La neutralització d'hidròxid sòdic 2 M amb àcid clorhídric també 2 M.

A continuació es passarà a presentar les conseqüències derivades de la hipòtesi principal relatives a l'ensenyament convencional i el disseny experimental elaborat per treure dades que les puguem posar-les en qüestió.

3.5. CONSEQÜÈNCIES DERIVADES DE LA PRIMERA HIPÒTESI PER POSAR A PROVA L'EXISTÈNCIA DE MANCANCES EN L'ENSENYAMENT DE LA TERMODINÀMICA I/O TERMOQUÍMICA.

Es recorda que la segona hipòtesi derivada exposada en l'apartat 3.1 derivava part de la responsabilitat de les dificultats d'aprenentatge en l'ensenyament habitual que havien rebut els estudiants en aquest domini. Aquesta hipòtesi derivada deia literalment que *'les dificultats d'aprenentatge de la Termoquímica no són superades, entre d'altres raons, perquè l'ensenyament que es fa habitualment en aquest domini presenta greus mancances didàctiques al no tindre en compte els resultats de la recerca didàctica i, en particular, al no eixir al pas de les visions deformades que sobre la construcció dels coneixements científics tenim els professors'*. En aquest apartat correspon deduir conseqüències sobre l'ensenyament convencional que concreten les principals mancances didàctiques que hauran d'ésser contrastades mitjançant dissenys pertinents.

La didàctica de les ciències, des de fa dues dècades, ha estat construïnt un cos de coneixements sobre el procés d'ensenyament-aprenentatge (Martínez-Terrades 1998; Furió 2001) i ha detectat l'existència d'un conjunt de mancances conceptuals, epistemològiques i axiològiques en l'ensenyament habitual degut al desconeixement del professorat sobre com aprenen ciència els adolescents i, conseqüentment, com s'hauria d'ensenyar. La recerca està mostrant que moltes d'aquestes mancances didàctiques estan basades en l'existència de visions deformades en el professorat sobre la natura de la ciència i de l'activitat científica (Mellado 1998a; Mellado i Carracedo 1993; Matthews 1994a i 1994b; Fernández et al 2002; Solbes i Traver 2003) que formen part del pensament docent espontani sobre l'aprenentatge difícil de canviar (Gil 1991; Carnicer i Furió 2002).

En efecte, les contribucions de la filosofia, història i epistemologia de la ciència a la didàctica de les ciències ha posat de relleu que, per exemple, el coneixement científic és hipotètic, és a dir, elabora teories i conceptes com a respostes temptatives d'explicació dels problemes plantejats per la societat (Cobern 2000; Glasson & Bentley 2000) superant-se així visions empiristes, atèriques i aproblemàtiques sobre la construcció d'aquests coneixements. Es reconeix que aquest coneixement científic i, per tant, les lleis i els conceptes no són dogmes a aplicar en qualsevol circumstància ja que tenen limitacions i camps de validesa eixint al pas de visions rígides i absolutes de la ciència (Campanario 2001). Es va construïnt estructurant-se gradualment (Toulmin 1977) arribant a bots qualitius que, de vegades, suposen revolucions científiques (Kuhn 1970; Thagard 1992) superant-se aquelles visions acrítiques i acumulatives lineals de les teories i dels conceptes que tenim els professors. Fins i tot, darrere d'aquestes

construccions hi ha una cerca constant d'anar cap a síntesis globalitzadores de cossos teòrics inicialment separats en contra de visions exclusivament analítiques i compartimentades (Fernández et al 2002).

Aquestes visions deformades de la natura de la ciència i de l'activitat científica que hi ha en els models mentals que tenim els professors sobre el procés d'ensenyament-aprenentatge es manifestaran també quan s'ensenyi la termodinàmica i la termoquímica tant en el nivell de Batxillerat com en l'universitari. Així doncs, podem derivar un seguit de conseqüències contrastables com les exposades en el quadre 6 que s'adjunta.

Quadre 6.- Conseqüències contrastables sobre les possibles mancances conceptuals, epistemològiques i axiològiques que es presentaran en l'ensenyament de la Termoquímica.

C.1. La introducció dels temes de Termoquímica i/o de Termodinàmica es farà amb una visió socialment descontextualitzada sense prestar atenció als aspectes axiològics i, en particular, sense tindre en compte les relacions Ciència, Tecnologia, Societat i Ambient (CTSA).

C.2. En l'ensenyament d'aquest domini científic estaran absents aspectes o comentaris històrics relatius a quins varen ésser els principals problemes científics i tecnològics que es resolgueren al introduir els nous conceptes i la nova ciència.

C.3. No es tindrà en compte les possibles concepcions alternatives dels estudiants relatives als conceptes introduïts (treball, calor, energia interna i entalpia). Aquesta conseqüència es deriva fonamentalment d'una visió simplista de l'aprenentatge segon la qual la transmissió verbal del coneixement per part del professor serà suficient per aprendre i no tindrà cap influència el que pensa l'estudiant (hipòtesi de la tabula rasa).

C.4. No es consideraran importants les dificultats procedimentals dels estudiants. És a dir, hi haurà una escassa utilització d'aspectes bàsics de la metodologia científica com, per exemple, saber analitzar qualitativament situacions problemàtiques, impulsar l'emissió d'hipòtesis, afavorir que els estudiants es plantegen la realització de dissenys experimentals i/o l'elaboració d'estratègies en la resolució de problemes, anàlisi dels resultats, etc.) i tampoc s'eixirà al pas de raonaments de sentit comú (fixacions i/o reduccions funcionals) que poden dificultar la construcció dels nous coneixements termodinàmics o termoquímics.

C.5. La introducció dels conceptes termodinàmics serà bàsicament de tipus operativista i no es presentarà prèviament un tractament qualitatiu que els pugui donar significació física o química i així afavorir la seva comprensió.

C.5.1. Es presentarà la definició matemàtica de la funció entalpia ($U + PV$) sense cap significació qualitativa física o química previa.

C.5.2. L'ensenyament derivarà la definició operativa de la variació d'entalpia ($\Delta H = Q_p$) d'un canvi físic o químic sense indicar el camp de validesa d'aquesta definició. És a dir, no s'indicarà explícitament que aquesta mesura de la variació de l'entalpia del procés a partir de la calor a pressió constant implica que no s'ha de fer treball elèctric ni tampoc altres processos de transferència d'energia diferents al de treball d'expansió-compressió de gasos.

C.6. L'ensenyament no afavorirà que els estudiants facen anàlisis qualitatius microscòpics de fenòmens tèrmics convergents amb els macroscòpics i on es pugui mostrar la coherència del cos teòric. És a dir, estaran absents visions ontològiques on es complementen les interpretacions dels

fenòmens donades per la termodinàmica general (macroscòpica) i les de la mecànica estadística (microscòpica).

En el següent apartat passarem, doncs, a presentar el disseny elaborat per qüestionar les conseqüències derivades de la primera hipòtesi i relatives a l'ensenyament.

3.6. DISSENY EXPERIMENTAL PER A L'ANÀLISI CRÍTICA DE L'ENSENYAMENT CONVENCIONAL.

En la metodologia de la recerca en didàctica de les ciències és habitual realitzar l'anàlisi crític de l'ensenyament utilitzant un disseny experimental on es tracte de veure les mancances existents en les estratègies didàctiques proposades pels professors en les seves classes. Una altra manera d'extreure informació valuosa sobre com els professors introdueixen els conceptes i les teories és a través dels llibres de text ja que és ben coneguda la influència que exerceixen els llibres de text en el professorat i com es transmeten al seu sí les visions deformades (Stinner 1992; Sutton 1998; Furió et al 2003). En aquest treball hem encetat el disseny amb l'estudi de com els textos de Química dels nivells preuniversitaris i universitaris presenten la Termodinàmica o la Termoquímica (apartat 3.6.1) i després hem enquestat directament al professorat per veure si els resultats obtinguts pels dos procediments són coherents amb les conseqüències C.1 a C.6 exposades a l'apartat anterior (apartat 3.6.2)

3.6.1. Xarxa d'anàlisi de llibres de text.

. Així doncs, en aquest apartat, s'analitzaran una quantitat significativa de textos (al voltant de 30) de nivell de 2n de Batxillerat i COU (preuniversitaris) i llibres de Química General (de nivell d'universitari) amb l'objectiu bàsic de contrastar les conseqüències C.1 a C.6. Ara bé, d'acord amb el problema plantejat no més s'analitzarà la presentació del contingut relatiu a com tenen lloc els intercanvis energètics en els processos físico-químics (és a dir, el primer principi de la termodinàmica i els conceptes d'energia interna i entalpia). Es deixarà de costat l'estudi de les relacions causals més pròpies del segon principi de la termodinàmica, encara que com sabem, comprendre bé l'energia implica, tractar no sols la seua conservació sinó també la degradació en els processos (Duit 1986; Doménech 2001; Solbes i Tarín 1998).

En el document 4 que s'adjunta es presenta un conjunt de qüestions que constitueixen una xarxa d'anàlisi dels llibres de text de les deficiències que s'han pressuposat que s'observaran en la introducció dels continguts indicats d'acord amb les conseqüències C.1 a C.6 que també s'inclouen en aquest document.

Document 4.- Xarxa d'anàlisi sobre aspectes a observar en la introducció de l'energia interna, l'entalpia i primer principi de la termodinàmica en llibres de Química.

Qüestions:

1. Hi ha al llarg del tema almenys 3 exemples de relacions CTS que mostren l'interès social d'aquest estudi?
 2. Es presenta quin o quins foren els principals problemes històrics que motivaren la naixença de la Termodinàmica com a ciència moderna en el S.XIX?
 3. Es diferencia explícitament entre calor i temperatura?
 4. S'indica expressament que l'energia no és cap substància que hi ha en els objectes o que no és cap propietat dels objectes aïllats?
 5. Es diu que el calor i el treball no són formes d'energia sinó formes de transferir energia entre sistemes?
 6. Es presenta què és un sistema i que, en el cas més senzill, quasi sempre es va a considerar que van a interaccionar dos sistemes?
 7. Es presenten al tema, al menys tres exemples d'anàlisi energètic de fenomen o situació en els quals els estudiants estan poc familiaritzats?
- 8. S'introdueix alguna idea qualitativa d'energia interna?**
9. S'adverteix al lector de possibles fixacions o reduccionismes funcionals en les formes de raonar en les quals es pot caure fàcilment?
 10. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques?
 11. Es defineix l'entalpia, H , com la suma $U+P.V$?
 12. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema?
 13. En el cas de que s'introdueixi una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa?
 14. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despesa o absorbida quan ocorre a pressió constant?
 15. Se té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi?

16. Es presenta algun exemple d'interpretació qualitativa microscòpica d'un fet o situació que habitualment s'interpreta macroscòpicament amb el primer principi?

En resum, la xarxa d'anàlisi elaborada amb les 16 qüestions s'aplicarà a un conjunt de llibres de Química valorant-los de manera dicotòmica com s'indicarà més endavant. Cadascun dels llibres es registrarà en una fitxa amb les següents dades:

| | |
|--------------------|---------------------|
| Nom del text: | Autor/s |
| Editorial: | Lloc de publicació: |
| Any de publicació: | |

A continuació es presenta el protocol d'avaluació de les qüestions contemplades en el document 4.

PROTOCOL D'AVALUACIÓ DE LA XARXA D'ANÀLISI DELS LLIBRES DE TEXT

Qüestió 1. Hi ha al llarg del tema almenys 3 exemples de relacions CTS que mostren l'interès social d'aquest estudi?

En aquest cas, es considerarà positiva la resposta i contrària a la nostra hipòtesi (C.1), si al text és tracta amb alguna profunditat, al menys, tres exemples de les relacions de l'estudi de la termoquímica amb la tecnologia, la societat i/o l'ambient (CTSA) al llarg del(s) tema(es) analitzat(s). No s'avaluarà positivament quan solament s'expliciti alguna frase de relació CTSA presentada per motivar als estudiants però sense un mínim plantejament de situació problemàtica en el que es puguin adonar del seu contingut.

Qüestió 2. Es presenta quin o quins foren els principals problemes històrics que motivaren el naixement de la Termodinàmica com a ciència moderna en el segle XIX?

En aquest cas hem considerat una valoració positiva d'aquest ítem i contrària a la conseqüència C.2 quan s'esmenten, al menys, un dels principals problemes que hi havia a principis del segle XIX o al llarg d'aquest segle. A títol d'exemples que es podem trobar en els textos presentem els següents:

i) L'optimització de l'eficiència de les màquines tèrmiques que fonamentalment, s'utilitzaven en la indústria a finals del segle XVIII (la màquina de Newcomen que

optimitzà Watt i que s'utilitzava sobre tot en les mines). Problema que enllestiren posteriorment, en plena revolució industrial, enginyers d'aquesta època com Sadi Carnot. En aquest cas la tècnica va anar per davant de la Ciència.

ii) Les limitacions que tenia la mecànica newtoniana a finals del segle XVIII alhora d'explicar fenòmens de fregament on es produïa calor. Com exemples d'aquest tipus de problemes que poden exposar, entre d'altres, tenim l'aparició de calor en les col·lisions inelàstiques on la 'vis viva' desapareixia o el qüestionament de la natura substancial de la calor fet pel conte de Rumford en la seva època de supervisor de la fabricació de canons en Baviera.

iii) La manca d'explicació de les interconversions d'unes 'forces' conegudes en altres (mecàniques, elèctriques, magnètiques, químiques, etc.). Problemes que donaren lloc, primer, a la integració de la mecànica amb la calor i, després a la termodinàmica com a ciència de l'energia que tenia com a finalitat explicar de manera unitària tots els canvis (físics, químics, biològics i geològics).

iv) L'acceptació de la natura de la "calor" relacionada amb l'energia de moviment de les partícules de les substàncies i en contra de la teoria del calòric (Fowler, 2003). Aquesta complementarietat macro-micro sols fou possible després d'una crisi que durà tot el segle XIX i una vegada que es va acceptar el model atòmic-molecular de la matèria.

Qüestions 3, 4 i 5. Es presenten concepcions alternatives sobre calor, energia i treball?

En les tres qüestions que segueixen es tracta de posar a prova la conseqüència C.3 si es contempla al text les possibles concepcions alternatives que ha detectat la didàctica de les ciències sobre la no diferenciació entre el calor i la temperatura (qüestió 3), la substancialització de l'energia o 'veure-la' com propietat existent als objectes aïllats (qüestió 4) i considerar que el calor i el treball son formes d'energia (qüestió 5). Es considerarà una resposta positiva, i per tant oposada a C.3, quan s'esmente en cadascuna de les qüestions qualsevol comentari obstacles per breu que siga que adverteisca al lector sobre l'existència d'aquests possibles entrebanques conceptuals.

Qüestions 6, 7, 8 i 9. S'adverteix al lector de possibles dificultats procedimentals per no tindre en compte aspectes fonamentals de les formes de raonament freqüents en l'activitat científica?

A més de l'existència de concepcions alternatives, la didàctica de les ciències, des de fa alguns anys, ha detectat la presència de dificultats de tipus procedimental que estan basades en el que alguns investigadors han anomenat com 'metodologia de la superficialitat' (Gil & Carrascosa 1985) o 'metodologia de sentit comú' (Hashweh 1986). Segons aquests autors els errors conceptuals dels estudiants podrien ésser deguts a formes de raonament del pensament quotidià molt allunyades de la metodologia científica. Aquestes metodologies de sentit comú es caracteritzen per donar respostes impulsives i irreflexives que no parteixen de l'anàlisi qualitatiu del problema plantejat, que no pensen amb hipòtesi, ni fonamenten les estratègies emprades alhora de resoldre problemes o ni tansevol analitzen els resultats obtinguts, etc. caiguent moltes vegades en fixacions i reduccions funcionals com les esmentades abans en aquest treball (Viennot 1998; Furió et al 2000). En aquest treball hem limitat a veure les mancances procedimentals dels llibres de text en l'anàlisi qualitatiu de situacions problemàtiques des del punt de vista energètic.

Un primer aspecte que anem a tenir en compte per contrastar la conseqüència C. 4 és veure si els llibres ixen al pas de la manca de revisió de prerequisits conceptuals i procedimentals necessaris per a poder analitzar correctament situacions problemàtiques en aquest domini, com per exemple si presenten què és un sistema (qüestió 6), si hi ha exemples d'anàlisis qualitatius de situacions problemàtiques de interacció de dos sistemes i/o de les parts d'un únic sistema en processos adiabàtics (qüestió 7), si donen una descripció qualitativa del concepte d'energia interna que serà molt important en l'anàlisi termodinàmic (qüestió 8) i, finalment, si adverteixen al lector de reduccionismes funcionals (qüestió 9). La valoració positiva de les dues primeres qüestions no ofereix cap complicació i sols passarem a esmentar la valoració de les qüestions 8 i 9.

Respecte a la valoració de com presenten la conceptualització de l'energia interna cal estendre's una mica. S'espera que la majoria dels textos introdueixen un significat qualitatiu d'aquest concepte, no gensmenys molt possiblement apareguen algunes simplificacions o reduccions del concepte al no tindre en compte el seu camp de validesa. A títol d'hipòtesi es presenten algunes de les idees qualitatives d'energia interna en les quals poden incidir els autors dels textos:

- i. L'energia interna com '*energia calorífica*' (que, en definitiva, és com si fora un '*contingut en calor*', idea que és equivocada i que es sol derivar de la definició operacional de ΔU com el calor transferida entre els sistemes a volum constant).

- ii. *L'energia interna com 'energia total, sense tenir en compte l'energia externa del sistema ($E_t = U + E_{\text{ext}}$). L'energia total del sistema ha de contemplar l'energia externa cinètica quan el sistema es mou com un tot en l'Univers i també l'energia externa potencial quan el sistema està lligat a altres parts de l'Univers.*
- iii. *Reduir l'energia interna al concepte d'energia tèrmica o energia interna cinètica (energia de moviment de les partícules del sistema) sense tenir en compte l'energia interna potencial. La reducció es valorarà com correcta si, per exemple, l'autor especifica el camp de validesa com, per exemple, en el tractament de sistemes formats per gasos ideals.*
- iv. *Identificar l'energia interna amb la idea d'energia química o energia dels enllaços de les partícules (espècie d'energia interna potencial). Es a dir, no es tindria en compte l'energia cinètica associada a la temperatura del sistema o al moviment intern de les partícules. Aquesta reducció significaria no associar cap energia interna a, per exemple, gasos ideals monoatòmics. Nogensmenys, es considerarà com correcta si s'especifica el camp de validesa del concepte en contextos concrets.*
- v. *Identificar l'energia interna amb la suma de l'energia interna cinètica i l'energia interna potencial (energia química) de les partícules del sistema se considerarà correcta o quasi correcta encara que es poden atribuir més components energètiques segons els tipus d'interaccions que es produeixen.*

En relació a la valoració en els textos de l'existència de fixacions i reduccionismes funcionals (qüestió 9) es considerarà contrària a C.4 quan es faci un mínim comentari, com, per exemple, esmentar que, al estudiar l'expansió d'un gas tancat en una xeringa a major pressió que l'atmosfèrica es sol raonar de manera simple fent dependre la pressió directament de la temperatura sense tenir en compte que també poden influir altres variables del sistema com el volum (V) i la quantitat de substància (n), variables que caldria mantenir constants per veure aquella dependència (és a dir, realitzar un adequat control de variables) (Viennot 1996; Furió i Calatayud 1996).

Qüestió 10. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques?

Es valorarà positivament la resposta a aquesta qüestió quan el text expliciti qualsevol definició conceptual i/o procedimental de la classificació dels processos físics o químics en exotèrmics i endotèrmics sempre prenent com a referència la transferència energètica entre sistemes per flux de calor. S'ha posat com a condició que aquesta classificació es considere al començament del tema, abans d'entrar en la part teòrica, com a, per exemple, punt de partença d'una situació problemàtica a la qual caldrà donar una explicació introduint els corresponents conceptes d'energia interna o d'entalpia del sistema.

Qüestió 11. Es defineix l'entalpia d'un sistema, H , com la suma $U+P.V$?

S'espera que la majoria de llibres de text introdueixen la definició conceptual operativa de l'entalpia que habitualment es deriva del primer principi de la termodinàmica suposant que el procés es desenvolupa a pressió constant i sense que es tinga en compte altre tipus de treball que no siga el d'expansió-compensió dels gasos. L'anàlisi crítica de la introducció d'aquest concepte en els textos parteix de la base que no hi haurà presentació d'una conceptualització qualitativa abans de la definició operativa (Barlet i Mastrot 2000). Es valorarà positivament i, per tant, a favor de la hipòtesi (C.5), quan s'expliciti aquella definició operativa.

Qüestió 12. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema?

Pel contrari, en aquest ítem es valorarà positivament quan hi hagi algun tipus de conceptualització de l'entalpia que siga mitjanament comprensible per al lector. Molt possiblement es presenten mancances en els llibres de text respecte a l'atribució de significació física o química a l'entalpia de sistemes o a la seva variació en processos físics i químics.

Qüestió 13. En el cas de que s'introdueixi una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa?

Es previsible que els pocs llibres de text que presenten idees qualitatives de l'entalpia d'un sistema equivocades com, per exemple, associar-la amb la calor del cos o el contingut calorífic dels sistemes. Nogensmenys, en aquesta qüestió sols es valorarà els percentatges de respostes conceptuais distintes incloent tant les correctes com les incorrectes.

Qüestió 14. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despresa o absorbida quan ocorre a pressió constant?

En el cas particular de la variació d'entalpia d'un procés, es valorarà positivament les respostes que defineixen aquest concepte com la calor despresa o absorbida quan el procés ocorre a pressió constant. S'espera que aquesta definició procedimental de ΔH siga majoritària en els llibres de text i així es pressuposa en la hipòtesi. El que es puga mesurar la variació d'entalpia d'un procés amb la mesura de la calor produïda a pressió constant no implica que les substàncies tinguen energia en forma de calor. Així doncs, aquesta definició procedimental pot reafirmar la concepció de que l'entalpia és una forma de contingut de calor que hi ha en els cossos.

Qüestió 15. Se té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi?

En canvi, s'espera que hi hagi molt pocs llibres que expliciten el camp de validesa de la variació d'entalpia no posant de relleu que el concepte s'ha definit amb les limitacions ja indicades abans respecte a que els sistemes que interaccionen sols han de contemplar la calor i el treball d'expansió-compensió dels gasos com les formes de transferència d'energia. Es valorarà positivament quan el text faça qualsevol insinuació en aquest sentit, és a dir, quan s'expliciti, al menys, un cas en el qual es mostre que no sempre la variació d'entalpia d'un procés encara que es realitze a pressió constant no val el mateix que la calor produïda o absorbida pel sistema. A títol d'exemples es poden citar la realització de treball elèctric en una reacció química mitjançant una pila elèctrica o qualsevol procés d'interacció entre substàncies on es produeixen radiacions energètiques i poca quantitat de calor.

Qüestió 16. Es presenta algun exemple d'interpretació qualitativa microscòpica d'un fet o situació que habitualment s'interpreta macroscòpicament amb el primer principi?

La investigació didàctica ha detectat que l'ensenyament de la Química superposa els nivells macroscòpics, microscòpics i simbòlics de les reaccions químiques (Gabel 1998) i això pot estar basat en visions acumulativa lineal i/o excessivament analítiques de la ciència com s'ha vist en la presentació que fan els llibres de Química de, per exemple, les reaccions químiques (Furió et al 2003). En el cas de la termodinàmica es d'esperar que els llibres de text facen ús dels conceptes i lleis introduïts a nivell macroscòpic i no els relacionen amb les explicacions microscòpiques a nivell de partícules de processos físics o químics. Cal eixir al pas d'aquestes visions deformades

de l'activitat científica i mostrar la coherència del cos teòric establint relacions macro-micro adequades en aquest domini. Nogensmenys i a fi de no utilitzar un criteri de valoració massa restrictiu, soles es tindrà en compte la presentació en els llibres d'explicacions microscòpiques d'aquest fenòmens tenint present que aquestes explicacions mecanístiques amb partícules afavoreixen la comprensió dels estudiants per ésser més pròximes al seu pensament realista. En conseqüència, en els llibres de text es valorarà positivament la resposta a aquesta qüestió, i per tant seria contrària a la hipòtesi, si hi ha, al menys, un exemple d'explicació d'un fenomen tèrmic amb el model atòmic de la matèria. És a dir, l'avaluació serà positiva si hi ha algun exemple on es relacione l'energia interna amb el moviment de les partícules, l'energia química amb l'estructura de les molècules, el simple pas de calor d'un cos a un altre o casos més complexos com les transformacions d'energia en l'evaporació adiabàtica d'un líquid.

3.6.2. Qüestionari, Q3, sobre l'ensenyament de la Termoquímica per a professors en formació i en actiu.

El qüestionari Q3 es va passar en gener de 2006 a 69 professors de Química d'Escoles Preparatòries (Batxillerat) i de Facultat de les Universitats mexicanes de la U.N.A.M. i de Zacatecas que estaven en actiu. Hi ha que tindre en compte que en Mèxic els professors de la Preparatòria pertanyen com els de Facultat a la Universitat. També es va passar el mateix qüestionari Q3 durant el curs 2005-2006 a 55 professors espanyols de Física i Química en formació que cursaven el Curs d'Aptitud Pedagògica en l'Escola de Magisteri de la Universitat de València.

En el document 5 que s'adjunta es presenta un conjunt de qüestions que constitueixen aquest qüestionari per a professors en el que es vol ficar de relleu les deficiències que s'han pressuposat que s'observaran en la introducció dels continguts indicats d'acord amb les conseqüències C.1 a C.6 .

Document 5.- Qüestionari Q3 per a professors en formació i en actiu.

Qüestions:

1. Quins aspectes o activitats creus que interessa explicar o proposar quan se inicia el tema de Termoquímica (Termodinàmica) en una classe de Química (Física Aplicada) de 2n de Batxillerat?
2. Quines creus que són les principals dificultats que van a tindre els alumnes alhora de tractar en classe el tema de Termoquímica (Termodinàmica)?
3. Un dels conceptes importants que s'introdueixen en aquest tema és el d'entalpia d'un sistema com, per exemple, la d'una substància química. Quin significat convindria que aprengueren els estudiants?
4. L'entalpia d'un sistema al igual que qualsevol concepte científic té un camp de validesa determinat i hi ha ocasions en que no es pot aplicar. Descriu en quines situacions no es pot aplicar aquest concepte i explica el per què.
5. Quins objectius importants consideres que poden servir com a indicadors de que l'estudiant ha comprés el tema del qual ens referim?

6. Exposa una relació dels continguts que proposes en la teua programació alhora de desenvolupar el tema de la Termoquímica.

7. Proposa, a títol d'exemples, dues qüestions o problemes que proposaries als estudiants per valorar l'aprenentatge d'aquest tema.

OBJECTIUS I CRITERIS D'AVUACIÓ DEL QÜESTIONARI Q3 PER A PROFESSORS EN FORMACIÓ I EN ACTIU.

Qüestió 1. Quins aspectes o activitats creus que interessa explicar o proposar quan se inicia el tema de Termoquímica (Termodinàmica) en una classe de Química (Física Aplicada) de 2n de Batxillerat?

Es suposa que el professorat té una visió reduccionista conceptual de l'ensenyament-aprenentatge de les ciències i per tant, l'objectiu de l'ítem 1 és qüestionar o provar si el professor no té en compte les dimensions axiològica i epistemològica de l'aprenentatge, tal i com s'assenyalava en la nostra hipòtesi (C.1).

En aquesta iniciació al tema d'estudi, també suposem en la nostra hipòtesi derivada (C.2) que tampoc es fa ús, dins d'aquesta dimensió epistemològica, de l'història de la ciència (reafirmant-se la visió aproblemàtica i ahistòrica de la química).

En canvi, i degut a que el professorat sols té en compte la dimensió conceptual de l'ensenyament-aprenentatge, suposem que és molt possible que, d'entrada, la seqüència dels continguts faça èmfasi en els conceptes, principis o lleis (continguts conceptuais) que es van a introduir en el tema i, molt possiblement, també en els prerequisits conceptuais que han de saber els alumnes prèviament per a que puguin comprendre els nous conceptes més complexes que es van a introduir.

Aquest èmfasi inicial en la component conceptual no es valorarà com contrària a la hipòtesi perquè pot obstaculitzar en l'estudiant el coneixement del problema que es pretén resoldre en aquest estudi. I, en particular, si en la introducció d'aquests conceptes s'abusa dels aspectes operativistes sense acompanyar-los de significació física o química. Aquests operativismes cecs dels conceptes han estat ja criticats abans i tenen a veure amb la imatge rígida, algorítmica i infal·libre de la ciència que es concreta al no donar-li significat qualitatiu als conceptes i a les lleis científiques.

Pel contrari, es valorarà positivament qualsevol referència relativa a la idea de donar als estudiants, al començar el tema, una idea preliminar de la tasca a realitzar amb la finalitat de que estiguen orientats.

En aquest ítem es considerarà una resposta contrària a les hipòtesis derivades C.1 i C.2 quan el professor nomene, en forma general o particular, al menys dos aspectes distints a la dimensió conceptual de l'aprenentatge, com per exemple:

Dimensió axiològica:

- i. Tindre en compte, en general, l'interès o motivació dels estudiants.
- ii. Activitats CTSA (relacionades amb problemes socials derivats del desenvolupament científic com, per exemple, la contaminació ambiental, la gestió de recursos i especialment els energètics, etc.).
- iii. Posar exemples concrets de la vida quotidiana connectats amb la temàtica d'estudi.

Dimensió epistemològica :

- i. Si es presenta el problema, fenòmens o situacions que es tracten d'explicar amb els continguts teòrics que es van a introduir. Per exemple, explicar els fenòmens elèctrics, tèrmics o mecànics que solen acompanyar als processos físico-químics.
- ii. Fer experiències qualitatives on es vegi, per exemple, la producció de treball i/o de calor en un procés físic o químic aproximant aquest referent empíric que es vol explicar als estudiants.
- iii. Exposar algun dels problemes històrics que originaren el naixement de la Termodinàmica com a ciència al S.XIX.
- iv. Si es manifesta que junt al tractament termodinàmic macroscòpic dels fenòmens es tractarà també de fer l'anàlisi energètica usant el model atòmic de la matèria posant de relleu la coherència global de la ciència (relacions macro-micro).

Qüestió 2. Quines creus que són les principals dificultats que van a tindre els alumnes alhora de tractar en classe el tema de Termoquímica (Termodinàmica)?

La suposició que es fa en les hipòtesis (C.3 i C.4) és que els professors posaran l'èmfasi en les dificultats dels alumnes respecte als prerequisits conceptuals i/o procedimentals o en el caràcter abstracte dels nous conceptes, però no esmentaran l'existència de concepcions alternatives que poden actuar com obstacles epistemològics (per exemple sobre calor o energia) així com formes de raonament de 'sentit comú' (causalismes simples, fixació funcional, reducció funcional, raonament local i seqüencial, etc.). Seran pocs els professors que tinguin en compte les idees prèvies, les dificultats o els raonaments de sentit comú dels estudiants alhora de planificar la

seqüència dels continguts (el professor pot pensar que la pregunta 2 va en aquest sentit i, per tant, es valorarà aquestes respostes en contra de la hipòtesi). Aquesta component de l'aprenentatge fa referència a la necessitat que té el professorat de conèixer el pensament de l'alumnat per planificar el seu ensenyament i que va posar de manifest la psicologia cognitiva a finals de la dècada dels 70 (Ausubel et al. 1978).

En aquest cas, es considerarà la resposta contrària a les hipòtesis derivades C.3 i C.4 sols en que el professor indique una dificultat basada en concepcions alternatives o alguna forma de raonament de sentí comú. Com exemples concrets estan:

- i. Existència de concepcions alternatives sobre: temperatura i calor (temperatura com a calor dels cossos), treball (com a força), energia (com a substància que hi ha als objectes) i energia interna o entalpia (com a continguts calorífics dels cossos).
- ii. Manca de significat qualitatiu (conceptualització o representació concreta) dels nous conceptes (en particular d'energia interna i d'entalpia).
- iii. Referència a fixacions i/o reduccions funcionals com raonaments de sentit comú sovint utilitzades en Termodinàmica i Termoquímica.

Qüestió 3. Un dels conceptes importants que s'introdueixen en aquest tema és el d'entalpia d'un sistema com, per exemple, la d'una substància química. Quin significat químic convindria que aprengueren els estudiants?

Al igual que en el cas de la qüestió 12 de la xarxa de llibres, aquesta qüestió es valorarà contrària a la nostra hipòtesi (C.5) només en que haja un intent d'explicació del significat de la definició operativa d' H ($U + P.V$) com per exemple: "L'entalpia és una mesura de l'energia interna del sistema a més del treball d'expansió necessari per a que el sistema ocupe el V a la pressió ambiental P ". Definició que implícitament suposa que el sistema pot fer treball contra l'entorn ambiental considerat com segon sistema. Es a dir, sols en esmentar que l'entalpia és una funció termodinàmica que no sols depèn del sistema triat sinó que ve definida també pel tipus d'interacció amb el segon sistema. Per això la definició d'aquesta funció H atribuïda a un sistema es deriva del primer principi de la Termodinàmica considerant, entre altres condicions, que la interacció de sistemes es produeix a pressió constant.

Molt possiblement es presenten concepcions alternatives de l'entalpia com 'la calor d'un sistema, el contingut calorífic o la calor necessària per a reaccionar', reduccionismes conceptuals on s'identifica H com l'energia interna del sistema o definicions operatives sense explicació ($H = U + P.V$). Totes aquestes possibles respostes no es consideraran vàlides i per tant a favor de la hipòtesi.

Tampoc es considerarà correcte atribuir a l'entalpia d'un sistema *la definició procedimental de la variació d'entalpia* associada a la formació d'una substància o a un canvi com *la calor de reacció a pressió constant* sense donar cap significat qualitatiu a la definició teòrica de l'entalpia.

Qüestió 4. L'entalpia d'un sistema al igual que qualsevol concepte científic té un camp de validesa determinat i hi ha ocasions en que no es pot aplicar. Descriu en quines situacions no es pot aplicar aquest concepte i explica el per què.

Es suposarà que el professorat li dona un valor universal al concepte donat sense aprofundir en el context teòric (marc teòric) del qual ha sorgit la construcció del concepte i, per tant, no coneix les seues limitacions. En particular, no es sap que aquesta funció termodinàmica s'inventa en condicions restringides a un tipus d'interacció com realitzar el procés a pressió i temperatura constants i on sols es contempla la possibilitat de treball d'expansió-compensió dels gasos en la interacció, es a dir, sense que es produeixi altres tipus de treball com, per exemple, l'elèctric o l'emissió de radiacions energètiques diferents a les de la calor (per exemple, radiacions del espectre visible).

Per tant es considerarà una resposta contrària a la hipòtesi quan el professor anomena, al menys, una de les diferents restriccions indicades abans en l'objectiu.

Qüestió 5. Quins objectius importants consideres que poden servir com a indicadors de que l'estudiant a comprés el tema del qual ens referim?

Com que la hipòtesi es fonamenta en la manca de preocupació dels professors per les components metodològica, epistemològica i axiològica de l'ensenyament ja que es suposa que s'emfatitza sols la component conceptual, molt possiblement els objectius específics del tema que s'introduiran són els de la comprensió dels conceptes bàsics del tema per explicar els efectes energètics en les reaccions químiques. En particular, no s'eixirà al pas de la visió rígida i algorítmica de la Ciència, això implica que els indicadors proposats donaran més relleu a l'algoritmització matemàtica (per exemple, a la resolució quantitativa de problemes aplicant la llei de Hess) que a interpretacions basades en la significació de conceptes o de lleis com, per exemple, fer l'anàlisi energètica de les interaccions be a nivell macroscòpic o be microscòpic (malgrat que s'introdueix, en general, l'energia d'enllaç). També pensem que es farà poc èmfasi en proposar objectius i aspectes procedimentals.

En resum, es valorarà contrària a la hipòtesi quan la resposta incloga, al menys, dos indicadors diferents a la component conceptual quantitativa com per exemple:

- Relacionar la Ciència i la Tecnologia amb la Societat encara que siga amb l'aplicació d'un concepte o d'una llei (component axiològica).
- Demanar la significació qualitativa d'un concepte (conceptual significativa).
- Demanar l'anàlisi energètica qualitativa d'un procés físic o químic.
- Menció als aspectes procedimentals (com per exemple la determinació experimental d'una calor de reacció; disseny i càlcul d'un treball d'expansió).

Qüestió 6. Exposa una relació dels continguts que proposes en la teua programació alhora de desenvolupar el tema de la Termoquímica.

L'objectiu d'aquest tipus tracta de contrastar d'una altra manera si els continguts que es proposen a l'ensenyament convencional posen, tant des del principi del tema com al llarg del mateix, l'accent en la introducció de conceptes sense plantejar prèviament quin són les situacions o fets empírics que es volen explicar. També, segons la hipòtesi, es farà poc d'èmfasi en aspectes axiològics com les relacions Ciència, Tecnologia i Societat que poden augmentar l'interès i la motivació dels estudiants o en altres aspectes epistemològics que donen significat a les solucions hipotètiques introduïdes com són els conceptes i les relacions entre ells en forma de principis o lleis. En aquest sentit, tampoc es presentaran en el temari proposat epígrafs destinats a familiaritzar als estudiants en l'anàlisi energètica qualitativa de fenòmens coneguts be des del punt termodinàmic macroscòpic i, menys encara, en el nivell de representació microscòpica.

Es considerarà contrari a la hipòtesi si, al menys, es presenten dues epígrafs que facen referència a alguna de les components axiològica, epistemològica o metodològica del procés d'ensenyament-aprenentatge com per exemple:

- Veure si es presenta, sobre tot al principi del tema, evidències o fenòmens dels efectes tèrmics o mecànics de les reaccions químiques a fi d'aproximar l'estudiant al fet empíric que es vol estudiar.
- Contrastar que els conceptes s'introdueixen per donar solució o explicació a fenòmens com a problemes que han estat expressats prèviament.
- Introduir al llarg del tema alguna aplicació on es tracte amb certa profunditat alguna relació Ciència, Tecnologia i Societat.
- Veure com entre els objectius no hi ha anàlisi macro i especialment micro del que ocorre energèticament en una reacció química.

Qüestió 7. Proposa, a títol d'exemples, dues qüestions o problemes que proposaries als estudiants per valorar l'aprenentatge d'aquest tema.

L'objectiu d'aquest ítem és veure, en les respostes, si es presenten qüestions, exercicis o preguntes de tipus conceptual memorístic on hi ha que repetir literalment la definició donada pel professor o la d'un llibre, be de tipus teòric, com per exemple: *Què és l'energia d'enllaç?* be de tipus pràctic com problemes de tipus operatiu com pot ser l'aplicació memorística de la llei de Hess, pròpies d'una visió rígida i algorítmica de la ciència.

Es considerarà contrari a la hipòtesi si, al menys, hi ha una pregunta conceptual, procedimental o axiològica com les que se indiquen a continuació: si hi ha alguna pregunta de tipus qualitatiu que impulse a donar significat a conceptes com l'energia interna, l'entalpia o a la variació d'entalpia d'un procés, com per exemple: *Per què l'entalpia d'una substància gasosa és major que l'entalpia de la mateixa substància líquida a la mateixa temperatura?*". També si es presenten preguntes conceptuais que indueixen a certa autoregulació de l'estudiant sobre concepcions alternatives conegudes com per exemple: *Un alumne diu que quan es trenca un enllaç intermolecular es desprèn calor. Raona si estàs d'acord amb aquesta afirmació?* O preguntes relatives a aspectes axiològics (relacions CTSA, interès, etc.) o de tipus procedimental on l'estudiant tinga que fer algun disseny com per exemple: *Com determinar el poder calorífic d'un combustible?*

3.7. RECAPITULACIÓ

En aquest capítol III s'ha presentat l'operativització de la primera hipòtesi principal en dues hipòtesis derivades relatives, per una part, a les dificultats de l'aprenentatge en aquest domini de la termodinàmica i termoquímica i, de l'altra, a les mancances didàctiques que es suposa existeixen en l'ensenyament convencional.

De la primera hipòtesi derivada s'han considerat les possibles dificultats que tindran els estudiants en l'anàlisi energètica de processos físics plasman-les en 4 conseqüències contrastables i en la comprensió del concepte d'entalpia d'on s'han derivat 6 conseqüències que es poden posar a prova. Els dissenys elaborats per veure si es falsen aquestes dos grups de conseqüències han consistit en dos qüestionaris de 2 i 3 ítems, respectivament, on s'ha fet especial èmfasi en cercar les explicacions dels estudiants. Els qüestionaris s'han aplicat transversalment a grups d'estudiants pre-universitaris (C.O.U.), universitaris (3r i 5é de la llicenciatura de Química) i professors de Física i Química en formació (C.A.P.). De manera complementària s'han estructurat

dues entrevistes davant de fenòmens físics i químics que sols s'han aplicat als estudiants més novells. En tots els casos l'aplicació d'aquest dissenys es farà després d'haver rebut els ensenyaments en la termodinàmica o termoquímica.

En el cas de la segona hipòtesi derivada s'ha decidit elaborar un primer disseny experimental que té com objectiu l'anàlisi crític de l'ensenyament convencional de com s'introdueixen els conceptes i les lleis d'aquest domini en un grup significatiu estadísticament de llibres de text. En aquest disseny es presenten 16 qüestions així com el corresponent protocol on s'especifiquen els criteris de valoració adoptats, i un segon disseny experimental on es enquestat directament el professorat mitjançant la formulació de 7 preguntes i els conseqüents objectius i criteris d'avaluació. Aquests dos dissenys estan pensats per posar a prova les mancances didàctiques (conceptuals, epistemològiques i axiològiques) que pressuposa la primera hipòtesi en la seua segona hipòtesi derivada, relativa a les deficiències en l'ensenyament convencional.

En el pròxim capítol està previst presentar els resultats que s'han obtingut al aplicar aquests dissenys i, conseqüentment, analitzar-los per veure si la primera hipòtesi principal d'aquesta recerca és falsada o contrastada.

CAPÍTOL IV.- PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ EXPERIMENTAL DE LA PRIMERA HIPÒTESI.

4.0. INTRODUCCIÓ

Recordem que a fi de posar a prova les conseqüències de les dues hipòtesis 1 i 2 derivades de la primera hipòtesi principal que vàrem exposar en el capítol anterior (veure en les pàgines 75 i 78 els quadres 3 i 4 sobre les dificultats d'aprenentatge i el quadre 5 sobre les mancances de l'ensenyament convencional, respectivament) s'idearen un conjunt de dissenys que s'havien d'aplicar a grups aleatoris d'estudiants, a una mostra de llibres de text i de professors en actiu i en formació. En aquest capítol IV passarem a presentar i analitzar els resultats experimentals que s'han obtingut a l'aplicar aquells dissenys i, per això, es dividirà en dos grans apartats. En el primer d'ells es presentaran i analitzaran els resultats obtinguts en l'aprenentatge de la primera llei de la termodinàmica i del concepte d'entalpia. En el segon es farà el mateix respecte als resultats que versen sobre l'anàlisi crític de la introducció d'aquesta temàtica en els llibres de text de Química de nivells preuniversitaris i universitaris.

4.1. RESULTATS OBTINGUTS A L'ANALITZAR L'APRENTATGE ACONSEGUIT PELS ESTUDIANTS EN L'ENSENYAMENT CONVENCIONAL.

D'acord amb el disseny elaborat en el capítol anterior, es presentarà, en primer lloc, els resultats de les interpretacions energètiques que proposen els estudiants als dos canvis físics seleccionats (expansió del gas d'una xeringa aïllada i evaporació adiabàtica de l'èter) i, a continuació, els corresponents a l'aprenentatge aconseguit pels estudiants sobre el concepte d'entalpia.

4.1.1. Presentació i anàlisi dels resultats de l'aprenentatge a l'interpretar energèticament dos canvis físics familiars.

Recordem que el primer grup de conseqüències contrastables posava l'èmfasi en què els estudiants tindran dificultats en analitzar qualitativament, des del punt de vista energètic, les dues situacions problemàtiques relatives als canvis ja esmentats. Com ja vàrem indicar en el capítol anterior, aquest grup de conseqüències es tractava de contrastar fent ús del primer qüestionari (Q1) i de la primera entrevista (E1).

Primerament presentarem els resultats de respostes declaratives i explicatives correctes en cadascun dels dos ítems de Q1, després passarem a contrastar les 4 conseqüències A.1 a A.4 en quatre subapartats i, finalment, en un altre exposarem els resultats de la E1.

Els percentatges de respostes declaratives encertades i el de les explicatives correctes donades al ítem 1 es presenta en la taula 1 i les corresponents a l'ítem 2 en la taula 2.

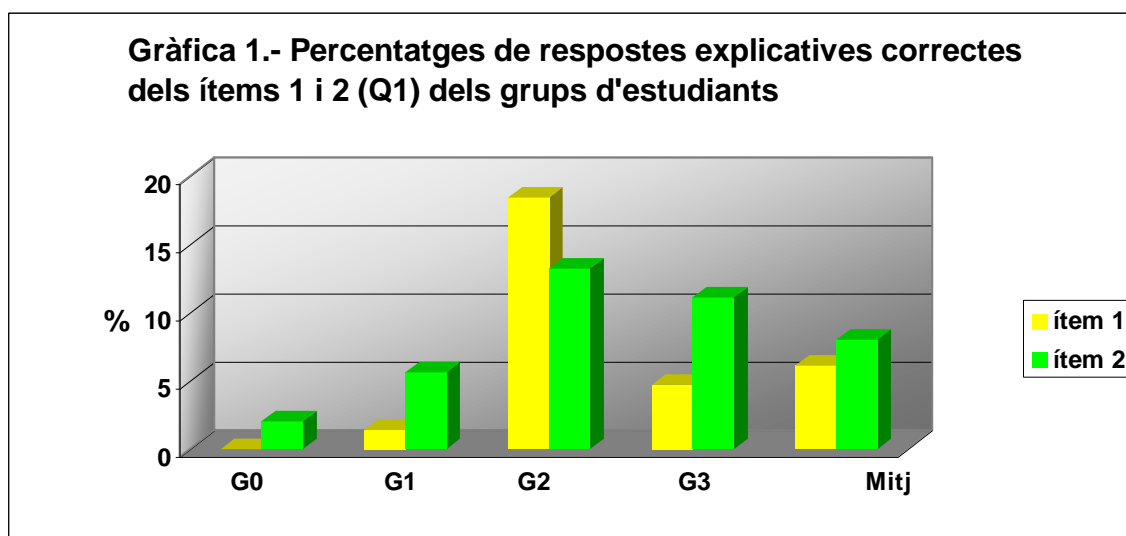
| Taula 1.- Percentatge de respostes declaratives i explicatives correctes i en blanc en l'ítem 1 de Q1. | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
| 1. El dibuix adjunt presenta una xeringa aïllada tèrmicament de l'ambient que conté un gas ideal a pressió major que l'atmosfèrica. Què li passarà a la temperatura del gas quan s'expansione? Explica amb detall el perquè de la resposta. | | | | | |
| | Percentatge de respostes (%) | | | | |
| Categoria de resposta | G0 (N =44) C.O.U. | G1 (N= 45) 3r Química | G2 (N = 55) 5é Química | G3 (N=63) C.A.P. | Mitjana |
| Respostes declaratives correctes ('T baixa') | 20 | 29,6 | 60,0 | 14,3 | 31,0 |
| Respostes declaratives correctes sense explicació | 6,0 | 5,6 | 29,0 | 4,8 | 11,4 |
| Respostes explicatives correctes o quasi correctes | 0,0 | 1,4 | 18,4 | 4,7 | 6,1 |
| No contesten | 2,3 | 2,8 | 2,6 | 4,8 | |

| Taula 2.- Percentatge de respostes declaratives i explicatives correctes dels estudiants en l'ítem 2 de Q1 | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|--|--|--|
| 2. Si fem en una càpsula de porcellana èter líquid a temperatura ambient podem comprovar que s'evapora ràpidament. Indica que li passarà a la temperatura del líquid. Justifica amb detall la teva resposta. | | | | | |
| | Percentatge de respostes (%) | | | | |
| | | | | | |

| Categoria de resposta | G0 (N=44) C.O.U. | G1 (N= 45) 3r Química | G2 (N = 55) 5é Química | G3 (N=63) C.A.P. | Mitjana |
|---|---------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
| Respostes declaratives correctes ('T baixa') | 21,0 | 28,2 | 68,4 | 52,4 | 42,5 |
| Respostes declaratives correctes sense explicació | 15,0 | 12,8 | 28,9 | 12,7 | 17,4 |
| Respostes explicatives correctes o quasi correctes | 2,0 | 5,6 | 13,2 | 11,1 | 8,0 |
| No contesten | 0,0 | 14,0 | 5,2 | 7,9 | |

Com pot observar-se els percentatges de respostes declaratives correctes dona una mitjana de 31% en el cas de l'expansió del gas i un 42,4% en el de l'evaporació de l'èter, el que fa una mitjana d'aproximadament 37 % en els dos casos. D'eixos percentatges hi ha un 11% i 17% de respostes declaratives correctes sense cap explicació la qual cosa es pot considerar un resultat pobre si tenim en compte que la majoria dels estudiants són universitaris. Però si mirem, a més, els percentatges de les respostes explicatives correctes o quasi correctes en els dos ítems vegem que són molt baixos: 6,1% i 8,0%, respectivament.

En la següent gràfica es pot observar amb més claredat aquestos resultats.



En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és quasi inexistent ja que de cada 10 estudiants sols 1 dona una explicació científica consistent en cadascuna de les dos situacions plantejades.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la primera pregunta del qüestionari Q1 que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

- ***Exemples d'explicacions considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 1:***

“Si està aislado térmicamente no suministramos calor, (el gas) se expande frente a la presión (atmosférica), realiza trabajo y por tanto baja la energía interna, que en un gas ideal es función de la temperatura” (3r Químiques, E.15)

(els aclariments entre parèntesi en lletra normal han estat posats per l'autora de la memòria)

“El gas realiza un trabajo para expandirse y la energía para realizar ese trabajo la obtiene de disminuir la temperatura”. (5é Químiques, E.35).

Les respostes explicatives que s'han considerat incorrectes són independents de si han encertat o no que el gas es refredava com es veurà en les tres exemples presentats a continuació, un amb argument macroscòpic i dos amb explicacions microscòpiques que han estat prou abundants en aquest ítem 1.

- ***Exemples de respostes explicatives incorrectes en l'ítem 1***

“La presión (del gas) al expandirse disminuye y el volumen aumenta. En $P.V = k. N.T$, si k y N son constantes, la P disminuye y el volumen aumenta (se compensan) entonces T también será constante” (5é Químiques, E.34).

(El parèntesi amb lletra cursiva és de l'estudiant E.34)

En aquesta resposta l'estudiant no s'adona que el gas interacciona amb l'exterior i tracta d'argumentar la seva resposta macroscòpica amb un reduccionisme funcional al decidir que la pressió simplement sols depèn del volum i, per que passe això, la temperatura ha de mantenir-se constant (!).

“Que la temperatura del gas habrá aumentado, porque al estar las partículas más juntas comienzan a chocar produciéndose calor lo cual hace que el gas tienda a ocupar más volumen y empuje el émbolo de la jeringa” (C.O.U., E.6).

“Si consideramos el gas como ideal tenemos que tener en cuenta que el número de partículas se mantiene constante y el volumen aumenta, por lo que el número de choques de partículas disminuye y con esto la energía calorífica desprendida, y con ello la temperatura.”(3er Químiques, E.13).

Aquestes explicacions arriben a resultats declaratius diferents però, en el fons, corresponen a arguments microscòpics versemblants en el que els estudiants apliquen incorrectament el model elemental de reacció que han après en Química. En el fons podem resumir les seqüències lògiques seguides per aquest dos estudiants com es simbolitza a continuació:

Estudiant COU, E.6: $P \uparrow \rightarrow \text{partícules més juntes} \rightarrow n^\circ \text{ xocs} \uparrow \rightarrow (Q = T) \uparrow \rightarrow V \uparrow$

Estudiant 3r Quím., E.13: $\text{Si } N = \text{cte.} \cap V \uparrow \rightarrow n^\circ \text{ xocs} \downarrow \rightarrow (E_{\text{cal}} = Q \text{ despres}) \downarrow \rightarrow T \downarrow$

Com es veu, en totes aquestes respostes incorrectes els estudiants no fan servir el primer principi, transfereixen coneixements que no són adequats (per exemple, que hi ha interacció entre les partícules d'un gas ideal), presenten raonaments de sentit comú i concepcions alternatives respecte a conceptes bàsics com calor, energia i temperatura. Més endavant s'analitzarà si aquestes dificultats que s'han presentat ací són significatives o anecdòtiques. Ara passarem a veure si els resultats obtinguts respecte a les explicacions que donen en l' ítem 2 de Q1 són convergents amb les que hem registrat en l'1.

- ***Exemples de respostes explicatives correctes o quasi correctes en l'ítem 2:***

“El sistema usa su energía interna para cambiar de estado de líquido a gas” (5é Quím.,E,28).

“Para evaporarse, cada molécula de éter necesita tomar una energía (por eso es endotérmico el proceso), y la toma, por ejemplo, de moléculas vecinas del éter, restándoles energía y haciendo que se enfríen” (3r Quím., E.22).

Aquestes són dos explicacions que s'han considerat correctes, la primera amb argument macroscòpic no massa explícit i la segona de tipus microscòpic. En aquesta última s'ha considerat correcta encara que l'estudiant no explicita que hi ha una distribució normal d'energies en el conjunt de molècules i les que s'escapen són

aquelles ‘més calentes’ (en realitat, amb més energia cinètica) i, per això, la temperatura del sistema disminueix.

- ***Exemple de resposta explicativa considerada quasi correcta en l’ítem 2***

“Disminuirà la temperatura, pues (el sistema) necesita energía que no puede venir sino de la temperatura. (El proceso) Será endotérmico porque absorbe energía” (COU, E.28).

Aquesta resposta s’ha considerat quasi correcta per què l’estudiant de COU s’adona implícitament que ha d’ésser el propi sistema el que aporte l’energia per evaporar-se part de l’èter. Nogensmenys, es veu com desconeix i, per tant no fa servir, la idea d’energia interna que confon amb la temperatura.

- ***Exemples de resposta explicativa incorrecta en l’ítem 2***

“El éter absorbe energía (en forma de calor) necesaria para evaporarse, con lo que la cápsula ‘cederá calor’ y por tanto se enfriará. Al absorber calor el éter, se tratará de un proceso endotérmico” (5é Quim., E.32)

“El proceso será exotérmico. Las partículas de un gas están libres y no necesitan energía para mantener sus enlaces porque no los tienen, así que al pasar de líquido a gas se liberará la energía que mantenía unidas a las partículas del líquido con lo que el éter disminuirá su temperatura” (COU, E,19).

La raó donada en la resposta de E. 32 és coherent amb el que s’ha dit en els arguments majoritaris emprats en l’ítem 1 segons els quals no saben delimitar els sistemes que interaccionen. Per exemple, l’estudiant E.32 de 5é sap que l’evaporació del líquid requereix energia i llavors fan intervindre un segon sistema, la càpsula, que serà la que escalfarà l’èter. En canvi, en la resposta de l’estudiant E.19 de COU trobem un raonament microscòpic prou convincent i coherent amb les respostes que s’havien donat en respostes d’aquest tipus en l’ítem 1. La primera part del raonament és correcta però no ho és la segona part ja que per aquest estudiant mantenir unides les partícules en el líquid suposa tenir una energia acumulada que s’allibera al passar a gas i, per tant, al perdre-la baixa la temperatura del líquid. És la metàfora de la molla que s’utilitza habitualment per als enllaços i en la que s’arriba a conclusions incorrectes com la de suposar que una substància líquida té major energia que el seu gas a la mateixa temperatura pels lligams intermoleculars.

A continuació, estudiarem amb més de detall si les dificultats d'aprenentatge que se suposaven en les conseqüències A.1 a A.4 apareixen de manera significativa en els arguments emprats en les explicacions incorrectes que han donat les mostres d'estudiants enquestades. Aquesta informació serà realment important pel professorat, en particular, si vol orientar el seu ensenyament amb una orientació constructivista.

4.1.1.1. Saben els estudiants delimitar els sistemes que interaccionen al fer anàlisis qualitatiu energètics d'aquests dos canvis físics?

En la taula 3 es presenta el percentatge de cadascun dels grups d'estudiants que no han sabut precisar els sistemes (ítem 1) o el sistema (ítem 2) que van a interaccionar, resultats que pretenen posar a prova la A.1. En aquests resultats de l'ítem 1 s'observa que la dificultat passa d'ésser un 95% en els estudiants de COU a un 30% en els de 5é i CAP. És a dir, hi ha una tendència positiva respecte a què sembla que va augmentant la competència dels estudiants en aquesta habilitat, conforme va augmentant el nombre de cursos rebuts. Nogensmenys, és preocupant que la tercera part dels estudiants que surten de la llicenciatura no sàprien que l'ambient actua de segon sistema sobre el que fa treball el gas de la xeringa. En canvi, l'anàlisi dels resultats de l'ítem 2 ens mostra que no passa el mateix que en l'1. Pràcticament la meitat dels estudiants independentment del curs tenen dificultat en saber que inicialment el líquid està aïllat tèrmicament i fan intervindre un segon sistema (l'ambient, la càpsula, etc.) com a font o abelló de calor sense adonar-se que són a la mateixa temperatura. Molt possiblement la falta de participació dels estudiants en anàlisis energètics de processos adiabàtics siga l'explicació. En resum, en els dos casos analitzats les mitjanes són semblants i podem afirmar que la meitat dels estudiants enquestats tenen com dificultat important el no saber delimitar el o els sistemes que interaccionen energèticament.

| Taula 3.- Percentatge d'estudiants preuniversitaris i universitaris que tenen dificultat en saber delimitar quin són els sistemes que van a interaccionar (dificultat A.1). | | | | | |
|--|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|---------|
| Item | G0 (N=44) COU | G1 (N=45) 3er Quím | G2 (N=55) 5é Quím | G3 (N=63) Prof. Form. | Mitjana |
| 1. Expansió d'un gas aïllat. | 95,4 | 62,0 | 34,1 | 31,8 | 51,1 |
| 2. Evaporació adiabàtica de l'èter | 65,9 | 47,9 | 50,1 | 65,6 | 56,2 |

A títol d'exemples qualitatius on es mostren aquestes dificultats es presenten els següents:

- ***Exemples sobre l'expansió del gas aïllat tèrmicament però no mecànicament***

"La temperatura del gas cuando se expansione será la misma que al principio, ya que como indica el enunciado el gas se encuentra aislado térmicamente, esto es, no puede producirse ningún intercambio de temperatura entre el gas y el exterior. El que el gas pueda expandirse lo único que implica es que su volumen sea mayor y por lo tanto descende la presión a la que se encuentra". (COU; E.40).

"Si está a presión alta en el estado inicial, esta presión hace que las partículas gaseosas se encuentren más cerca unas de otras teniendo así una gran cantidad de energía acumulada (por choques entre ellas, etc...). Esta energía se representa por un aumento de temperatura. Al liberarse el gas de esa presión, libera la energía acumulada, y en consecuencia su temperatura bajará." (COU; E.8)

"Un gas ideal responde a la ecuación $P.V = n.R.T$. Si la presión disminuye el gas se expande y como son directamente proporcionales P y T , T también disminuye." (3er Quím.;E.4)

Les principals raons que han explicat els estudiants venen en aquests tres exemples algunes de les quals ja s'han expressat abans. Així, l'estudiant E.4 de tercer curs de Química tracta de solucionar la qüestió operativament amb la llei dels gasos ideals com ja s'ha esmentat abans. L'estudiant E.40 de COU deriva de l'enunciat que l'aïllament tèrmic suposa l'aïllament energètic del sistema i per això la temperatura del gas es mantindrà constant i el E.8, també de COU, fa servir el model de xocs entre partícules i l'alliberament de l'energia que proporcionen que ja hem presentat per explicar que la temperatura baixa.

- ***Exemples sobre l'evaporació ràpida de l'èter.***

"El éter absorbe energía (en forma de calor) necesaria para evaporarse, con lo que la cápsula "cederá ese calor" y por tanto se enfriará. Al absorber calor el éter, se tratará de un proceso endotérmico." (5é Quím.; E.32).

"El calor que toma (el líquido) de la cápsula lo consume en la evaporación, no en variar su temperatura" (3er Quím.; E.1)

“Al escapar moléculas de la fase líquida a la fase gaseosa, la temperatura del éter es mayor que la temperatura ambiente, habiendo un flujo de calor del interior del éter al ambiente, hasta que se iguale, de modo que la temperatura disminuye en el éter líquido.” (Prof. form., E.49)

En les tres respostes, els estudiants associen l'evaporació amb l'escalfament extern del líquid (E.32 de 5é i E.1 de 3r) o bé que la temperatura de l'èter líquid ha d'ésser major que la de l'ambient (E.49 del CAP). És per això que en el raonament han d'introduir un segon sistema, la càpsula o l'ambient, que done calor o que refrede l'èter, respectivament.

En definitiva, l'anàlisi dels resultats obtinguts en les explicacions donades pels estudiants als dos ítems de Q1 mostra que delimitar els sistemes que interaccionen en aquests canvis físics es problemàtic i, per tant, la conseqüència A.1 queda contrastada. En particular, s'ha vist que en el segon ítem la meitat dels estudiants a penes evoluciona i l'ensenyament rebut no ha ajudat massa a què adquirisquen aquella competència.

4.1.1.2. Hi ha dificultats en el diagnòstic sobre com interaccionen els sistemes en els casos dels dos ítems de Q1?

En els exemples d'explicacions que hem analitzat a l'apartat anterior ha quedat palès que els estudiants no soles tenen problemes en fer l'anàlisi de quins són els sistemes que interaccionen sinó que, també, els hi ha quan han d'argumentar quins són els processos de transferència d'energia (calor i treball) que estan ocorrent. En la taula 4 s'han presentat els percentatges de cada grup d'estudiants que no s'adonen de com tenen lloc les interaccions en els dos ítems. Es tracta, doncs, de veure si es falsa o no la conseqüència A.2 pressuposada. En el cas de l'ítem 1 es centrarà l'atenció en veure si l'estudiant s'adona que el gas fa treball contra l'exterior i en l'ítem 2 si han tingut en compte que el procés és adiabàtic i el sistema està aïllat tèrmicament i, per tant, no pot cedir o absorbir calor d'un altre sistema.

Taula 4.- Percentatge d'estudiants preuniversitaris i universitaris que tenen dificultat en adonar-se dels processos de transferència d'energia en les interaccions dels sistemes (dificultat A.2).

| Ítem | G0 (N=44) COU | G1(N=45) 3er Quím. | G2 (N=55) 5é Quím. | G3 (N=63) Prof. Form. | Mitjana |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| 1.Expansió d'un gas aïllat tèrmicament | 97,7 | 83,1 | 34,2 | 71,5 | 74,1 |

| | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | |
| 2.Evaporació adiabàtica de l'èter | 58,5 | 42,3 | 50,2 | 48,1 | 48,7 |

Els resultats de l'ítem 1 indiquen que les tres quartes parts dels estudiants enquestats no s'adonen de la realització de treball del gas de la xeringa contra el medi exterior. En particular, és cridaner que els professors en formació majoritàriament hagen solucionat la qüestió suposant que el gas està pressionant contra l'exterior (sols hi havia un 31% que considerava el gas aïllat segons els resultats de la taula 3 anterior) i, no gensmenys, hi ha un 71,5% del G3 que no considera la realització de treball. Tal vegada la resposta ha estat derivada impulsivament de la informació donada en l'enunciat que el sistema estava aïllat tèrmicament. En canvi, el percentatge de resposta del G2 trobat és pràcticament el mateix que el de la taula 3, la qual cosa vol dir que hi ha una tercera part d'aquests estudiants que són coherents. És a dir, que al mateix temps que han considerat com únic sistema al gas no han tingut en compte la realització de treball contra l'ambient. Nogensmenys, s'ha de tindre en compte que aquest grup és el que més ha deixat sense cap explicació tant l'ítem 1 (37.8%) com el 2 (34.1%) com pot veure's en la taula 5 estreta de les taules 1 i 2 que s'han donat abans.

Taula 5.- Percentatges d'estudiants preuniversitaris i universitaris que no han donat explicació a la resposta declarativa o que no contesten als ítems 1 i 2 del qüestionari Q1.

| Ítem | G0 (N=44) COU | G1(N=45) 3er Quím. | G2 (N=55) 5é Quím. | G3 (N=63) Prof. Form. | Mitjana |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| 1.Expansió d'un gas aïllat tèrmicament | 2,3 | 12,7 | 37,8 | 14,4 | 16,8 |
| 2.Evaporació adiabàtica de l'èter | 15,0 | 26,8 | 34,1 | 20,6 | 24,1 |

En relació als resultats de l'ítem 2 pràcticament la meitat dels estudiants com a mitjana han tingut problemes en derivar que el procés transcorre adiabàticament i, per tant, no han aïllat tèrmicament el sistema com ja s'ha dit anteriorment. La dificultat apareix amb la mateixa intensitat en tots els grups ja que les percentatges pràcticament no presenten diferències significatives.

En resum, tant en les respostes de l'ítem 1 com del 2 és manifest les greus dificultats que tenen ja que, en general, una mitjana del 60% dels estudiants no han sabut fer l'anàlisi qualitatiu del treball i el calor implicats en aquestes dues situacions. Podem servir d'exemples d'aquestes dificultats els mateixos que s'han presentat en l'apartat anterior.

4.1.1.3. S'utilitza correctament el concepte d'energia interna en les explicacions de Q1?

En la taula 6 es presenten els percentatges de resposta on s'ha analitzat si en les explicacions als ítems 1 i 2, els estudiants han fet servir amb comprensió el concepte d'energia interna en els dos casos estudiats. Com pot observar-se la gran majoria dels estudiants, 93,5% i 91,8% en cada ítem, no fan servir o no comprenen què és l'energia interna del sistema.

| Taula 6.- Percentatge d'estudiants preuniversitaris i universitaris que no comprenen o no fan servir el concepte d'energia interna (dificultat A.3). | | | | | |
|---|---------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---------|
| Item | COU (N=44) | 3er Quím. (N=45) | 5é Quím. (N=55) | Prof. Form. (N=63) | Mitjana |
| 1. Expansió d'un gas aïllat tèrmicament | 95,5 | 98,6 | 81,6 | 98,4 | 93,5 |
| 2. Evaporació adiabàtica d'èter | 100 | 95,8 | 84,2 | 87,3 | 91,8 |

En el cas de l'expansió del gas de la xeringa molt poques respostes expliciten la idea que l'energia interna és una funció del sistema quan interacciona encara que s'ha rebaixat el criteri de valoració emprat. Per exemple, s'ha considerat com correcta o quasi correcta quan s'utilitza l'energia interna en la següent resposta:

“La energía térmica (del gas) fue empleada en el trabajo de expansión”. (5é Quím.; E.11)

on s'interpreta que l'estudiant quan esmenta 'l'energia tèrmica' significa el mateix que l'energia interna del gas. Les raons d'aquest alt percentatge de respostes negatives es deuen que la major part solament utilitza les variables del gas que apareixen en l'equació d'estat i els pocs que introdueixen l'energia interna moltes vegades la

interpreten com la temperatura o, pitjor encara, amb el calor despresa o absorbida. Un exemple de l'ús incorrecte de l'energia interna és el següent:

“Si el conjunto está aislado térmicamente: $\Delta U = Q - W$. Por tanto como el trabajo lo realiza el sistema ($\Delta V > 0$; $P \cdot \Delta V > 0$) su signo es negativo, por lo tanto como ΔU no varía (U es constante), $Q_2 < Q_1$ y $\Delta Q < 0$. Por tanto $T_2 < T_1$ con lo que el gas se enfriará. Es decir, para mantener la energía interna, si el gas realiza un trabajo y está aislado térmicamente, el gas se enfría.” (Prof. Form.; E.5)

Aquest estudiant del CAP introdueix el primer principi per resoldre la situació, s'adona correctament que el sistema fa treball contra l'exterior però alhora d'utilitzar l'energia interna ho fa erròniament doncs diu que es manté constant. En canvi, li dona a el calor significat de funció d'estat. Sembla com si identificara ΔU amb la calor i aquesta fora la raó que mantinguera constant l'energia interna.

En el cas de l'evaporació de l'èter, dels 233 estudiants enquestats sols hi ha 17 respostes que introdueixen l'energia interna correctament o quasi correctament, com en el següent exemple:

“Se enfría (el gas) porque las moléculas de mayor energía son las que se evaporan” (Prof. form.; E.58)

Encara que, en aquesta resposta, no s'explicita la idea de energia interna s'ha considerat que ho fa implícitament quan escriu 'las moléculas de mayor energía', si bé les molècules no poden 'evaporar-se' (transferència de propietats macro-micro). D'altra banda, en les respostes considerades incorrectes es manifesta de manera evident com molts dels estudiants no utilitzen l'energia interna i en el seu lloc fan servir explícitament la temperatura, com per exemple:

“Baja la temperatura; aprovecha la propia temperatura del éter líquido para evaporarse, digamos que le quita 'calor' al éter líquido”. (Prof. form.; E.37)

En aquest text es veu clarament que no apareix la idea d'energia interna i, en canvi, utilitza la temperatura i la metàfora de la 'calor' del líquid en el seu lloc.

En resum, els resultats obtinguts en els ítems 1 i 2 han mostrat que es contrasta la conseqüència A.3 exposada en el disseny experimental del capítol III i que quasi tots els estudiants enquestats o no saben que l'energia interna és una variable d'estat del sistema o quan ho saben no tenen molt clar quin és el seu significat.

4.1.1.4. Els estudiants utilitzen correctament el model atòmic-molecular en l'explicació d'aquests canvis físics?

Abans d'entrar amb quina eficàcia utilitzen els estudiants el model atòmic-molecular de la matèria en els ítems 1 i 2, cal preguntar-se prèviament si realment el fan servir i, després, passar a veure si l'utilitzen correctament. És per això que, en primer lloc, es presenten en la taula 7 els resultats que mostren en quina quantitat utilitzen els estudiants explicacions microscòpiques i macroscòpiques en les explicacions que donen i així poder comparar-los.

Aquests resultats mostren que les explicacions macroscòpiques tant en l'ítem 1 com en el 2 són majoritàriament utilitzades que les microscòpiques pels estudiants. En el cas de l'ítem 1 el model atòmic és utilitzat en una proporció aproximada d'1:4 respecte a les explicacions energètiques microscòpiques mentre en l'ítem 2 aquesta raó baixa a ésser 1:10 aproximadament. Els casos més favorables d'ús atomístic són els dels grups G0 i G2 (5é de Química) que arriben a utilitzar-lo fins un 20 i 21%, respectivament.

Taula 7.- Percentatge d'estudiants que utilitzen explicacions atomistes i macroscòpiques en les respostes als dos ítems del qüestionari 1

| Item | G0 (N=44) COU | G1 (N=71) 3er Quim. | G2 (N=55) 5é Quim. | G3 (N=63) Prof. Form. | Mitjana |
|-----------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| Explicacions micro en ítem1 | 20,0 | 15,8 | 21,0 | 4,2 | 15,3 |
| Explicacions macro en ítem1 | 70,0 | 73,2 | 41,5 | 76,2 | 65,2 |
| Explicacions micro en ítem2 | 20,0 | 6,3 | 10,5 | 9,5 | 11,6 |
| Explicacions macro en ítem2 | 71,0 | 53,5 | 50,1 | 76,3 | 62,7 |

Però que s'utilitze el model atòmic no és sinònim que les respostes siguin correctes. En la taula 8 s'exposen els percentatges dels estudiants que han emprat el model atòmic-molecular incorrectament i es pot observar que pràcticament coincideixen amb els de la taula 7. És a dir, solament en el cas de l'evaporació de l'èter els grups G1 i G3 hi ha unes diferències del 4,9% i del 10,5% de les respostes a favor de les explicacions correctes o quasi correctes.

Taula 8.- Percentatge d'estudiants que utilitzen incorrectament el model atòmic-molecular degut a l'aparició de concepcions alternatives i/o raonaments de sentit comú.

| Item | G0 (N=44) COU | G1 (N=45) 3er Quim. | G2 (N=55) 5é Quim. | G3 (N=63) Prof. Form. | Mitjana |
|---|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| 1. Expansió d'un gas aïllat tèrmicament | 20,0 ⁽¹⁾ | 15,8 ⁽¹⁾ | 21,0 ⁽¹⁾ | 4,2 ⁽¹⁾ | 15,3 |
| 2. Evaporació adiabàtica d'èter. | 20,0 ⁽¹⁾ | 1,4 | 0,0 ⁽²⁾ | 8,0 | 7,4 |

⁽¹⁾ Totes les explicacions microscòpiques escrites pel grup son incorrectes

⁽²⁾ Totes les explicacions microscòpiques escrites pel grup son correctes.

En resum, de 414 respostes possibles que podien haver donat els 207 estudiants enquestats sols hi ha hagut 56 (13,5 %) explicacions atomistes entre els dos ítems i sols hi ha 8 (1,9%) respostes correctes (3 en G1, 4 en G2 i 1 en G3) en l'evaporació de l'èter. Així doncs, es pot acceptar la contrastació de la A.4 relativa a què els estudiants a penes utilitzen el model atòmic en aquestes explicacions i els pocs que els empren solen utilitzar-los erròniament. Passem a veure quins han estat les principals dificultats que s'han presentat.

Una de les principals dificultats que s'han presentat i que ja s'han vist anteriorment ha estat la de transferència inadequada del model elemental de reacció a l'explicació microscòpica d'aquests dos canvis físics. Un exemple prototípic en el cas de l'expansió del gas és el següent:

"Porque al aumentar el volumen y expansionarse el gas disminuye la frecuencia de choques entre las moléculas y por tanto (disminuye) la temperatura." (3er Quím.; E.3)

i un segon més explícit, encara que s'arriba a una conclusió contrària, és:

"La temperatura del gas aumentará porque las moléculas de este gas estarán más libres y por lo tanto aumentará la velocidad de las moléculas para provocar choques más eficaces. De esta forma es como influye la temperatura en la velocidad de las reacciones." (COU;E.5)

Les dues respostes tenen com argument comú que el major volum del gas fa que, en un cas, disminuïska la freqüència dels xocs i baixe la temperatura i, en l'altre, que a l'haver-hi més espai lliure les molècules es mouen més aprsa i augmenten les col·lisions pujant la temperatura.

En l'evaporació de l'èter algunes raons emprades repeteixen el model de reacció com en el següent exemple:

“La temperatura disminuirá ya que las moléculas del gas estarán más distantes unas de otras y el choque entre ellas será menor por lo que la temperatura disminuirá” (3r Quím. E.5).

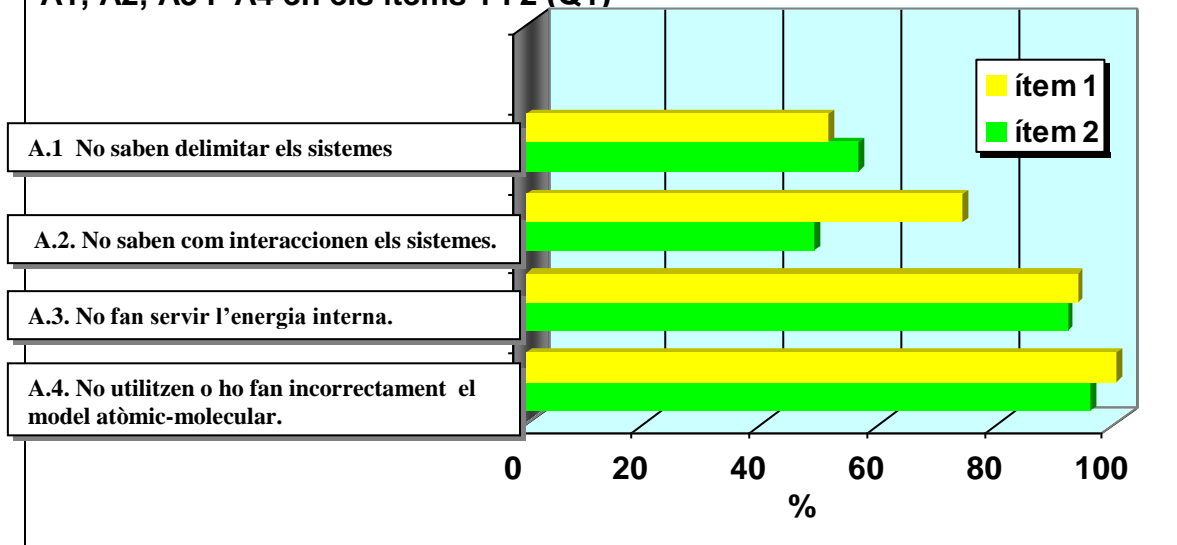
on el pas de líquid a gas implica major distància entre molècules, menys xocs i disminució de temperatura. També surt una altra raó ja esmentada abans en la qual el trencament d'enllaços fa que hi haja despreniment de calor i baixe la temperatura, com per exemple:

“La temperatura disminuye ya que es un proceso exotérmico porque se desprende energía procedente de la rotura de enlaces” (COU, E.34).

En definitiva, ha quedat palés que als estudiants enquestats els resulta molt difícil la utilització correcta del model atòmic de la matèria en l'explicació energètica dels canvis físics presentats com augurava la conseqüència A.4. És més, els pocs que decideixen utilitzar el model atòmic, preferentment dels grup G1 i G2, ho fan transferint inadequadament el model elemental de col·lisions o mitjançant idees equivocades com l'associació trencament d'enllaços i energia. Ara passarem a donar compte del que ha passat en el disseny basat en les entrevistes E1.

A mode de resum dels resultats obtinguts al comprovar les conseqüències A.1 a A.4 es presenta la gràfica 2, on s'han agafat les mitjanes per a comparar.

Gràfica 2.- Percentatges de mitjana d'estudiants que tenen les dificultats A1, A2, A3 i A4 en els ítems 1 i 2 (Q1)



4.1.1.5. Com interpreten els estudiants de 2ón de Batxillerat els efectes tèrmics de dos fenòmens físics?

Es tracta de veure si les anàlisis fetes en els resultats de les enquestes són consistents amb els resultats obtinguts l'entrevistar a 12 estudiants pre-universitaris davant de l'escalfament del sistema quan comprimim un bombí de bicicleta, procés contrari al de l'ítem1 de Q1, i del refredament de l'èter etílic quan s'evapora (entrevistes E1). Aquestes entrevistes foren gravades en àudio mitjançant una cassette i transcrites posteriorment per fer la corresponent anàlisi. Exemples complertes d'aquestes entrevistes es poden veure a l'annex I de la memòria. Ací sols presentarem fragments de dues de les entrevistes. El primer fragment és el començament de l'entrevista feta a Maria que es mostra a continuació:

1. *Entrev.:* La primera experiència és inflar la càmera de bicicleta amb un bombí. Què
2. *creus que passarà amb l'aire que hi ha dins de la càmera després d'algunes*
3. *embolades? S'escalfarà, es refredarà o seguirà a la mateixa temperatura?*
4. *Maria :* A l' inflar més augmentarà la pressió (del gas) i la temperatura augmentarà.

Com es veu Maria ja té format un referent empíric d'aquesta situació ordinària i sap que el bombí i el gas s'escalfaran i ho explica dient que l'augment de temperatura és degut a l'augment de la pressió. És a dir, d'entrada redueix l'anàlisi a un únic sistema (dificultat A.1) i no es considera el segon sistema que interactua amb el gas (la persona que està inflant la càmera) i, per tant, tampoc té en compte el treball de compressió que es fa contra el sistema (dificultat A.2). Aquest argument ha estat utilitzat per 8 de les 12

entrevistes fetes i de totes elles només una estudiant va donar una explicació considerada correcta com la resposta d'Anna a la mateixa pregunta de l'entrevistadora esmentada abans:

5. *Anna : La temperatura no va a variar. Però li aportes energia en forma mecànica,*
6. *llavors se suposa que l'aire comença a moure's i si les partícules es mouen*
7. *doncs li aportes un calor i el sistema absorbeix calor, el sistema s'escalfarà,*
8. *la temperatura augmentarà.*

És una interpretació prou correcta encara que, d'entrada, sembla que hi ha una contradicció entre la primera proposició de la línia 5 i la darrera de les línies 7 i 8. Anna diu, al principi, que la temperatura no va a variar perquè segurament pensa que no hi ha cap focus de calor escalfant la càmera. Explica energèticament de forma correcta la interacció entre la persona i el sistema en la segona proposició de la línia 1. Presenta un model estàtic de partícules de l'aire quan diu que 'se suposa que l'aire comença a moure's' però explica, clarament, que la persona 'li aporta calor', és a dir, que el treball que fa la persona serveix per moure les partícules de l'aire i això implica donar calor. Anna en aquesta proposició maneja implícitament l'equivalència entre calor i treball molecular quan finalment justifica que el sistema escalfarà.

Les mateixes dificultats de l'anàlisi com, per exemple, saber quins són els sistemes o les parts del sistema que interaccionen, la podem veure reflectida al final de la següent entrevista realitzada a Paula quan experimenta la vaporització de l'èter etílic en càpsula oberta:

9. *Entrev. : Com es pot explicar que s'haja refredat el sistema?*
10. *Paula : Pues se suposa que s'anirà evaporant, a l'anar evaporant-se pues està*
11. *baixant la temperatura ja que estarà absorbint energia per l'evaporació.*
12. *Entrev. : I d'on absorbeix aquesta energia*
13. *Paula : De l'aire, de l'ambient.*

Apareix ací també la problemàtica de les interaccions entre les parts d'un sistema que transcorre de manera adiabàtica. En efecte, com es veu en les línies 10 i 11, la resposta declarativa és correcta, però quan s'aprofundeix en l'explicació, al preguntar-li d'on procedeix l'energia, llavors utilitza el medi ambient com el segon sistema en el qual interacciona. Paula sap que l'evaporació d'un líquid requereix calor i que, en aquest cas, es subministrat per una font externa al propi sistema com pot ésser l'ambient. Així doncs, de les 12 entrevistes sobre aquest fenomen no hi hagut cap

resposta que introduïska la idea d'energia interna del sistema per justificar que es refrede el líquid.

En resum, els resultats de les entrevistes davant d'aquests fenòmens són convergents amb els resultats de les enquestes i mostren com tornen a aparèixer les dificultats esmentades als subapartats anteriors. A continuació es presentaran els resultats relatius a la comprensió del concepte d'entalpia en canvis físics i químics. Començarem per les entrevistes E2 fetes als mateixos estudiants de segon de Batxillerat sobre tres canvis químics.

4.1.2. Presentació i anàlisi dels resultats d'aprenentatge sobre el concepte d'entalpia.

Aquest apartat té com a finalitat presentar els resultats obtinguts en els diferents dissenys experimentals que tracten de posar en qüestió les conseqüències derivades de la hipòtesi que fan referència a les dificultats d'aprenentatge que es presenten en el concepte d'entalpia relatius i que van des de la B.1 a la B.6 exposades en el capítol III. Atenent al tipus de disseny i a l'objectiu perseguit hem dividit aquest apartat en distints subapartats que aborden els següents continguts:

- Entrevistes davant de fenomen per veure com interpreten estudiants de segon de Batxillerat els efectes tèrmics en reaccions químiques.
- Enquestes per analitzar quins significats atribueixen els estudiants pre-universitaris i universitaris a l'entalpia de formació d'una substància, a com depèn de l'estat físic i si li donen caràcter de funció d'estat a aquest concepte.

4.1.2.1. Com interpreten estudiants de segon de Batxillerat els efectes tèrmics en processos físics i químics ?

La primera conseqüència B.1 d'aquesta part del disseny referia que els estudiants novells tindran dificultats en la interpretació dels efectes tèrmics que es produeixen en les reaccions químiques i, fins i tot, també a l'haver de classificar macroscòpicament els processos en exotèrmics i endotèrmics. Com ja es va tractar en el capítol 3, la contrastació d'aquesta hipòtesi la farem a partir dels resultats obtinguts amb la segona entrevista, E2, a 12 alumnes de 2on de Batxillerat davant de tres processos físico-químics com la dilució d'àcid sulfúric, la dissolució de clorur amònic i la neutralització de sosa amb àcid clorhídric. Recordem que l'entrevista comença amb una fase de predicció sobre com es pot classificar tèrmicament el fenomen, és a dir, si s'espera que el procés siga exotèrmic o endotèrmic. Després ve la realització de l'experiment i una

vegada l'estudiant ha adquirit eixe referent empíric finalitza l'entrevista amb la fase de cercar una explicació científica.

En la taula 9 es presenten els resultats de respostes declaratives encertades que s'han obtingut en la primera fase i on es pot veure que aquests estudiants tenen certa experiència adquirida en el cas particular de la dilució de l'àcid sulfúric perquè segurament l'han manejat al laboratori. No passa el mateix en els altres casos menys coneguts.

| Taula 9.- Número de respostes encertades referides al coneixement empíric de si el fenomen és endotèrmic o exotèrmic (N =12). | |
|--|----------------------------------|
| <i>Fenomen observat</i> | <i>Ne. Respostes encertades.</i> |
| Dilució d'àcid sulfúric. | 9 |
| Dissolució de clorur amònic | 4 |
| .Neutralització de sosa amb clorhídric. | 3 |

Nogensmenys, encara que el referent empíric el tinguen clar en el cas de la dilució del sulfúric això no significa que no hi haja dificultats en l'explicació d'aquest coneixement com es pot veure clarament en l'entrevista feta a Clara:

14. Prof.: Què penses que ocurrerà, des del punt de vista energètic, quan mesquem àcid sulfúric amb
 15. aigua? El fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no variarà la temperatura?.
- 16 Clara: Desprendrà calor, llavors serà exotèrmica.
17. Prof.: Anem a comprovar-ho. Què haurem de fer per tal de veure si és exotèrmica?
18. Clara: Be, doncs haurien de ficar un termòmetre, encara que si el toquem (el got) podem
 19. veure que crema. Per comprovar si varia la temperatura la mesurem abans d'afegir-li
 20. l'àcid i després. L'aigua té una temperatura de 21,5 °C i quan li afegim l'àcid vegem
 21. que puja a 25°C.
22. Prof.: Per què puja la temperatura?
23. Clara: Puja la temperatura perquè ha absorbit ... no, perquè desprèn calor.
24. Prof.: Desprèn calor o no?
25. Clara: Si, desprèn calor, s'escalfa.
26. Prof.: I per què puja doncs la temperatura?
27. Clara: Perquè absorbeix calor... quin embolic!. Si desprèn calor es gela, si absorbeix calor
 28. s'escalfa. Absorbeix calor.
- 29 Prof. : I d'on prové eixa calor?
- 30 Clara: De la reacció química.

Primerament l'estudiant sembla que té clar el referent empíric doncs diu en la línia 16: 'Desprendrà calor llavors serà exotèrmica', perquè segurament ha tingut ja certa experiència a l'haver fet alguna pràctica de química. També sap el procediment per a

comprovar-ho (línies 18 a 19) i realitza l'experiència on observa l'augment de temperatura de 21 a 25°C (línies 20 i 21). Però quan se li pregunta perquè puja la temperatura comencen a sortir alguns problemes doncs dubta dient en la línia 23: 'Puja la temperatura perquè ha absorbit... no, desprèn calor.'. El dubte s'explica perquè, tal vegada, pensa que si un sistema s'escalfa és perquè necessàriament ha d'haver-hi un segon que li dona calor i ací no hi ha cap encenedor que estiga escalfant-ho. Per això quan es torna a demanar explicació de la pujada de temperatura diu: 'Perquè absorbeix calor...quin embolic!. Si desprèn calor es gela, si absorbeix calor s'escalfa. Absorbeix calor'.(Ella veu que el sistema s'ha escalfat i, per tant, ha d'absorbir calor d'algun altre i com no l'hi ha diu '...quin embolic!'). I quan l'entrevistadora segueix preguntant: 'D'on ix eixa calor?'. Troba la solució en la reacció química.

En aquesta descripció del fenomen es veu com funciona amb el raonament seqüencial 'el sistema està calent', 'llavors desprendrà calor' i 'el procés serà exotèrmic'. No cal fer l'anàlisi dels sistemes que interaccionen ni tampoc com ocorre el procés sinó la idea simple que 'si quelcom s'escalfa és perquè algú ho fa ... i després es gela'. El problema sorgeix quan no hi ha cap focus que escalfi i el líquid resulta escalfat, quan sols hi ha un únic sistema visible i cal explicar el que passa. En aquest cas la solució encertada la troba en 'la reacció química' com una espècie de 'caixa negra' de la que ix la calor inicialment.

Aquesta forma de pensar la trobem també en el cas de la dissolució endotèrmica del clorur d'amoni com es pot veure en el següent fragment de l'entrevista realitzada a Marc:

31. Prof.: Què penses que ocurrerà, des del punt de vista tèrmic, al dissoldre clorur amònic
32. en aigua. El fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no variarà la temperatura?
33. Marc: Augmentarà la temperatura, serà endotèrmica.
34. Prof.: Anem a comprovar-ho.
35. Marc: Disminueix la temperatura. El medi agafa calor.

L'expectativa inicial de Marc és que la transformació serà: 'endotèrmica. Augmentarà la temperatura' (línia 33). Aquesta intuïció és convergent amb el model mental expressat per Clara en l'entrevista anterior. Després veu que ocorre el contrari i ràpidament dona una explicació quan en la línia 35 diu: 'El medi agafa calor'. Es a dir, com que el sistema es gela ha de donar calor al medi ambient sense adonar-se que el procés és quasi adiabàtic i, per tant, el sistema està aïllat tèrmicament, com passava en l'evaporació de l'èter. A més, a més, els estudiants tenen la dificultat procedimental de no saber classificar els processos en exotèrmics o endotèrmics perquè no saben que s'ha

de comparar l'estat tèrmic final del sistema amb l'inicial, i per a comparar-los cal preguntar-se si el sistema ha d'emetre o d'absorbir calor per a tornar a tenir la temperatura inicial. En resum, mentre en el cas de Clara la calor sorgida s'explica amb la reacció química, en el de Marc el refredament de la dissolució es justifica en base a l'escalfament del medi ambient .

En el cas de la neutralització de la sosa amb el clorhídric és el de menys respostes declaratives encertades. En les no encertades abans de fer l'experiència, s'ha trobat la mateixa resposta que la temperatura es manté constant en base a un argument animista en el qual s'atribueixen propietats tèrmiques segons la natura de les substàncies i la neutralització de les propietats àcides o bàsiques d'aquestes comporta una 'neutralització' de les seves temperatures. És a dir, es considera que l'àcid (tal vegada, per ésser una substància molt corrosiva) està a temperatura superior que la base i al mesclar-les s'arriba a la d'equilibri que se suposa serà la de l'ambient. Un exemple d'aquesta explicació la tenim en el següent fragment de l'entrevista feta a Marta:

36. Prof.: La següent experiència és la neutralització del clorhídric amb sosa, què ocorrerà
37. des del punt de vista energètic?. El fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no
38. canviarà la temperatura?
39. Marta: L'àcid tindrà una temperatura més alta i la sosa mes baixa i a l'ajuntar-los la
40. temperatura roman constant, a temperatura ambient.
41. Prof.: Anem a mesurar la temperatura primer de l'àcid?
42. Marta: Ah! pues no està calent, està a 20°.
43. Prof.: I la temperatura de la sosa?
44. Marta: També a 20°.
45. Prof.: Anem a fer l'experiència.
46. Marta: La temperatura puja
47. Prof.: Com es pot explicar que s'haja escalfat el sistema?
48. Marta: Perquè està reaccionant un anió amb un catió, es produeix aigua i clorur sòdic. Hi
49. ha un xoc molt fort entre les molècules i per això augmenta la temperatura.
50. Prof.: Ara anem a fer una altra experiència que és ficar àcid sulfúric a l'aigua. Com creus
51. que serà el fenomen exotèrmic, endotèrmic o no canviarà la temperatura?
52. Marta: No fa falta ni que ho tires sé que és exotèrmica, s'escalfa i pot arribar a bullir.

(Després de fer l'experiment....)

53. Prof.: Com es pot explicar que s'haja produït calor?
54. Marta: Pues a la reacció entre un àcid i l'aigua i...no me'n recorde molt...però més que res
55. seran les molècules que a l'interaccionar i al 'unir-se i desunir-se... pues augmenta
56. la temperatura. Les molècules es mouen molt ràpid i el calor està produït pel xoc
57. entre les molècules de les substàncies i els enllaços que es trenquen i es formen

En definitiva, l'anàlisi dels arguments que els estudiants fan servir per explicar què ocorre en aquests fenòmens quan fan les experiències ens mostra que:

- de les 36 explicacions possibles que podien donar els 12 estudiants en la darrera fase de cada entrevista hi ha hagut 16 casos sense resposta (44%);
- en les 20 explicacions restants no mai s'ha fet servir l'entalpia o la variació d'entalpia del procés en els arguments;
- d'aquestes explicacions 12 han atribuït els efectes tèrmics observats a la mateixa 'reacció química' de manera genèrica i sense més aclariments,
- finalment, sols en 8 casos s'han donat explicacions atomistes dels efectes tèrmics
- dels processos, de les quals 4 donen com raó fonamental l'existència de 'xocs molt forts entre molècules' (com l'explicació que dona Marta en el cas de la neutralització), altres 3 respostes ho justifiquen amb 'la separació de les molècules' i sols hi ha 1 explicació quasi correcta basada en el xoc de les molècules, el trencament i formació d'enllaços' com l'ha donat la mateixa Marta, al final, en la dilució de l'àcid sulfúric.

Així doncs, les entrevistes corroboren les greus dificultats que tenen aquests estudiants

pre-universitaris en la interpretació energètica dels efectes tèrmics que es produeixen en els canvis presentats, dificultats que van des de la classificació dels processos en exotèrmics i endotèrmics (B.1) fins a la nul·la introducció del concepte d'entalpia (B.2) i absència d'explicacions mecanicistes (B.6).

4.1.2.2. Quins significats atribueixen els estudiants al concepte d'entalpia d'un sistema?

Recordem que les conseqüències B.2 a B.6 afirmaven que els estudiants preuniversitaris i universitaris tindrien dificultats en donar una significació qualitativa de l'entalpia d'un sistema atribuïnt-li el caràcter de funció d'estat relacionada amb l'energia interna i el potencial P.V quan interacciona amb un segon a pressió constant. Per posar a prova aquestes conseqüències s'ha elaborat el qüestionari Q2 que consta de tres ítems que s'ha aplicat a diferents grups. A continuació s'aniran presentant successivament els resultats de cada ítem.

Començarem per l'ítem 1 on es pregunta directament als grups G0 i G3 què és l'entalpia de formació d'una substància. En la taula 10 són els resultats d'aquest ítem.

Taula 10.- Percentatge de respostes correctes dels grups de COU (N =44) i de CAP (N = 63) sobre el concepte d'entalpia de formació d'una substància (ítem 1 de Q2).

| 1. Què entens per entalpia de formació d'una substància química? | | |
|--|-----------------------|----------------------|
| Nivell dels Estudiants | % Respostes correctes | % Respostes en blanc |
| COU (N=44) | 18,2 | 11,4 |
| Professors en formació. (N = 63) | 36,2 | 6,4 |
| Mitjana | 27,2 | |

Com es pot observar en els resultats de la Taula 10, el concepte qualitatiu d'entalpia no està massa clar per als estudiants de COU ni tampoc per als professors en formació. Els percentatges de respostes correctes o quasi correctes són prou baixos, el 18,2% i 36,2%, respectivament. En el cas dels estudiants de COU, la majoria (56,8%) donen respostes incorrectes del tipus següent:

"La entalpia es el calor de reacció que desprende o absorbe una sustancia química para poder reaccionar superando la energía de activación. La reacción ha de ser a presión constante. $q_p = \Delta H$." (E.15; COU)

on es redueix el significat d'entalpia al de la calor que necessita la substància per reaccionar mesclant el nivell de representació macroscòpica amb el microscòpic i també el context termodinàmic amb el cinètic. En les respostes incorrectes dels professors en formació (57,4%) hi ha més diversitat d'arguments, ja que aquestos coneixen més expressions per al càlcul de l'entalpia. Així, un terç d'aquestes respostes (19%) identifiquen entalpia de la substància amb la calor de la substància o de la reacció (la major part de les vegades sense dir quin és el procés i les condicions de P i T) com, per exemple:

"Entalpia es la energia en forma de calor que contiene esa sustancia". (E.52,CAP)

Un altre terç (19%) d'aquestes respostes confonen l'entalpia amb l'energia interna del sistema o la seua variació com la següent:

"Función de estado que nos indica los valores energéticos necesarios para la formación de los compuestos. Es la variación de energía interna de una sustancia cuando se produce un proceso a presión constante"(E.11, CAP).

En la primera proposició d'aquesta resposta sembla que l'estudiant té una significació qualitativa correcta del concepte encara que mal expressada, però quan tracta de clarificar-la més, en la segona proposició, tampoc s'acaba de comprendre. Una interpretació del que escriu l'estudiant pot ésser que recorde part de la definició operativa d' ΔH (com $\Delta U + P \cdot \Delta V$) i la mescle amb un altre record de part de la definició procedimental d' ΔH com la calor que es produeix en un procés a P i T constants. És a dir, la resposta donada es pot interpretar com el record de dues memoritzacions parcials de les definicions conceptual i procedimental d' ΔH que s'han lligat per aquest estudiant.

I la tercera part restant (19,4%) de les respostes incorrectes dels estudiants del CAP escriuen la fórmula memoritzada de l'entalpia d'un sistema ($H = U + P \cdot V$) o de la variació d'entalpia sense cap explicació.

L'anàlisi dels resultats d'aquest ítem 1 mostra clarament que la majoria dels estudiants enquestats, tant els de COU com els del CAP, tenen dificultats en comprendre el significat qualitatiu de l'entalpia d'una substància química bé perquè han après memorísticament la definició matemàtica i no li donen cap explicació plausible o bé perquè la conceben com la calor de la substància, l'energia interna de la substància o l'energia d'activació del procés com apuntava la conseqüència B.2. D'altra banda, en aquelles definicions procedimentals correctes o incorrectes que han definit l'entalpia com la calor de reacció a pressió constant no mai s'ha esmentat el camp de validesa d'aquesta definició (conseqüència B.3). També s'ha vist en el conjunt de respostes (correctes o incorrectes) que no hi ha pràcticament cap explicació microscòpica del concepte d'entalpia tal com passava en les entrevistes E.2 (conseqüència B.6). Passem a veure els resultats de l'ítem 2.

En la taula 11 es donen els percentatges de respostes declaratives y explicatives correctes de l'ítem 2 així com el de les declaratives correctes sense explicació.

| |
|--|
| Taula 11.- Percentatge de respostes declaratives i explicatives correctes dels grups d'estudiants sobre com varia l'entalpia d'una substància al canviar el seu estat físic (ítem 2 de Q2). |
|--|

| 2. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura: $\text{H}_2\text{O (g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (l)}$ Quin estat de la substància tindrà major entalpia?. Explica la teua resposta. | | | | | |
|--|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
| | Percentatge de respostes (%) | | | | |
| Categoria de resposta | G0 (N =44) C.O.U. | G1 (N=45) 3r Química | G2 (N = 55) 5é Química | G3 (N=63) C.A.P. | Mitjana |
| Respostes declaratives correctes ('el gas') | 25,0 | 42,4 | 55,0 | 55,5 | 44,5 |
| Respostes declaratives correctes sense explicació | 0,0 | 8,6 | 18,4 | 4,8 | 8,0 |
| Respostes explicatives correctes o quasi correctes | 11,3 | 14,1 | 20,0 | 35,0 | 20,1 |

La mitjana de percentatges d'argumentacions correctes o quasi correctes que hi ha a la taula 11 és d'1 estudiant per cada 5 (20%) que respon aquest ítem, si bé hi ha una tendència positiva a mesura que augmenta el nombre de cursos universitaris rebuts. Nogensmenys, el sostre del 35% en G3 és prou baix. La majoria d'aquestes explicacions correctes parteixen del coneixement empíric que la transformació inversa del líquid en gas requereix energia o calor i, per tant, pensen, de manera reversible, que al fer el canvi contrari hi haurà "d'absorbir-se energia o calor del gas". Eixe és el coneixement que mostra la majoria de les respostes explicatives que s'han considerat correctes i que són el 20,1% front al 44,5% de mitjana de respostes declaratives correctes. En cap de les respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes es fa referència a l'entorn com sistema amb el qual interacciona el sistema gas-líquid. Malgrat això s'ha suposat que són correctes quan s'està utilitzant, de manera implícita, un significat d'entalpia com energia, o que la ΔH para passar de gas a líquid "cal absorbir-la" o que per a passar de líquid a gas "cal desprendre-la". En algunes d'aquestes respostes declaratives quasi correctes trobem errors conceptuals com, per exemple, en la següent: *"La entalpia es el nivel energético en cada fase. Partiendo de que es necesario suministrar energía para llevar un líquido a su temperatura de ebullición en estado gaseoso, cabe esperar que la entalpia del estado gaseoso sea mayor"*.(E.13; 3er de Químiques).

Aquesta resposta explicativa s'ha considerat quasi correcta encara que l'estudiant comet un error conceptual al confondre l'energia de canvi d'estat ('calor latent') amb l'energia necessària per pujar la temperatura del líquid ('calor sensible').

Com en aquest exemple, la majoria d'explicacions correctes tenen una argumentació macroscòpica i, tal com deia la conseqüència B.6, és d'esperar que a penes hi hagen explicacions atomistes. En efecte, s'ha vist que només en el 2% de les respostes explicatives apareixen algunes argumentacions correctes de tipus microscòpic, on es manifeste explícitament que la ΔH del procés es pot considerar com un balanç energètic d'enllaços formats i trencats en les substàncies que entren en joc, per exemple:

"Las moléculas del agua (gaseosa) se unen para formar agua líquida y ello implica la liberación de energía para formar los enlaces (por puente) de hidrógeno entre las moléculas. $\Delta H < 0$ " (E.22; 5é Quím.).

Quant a les respostes explicatives considerades no correctes es basen majoritàriament en presentar la definició operativa sense cap significat qualitatiu i quan tracten de donar-lo apareixen concepcions inadequades o raonaments de sentit comú o, pitjor encara, sense sentit físic o químic, com per exemple:

"Según la definición de entalpía $H = U + P.V$ a $P = cte$ y para un mismo volumen de gas y líquido, el gas tiene mayor energía interna porque sus moléculas pueden moverse con mayor libertad que las del líquido.

E intern = Etras. + Erot + Evib." (E.8; 3er Químiques)

" $H = U + P.V$. Habrá que disminuir P para pasar de gas a líquido. Por tanto para el líquido la presión y el volumen, sobre todo, serán menores que para el gas, siendo la entalpía del gas mayor." (E.34; 5é Químiques)

Per altra banda, resulta interessant comprovar que el 52,3% de les respostes declaratives incorrectes dels estudiants de COU indiquen que el líquid tindrà major entalpia que el gas, be perquè el líquid té major estabilitat que el gas degut als enllaços com:

"El líquido tendrá más entalpía, porque sus partículas estarán unidas con una cierta fluidez y para mantener esos enlaces se necesitará una mayor energía que en el gas cuyas partículas están libres". (E.19,COU)

O be perquè identifiquen l'entalpia del líquid amb la variació d'entalpia del canvi d'estat, per exemple:

"El H₂O en estado gaseoso tiene mayor energía que en estado líquido, debido al mayor movimiento de sus partículas. Por lo tanto, para pasar del estado gas a líquido se desprenderá energía. Y así la entalpía del H₂O líquida será mayor que la del vapor de H₂O". (E.3, COU).

Aquests resultats són convergents als de la segona entrevista (E2) on, com ja s'indicava en l'apartat 4.1.2.1, cap estudiant fa referència, en la resposta explicativa, a l'entalpia o la variació d'entalpia del sistema. Simplement es parla d'absorció o despreniment de calor (o disminució o augment de temperatura). També es va indicar en aquell apartat que només una alumna, del dotze estudiants entrevistats, estableix una relació entre el calor després en la reacció química i el balanç energètic resultant del trencament i formació d'enllaços en les partícules de les substàncies que interaccionen.

En resum, els resultats obtinguts en els ítems 1 i 2 de Q2 avalen suficientment les conseqüències relatives a la poca significació qualitativa correcta del concepte d'entalpia d'una substància (B.2) que tenen els estudiants, a l'absència de coneixement explícit sobre el camp de validesa del concepte (B.3), a no saber, en un cas senzill, com depèn l'entalpia de l'estat de la substància (B.5) i, finalment, a que hi ha molt poques explicacions atomistes correctes alhora de comparar les entalpies de l'aigua gasosa i de la líquida (B.6) en l'ítem 2.

Els resultats de l'ítem 3 on es vol veure si els estudiants li donen al concepte d'entalpia el caràcter de funció d'estat, es presenten a la taula 12.

| Taula 12.- Percentatge de respostes declaratives i explicatives correctes dels grups d'estudiants sobre l'entalpia d'un procés com funció d'estat (ítem 3 de Q2). | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------|
| 3. En l'esquema de reacció següent: $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = -241,6 \text{ KJ}$ Quant valdrà la variació d'entalpia del procés si es realitza en un recipient a volum constant? Explica la teua resposta. | | | | | |
| | Percentatge de respostes (%) | | | | |
| Categoria de resposta | G0 (N =44) C.O.U. | G1 (N= 45) 3r Química | G2 (N = 55) 5é Química | G3 (N=63) C.A.P. | Mitjana |

| | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Respostes declaratives correctes ('el gas') | 38,6 | 64,8 | 36,8 | 86,6 | 56,7 |
| Respostes declaratives correctes sense explicació | 15,9 | 15,6 | 21,1 | 20,0 | 18,2 |
| Respostes explicatives correctes o quasi correctes | 0,0 | 0,0 | 2,6 | 6,6 | 4,6 |

Com es veu en aquesta taula 12 de resultats, encara que més de la meitat (56,7%) dels estudiants encerten la resposta declarativa, en els percentatges de respostes explicatives correctes, molt pocs (4,6%) donen com a raó que la ΔH del procés és una funció d'estat que sols depèn dels estats inicial i final, i no depèn del tipus de procés. També cal destacar que l'índex de respostes declaratives correctes sense explicació es elevada ja que quasi la quinta part (18,2%) dels estudiants no sap o no contesta. Alguns exemples de respostes considerades correctes o quasi correctes han segut els dos següents:

"La entalpia es una función de estado, por tanto sólo depende del estado inicial y final y no del camino recorrido. Por tanto será la misma, independientemente de si se realiza a volumen constante o no". (E.28; professor en formació).

"La variación de entalpía es el calor a presión constante. No depende del volumen." (E.36; 3er Químiques).

En tots els arguments incorrectes, que són una majoria notable, es fa dependre la variació d'entalpia del procés de les condicions en què es realitza (pressió, volum o temperatura constants), coherentment amb els resultats del qüestionari anterior.

Per exemple, l'argument més utilitzat pels alumnes de COU (12%) i també pel 12,7% dels estudiants de 3er de Químiques, és que l'entalpia sols depèn de la pressió. Aquesta contestació ve associada a la influència de la definició que es dona de la variació d'entalpia com la calor de reacció a pressió constant. Un exemple típic d'aquesta resposta és:

"Si este proceso fuera entre volumen constante y presión constante, tendría mayor entalpía la de la presión constante, porque necesitaríamos la energía para que se produzca esta reacción y la energía para levantar el émbolo." (E.16; COU)

En aquesta resposta l'estudiant de COU està comparant implícitament el valor de la calor de reacció a pressió constant (definició procedimental d' ΔH) amb el de la calor de reacció a volum constant (definició procedimental d' ΔU).

Hi ha quantitat de respostes que associen la variació d'entalpia amb el procés a volum constant, com les següents:

"La variación de entalpía es el calor que se desprende o absorbe cuando el $V = cte$."
(E.39; 3er Químiques)

" $\Delta H = n \cdot C_v \cdot \Delta T$. El $V = cte$ por tanto $C_v = cte$ y ΔH no varía." (E.16; 3er Químiques).

" $\Delta U = \Delta H - P \cdot \Delta V$ si $\Delta V = 0$ entonces $\Delta U = \Delta H$ y no varía la entalpía"
(E.24; professor en formació).

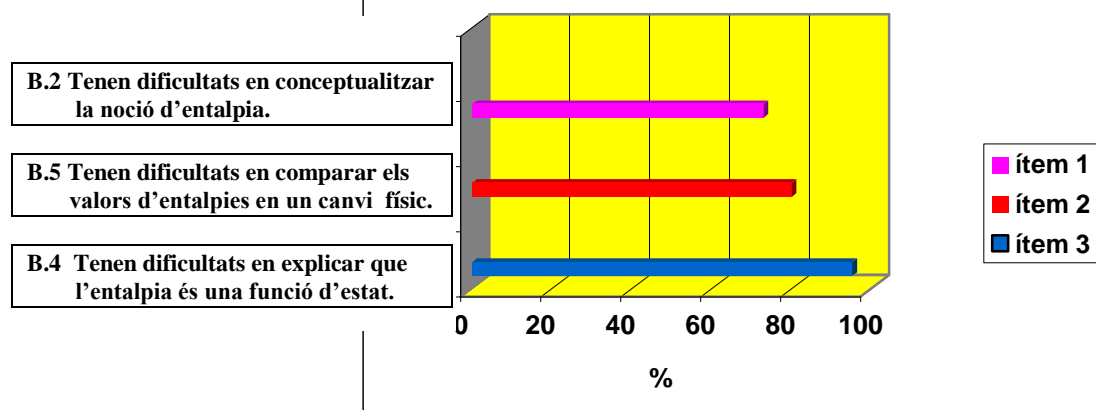
L'explicació d'aquests errors pot estar be en què confonen la variació d'entalpia amb l'energia interna (ja que la ΔU es la definició d'aquesta amb el calor de reacció a volum constant) o perquè utilitzen l'expressió operativa de $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$. En efecte, així li ocorre al 21,1% dels alumnes de 3er Químiques i al 26,7% dels professors en formació. En la resta de respostes explicatives incorrectes fan dependre la variació d'entalpia sols de la temperatura. Aquest és l'argument utilitzat pel 33,3% dels professors en formació com, per exemple, el següent:

"El V no influye, sólo influye la temperatura en la variación de entalpía de un proceso".
(E.20; professor en formació)

Així doncs, l'anàlisi dels resultats de l'ítem 3 de Q2 evidencia que a penes arriba a un 5% de mitjana dels estudiants de tots els grups (1 : 20) els que donen arguments considerats correctes o quasi correctes. Aquests resultats mostren que el rendiment acadèmic aconseguit és molt pobre i això era el que suposava la conseqüència B.4 relativa a si els estudiants assignaven caràcter de funció d'estat a la variació d'entalpia d'un procés.

A fi de clarificar els resultats obtinguts en els diferents ítems del qüestionari 2, els resumim en la gràfica 3 referint-los a les mitjanes d'estudiants dels diferents grups i identificant-los amb les conseqüències contrastades.

Gràfica 3.- Percentatges de mitjana d'estudiants que tenen les dificultats B.2, B.4 i B.5 detectades amb els ítems 1, 3 i 2 respectivament (Q2)



En definitiva, el grup de conseqüències A i B que hem posat a prova en els distints subapartats de 4.1 han quedat contrastades i resta per veure en quina mesura l'ensenyament rebut té part de responsabilitat en la manca d'ajuda per vèncer les dificultades assenyalades sobre la comprensió del primer principi de la termodinàmica i del concepte d'entalpia que tant s'utilitza en la termoquímica. Eixe serà l'objectiu de l'apartat 4.2 següent.

4.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN L'ESTUDI CRÍTIC DELS LLIBRES DE QUÍMICA UTILITZATS A L'ENSENYAMENT HABITUAL.

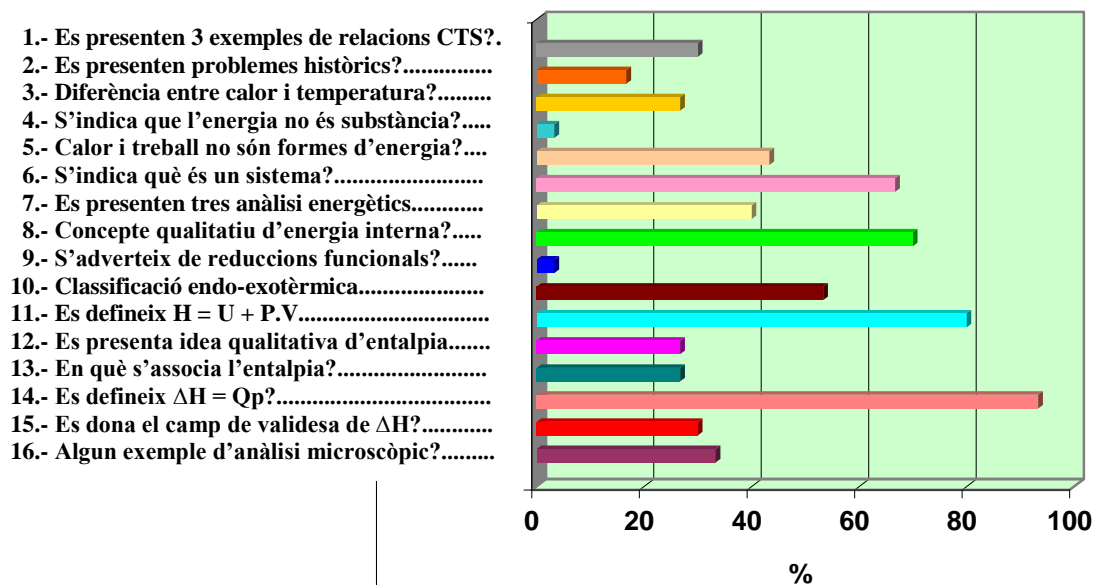
Per a contrastar la hipòtesi derivada B referida a les mancances didàctiques en l'ensenyament (tant en la dimensió axiològica i actitudinal com en la conceptual i epistemològica), es va elaborar un primer disseny on s'havia d'analitzar el capítol o capítols de termoquímica de 30 llibres de text de nivell preuniversitari (Química de 2on de Batxillerat o de COU) i universitari (Química general). La relació completa dels llibres de Química analitzats consten a l'annex II d'aquesta memòria.

La xarxa d'anàlisi que consta de 16 qüestions ja va ser exposada en l'apartat 3.5 del capítol anterior com document 4. També es va desenvolupar en eixe capítol un protocol on constaven els criteris de valoració que hem aplicat a la relació de llibres esmentats. En la taula 13 es mostren els percentatges de respostes afirmatives a cadascuna de les qüestions que anirem analitzant al llarg d'aquest apartat. L'annex III de la memòria

recull el detall de la valoració que ha resultat a l'aplicar dos investigadors la xarxa d'anàlisi a cadascun dels llibres de Química esmentats.

| Taula 13.- Percentatge de respostes afirmatives a les qüestions de la xarxa d'anàlisi sobre mancances didàctiques en la introducció de la Termoquímica en els llibres de text. | |
|---|---|
| Contingut de la pregunta | Percentatge de respostes afirmatives (%) |
| 1. Hi ha al llarg del tema, almenys, 3 exemples de relacions CTSA que mostren l'interès social d'aquest estudi? | 30,0 |
| 2. Es presenta quin o quins foren els principals problemes històrics que motivaren la naixença de la Termodinàmica com a ciència moderna en el S.XIX? | 16,7 |
| 3. Es diferencia explícitament entre calor i temperatura? | 26,7 |
| 4. S'indica expressament que l'energia no és cap substància que hi ha en els objectes o que no és cap propietat dels objectes aïllats? | 3,3 |
| 5. Es diu que el calor i el treball no són formes d'energia sinó formes de transferir energia entre sistemes? | 43,3 |
| 6. Es presenta què és un sistema i que, en el cas més senzill, quasi sempre es va a considerar que van a interaccionar dos sistemes o dues parts d'un mateix sistema? | 66,7 |
| 7. Es presenten al tema, almenys tres exemples d'anàlisi energètic de fenomen o situació en els quals els estudiants estan poc familiaritzats?. (Els estudiants estan més familiaritzats en l'anàlisi dinàmic dels fenòmens o situacions físiques). | 40,0 |
| 8. S'introdueix el concepte qualitatiu d'energia interna? | 70,0 |
| 9. S'adverteix al lector de possibles reduccionismes funcionals en les formes de raonar en les quals es pot caure fàcilment?. | 3,3 |
| 10. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques? | 53,3 |
| 11. Es defineix l'H com la suma $U+P.V$? | 80,0 |
| 12. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema? | 26,7 |
| 13. En el cas que s'introduïska una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa? | 26,7 |
| 14. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despesa o absorbida quan ocorre a pressió constant?. | 93,3 |
| 15. Es té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi? | 30,0 |
| 16. Es presenta algun exemple d'interpretació qualitativa microscòpica (mecànica estadística) d'un fet o situació que habitualment s'interpreta macroscòpicament amb el primer principi?. | 33,3 |

Gràfica 4.- Percentatge de respostes afirmatives a les qüestions de la xarxa d'anàlisi de llibres de text (N = 30).



A continuació s'entrarà a analitzar amb detall aquests resultats dividint l'apartat en tants subapartats com conseqüències (C.1 a C.6) havien en el quadre 4 presentat en el capítol III, a fi de posar-les a prova.

4.2.1. S'introdueix el tema de Termoquímica amb una visió socialment descontextualitzada al no tenir en compte la dimensió axiològica de l'aprenentatge?

En aquest subapartat anem a posar a prova les conseqüències C.1 i C.2 descrites en el capítol anterior i que feien referència a què els llibres no posaran prou èmfasi en les relacions CTSA quan introdueixen la termoquímica bé no presentant el tractament de problemes d'interès personal i social (qüestió 1) o bé no esmentaran aspectes històrics relatius a quins varen ser els principals problemes científics que es plantejaren en el passat i es resolgueren a l'introduir els nous conceptes donant una visió aproblemàtica i ahistòrica de la ciència (qüestió 2).

Com pot observar-se en el resultat de la qüestió 1 de la taula 12, el percentatge de llibres que presenten en una mica d'extensió, almenys, tres aspectes científics relacionats amb la tecnologia i la societat, només és del 30%. A títol d'exemple de valoració positiva d'aquest ítem que s'ha considerat pels dos avaluadors està la Química de R. Chang (1992) en el qual es presenten inserits amb el títol genèric de 'La química en acció' les següents problemàtiques: 'Velas, mecheros y sopletes' (pp.223), 'Valores

energéticos de los alimentos y otras sustancias' (pp.229), *'Autodefensa del escabarojo bombardero*' (pp.237), *'Compresas instantáneas frías y calientes*' (pp.241) i *'Fabricación de nieve e inflado de una llanta*' (pp. 249). La resta dels llibres, és a dir, el 70% no ix al pas d'una visió socialment descontextualitzada de la activitat científica i podem afirmar que queda contrastada la conseqüència C.1.

En relació al resultat de la qüestió 2 el percentatge de llibres que tenen en compte els obstacles epistemològics i/o el desenvolupament de l'història és més baix, el 16,7%. És a dir, la majoria dels textos no mostra quins varen ser els principals problemes que s'han hagut que véncer fins arribar als coneixements que avui en dia estan considerats com a vàlids per la comunitat científica. Malgrat aquests pobres resultats ja que dir que el criteri de valoració emprat en aquesta qüestió s'ha graduat al mínim com es pot veure en els dos exemples considerats positius que es presenten a continuació:

"Prior to Joule's experiments in 1840s, work and heat were considered to be different, and different units were used to measured them. Joule demonstrated that expending a given quantity of mechanical energy (the motion of the stirring motor) always results in the same increase in temperature as that produced by a fixed quantity of heat flowing into the system. Both heat and work are ways of transferring energy." (Segal, pp. 593)

"La termodinámica se inicia en la primera mitad del siglo XIX, fundamentalmente como resultado de los intentos de mejorar los rendimientos de las máquinas de vapor destinadas a transformar el calor en trabajo mecánico. Este es el origen de su nombre que implica a la vez conceptos térmicos y dinámicos (o mecánicos). Cuando se desarrolló y sus principios básicos fueron mejor entendidos, su campo de acción se extendió considerablemente." (Sears, pp. 2).

Queda, doncs, contrastada la conseqüència C.2 ja que la majoria (83,3%) dels textos universitaris i preuniversitaris de Química analitzats presenta una visió aproblemàtica i ahistòrica de la ciència a l'igual que s'ha vist, per altres autors, en llibres de Física i Química de Secundària (Solbes i Traver 1997).

4.2.2. Els llibres de Química tenen en compte l'existència de concepcions alternatives detectades en la recerca?

Per posar a prova la conseqüència C.3 relativa a les mancances didàctiques de l'ensenyament quan a la dimensió conceptual i epistemològica de l'aprenentatge i, en particular, la xarxa d'anàlisi té distints ítems per a veure si els textos de Química consideren d'alguna manera l'existència de concepcions alternatives dels estudiants en

conceptes bàsics com la calor (qüestió 3), l'energia (qüestió 4) i els principals processos de transferència d'energia (qüestió 5). Els resultats trobats en aquestes qüestions s'han seleccionat i presentat en la taula 14 per a millor comoditat del lector.

Taula 14.- Percentatge de respostes afirmatives a les qüestions 3, 4 i 5 de la xarxa d'anàlisi sobre concepcions alternatives de conceptes bàsics (calor, treball o energia) a l'introduir la Termoquímica en llibres de text.

| Contingut de la pregunta | Percentatge de respostes afirmatives (%) |
|--|--|
| 3. Es diferencia explícitament entre calor i temperatura? | 26,7 |
| 4. S'indica expressament que l'energia no és cap substància que hi ha en els objectes o que no és cap propietat dels objectes aïllats? | 3,3 |
| 5. Es diu que el calor i el treball no són formes d'energia sinó formes de transferir energia entre sistemes? | 43,3 |

Com es pot observar els resultats de les qüestions 3 i 4 són prou eloqüents, doncs només el 26,7% dels llibres diferencien explícitament la calor de la temperatura i sols el 3,3% d'ells indiquen que l'energia no és cap substància que està en els cossos. Aquestes dos concepcions alternatives han estat detectades en la literatura didàctica i, com hem vist també apareixen en les respostes dels estudiants universitaris als qüestionaris passats, són idees bastant reiteratives i difícils de vèncer. Respecte a aquest assumpte i encara que siga anecdòtic, és interessant constatar com en les lliçons de termodinàmica que Max Planck (1913) al presentar la magnitud calor en el capítol III del llibre de text que escrigué, segurament per als seus alumnes deia el següent:

“...Aussi établit-on une distinction entre la température et la quantité de chaleur, et on prend comme mesure de la quantité de chaleur cédée par un corps pendant son refroidissement précisément l'élévation de température que reçoit le corps normal (eau), mis en contact avec le corps qui se refroidit, avec cette condition que les autres causes pouvant faire varier la température, telles que la compression, se trouvent exclues...” (Planck, p.40).

Es veu com en aquest fragment adverteix al lector sobre la necessitat de diferenciar calor i temperatura així com, clarament, exclou de la definició de calor l'escalfament dels cossos per compressió.

Respecte a si el text explicita la diferenciació entre formes d'energia i la seua transferència, vegem que sols en el 43,3% dels llibres analitzats s'indica que el treball i la calor no són formes d'energia sinó formes de transferir-la. En resum, es pot concloure

que els llibres pràcticament tenen molt poc en compte les concepcions alternatives esmentades i més de la meitat dels textos no consideren la diferència entre processos i formes d'energia, per tant pot considerar-se suficient contrastada la conseqüència C.3.

4.2.3. Els textos posen èmfasi en aspectes fonamentals de la metodologia científica eixint al pas de raonaments de sentit comú que poden entrebancar l'aprenentatge?

En la conseqüència C.4 recordem que se suposava que els llibres de text no anaven a considerar importants els aspectes procedimentals emprats en la metodologia científica com, per exemple, saber plantejar i acotar un problema, analitzar qualitativament una situació problemàtica, emetre hipòtesis que orienten la seva solució, elaborar estratègies de resolució dels problemes o fer dissenys experimentals per posar en qüestió les hipòtesis, realitzar els experiments i analitzar els seus resultats, etc. La familiarització dels estudiants amb aquests aspectes metodològics els permetrà posar en qüestionament les formes de raonar de sentit comú que ha posat en relleu la didàctica de les ciències (Gil i Carrascosa 1985; Hashweh 1986; Viennot 1996; Furió, Furió-Gómez i Calatayud 2004). També es recorda que, en aquest treball, hem triat veure si són o no en els llibres els següents aspectes: definir els sistemes que interaccionen en situacions problemàtiques (qüestió 6), presentar anàlisis qualitatiu de situacions problemàtiques (qüestió 7), donar un significat qualitatiu correcte al concepte d'energia interna d'un sistema (qüestió 8) i advertir de no caure fàcilment en reduccionismes funcionals (qüestió 9).

En la taula 15 es presenten els resultats trobats en les qüestions esmentades. Així en la qüestió 6 vegem que les dos terceres parts (66,7%) dels llibres de text dona afirmatiu el que significa que sí es posa bastant èmfasi en advertir al lector que és un sistema i que ha d'interaccionar amb altres sistemes com pot ésser, per exemple, el medi ambient. Un exemple de definició del sistema que s'ha considerat positiu és el següent:

"Al realizar un experimento controlado seleccionamos una parte del universo de interés para nosotros e intentamos aislarla de cualquier perturbación no controlable. Este objeto, cuyas propiedades deseamos estudiar, es el llamado sistema. Todas las otras partes del universos, cuyas propiedades no son de interés inmediato, son llamadas el medio ambiente. El medio ambiente puede ejercer influencia sobre las propiedades del sistema, determinando, por ejemplo, su temperatura o presión; pero, en un experimento cuidadosamente planeado, estas influencias serán controladas y medibles." (Mahan, pp.260).

| |
|--|
| Taula 15.- Percentatge de respostes afirmatives a les qüestions 6, 7, 8 i 9 de la xarxa d'anàlisi que |
|--|

pretenen posar a prova si els textos no tenen en compte aspectes metodològics fonamentals de l'activitat científica.

| Contingut de la pregunta | Percentatge respostes afirmatives (%) |
|---|---------------------------------------|
| 6. Es presenta què és un sistema i que, en el cas més senzill, quasi sempre es va a considerar que van a interaccionar dos sistemes o dues parts d'un mateix sistema? | 66,7 |
| 7. Es presenten al tema, almenys tres exemples d'anàlisi energètic de fenomen o situació en els quals els estudiants estan poc familiaritzats? | 40,0 |
| 8. S'introdueix el concepte qualitatiu d'energia interna? | 70,0 |
| 9. S'adverteix al lector de possibles reduccionismes funcionals en les formes de raonar en les quals pot caure fàcilment?. | 3,3 |

També és majoritària i molt semblant la quantitat de llibres que introdueixen un concepte qualitatiu de l'energia interna (70%). Com exemple de valoració positiva de l'ítem 8 tenim el següent fragment de la Química del mateix autor anterior:

"Hemos observado que la termodinámica trata solamente de las propiedades macroscópicas de la materia, y que en ninguna forma emplea los resultados de la teoría atómica. Sin embargo, a fin de entender lo más ampliamente el significado de las funciones de estado termodinámicas, muchas veces es útil emplear los resultados de las teorías atómica y cinética. Siendo así, podemos inquirir acerca de una explicación de lo que es la energía interna en función de las propiedades atómicas. La energía atómica de un sistema resulta de las energías cinéticas de sus moléculas, de la energía potencial asociada con las fuerzas entre moléculas, y de las energía cinética y potencial de los electrones y de los núcleos en las moléculas. Esta puede no ser una lista completa de las contribuciones de la energía interna, y en realidad deberíamos agregar la energía asociada a la existencia de la masa del sistema. Cuando cambia la energía interna de un sistema, cambian algunas o todas estas contribuciones a la energía. El mérito de la termodinámica es que nos muestra cómo utilizar el concepto de la energía interna sin exigir que analicemos las contribuciones individuales a la energía interna del sistema."
(Mahan, p.267)

En canvi, el percentatge de textos de Química que exposen, al menys, tres exemples macroscòpics d'anàlisi energètic de situacions on ha de posar-se en pràctica els conceptes anteriorment referits no arriben a la meitat (40%) com podem observar en el resultat de la qüestió 7. A continuació es presenta un exemple de la Química de Whitten on s'explica l'expansió adiabàtica d'un gas com segueix:

“When a gas is produced against constant external pressure, such as in an open vessel atmospheric pressure, the gas does work as it expands against the pressure of the atmosphere. If no heat is absorbed, this results in a decrease in the internal energy of the system. On the other hand, when a gas is consumed in a reaction, the atmosphere does work on the reacting system.” (Whitten, p.565).

Finalment, s’observa que sols un llibre de text dels 30 (3,3%) presenta com reduccionisme funcional la necessitat de donar-se compte de que per a veure com depèn la pressió d’un gas, tancat en una xeringa i expansionant-se, d’una altra variable d’estat com, per exemple, la temperatura requereix que es controlen o mantinguin constants les restants variables del gas com el volum i la quantitat de substància.

En resum, en aquesta conseqüència C.4 s’han falsat la part relativa a què la majoria dels llibres sí que presenten les definicions qualitatives de sistema i d’energia interna (en un 70%) si bé això es fa de manera massa pràctica perquè baixa al 40% el percentatge de llibres que mostren, almenys, tres exemples d’anàlisi energètic on s’han d’aplicar aquells conceptes. A favor completament de C.4 és la proposició que quasi tots els llibres no tenen en compte l’existència d’obstacles epistemològics en les formes de pensament de sentit comú com pot ésser el reduccionisme funcional. Pensaments que poden manifestar-se, per exemple, al fer els anàlisis qualitatives de situacions problemàtiques d’interès.

4.2.4. S’ix al pas d’una visió rígida i algorítmica de la ciència presentant idees qualitatives sobre el concepte d’entalpia abans de la seva definició operativa?

La conseqüència C.5 feia referència a què l’ensenyament habitual de la ciència sol introduir els conceptes de forma aproblemàtica inclòs sense presentar els fets que vol explicar (qüestió 10), en la seva forma matemàtica acabada i sense anticipar idees qualitatives que puguin donar sentit físic o químic a aquestes definicions operatives (qüestions 11, 14, 12 i 13) i amb una visió rígida i infal·libre sense mostrar les seves limitacions, és a dir, el seu camp de validesa (qüestió 15). En la taula 16 es presenten els resultats trobats en aquestes qüestions a l’anàlitzar els llibres de text.

| Taula 16.- Percentatge de respostes afirmatives a les qüestions de la xarxa d’anàlisi sobre mancances didàctiques en la introducció del concepte d’entalpia en els llibres de text. | |
|--|---|
| Contingut de la pregunta | Percentatge de respostes afirmatives |
| | |

| | (%) |
|--|------|
| 10. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques? | 53,3 |
| 11. Es defineix l'H com la suma U+P.V? | 80,0 |
| 12. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema? | 26,7 |
| 13. En el cas que s'introduïska una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa? | 26,7 |
| 14. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despresa o absorbida quan ocorre a pressió constant?. | 93,3 |
| 15. Es té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi? | 30,0 |

En relació a la presentació de la classificació dels fenòmens en exotèrmics i endotèrmics de l'ítem 10 que hauria d'ésser prèvia a la introducció del concepte d'entalpia es constata que sols la meitat dels llibres de Química (53,3%) ho fan. Aquest percentatge no pot considerar-se baix si s'adonem que precisament els efectes tèrmics dels canvis físics o químics són el problema que es pretén resoldre en aquest ensenyament i, per tant, la seva introducció inicial és un prerrequisit per que els estudiants puguen adquirir el referent empíric al que cal donar explicació mitjançant la introducció del concepte.

Pel que fa a la qüestió 11 i com era d'esperar la majoria dels textos, el 80%, introdueixen la definició operativa d'entalpia ($H = U + P.V$) que es deriva matemàticament del primer principi de la termodinàmica i que solen fer-ho al començament del tema. La introducció d'aquesta definició operativa hauria de fer-se al final d'un procés d'ensenyament amb sentit que començaria per introduir a títol temptatiu alguna idea qualitativa que preparara el camí lògic al concepte. Pel contrari, el percentatge de llibres que dona alguna idea qualitativa sobre la funció 'entalpia d'un sistema' (qüestió 12) és solament del 26%, és a dir 1 de cada 4 llibres. La manca de significació qualitativa de la definició conceptual d'H fa que l'ensenyament del concepte es derive cap a la definició procedimental d' ΔH que, en definitiva, és una manera de mesurar aquesta variació i, per tant, és més fàcil d'entendre des del punt de vista empíric. Així trobem que, en general, quasi tots els textos analitzats introdueixen directament la definició procedimental de la variació d'entalpia d'un canvi químic com la calor despresa en una reacció química a pressió constant, com pot veure's en el percentatge de la qüestió 14 de la taula 15, el 93,3%. Ara bé en aquestes definicions relacionals hi ha el perill de caure fàcilment en errors conceptuals i identificar ΔH amb la calor que, com ja sabem, no és una forma d'energia (Duhem 1910). És per això que, en les poques idees qualitatives sobre entalpia introduïdes en els texts (26%), és

freqüent trobar idees equivocades on s'associa l'entalpia amb el 'contingut calorífic' com una espècie de 'calor intern' que hi ha dipositat en el cos, com passa en el següent text:

"... Es más conveniente pensar en la entalpía como el contenido calorífico de una sustancia - la cantidad de energía contenida dentro de la sustancia que está disponible para convertirse en calor. La variación de entalpía es la diferencia entre el contenido calorífico de las sustancias en el estado final, después de que el cambio ha sido completo, y el contenido calorífico de las sustancias en el estado inicial, antes de que haya tenido lugar cambio alguno." (Bailar, p. 117)

D'aquell 26% hi ha aproximadament una meitat que li atribueix a l'entalpia la idea de contingut calorífic i una altra meitat que tracta de donar-li millor significació a l'entalpia com per exemple en el següent cas que també s'ha registrat en les respostes a l'ítem13:

"...Puedes ver que el calor que entra o sale durante un proceso no sólo produce un cambio en la energía interna, sino que también se emplea para realizar trabajo (elevar o bajar una masa en el entorno, por ejemplo). Por esta razón se acostumbra definir una nueva cantidad (magnitud) termodinámica, la entalpía, H , que toma en cuenta que en el proceso hay otro destino para el calor: la realización de trabajo." (Garritz, p.200).

Finalment i per tal de completar com es presenta l'entalpia, hem vist si en els llibres s'emfatitza el seu camp de validesa aplicant a cadascun la qüestió 15 de la xarxa d'anàlisi de textos. Segons el resultat de la taula 16, es veu que sols el 30% (9/30) dels llibres contempnen les limitacions del concepte d'entalpia. Presentem, a continuació, fragments de tres dels 9 llibres que s'han valorat positivament i, per tant, contradiuen la conseqüència C.5:

"En Termodinámica clásica no se considera la posibilidad de que, como consecuencia de los cambios sufridos por el sistema, en los alrededores no aparezca o desaparezca radiación electromagnética." (Castells, p. 280).

"Esto quiere decir que el calor absorbido por un sistema durante un proceso a presión constante se utiliza para (a) aumentar la energía interna del sistema y (b) realizar un trabajo de expansión. (Suponemos que no se está produciendo otro tipo de trabajo, como eléctrico, etc.)." (Russell, p.305)

En el primer d'aquests dos exemples es fa explícit per l'autor que en el procés no han de produir-se radiacions electromagnètiques i en el segon que no ha de fer-se treball elèctric per a considerar que la variació d'entalpia del procés es pot mesurar a través de la calor produïda sempre que es faça a pressió constant. Hi ha també dos llibres que parlen del camp de validesa en el cas de canvis on es presenta la conversió relativista entre massa i energia. Un dels exemples és el següent:

"...Since in an atomic pile energy is created by the process of converting mass to energy, the earlier statement of the first law of thermodynamics (energy can neither be created nor destroyed) had to be changed to: In a system of constant mass, energy can neither be created nor destroyed. However, mass can be converted into energy and the energy created by a loss of mass of magnitude m is given by the Einstein relation $E = m \cdot c^2$. The first law is now called the law of conservation of mass and energy. For ordinary chemical processes not involving nuclear reactions, the mass of the system is essentially constant (mass changes are negligibly small, much too small to be detected), and we can utilize the first law as a law of conservation of energy." (Segal, p. 595).

En definitiva, podem dir que la introducció del concepte d'entalpia en els llibres de Química es fa sense presentar prèviament els fenòmens exotèrmics i endotèrmics als quals ha de donar explicació, obviant la presentació de conceptualitzacions qualitatives que poden ajudar a 'rebaixar' el nivell d'abstracció d'aquest concepte i sense tindre en compte el seu camp de validesa. Totes aquestes mancances didàctiques possiblement no afavoreixen l'aprenentatge.

4.2.5. S'emfatitza la cerca de coherència entre les explicacions termodinàmiques macroscòpiques i les atomistes?

El percentatge de respostes positives a la qüestió 16 ha estat del 33,3% tenint en compte que el criteri de valoració s'ha reduït al cas de la interpretació microscòpica d'anàlisi energètic, sols el 33,3 % dels llibres analitzats presenten almenys un exemple d'aquest tipus. No hi ha cap exemple on s'establisca la relació entre l'energia interna amb la calor o el treball, des del punt de vista microscòpic, fent ús de la primera llei de la termodinàmica. En els exemples trobats s'explica quasi sempre els canvis d'estat, des del punt de vista microscòpic, la transmissió de calor d'un cos a un altre o els efectes calorífics d'algunes reaccions químiques.

Així, per exemple, en el següent text de la Química d'Atkins es poden veure les explicacions atomistes que es donen a dos canvis d'estat:

"... La cantidad de energía térmica liberada o absorbida en un cambio de estado refleja la intensidad de las fuerzas intermoleculares - las diversas fuerzas de atracción o repulsión entre las moléculas individuales. Por ejemplo, consideremos la conversión del agua en vapor a 100 °C. Al principio, puede ser sorprendente el ver que el calor adicionado al agua a 100°C no eleve la temperatura del agua. La energía térmica añadida se utiliza para separar las moléculas en "estado líquido" de la influencia de las demás y conducir las al estado gaseoso donde están muy separadas.... (Atkins, p.117)

"La fusión es un proceso endotérmico. Al adquirir energía las moléculas empiezan a trasladarse moviéndose junto a sus vecinas. Al final la muestra cambia de un estado sólido con las moléculas ordenadas a un estado líquido con las moléculas desordenadas".(Atkins,pp.200).

I, en la Química de Brady trobem una explicació energètica, des del punt de vista microscòpic, de com es produeix calor en una reacció química:

" The potential energy that resides in a chemical bonds that can be changed to kinetic energy is called chemical energy. Thus, the chemical energy in things like firecrackers or gasoline is associated with the chemical bonds within them. The chemical energy of the gasoline in the fuel tank contributes much to the overall potential energy of a parked car.

...Chemical reactions generally involve both the breaking and making of chemical bonds. In most reactions, when bonds form, things that attract each other move closer together, which tends to decrease the potential energy of the reacting system. When bonds break, on the other hand, things that normally attract each other are forced apart, which increases the potential energy of the reacting system. Each reaction, therefore, has a certain net overall potential energy change, a net balance between the "cost" of breaking bonds and the "profits" from making them".(Brady, p.237)

En definitiva, les dues tercers parts dels llibres analitzats no presenten cap exemple d'explicació atomista dels canvis físics o químics i poden afirmar que, per tant, queda contrastada la conseqüència C.6 segons la qual l'ensenyament no cerca la complementaritat macro-micro a què al·ludia Atkins en la seva obra 'La segunda ley' (1992), a fi d'ajudar a vèncer les dificultats d'aprenentatge en aquest domini científic.

4.3 PRESENTACIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS EN L'ANÀLISI DEL QÜESTIONARI, Q3, A PROFESSORS DE QUÍMICA.

En l'apartat anterior 4.2 es confirma la hipòtesi referida a les mancances didàctiques en l'ensenyament, fent ús d'una xarxa d'anàlisi de llibres de text, ja que els resultats recollits concorden amb les hipòtesis derivades que es van extraure per a l'ensenyament.

Ara, d'acord amb el disseny, es posaran a prova les mateixes hipòtesis derivades o conseqüències, des la C.1 a la C.6, aplicant el qüestionari Q3 a mostres de professors en actiu i en formació per veure si els resultats són convergents amb els obtinguts en els llibres de text.

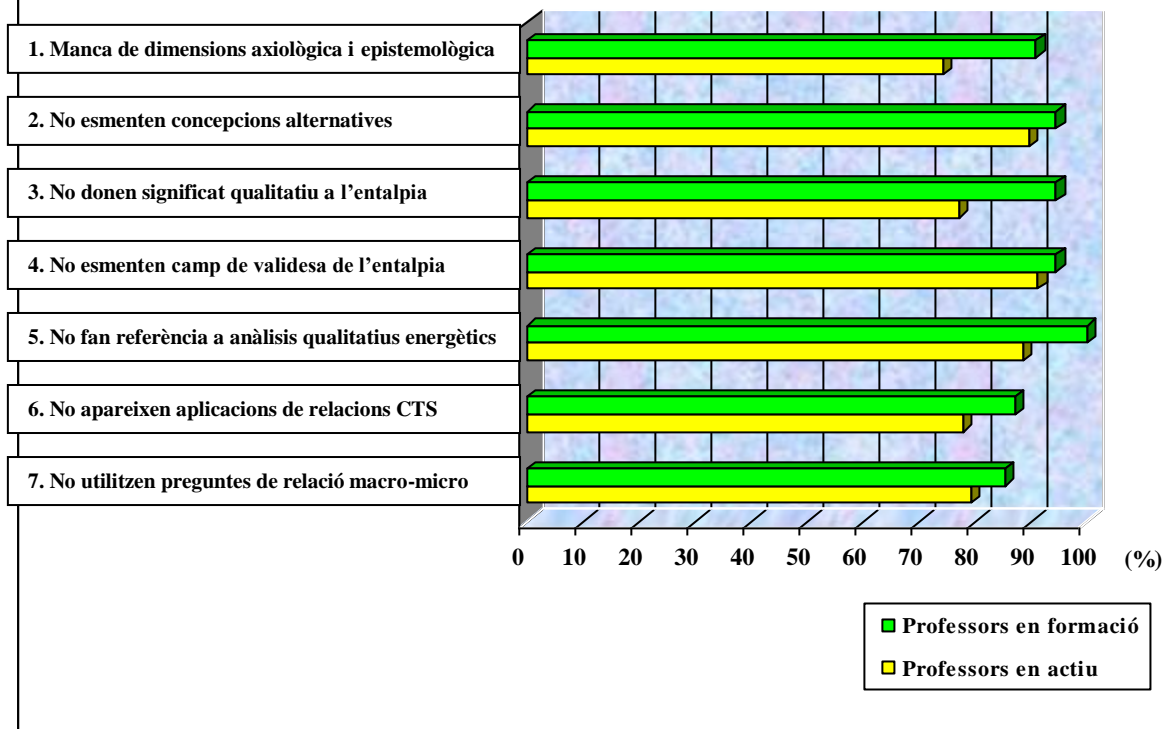
Aquest qüestionari ha segut exposat en l'apartat 3.6.2 com a document 5, així com el protocol on consten els criteris de valoració.

En la taula 17 i en el diagrama de barres de la gràfica 5 es mostren els percentatges de respostes a cadascuna de les preguntes del qüestionari aplicat a les dues mostres de professors indicades en el paràgraf anterior. En aquesta taula 17 s'han resumit les principals mancances didàctiques detectades en l'ensenyament d'acord amb les hipòtesis derivades C.1 i C.6.

| Ítem Num. | Contingut de la resposta | Percentatge de professors en actiu. | Percentatge de professors en formació. |
|------------------|--|--|---|
| 1 | No tenen en compte les dimensions axiològica i epistemològica de l'aprenentatge quan comencen el tema de Termoquímica. | 79,4 | 85,5 |
| 2 | No esmenten cap concepció alternativa ni raonament de sentit comú com dificultats dels estudiants en l'aprenentatge. | 77,9 | 87,3 |
| 3 | No donen un significat qualitatiu de la definició teòrica d'entalpia d'un sistema o quan el donen és erroni. | 88,6 | 100,0 |

| | | | |
|---|---|------|------|
| 4 | No esmenten cap condició o restricció del camp de validesa de la definició procedimental de $\Delta H = Q_p$ | 91,4 | 94,5 |
| 5 | No inclouen, com a mínim, dos indicadors de comprensió distints de la dimensió conceptual ni tampoc fan referència a fer anàlisi energètica qualitativa de fenòmens. | 77,1 | 94,5 |
| 6 | No apareixen al llarg del temari, almenys, dos aplicacions de relacions Ciència, Tecnologia, Societat i Ambient (o altres axiològics). | 89,7 | 94,5 |
| 7 | No hi ha cap pregunta o activitat d'autoregulació o d'interregulació sobre dificultats conegudes, de tipus conceptual o procedimental significatives, ni de relació macro-micro en l'explicació d'un fenomen. | 74,3 | 90,9 |

Gràfica 5.- Percentatge de respostes sobre mancances didàctiques en l'ensenyament de la Termoquímica.



A continuació, s'analitzaran els resultats obtinguts en cadascú dels ítems i es relacionaran amb els que s'han obtingut en els ítems de la mostra de llibres de text de Química que tenen objectius convergents.

En les respostes a la pregunta 1 s'observa que el 79,4 % dels 69 professors en actiu i el 85,5% del 55 professors en formació enquestats no han tingut en compte la necessitat de motivar als estudiants al començar el tema de Termoquímica introduint almenys un exemple de relacions CTSA. Aquest percentatge és versemblant a l'obtingut a l'ítem 1 de la xarxa dels llibres de text on el 70 % tampoc ho feia com se suposava en la conseqüència C.1. Com que la pregunta 1 era oberta, també s'ha analitzat si la resposta incloïa, en contra de la hipòtesi, alguna qüestió relativa a la història de la termoquímica o termodinàmica. En el cas dels professors en actiu i en formació, s'ha vist que sols l'1,5% i el 5,5% de les mostres respectives feien alguna menció històrica verificant-se, a l'igual que passava en els llibres de text (16.7%), la conseqüència C.2 que suposava l'existència d'una visió ahistòrica a l'ensenyament de la ciència. Aquests resultats són, com ja s'ha dit anteriorment, del mateix ordre que els obtinguts en el treball de Solbes i Traver (1996) en llibres de Física i Química de Batxillerat.

Respecte a les contestacions donades a la pregunta 2 del qüestionari sobre dificultats d'aprenentatge importants per al professorat s'ha vist que sols el 22,1% dels professors en actiu i el 12,7% dels que són en formació destaquen de forma genèrica les dificultats degudes a la presència de concepcions alternatives. En aquest sentit, els percentatges dels ítems 3, 4 i 5 de la xarxa d'anàlisi dels textos relatius a diferenciar Q de T, eixir al pas del caràcter substancial de l'energia i dir que el Q i el W no són formes d'energia, respectivament, eren 26,7%, 3,3% i 43,3% la qual cosa dona una mitjana de 24.4% molt semblant al de professors en actiu. Llavors, es pot concloure que queda contrastada la hipòtesi derivada C.3 ja que, pràcticament, les $\frac{3}{4}$ parts dels llibres i dels professors en actiu no tenen en compte els obstacles epistemològics que suposen per a l'aprenentatge les concepcions alternatives dels estudiants. Més baix encara és el percentatge de professorat i de textos que tenen en compte altres dificultats com el tipus de raonaments emprats que veurem a continuació.

En efecte, també s'han analitzat en aquesta pregunta 2 els obstacles d'aprenentatge degudes a les formes de raonar de sentit comú i s'ha registrat que sols el 2,8% dels professors en actiu les anomena. Aquest resultat és quasi el mateix que el percentatge del 3,3% obtingut en l'ítem 9 dels textos. Cal ressaltar que, en aquest ítem 2, com era d'esperar la quasi totalitat dels professorat enquestat emfatitza dificultats de tipus conceptual en percentatges globals del 95,6% en el professorat en exercici i del 100% en el de formació.

Nogensmenys, quan es passa a veure els resultats de la pregunta 3 del qüestionari on el professor ha de donar indirectament algun significat qualitatiu del concepte teòric d'entalpia d'un sistema, s'ha trobat que el 88.6% del professorat en actiu i el 100% del que està en formació o no dona cap definició qualitativa o quan la dona està equivocada. Recordem que el resultat obtingut en l'ítem 13 de la xarxa d'anàlisi dels llibres de text sobre aquest mateix contingut fou del 86,7% quasi idèntic al trobat en el professors en actiu. La baixa significació correcta donada pels docents i llibres de text a l'entalpia justifica que hi haja un percentatge molt elevat de llicenciats que acaben la carrera sense tindre una idea qualitativa d'aquest concepte complex. Així doncs, també queden contrastades les conseqüències derivades C.5 (ensenyament) i B.2 (aprenentatge).

En la pregunta 4 del qüestionari en la que es posa a prova si el docent sap el camp de validesa de la mesura de la variació d'entalpia d'un procés mitjançant la calor a reacció a pressió constant (conseqüència 5.2), hem trobat que el 91.4% del professorat en actiu i el 94.5% del de formació no esmenten cap condició o restricció en aquella

definició procedimental. El resultat obtingut a l'ítem 15 de la xarxa d'anàlisi dels textos difereix un poc del professorat ja que fou el 70% el que contrastava la hipòtesi. Nogensmenys, es pot afirmar que més de les 2/3 parts dels llibres analitzats i quasi tot el professorat enquestat verifiquen la hipòtesi derivada 5.2 la qual cosa es pot explicar degut que l'ensenyament no estableix diferències entre la definició procedimental de ΔH d'un procés (que ens diu en quines condicions es pot mesurar) i la definició ontològica del que és aquesta variació.

Recordem que la pregunta 5 tenia com objectiu veure a quins indicadors de comprensió dona importància el professorat quan ensenya el tema de Termoquímica. La hipòtesi derivada suposava que es posaria l'èmfasi en aspectes conceptuals com poden ésser: l'aplicació poc significativa de conceptes com energia interna, entalpia o del primer principi de la Termodinàmica, la resolució de problemes aplicant la llei de Hess o el càlcul de la ΔH d'una reacció química. No s'assenyalaren aspectes conceptuals significatius com pot ser, per exemple, la interpretació macroscòpica o microscòpica de canvis físics o químics, ni tampoc altres indicadors de tipus procedimental o axiològic.

Els resultats registrats mostren que un 77,1% del professorat en actiu i el 94,5% del que està en formació no ixen al pas d'aquesta visió rígida, algorítmica o operativista cega de la Química. Aquests resultats són coherents amb els de diversos ítems de la xarxa d'anàlisi de textos com, per exemple, la mancança d'èmfasi en aspectes axiològics de l'ítem 1 (70%), l'excessiu èmfasi en les definicions matemàtiques com la d' H de l'ítem 11 (80%) i la d' ΔH de l'ítem 14 (93,3%) o la manca d'anàlisis energètics de fenòmens físics i químics de l'ítem 7 (60%). Per tant, es veu una vegada més verificades les conseqüències derivades de la hipòtesi primera C.1, C.5 i C.5.1.

També són aquests resultats congruents amb els de la pregunta 6 del qüestionari en la que es demanava al professorat que exposara breument quins eren els continguts que ell impartia als seus estudiants. Se suposava que predominarien els continguts conceptuals i mancarien els procedimentals i actitudinals. Es va graduar el nivell de valoració d'aquest ítem contrari a la hipòtesi si en les respostes apareixien, almenys, dos paràgrafs relatius a continguts procedimentals i/o actitudinals. La major part dels professors en actiu, el 89,7%, i dels professors en formació enquestats, el 91,4%, no han cobert el mínim estipulat i confirmen les suposicions indicades anteriorment incloent en aquest cas també la conseqüència C.4 relativa al poc èmfasi en els aspectes procedimentals. Un exemple de temari molt freqüent en les propostes de les dues mostres de professorat és el següent:

- Introducció
- Definició i magnituds.
- Calor i temperatura.
- Energia interna . Primer principi de la Termodinàmica.
- Entalpia.
- Llei de Hess.
- Energies d'enllaç.
- Segon principi de la Termodinàmica
- Energia lliure de Gibbs.
- Espontaneïtat d'una reacció química.

Finalment en la pregunta 7 del qüestionari és sol·licitava al professorat que presentara dues qüestions o problemes que pogueren servir per a avaluar la comprensió dels estudiants sobre objectius del tema considerats importants. En el grups de professors en actiu i en el de formació s'ha vist que el 74,3% i el 90,9%, respectivament, no presenten cap qüestió de tipus conceptual, procedimental o actitudinal que no siga reproduir alguna definició conceptual o repetir la solució d'algun problema. Aquestos resultats van en la mateixa tendència que els aconseguits en treballs d'avaluació de l'ensenyament de la Física i Química de Batxillerat per altres investigadors (Alonso 1997; Gil et al 2001). A títol d'exemple que confirma la primera hipòtesi d'aquest treball de recerca, presentem la resposta del professor en actiu número 16:

- Definir i aplicar correctament el primer principi de la TD a un procés químic. Diferenciar un procés exotèrmic d'un endotèrmic utilitzant diagrames entàlpics.
- Aplicar el concepte d'entalpia de formació al càlcul d'entalpia de reacció mitjançant la correcta utilització de taules de dades.
- Resoldre algun problema sobre la llei de Hess.
- Exemplificar alguns canvis d'entropia i d'entalpia.

Com a exemple de resposta contrària a la hipòtesi es presenta la del professor en actiu número 9:

- Resoldre diversos problemes de la vida quotidiana, les dades dels quals ells proposen. Per exemple: l'energia que gasta un elevador al pujar; l'energia requerida per escalfar l'aigua d'una dutxa; comparar valors; et trobes en equilibri tèrmic amb la teva aula de classe?
- Resoldre problemes quantitius per desenvolupar la seua destresa en el maneig dels conceptes i equacions estudiades.
- Sel's proposa elaborar una xarxa conceptual sobre l'energia.
- Es fa èmfasi en què el coneixement científic (en aquest cas la termodinàmica) fa possible que hi hagen moltes més explicacions a processos tan senzills com el destapar un refresc. El mon i els seus processos es veuen diferents. Els propose als alumnes un problema de resolució qualitativa que detalle a continuació:

- Problema 1.- La termodinàmica d'un refresc: Imagina que traus una pepsi-cola d'un congelador. El refresc està "molt gelat" de tal manera que quan la destapes, immediatament es congela. Com es que passa això?

Sols s'ha fet la transcripció d'una part de la resposta d'aquest professor ja que continua orientant la resolució del problema obert a través d'una estructura de preguntes parcials. Amb aquest enfocament de problema estructurat, el professor proposa uns altres dos situacions problemàtiques obertes.

En resum, els resultats obtinguts en el qüestionari Q3 que s'ha aplicat a dues mostres de professorat en actiu i en formació són convergents amb els obtinguts en la xarxa d'anàlisi de llibres de text i, per tant, podem concloure l'existència de mancances conceptuals, epistemològiques i axiològiques a l'ensenyament de la termoquímica com les exposades en les conseqüències derivades de la primera hipòtesi principal.

4.3. RECAPITULACIÓ.

El capítol IV ha estat destinat a presentar i analitzar els resultats trobats a l'aplicar els dissenys que s'han elaborat per posar a prova la primera hipòtesi principal d'aquesta recerca tant en la part relativa a les dificultats d'aprenentatge com en la corresponent a les insuficiències i deficiències de l'ensenyament.

A efectes d'operativització de la hipòtesi recordem que en el capítol III es derivaren 10 conseqüències contrastables pel que fa a les dificultats d'aprenentatge que es pressuposaren tindrien els estudiants en l'aplicació del primer principi a dos canvis físics (4 conseqüències) i en la comprensió del concepte d'entalpia quan ha d'aplicar-se en la interpretació energètica de canvis físics i reaccions químiques (6 conseqüències). En el cas de les mancances didàctiques en l'ensenyament, el disseny emprat consistí en la construcció d'una xarxa d'anàlisi de llibres de text amb 16 qüestions i en l'elaboració d'un qüestionari que es passa a professors de ciències i que posarien a prova les 6 conseqüències derivades de la hipòtesi.

Els resultats trobats en els qüestionaris Q1 i Q2 aplicat a 207 estudiants de COU, de 3r i 5é de llicenciatura de Química i del C.A.P. així com les entrevistes estructurades E1 i E2 fetes a 12 estudiants de 2n de Batxillerat han permès constatar l'existència d'elevats percentatges d'estudiants pre-universitaris i universitaris amb dificultats a l'hora de fer anàlisis energètics del que passa tèrmicament en l'expansió d'un gas i en l'evaporació adiabàtica de l'èter (Q1). També s'ha constatat un fracàs acadèmic

semblant en els ítems del qüestionari Q2 sobre la idea d'entalpia d'un sistema, malgrat que el seu format és del tipus conceptual que habitualment s'utilitza en l'ensenyament.

D'altra banda, la crítica feta a través de les 16 preguntes de la xarxa d'anàlisi dels llibres de text i amb 7 preguntes del qüestionari Q3 fet a professors en actiu i formació, ha posat en relleu les mancances didàctiques detectades al no tindre en compte els coneixements teòrics que està aportant la didàctica de les ciències com a cos teòric de coneixements. Les més importants que s'han mostrat en aquest treball han estat la manca de preocupació per incloure les relacions CTSA en el desenvolupament del tema o temes de Termoquímica en els llibres de Química, no tindre en compte l'existència de concepcions alternatives i formes de raonament de sentit comú en els estudiants, la manca d'introducció d'estratègies pròximes a les científiques que afavoreixen la construcció de coneixements en l'estudiant o no saber el camp de validesa dels conceptes que s'estan manejant.

Podem afirmar que aquestos resultats avalen la primera hipòtesi enunciada com a solució dels problemes d'aprenentatge prou coneguts pels professorat de Física i Química tant dels cursos de Batxillerat com dels de la Universitat. En el capítol 7é s'exposaran amb molt més de detall les principals conclusions que s'han obtingut en aquest treball.

CAPÍTOL V.- OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI I DISSENY EXPERIMENTAL PER AL SEU QÜESTIONAMENT.

5.0. INTRODUCCIÓ

En la primera part del treball de recerca es varen analitzar les principals dificultats d'aprenentatge que tenen els estudiants de Batxillerat i Universitat quan estudien les interaccions energètiques produïdes en els canvis químics, concretament en l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica i el concepte d'entalpia. Els resultats obtinguts mostraren la relació entre les mancances didàctiques de l'ensenyament convencional degudes principalment a les visions deformades de la natura de la ciència que transmetem els professors i aquestes dificultats en l'aprenentatge, contrastant-se d'aquesta manera la primera hipòtesi del treball d'investigació.

En aquest capítol es tracta d'operativitzar la segona hipòtesi principal i veure si es pot donar una solució positiva a les dificultats trobades en l'aprenentatge canviant el model d'ensenyament convencional per altre més d'acord amb la recerca en didàctica de les ciències. En definitiva, es posarà a prova si aquest nou model d'ensenyament-aprenentatge per recerca orientada, pot augmentar l'eficàcia i facilitar la superació de la major part d'obstacles dels estudiants en el domini de la Termodinàmica. Es dir, tal com s'avançava en la primera part del treball, es tractarà de respondre a la següent qüestió:

Què caldrà canviar de l'ensenyament de les interaccions energètiques en els canvis físics i químics per afavorir la construcció dels coneixements termodinàmics i així superar les principals dificultats d'aprenentatge?

En el desenvolupament d'aquest capítol i per tal de respondre a la darrera pregunta es proposarà, en primer lloc, una seqüència didàctica problematitzadora del currículum en el procés de l'ensenyament-aprenentatge de la termoquímica; en segon lloc, s'elaborarà un programa d'activitats d'acord amb aquest microcurrículum on s'inclouen les estratègies del model d'aprenentatge per recerca orientada i, per últim, es presentaran els dissenys utilitzats per a contrastar aquesta segona hipòtesis i les seues conseqüències derivades.

5.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI PRINCIPAL

L'operativització de la segona hipòtesi principal consistirà en plantejar una possible solució que millori les dificultats trobades en l'aprenentatge de la Termoquímica mitjançant una nova estratègia d'ensenyament. Recordem que la segona hipòtesi principal proposada en el capítol II de la memòria deia que:

'El desenvolupament a l'aula d'un programa d'activitats de Termoquímica per a Batxillerat basat en el model d'aprenentatge com activitat de recerca orientada presentat en un curs de Didàctica de les Ciències impartit a estudiants universitaris de Física i Química, que estan formant-se com futurs professors, produirà millores substancials en la seva comprensió dels continguts respecte a l'aconseguida en l'ensenyament universitari habitual'.

Aquesta hipòtesi es desglossa en tres hipòtesis derivades com les següents que ens permetran contrastar-la directament:

H_{2,1}: *'Es possible elaborar una seqüenciació i organització dels continguts del tema de Termoquímica basada en el model d'aprenentatge per investigació orientada com estratègia didàctica a utilitzar en un curs de Didàctica de les Ciències experimentals impartit a professors de Física i Química en formació'.*

H_{2,2}: *'Aquesta estratègia es desenvoluparà - passant a un segon nivell de concreció- en forma de programa d'activitats que s'utilitzarà com exemple d'unitat didàctica de Química del batxillerat científic en la classe de formació de professorat amb la finalitat que aquests professors aprenguen un seguit de competències docents (conceptuals, procedimentals i axiològiques) a l'hora d'afrontar l'ensenyament del tema de Termoquímica'.*

H_{2,3}: *'El desenvolupament i vivència del programa d'activitats en la classe de professors de Física i Química en formació generarà una major comprensió conceptual del tema de Termoquímica respecte a l'ensenyament universitari habitual.*

Es passarà a justificar i detallar aquestes conseqüències derivades de la segona hipòtesi principal en els corresponents subapartats.

5.1.1. Selecció i organització d'un microcurrículum que problematitze l'ensenyament/aprenentatge de la termoquímica.

La incidència de l'ensenyament convencional en l'aprenentatge de la Termoquímica es va posar de manifest en la contrastació de la primera hipòtesi, on es dia literalment que *'les dificultats d'aprenentatge de la Termoquímica no són superades, entre d'altres raons, perquè l'ensenyament que es fa habitualment en aquest domini presenta greus mancances didàctiques al no tindre en compte els resultats de la recerca didàctica i, en particular, al no eixir al pas de les visions deformades que sobre la construcció de coneixements científics tenim els professors'*.

En aquest apartat tractarem d'ampliar les perspectives de millora d'aquest ensenyament convencional en primer lloc, seleccionant i organitzant una seqüenciació dels continguts a desenvolupar com estratègia problematitzadora del currículum, tal com ja s'ha fet en altres treballs que també es basen en el model d'aprenentatge com a investigació orientada (Verdú 2004; Martínez-Torregrosa, Verdú i Osuna 2006; Osuna 2007; Guisasola, Furió i Almudí 2007). Aquesta estratègia problematitzadora pot partir d'una situació problemàtica oberta general com pot ser: *Com podem explicar els efectes tèrmics i mecànics dels processos físico-químics?*, d'altra més contextualitzada socialment com, per exemple, *Com saber si la nostra alimentació és saludable?*, o d'un seguit de situacions que considera, al mateix temps, aspectes generals on s'introdueixen els nous conceptes com, per exemple, 'Energia i processos físico-químics' amb aplicacions socials com la de l'alimentació. Aquesta darrera serà la que seleccionarem en aquesta recerca.

A més, la seqüència d'ensenyament seleccionada haurà de ser coherent amb la segona hipòtesi fonamentada en el model d'ensenyament/aprenentatge de les ciències com activitat de recerca orientada i desenvoluparà la primera conseqüència derivada referida a com seqüenciar els continguts del tema de Termoquímica. Aquesta seqüència ha de tindre un fil conductor amb un conjunt de problemes o situacions problemàtiques que al resoldre-les familiaritzarà als estudiants amb les competències referides en el capítol III de la memòria.

El disseny d'una estructura problematitzadora dels continguts a desenvolupar en el microcurrículum de la termoquímica es mostra en el quadre 7 d'acord amb els resultats actuals de la recerca educativa i, en particular, d'acord amb la fonamentació epistemològica i didàctica de la segona hipòtesi principal que s'ha presentat al capítol II. En particular, aquest disseny tractarà de posar en acte el model d'aprenentatge per investigació orientada (Guisasola, Furió i Ceberio, 2008) en el cas particular de

l'ensenyament de la Termoquímica en el Batxillerat que pot ser extrapolat també als primers cursos dels ensenyaments universitaris. En la primera columna del quadre 7 s'ha expressat breument un seguit de problemes que orientaran als estudiants respecte als objectius que es persegueixen en cada nivell. En la segona columna es fa l'èmfasi en les aproximacions empíriques i procedimentals com aspectes fonamentals en la (re)construcció de coneixements científics pels estudiants i, finalment, en la tercera columna es centren sintèticament en els aspectes axiològics i conceptuals per a valorar i explicar amb els conceptes i lleis científiques els fenòmens i situacions estudiades.

Quadre 7. Mapa de la seqüència didàctica per a l'estudi dels canvis energètics que ocorren en les reaccions físiques i químiques. Introducció significativa de l'entalpia d'un sistema i de la seva variació en aquells processos com explicació dels canvis.

| Seqüència de problemes | Procediments sobre la Ciència a aprendre pels alumnes | Valoracions i explicacions a comprendre |
|--|---|--|
| Quin interès i utilitat pot tindre l'estudi dels canvis energètics que ocorren en les reaccions químiques? | - La ciència s'interessa pels fenòmens naturals i les seves implicacions socials. L'origen de l'interès per un fenomen, situació o fet conegut pot ser molt variat: la mateixa ciència, problemes tecnològics, locals o globals, observacions, etc. | - <i>Valoració de l'obtenció i ús de l'energia per les implicacions tecnològiques i socials que té i, en particular, per les repercussions ambientals que està tenint l'energia obtinguda al cremar combustibles fòssils (canvi climàtic).</i> - Adquirir una concepció preliminar de l'estudi a realitzar. |
| Què pot passar, des del punt de vista energètic, en un canvi físic o químic? (En aquest cas, es posarà l'èmfasi en l'estudi dels efectes tèrmics i mecànics produïts en els processos físico-químics. Es poden realitzar experiments amb processos exotèrmics i endotèrmics a fi de familiaritzar-se amb la fenomenologia i comprendre la classificació en exo i endotèrmics) | - Aquest interès fa que es familiaritze amb observacions empíriques i/o informacions sobre els fenòmens objecte d'estudi. | - Estudi macroscòpic dels efectes energètics, preferentment en forma de calor i treball, que es produeixen en els canvis físics i químics. En aquest estudi hi s'haurà de decidir quins són els sistemes que habitualment interaccionen, saber classificar empíricament quan el procés és exotèrmic o endotèrmic i com saber si el procés es pot considerar adiabàtic. |

Quin és el problema que es pretén resoldre en aquest estudi al fer reaccionar, per exemple, a dues substàncies?

- La ciència, al plantejar-se problemes, comença per precisar-los, acotar-los i, en resum, es fa assequibles per a cercar una solució.

- Adquisició d'una concepció preliminar de la tasca que es va a realitzar: quins efectes tèrmics o mecànics es van a obtenir, per exemple, al fer reaccionar determinades quantitats de substància?

- Revisió de prerequisits conceptuals que s'han estudiat abans com calor i treball- formes de transferir energia entre sistemes- i el d'energia d'un sistema així com les formes d'energia associades a sistemes macro i microscòpics.

Com interpretar macro i microscòpicament els efectes tèrmics i/o mecànics (termodinàmics) en els canvis físics i químics?

(Necessitat d'introduir una primera funció com l'energia interna, U , del sistema, a títol d'hipòtesi, per explicar les transferències d'energia amb un segon sistema com la calor, Q , i el treball, W , realitzat)

Quina estratègia es pot utilitzar (amb ajuda de la nova funció introduïda) per a relacionar ΔU del sistema amb Q i W ?

Per què i com introduir una segona funció, l'entalpia H , d'un sistema que facilite més l'explicació dels efectes tèrmics en els processos físics i químics?

- Una vegada s'han adquirit referents empírics del fenomen a estudiar, s'ha analitzat la situació amb el model atòmic i s'ha precisat el problema, s'aborda la seva solució mitjançant l'emissió d'hipòtesis (en aquest cas, s'introduiran les dues funcions termodinàmiques, l'energia interna i l'entalpia, com nous conceptes) i la cerca d'estratègies adequades que tracten de solucionar el problema precisat i aconseguir l'objectiu final d'explicar macro i microscòpicament les transferències energètiques en els canvis físics i químics estudiats (model termodinàmic).

- Saber el significat d'energia interna d'un sistema, U , diferenciant-la de la calor i relacionar la seva variació, ΔU , amb la calor, Q , i el treball, W , produïts en el procés (primer principi de la termodinàmica).

- Saber el significat de la funció 'entalpia d'un sistema', H , com a suma d' U i del potencial $P.V$ si el procés es realitzarà a P constant i saber mesurar la ΔH estàndard d'un canvi físic o químic.

Com explicar microscòpicament les variacions entàlpiques que ocorren en aquests canvis?

Com predir i contrastar experimentalment la variació d'entalpia estàndard d'un procés?

Aplicació del model estudiat a exemples d'interès com, pot ser, el saber si la nostra alimentació afavoreix o no l'obesitat?

- Contrastació del model d'explicació proposat. Disseny i realització de proves experimentals o mitjançant simulacions informàtiques.

- Avaluar la validesa del model

-Explicar microscòpicament aquesta ΔH en un canvi amb la introducció del concepte d'entalpia d'enllaç superant l'associació errònia entre aportació d'energia al sistema i formació d'enllaços o, també, la d'aportació d'energia per part del sistema quan es trenquen enllaços. Aquestes concepcions alternatives estan prou esteses entre els estudiants universitaris de Ciències.

- Saber aplicar la nova funció H a la interpretació energètica de canvis diversos coneguts (dissolució aquosa d'una sal, neutralització d'àcid i base forts, etc.).

- *Saber aplicar els coneixements a un problema actual d'interès com saber si la dieta personal es pot considerar suficient des del punt de vista energètic o, pel contrari, afavoreix l'obesitat. En aquest cas, caldrà contestar les qüestions: Com saber si tenim sobrepès? Quines són les condicions d'una dieta saludable segons l'OMS? Com saber si la dieta personal és energèticament saludable?*

- Saber que la variació d'entalpia d'un procés no serà la calor de reacció a pressió constant si es

produceix també treball
elèctric i/o radiacions
lluminoses.

Amb aquest fil conductor passarem a desenvolupar el programa d'activitats que s'utilitzarà com a material de treball en el procés d'ensenyament segons el model d'aprenentatge com investigació orientada.

5.1.2. Elaboració d'un programa d'activitats de termoquímica que desenvolupi els continguts seleccionats i incloga les estratègies del model d'aprenentatge per investigació orientada.

D'acord amb aquest fil conductor s'ha desenvolupat un programa d'activitats a través del següent índex de continguts que, en essència, segueix el quadre 6:

Títol del tema: ENERGIA I PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICS
o també: COM EXPLICAR ELS EFECTES TÈRMICS I MECÀNICS DELS
PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICS?.

0. Introducció: Importància de l'estudi i preguntes que interessarà contestar.
1. Aproximació fenomenològica als canvis energètics que ocorren en els processos físico-químics.
2. Com s'interpreten les interaccions dels sistemes materials en aquests canvis físics i químics? El concepte d'energia interna d'un sistema.
3. ¿Què passa amb l'energia interna d'un sistema quan interacciona amb uns altres sistemes? El principi de conservació de l'energia i el primer principi de la Termodinàmica.
4. L'entalpia dels sistemes: una nova funció energètica que facilita l'explicació dels efectes tèrmics en processos físics i químics.
5. Es pot considerar l'entalpia d'un sistema material com una funció d'estat? La llei de Hess.
6. Com predir la variació d'entalpia estàndard d'un procés, ΔH_r° , a partir de les entalpies de formació de les substàncies que intervenen?
7. Interpretació microscòpica dels canvis entàlpics que ocorren en els processos físics i químics: el concepte *d'entalpia d'enllaç*.
8. 5. Una aplicació d'interès personal: Com saber si la nostra alimentació afavoreix o no l'obesitat

En aquest apartat introduïrem les activitats del programa que s'ha elaborat

corresponents a cadascun dels apartats de la seqüència de continguts (índex) i que coincidirà bàsicament amb les finalitats de la tercera columna del quadre 7. El programa d'activitats amb els comentaris, donat que aquestos arpleguen observacions realitzades en la seua aplicació a l'aula, es posarà com un primer resultat concret en el següent capítol. Els objectius de cada apartat del programa i les corresponents activitats s'inclouen en el quadre 8 següent:

Quadre 8.- Objectius i activitats del tema 'Energia i processos físico-químics' o 'Com explicar els efectes tèrmics i mecànics dels processos físico-químics?'

| Objectius | Activitats |
|--|--|
| <p>- Valoració de l'obtenció i ús de l'energia per les seves implicacions tecnològiques i socials que té i, en particular, per les repercussions ambientals que està tenint l'energia obtinguda al cremar combustibles fòssils (canvi climàtic).</p> <p>- Adquirir una concepció preliminar de l'estudi a realitzar.</p> | <p>A.1. Quin interès personal i social pot tindre l'estudi dels canvis energètics que ocorren en els processos físics i químics? Proposeu exemples on es manifeste la importància que té aquesta temàtica a l'hora de cobrir necessitats socials.</p> <p>A.2. Procedir a cremar una petita cinta de magnesi en classe i esmenteu quins canvis produïts ja s'han estudiat i en quins altres interessarà aprofundir?</p> <p>A.3. Quines preguntes que ens semblen rellevants podem plantejar-nos en l'estudi d'aquesta temàtica?</p> |
| <p>- Estudi macroscòpic dels efectes energètics, preferentment en forma de calor i treball, que es produeixen en els canvis físics i químics. En aquest estudi s'haurà de decidir quins són els sistemes que habitualment interaccionen, saber classificar empíricament quan el procés és exotèrmic o endotèrmic i com saber si el procés es pot</p> | <p>A.4. Recordeu quins procediments es poden utilitzar per aconseguir els següents efectes tèrmics: a) escalfar un poc d'aigua que hi ha en un got; b) escalfar l'aire que hi ha en una càmera de bicicleta inflada; c) escalfar un fil de coure; d) refredar el gas carbònic que hi ha en una bombona fins convertir-lo en sòlid (l'anomenat 'gel sec'); e) refredar una zona petita del cos d'una persona malalta on es va a operar; f) escalfar una planta a l'hivern; g) tindre una font continua de calor.</p> <p>A.5. Dissenyeu experiments per veure qualitativament si els següents processos són exotèrmics o endotèrmics: i) la dilució d'un poc de sulfúric concentrat amb aigua en un erlenmeyer petit; ii) l'evaporació a temperatura i pressió ambientals d'un poc d'èter etílic en una càpsula. Indiqueu com es pot calcular la calor produïda si el sistema escalfa o el seu refredament si es gela ràpidament.</p> <p>A.6. Dissenyeu dos experiments amb gasos en un dels quals es faça treball pel sistema contra l'exterior i en l'altre siga l'exterior el que ho realitze contra el sistema. Indiqueu com es pot calcular el valor del treball mecànic realitzat.</p> |

considerar adiabàtic.

- Adquisició d'una concepció preliminar de la tasca que es va a realitzar: quins efectes tèrmics o mecànics es van a obtenir, per exemple, al fer reaccionar determinades quantitats de substància?

- Revisió de prerequisits conceptuals que s'han estudiat abans com calor i treball - formes de transferir energia entre sistemes- i el d'energia d'un sistema així com les formes d'energia associades a sistemes macro i microscòpics.

- Saber el significat d'energia interna d'un sistema, U , diferenciant-la de la calor i relacionar la seva variació, ΔU , amb la calor, Q , i el treball, W , produïts en el procés (primer principi de la termodinàmica).

A.7. Recordeu en que consisteix la capacitat dels següents sistemes per produir canvis (que és quan diguem que tenen energia) i quin tipus d'energia li associem a cada cas:

- a) una massa d'aigua embassada en un pantà;
- b) l'aire comprimit d'un pneumàtic;
- c) una quantitat de nitroglicerina;
- d) el butà d'una bombona domèstica;
- e) una pedra llançada a gran velocitat;
- f) la corrent de vapor d'aigua d'una central tèrmica;
- g) les substàncies químiques que van a reaccionar dins d'una pila;
- h) un arc tens i disposat per a llançar una fletxa.

A.8.- Com sabem que les substàncies químiques tenen “*energia interna*” o. més precisament, en què consisteix la seua capacitat per a fer treball i/o produir calor?

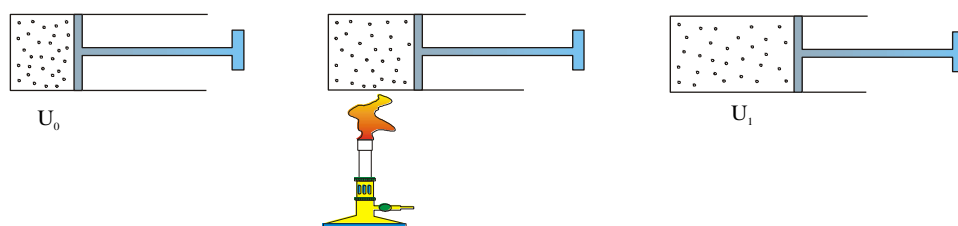
A.9.- A l'explicar els canvis que ocorren hem definit la funció ‘*energia interna*’ d'un sistema com la suma del conjunt de les energies internes associades a les substàncies que el conformen. De quin factors penseu que dependrà l'energia interna d'una substància química?

A.10.- Raona quins dels dos sistemes que hi ha en cada apartat té major energia interna:

- a) una massa d'aigua a 25°C o la mateixa massa a 75°C; b) aquesta massa d'aigua líquida a 100°C o quan s'ha convertit en vapor també a 100°C; c) un volum de gas hidrogen molecular a una T y P fixes i el mateix volum d'hidrogen atòmic a les mateixes P i T .

A.11.- Exposar, a títol d'hipòtesi, què passa amb les energies internes de dos sistemes quan interaccionen i amb l'energia total dels conjunt format pels dos sistemes. Explica amb aquesta idea l'exemple conegut de l'equilibri tèrmic que s'assoleix al mesclar dues masses de gas, un calent i un altre gelat.

A.12.- La figura adjunta representa el cas d'un gas tancat en una xeringa que escalfa amb un encenedor i, al mateix temps, s'expansiona.



Quina relació pot haver hi entre la variació de l'energia interna dels gas, ΔU , la calor, Q , aportada pel focus calorífic extern i/o el treball, W , realitzat per o sobre el sistema gasós?

A.13. Expliqueu amb l'ajuda del primer principi de la Termodinàmica els següents fenòmens quotidians: a) l'escalfament de l'aire d'una càmera de bicicleta que es comprimeix per un alumne; b) el refredament del sistema al dissoldre en aigua un poc de clorur amònic.

A.14.- Tracteu de predir que li passarà a la temperatura dels següents sistemes:

l'evaporació ràpida d'un poc de l'alcohol etílic que s'ha deixat en una capsa oberta a l'aire lliure;

la dilució en aigua d'un poc d'àcid sulfúric concentrat.

Una vegada feta la predicció, dissenyeu i realitzeu els respectius experiments per posar a prova les suposicions emeses.

A.15. ¿Com es pot mesurar la ΔU en qualsevol procés físic o químic? Apliqueu-ho al cas de la dilució del sulfúric tractada en A.14.

A.16. Deriveu del primer principi de la Termodinàmica ($\Delta U = Q - W_{\text{int}}$) una nova funció termodinàmica que anomenarem *entalpia del sistema* (H) restringida a processos a pressió constant on sols es pot intercanviar energia amb l'exterior en forma de calor i de treball d'expansió/compressió (és a dir, sense que es produïska, p.e., treball elèctric o radiacions distintes a les del calor).

A.17. Quin significat qualitatiu podem associar a l'entalpia d'un sistema i com podem mesurar la seva variació ΔH en un procés fisicoquímic?

A.18. Dissenyeu i realitzeu la mesura de la ΔH d'un procés químic com pot ser la neutralització d'una quantitat de substància d'un àcid fort (p.e., de clorhídric 1molar) amb la corresponent quantitat d'una base forta (p.e., d'hidròxid sòdic 1 molar).

A.18 bis. Habitualment la ΔH d'un canvi químic es pot mesurar amb la calor produïda o absorbida pel sistema a pressió constant però no sempre és així. En quins processos no es pot fer aquesta equivalència entre ΔH i Q_p ?

A.19.- Indiqueu quin estat inicial (reactius) o final (productes) dels sistemes que interaccionen i s'esmenten a continuació, tenen major entalpia:

a) $\text{CH}_3\text{OH} (\text{l}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} (\text{g})$ (s'absorbeixen 35.2 kJ per mol de líquid vaporitzat)

b) $\text{C} (\text{grafit}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{C O}_2 (\text{g})$ (es desprenen 393.5 kJ per mol de grafit)

- Saber el significat de la funció 'entalpia d'un sistema', H , com a suma d' U i del potencial $P.V$ si el procés es realitzarà a P constant i saber mesurar la ΔH estàndard d'un canvi físic o químic.

- Saber que la variació d'entalpia d'un procés no serà la calor de reacció a pressió constant si es produeix també treball elèctric i/o radiacions lluminoses.

- Saber aplicar la nova funció H a la

interpretació energètica cremat)

de canvis diversos coneguts (dissolució aquosa d'una sal, neutralització d'àcid i base forts, etc.).

c) $\frac{1}{2} \text{N}_2 (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{NO} (\text{g})$ (s'absorbeixen 90.3 kJ per mol de NO format)

A.20.- Dibuixeu els diagrames entàlpics corresponent als processos dels apartats (a) i (b) de l'activitat anterior (A.19).

A.21.- Com podem definir l'entalpia estàndard de formació d'una substància, H_f° , per què es puga utilitzar en els processos en què participe?

A.22.- Tracteu de raonar perquè l'entalpia ha d'ésser una funció d'estat. Dissenyeu algun experiment on es pose a prova si la ΔH° de la dilució d'àcid sulfúric concentrat quan passa d'una concentració 36 M a un altra 1 M, és la mateixa independent del camí seguit al fer aquest procés (és a dir, que donarà el mateix si la dilució es fa en una o en varies etapes).

A.23.- La ΔH° de l'oxidació parcial del grafit (C) a CO(g) és difícil d'obtindre experimentalment perquè no pot evitar-se que una part del CO continue oxidant-se a CO₂. Com podria calcular-se la ΔH° d'aquest procés?

A.23bis.- L'entalpia estàndard de formació del gas CO, [$H_f^\circ (\text{CO})$], no es pot determinar experimentalment perquè el CO fàcilment s'oxida a CO₂. Com es pot calcular aquesta entalpia?

A.24.- Com determinar, en general, la variació d'entalpia estàndard d'un procés, ΔH_r° , a partir de les entalpies de formació de les substàncies productes, [H_f° (producte 1), H_f° (producte 2), ...] i les dels reactius [H_f° (reactiu 1), H_f° (reactiu 2), ...]?

A.25.- El metà és el principal component del gas ciutat que s'utilitza com combustible domèstic. Calculeu la ΔH_r° de la combustió del metà i el seu poder calorífic en kJ/kg.

A.26.- El metanol líquid (CH₃OH) se li anomena en la vida quotidiana com 'alcohol de cremar' i la seva H_f° val -238.6 kJ/mol. Quin combustible tindrà major poder calorífic el metanol líquid o el metà?

- Explicar microscòpicament aquesta ΔH en un canvi amb la introducció del concepte d'entalpia d'enllaç superant l'associació errònia entre aportació d'energia al sistema i formació d'enllaços o,

A.27.- Expliqueu, a títol d'hipòtesi, el que passa energèticament quan interaccionen les molècules de dues substàncies quan reaccionen per a formar les molècules de les substàncies formades.

A.28.- Què és l'entalpia mitjana d'enllaç? Indiqueu quines serien les entalpies mitjanes dels enllaços H-H i C-H a partir de les següents dades termoquímiques?

a) $\text{H}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{H} (\text{g}) + \text{H} (\text{g}), \Delta H_r^\circ = 436 \text{ kJ}$

b) $\text{CH}_4 (\text{g}) \rightarrow 4 \text{H} (\text{g}) + \text{C} (\text{g}), \Delta H_r^\circ = 1665 \text{ kJ}$

també, la d'aportació d'energia per part del sistema quan es trenquen enllaços. Aquestes concepcions alternatives estan prou esteses entre els estudiants universitaris.

- Saber aplicar els coneixements a un problema actual d'interès com saber si la dieta personal es pot considerar suficient des del punt de vista energètic o, pel contrari, afavoreix l'obesitat. En aquest cas, caldrà contestar les qüestions: Com saber si tenim sobrepès? Quines són les condicions d'una dieta saludable segons l'OMS? Com saber si la dieta personal és energèticament saludable?

A.29.- Calculeu l'entalpia mitjana de l'enllaç H-Cl a partir de les següents dades: entalpia de dissociació de les molècules d'hidrogen, H_2 , (436 kJ/mol); entalpia de dissociació de les molècules de clor, Cl_2 (239 kJ/mol); entalpia estàndard de formació de HCl (g) = -92.4 kJ/mol.

A.30.- En què consisteix l'obesitat i quines són les possibles causes d'aquesta malaltia?

A.31.- Com saber si una persona està obesa?

A.32.- Què és un aliment i quines poden ser les funcions bàsiques dels aliments en els éssers vius?

A.33.- Com podem esbrinar l'aportació energètica d'un aliment específic?

A.34.- Com saber si la dieta alimentaria d'una persona és suficient o no des del punt de vista energètic?

5.1.3. L'aplicació d'aquest programa d'activitats a grups experimentals d'estudiants universitaris (futurs professors de Física i Química) aconseguirà ganàncies significatives en l'aprenentatge de la Termoquímica.

L'informe recent titulat de la Comunitat Europea "*Science Education NOW: Evolution of student interested in Science and Technology Studies*" (Rocard et al, 2007), ha reiterat el paper crucial en la formació d'actituds envers la ciència ressaltant els primers contactes positius amb la ciència dels estudiants de primària i secundària. Tanmateix, l'estudi indicava que, mentre que els nens tenien una natural curiositat en aquestos estudis, la forma tradicional de l'educació científica disminueix el seu interès i té un impacte negatiu en el desenvolupament de les actituds per aprendre ciència. En molts països europeus, els mètodes d'ensenyament de la ciència són essencialment deductius. La presentació dels conceptes s'introdueixen primer sense presentar els

problemes que es volen resoldre i, a continuació, es deriven les conseqüències operatives sense massa significació, mentre els experiments són utilitzats principalment com il·lustracions. Es requereixen canvis en aquest procés d'aprenentatge fent un ús més extensiu de les estratègies de la investigació en l'ensenyament de les ciències. No obstant això, encara que moltes de les comunitats d'educació científica estan d'acord en el fet que les pràctiques pedagògiques basades en mètodes d'investigació orientada són més efectives, la realitat de les classes és que en molts països europeus l'actual ensenyament de la ciència no segueix aquesta proposta (Rocard et al., 2007).

L'ensenyament-aprenentatge de les Ciències per investigació orientada requereix un canvi en la metodologia de manera que es plantegen problemes, es dissenyen experiments i es distingeixen alternatives, planifiquen investigacions, es busquen hipòtesis i informació, de manera que es construeixen models que ajuden a formar arguments coherents (Wenham 1993; Linn, Davis i Bell, 2004; Driver, Newton i Osborne 2000).

L'aplicació del programa d'activitats serveix, justament, per a orientar la metodologia d'ensenyament de les ciències com si fos una indagació i, com s'anticipa en la tercera hipòtesi derivada **H_{2,3}**, el seu desenvolupament en classe generarà una major comprensió conceptual del tema de Termoquímica respecte a l'ensenyament universitari habitual. Aquesta major comprensió del tema es traduirà en una millora de competències que pot operativitzar-se en les següents conseqüències derivades:

- i) *Hi haurà una superació substancial de la major part de les dificultats que tenien en aquest tema de Termoquímica els professors en formació tractats.*
- ii) *S'aconseguirà una ganància en la comprensió del primer principi de la Termodinàmica i del concepte d'entalpia dels professors en formació respecte al seu aprenentatge anterior.*
- iii) *El grup experimental de professors en formació millorarà en l'apropiació d'alguns indicadors de comprensió de la Termoquímica respecte a dos grups de control, un format per estudiants universitaris de 3r de Química que acaben d'estudiar aquesta temàtica en la seva carrera i un segon per llicenciats de Física i de Química no tractats que han cursat la Didàctica de la Física i Química en el CAP'.*

Amb la finalitat d'elaborar els dissenys experimentals per posar a prova aquestes tres conseqüències s'han seleccionat en el Quadre 9 les principals competències que estan

contingudes en les que s'anticiparen en el tercer capítol d'aquesta memòria (Quadre 2) i que han d'aconseguir els estudiants així com les possibles dificultats d'aprenentatge que es poden presentar d'acord amb la revisió bibliogràfica feta i l'estudi realitzat en la primera part d'aquest treball d'investigació.

Quadre 9.- Competències que han d'aconseguir els estudiants al finalitzar l'estudi de la Termoquímica i dificultats d'aprenentatge que es poden presentar.

| Contingut de la competència | Dificultat que es pot presentar |
|---|---|
| 1 Saber quin problema es pretén resoldre. | No tindre una concepció preliminar de la situació problemàtica o problema que es vol estudiar. (Gil 1996; Furió 2001) |
| 2 Valorar quin interès té resoldre la situació a estudiar. | No tindre en compte la importància del problema per a les persones i el seu entorn. (Vilches i Gil-Pérez 2003) |
| 3 Familiaritzar-se amb el fenomen objecte d'estudi adquirint el referent empíric (per exemple, escalfament o refredament del sistema en un procés químic). Valorar quins són els sistemes que interaccionen i saber com són estos processos (en particular si són adiabàtics o isoterms, si exo o endotèrmics). | No saben distingir quan es pot considerar si un procés és adiabàtic o isoterm (Baumann 1992; Martínez i Pérez 1997). Tenen dificultats procedimentals en els processos endotèrmics. Els estudiants pensen que si un sistema es refreda o s'escalfa ràpidament és perquè hi ha un altre que li lleva o li dona calor. Aquesta fixació funcional ve de la calorimetria que han estudiat anteriorment (Furió et al 1999). |
| 4 Saber analitzar qualitativament la situació problemàtica termodinàmica acotant-la i precisant-la. | Manca de familiarització en el tractament energètic d'aquestes situacions, la qual cosa implica decidir si inicialment es decanten per un anàlisi termodinàmic macroscòpic o microscòpic. I menys encara saben establir relacions adequades entre aquestos dos nivells de representació (Treagust et al 2003; Furió et al 2007), la qual cosa suposa haver adquirit les competències que s'exposen als apartats 5 i 6 següents d'aquesta taula. En particular, els estudiants solen presentar errors conceptuals en les lleis dels gasos (Huann-Shyang i Hsin-Ju 2000) i reduccions funcionals en la seva aplicació (Rozier i Viennot 1991; Furió et al 1999). |

- 5 Saber aplicar el model atòmic i molecular i, en particular, saber el mecanisme elemental d'una reacció química. A continuació s'indiquen algunes competències particulars que tenen importància especial.
- No estan acostumats a fer interpretacions microscòpiques i quan les fan solen utilitzar raonaments de sentit comú. Per exemple, usen la reducció funcional al fer associació entre la P i la densitat de partícules ignorant la T del gas (Rozier i Viennot 1991).
- Utilitzen els xocs de les partícules d'un gas com a mecanisme per explicar la T que té sense saber que són xocs considerats elàstics, és a dir, sense ruptura d'enllaços (Furió-Gómez 2004).
- 5.1 Saber que la T d'un gas és una magnitud estadística.
- S'atribueix una temperatura a cada partícula del gas (Furió-Gómez 2004).
- 5.2 Saber que en un gas a una T determinada hi ha una distribució normal de velocitats de les partícules.
- Es presenten concepcions alternatives com són:
- A una T del gas totes les partícules tenen la mateixa velocitat (Furió-Gómez 2004).
- S'ignora la velocitat quadràtica mitjana de les partícules d'un gas (Rozier i Viennot 1991).
- 5.3 Saber que en la matèria condensada a qualsevol T hi ha moviment vibratori al qual s'associa una energia potencial electromagnètica.
- No s'admet l'existència d'espais buits entre les partícules lligades (Fleury 2001).
- 6 Saber aplicar la modelització termodinàmica per derivar què passa amb l'energia quan hi ha una interacció entre dos sistemes o entre les parts d'un mateix sistema. En particular, s'han d'adquirir les competències que s'indiquen a continuació.
- No estan familiaritzats amb l'ús simultani dels nivells de representació macroscòpica, submicroscòpica i simbòlica en les explicacions físiques i químiques (Treagust et al 2003) i menys encara en l'anàlisi energètica del que passa en els sistemes quan hi ha canvis.
- 6.1 Saber diferenciar, a nivell macroscòpic, calor de temperatura.
- Es molt coneguda la concepció alternativa que identifica la calor amb la temperatura del sistema. (Pintó 1991; Martínez i Pérez 1997; Harrison et al 1999; Tarín 2000)
- També es presenta la idea de calor associada al fregament entre els cossos (Dumrauf i Cordero 2004).
- 6.2 Saber que la calor i el treball no són energies sinó formes de transferir energia.
- Considerar que el treball i la calor són formes d'energia (Tarín 2000)

- 6.3** Saber el significat qualitatiu de l'energia interna, U , d'un sistema i distingir-la de la calor. S'identifica l'energia interna amb la calor o la temperatura del sistema (Pintó 1991; Martínez i Pérez 1997; Harrison et al 1999; Tarín 2000)
Se dona a l'energia caràcter substancial (Doménech 2001).
- 6.4** Saber analitzar qualitativament les transferències i transformacions energètiques entre sistemes establint les relacions entre les variables de procés Q i W i les associades als sistemes (U_i). Escassa familiarització amb anàlisis energètiques en interaccions on es produeix calor i/o es realitza treball i, per tant, no es relacionen adequadament les variables Q , W i la variació d'energia interna, ΔU (Furió-Gómez 2004).
- 6.5** Saber aplicar correctament el primer principi de la Termodinàmica tant en el nivell macroscòpic com en el microscòpic en situacions variades. No saben que el primer principi de la termodinàmica és la base dels càlculs de la termoquímica (Barlet i Mastrot 2000).
Hi ha confusió entre l'equació de la primera llei de la termodinàmica i el principi de conservació de l'energia (Baumann 1992).
- 6.6** Saber el significat qualitatiu de l'entalpia d'un sistema, que és una nova funció d'estat i les limitacions d'aquest concepte així com les de la definició operacional de ΔH . Associen l'entalpia del sistema amb la calor produïda en el procés i no fan operacional la noció de funció d'estat (Barlet i Mastrot 2000).
Es considera que sempre en qualsevol canvi la variació d' H és la calor de reacció a pressió constant (Furió-Gómez 2004).
- 6.7** Saber interpretar microscòpicament la variació d' H en un procés físic o químic i, en particular, en els endotèrmics. Utilitzen la reducció funcional ja que sols tenen en compte o bé la ruptura o bé la formació d'enllaços (Cohen i Ben-Zvi 1992; de Jong 2000)
Atribueixen a la ruptura d'enllaços desprendiment de calor i que per a formar-se enllaços es requereix energia (Furió-Gómez 2004).
També es presenta la idea que la calor és la resultant del fregament intern entre les partícules atribuint-li a aquestes propietats macroscòpiques (Amaral i Mortimer 2001; Furió-Gómez 2004).
- 7** Saber analitzar aplicacions CTSA que permeten contextualitzar socialment els coneixements adquirits en l'estudi realitzat Manca de familiarització en aquestes relacions CTSA perquè no se solen tractar en certa profunditat a l'ensenyament de la Química (Solbes y Vilches 2001).

Com veurem en l'apartat següent, algunes d'aquestes dificultats que ja varen ser observades en el treball d'investigació previ, també es molt possible que es presenten en el pretest que s'aplicarà al grup experimental dels futurs professors considerats en aquest treball i es podrà veure fàcilment si hi ha hagut una reducció dels obstacles quan, després d'utilitzar el programa d'activitats, es passe un postest als mateixos professors en formació (conseqüència i). De manera semblant es tractarà de falsar les altres dues conseqüències de la hipòtesis derivada $H_{2,3}$ veient si realment hi haurà una ganància significativa en l'aprenentatge de la termoquímica.

5.2. DISSENYS EXPERIMENTALS PER POSAR A PROVA LES CONSEQÜÈNCIES DERIVADES DE LA SEGONA HIPÒTESI.

Les conseqüències derivades de la segona hipòtesi principal que s'han exposat a l'apartat anterior han de ser qüestionades i posades a prova mitjançant l'elaboració de dissenys experimentals que presentarem i justificarem en aquest subapartat.

5.2.1 Disseny d'una estructura problematitzadora dels continguts a desenvolupar en el microcurriculum de la Termoquímica.

Per a contrastar la $H_{2,1}$ s'ha proposat un fil conductor o estratègia didàctica basant-se en el Quadre 7 que ha estat expressat en la fonamentació de la segona hipòtesi (veure el subapartat 5.1.1). Aquesta estratègia en forma d'estructura problematitzadora del tema de Termoquímica de 2n de Batxillerat també s'ha utilitzat en classe de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques perquè se suposava que els futurs professors havien d'ensenyar-lo als seus estudiants de Química. És a dir, en aquesta classe els estudiants universitaris, estructurats en petits grups de 3 o 4, com si foren professors de Física i Química que han de fer la programació del tema, discutien un fil conductor constituït per les següents qüestions:

- Quines primeres activitats es podrien proposar als estudiants de Batxillerat per a iniciar el tema?
- Com apropar als estudiants a la fenomenologia dels processos físics o químics en els que s'ha de prestar atenció a situacions problemàtiques on es va a produir escalfament i/o refredament del sistema?
- Què fer per anar preparant als estudiants en l'anàlisi de situacions problemàtiques on es vol explicar els efectes termodinàmics que es produeixen en els canvis físics o químics? (Revisió de prerequisits conceptuals com el

treball, la calor i, especialment, els d'energia cinètica, potencial i total d'un sistema).

- Com orientar als estudiants per que puguen fer correctament una anàlisi energètica en la interacció de dos sistemes o de les parts d'un mateix sistema? .
- Com introduir el concepte d'energia interna d'un sistema i relacionar-lo amb els efectes termodinàmics (calor i treball) produïts en un canvi físic o químic? (Derivació del primer principi de la Termodinàmica)
- Per què i com introduir el concepte d'entalpia dels sistemes com nova funció termodinàmica que facilita la interpretació dels efectes tèrmics en els processos físico-químics.
- Com establir relacions entre les explicacions termodinàmiques macroscòpiques i les microscòpiques introduint el concepte d'entalpia d'enllaç químic?
- Necessitat d'introduir algun estudi de relacions CTSA on s'aplique el que s'ha estudiat (Com, per exemple, el cas de l'obesitat en l'alimentació de les persones).

El desenvolupament d'aquestes qüestions va originar un microcurriculum per a estudiar en la classe de 2on de Batxillerat la unitat didàctica que ja hem esmentat com *'Energia i processos físico-químics'* o *'Com explicar els efectes tèrmics i mecànics dels processos físico-químics?'*. I que, pràcticament, coincidien amb la seqüència de continguts del tema de Batxillerat assenyalada a l'apartat 5.1.2. Aquest microcurriculum seria el que haurien d'acabar sabent els futurs professors i que, en aquesta recerca, seria el 'leiv motiv' per veure si ells havien après els continguts del tema de Termoquímica.

5.2.2 Disseny d'un programa d'activitats que precise els continguts conceptuals, procedimentals i axiològics del microcurriculum de Termoquímica.

Com ja s'ha comentat abans, per a posar a prova la hipòtesi derivada $H_{2,2}$ s'elaborà un programa d'activitats sobre el capítol 'Energia i processos físico-químics'(veure Quadre 8) que desenvoluparia el fil conductor dels continguts. Aquest programa, realitzat per tres investigadors, es proposaria com exemple de microcurriculum que havien de viure i debatre els dos grups experimentals de futurs professors de Física i Química inscrits voluntàriament en l'assignatura de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques dels cursos acadèmics 2004-2005 i 2005-2006. Aquest curs s'impartia habitualment per un dels investigadors en l'Aulari Interfacultatiu del campus de Burjassot de la Universitat de València. El primer dels dos grups estava constituït per 17 estudiants dels dos últims anys de les seues respectives carreres (7 estudiants de física, 4 de química i 6 d'enginyeria química). El segon grup estava format per 18 estudiants de cursos versemblants a l'anterior (9 estudiants de física, 5 de química i 4 d'enginyeria

química). En total, es disposava d'una quantitat d'estudiants superior a 30 amb la possibilitat de calcular percentatges com suggereix la investigació en didàctica de les ciències experimentals (Open University 1978).

L'aplicació del programa d'activitats tingué una duració de 10 sessions de dues hores que duraren unes 5 setmanes en cada curs comptant amb la realització del pretest que es faria durant la primera sessió. Ja que tindré en compte que s'impartien dues classes de dues hores el dilluns i dimecres de cada setmana.

El desenvolupament complet del programa d'activitats així com els comentaris que es realitzaren a les activitats es presentaran com a resultat d'aquesta hipòtesi derivada en el capítol següent.

5.2.3 Dissenys experimentals que avalue l'eficàcia de la instrucció rebuda pel grup experimental d'estudiants universitaris en forma de programa d'activitats.

Quan a la posada en qüestió de la hipòtesi derivada $H_{2,3}$ que pretenia, a l'aplicar el programa d'activitats, aconseguir en el grup experimental ganàncies significatives en l'aprenentatge de termoquímica dels futurs professors de física i química, es varen elaborar tres conseqüències contrastables (i, ii, iii) que s'han exposat a l'apartat 5.1.3 i, per tant, s'utilitzaran tres instruments que s'expliquen a continuació.

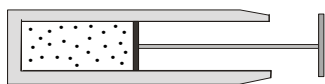
5.2.3.1 Disseny per veure la possible reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic.

Primer es va elaborar un disseny pretest-postest per poder comparar, d'una banda, la possible reducció de dificultats d'aprenentatge que es poguera produir mitjançant l'aplicació dels qüestionaris Q4 i Q5 (Document 6) sobre el primer principi de la termodinàmica i el concepte d'entalpia que es passaria únicament a cadascun dels estudiants del grup experimental abans (pretest) i després (postest) del tractament didàctic (conseqüència i). Les preguntes realitzades s'adjunten en el document 6.

Document 6.- Qüestionaris Q4 i Q5 (pretest i postest) per a contrastar la possible reducció de dificultats d'aprenentatge sobre l'aplicació del primer principi de la termodinàmica i el concepte d'entalpia .

Qüestionari Q4 (Pretest)

1. El dibuix adjunt presenta una xeringa aïllada tèrmicament de l'ambient que conté un gas ideal a pressió major que l'atmosfèrica. Què li passarà a la temperatura del gas quan s'expansione?



- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura.
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

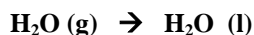
Justifica detalladament el perquè de la resposta.

2. Si fem en una càpsula de porcellana èter líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura.
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

4.- Al neutralitzar una dissolució de NaOH amb un altra d'HCl, en el líquid resultant s'observa un augment de la temperatura. Indica si la reacció és exotèrmica o

Qüestionari Q5 (Postest)

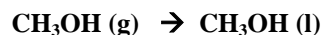
Les màquines que fabriquen neu tenen un dipòsit on hi ha una mescla d'aire comprimit i vapor d'aigua a 20 atm, aproximadament. Quan aquesta mescla es llançada a l'atmosfera s'obté neu artificial. Dona una explicació raonable d'aquest fenomen.

2. Si fem en una càpsula de porcellana acetona líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

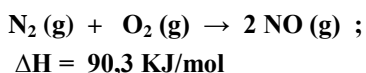
- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

4.- Al neutralitzar una dissolució de NaOH amb un altra d'HCl, en el líquid resultant s'observa un augment de la temperatura. Es comprova que la ΔH de la neutralització de qualsevol àcid fort amb una base forta val el mateix, -13,4

endotèrmica i explica amb detall com és que ocorre aquest fenomen tèrmic.

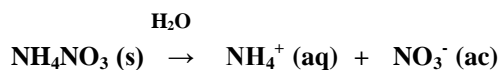
5.- La variació d'entalpia en la reacció de formació del monòxid de nitrogen ve expressada en la següent equació:



Indica si el procés és exotèrmic o endotèrmic i explica microscòpicament com és que augmenta l'entalpia al formar-se el monòxid de nitrogen.

kcal/mol. En canvi, si la reacció és entre un àcid feble (per exemple, l'acètic) i una base forta (per exemple, NaOH), la ΔH és menor. Intenteu explicar, a tall d'hipòtesis, aquestos dos fets.

0. La variació d'entalpia de la dissolució aquosa de nitrat amònic ve expressada en la següent equació:



;

$$\Delta H = 26,2 \text{ kJ}$$

Indica que li passarà a la temperatura del sistema quan es dissol un poc d'aquesta sal en aigua i explica microscòpicament com és que augmenta l'entalpia del sistema en aquest procés.

Les tres primeres preguntes del pretest corresponen a les ja utilitzades en els qüestionaris Q1 i Q2, que es presentaren en el capítol III amb els seus corresponents protocols per a l'anàlisi, i que ens permeteren mostrar les dificultats d'aprenentatge dels estudiants. A aquestes preguntes s'han afegit dos més, amb la intenció de fer explícita la competència 6.6 respecte a la interpretació microscòpica de la variació d'entalpia, que no es va tractar en profunditat en la primera part del treball. En el postest s'han elaborat preguntes semblants a les del pretest però amb un poc més de dificultat ja que a l'estar més relacionades amb aspectes quotidians són més complexes però permeten contextualitzar els coneixements adquirits en l'estudi realitzat (tal com diem en la competència 7).

Els criteris de valoració per a la correcció del pretest i postest s'expressaran, per tant, com competències, es a dir, coneixements i habilitats que mostren els estudiants i que estan referides al Quadre 9. Així per a considerar una resposta com a correcta, l'estudiant ha de mostrar un coneixement declaratiu (que pot haver adquirit empíricament) i, a més, un coneixement explicatiu en forma d'argumentació o explicació correcta o quasi correcta. Un exemple de competència (coneixement i habilitat) a aconseguir en els estudiants seria:

L'estudiant ha d'ésser capaç de reconèixer que li passarà a la temperatura d'un sistema quan s'expansiona adiabàticament interaccionant amb l'entorn. També ha de

saber argumentar aquests canvis utilitzant el primer principi de la Termodinàmica macroscòpicament i/o microscòpicament (l'ítem 1 és el cas d'un sistema gasos a una pressió major que l'atmosfèrica i l'ítem 2 és un altre exemple on el sistema és un líquid que s'evapora fàcilment a temperatura ambiental).

Totes les preguntes són de tipus conceptual i es tractaria d'analitzar en les respostes el percentatge d'estudiants amb dificultats d'aprenentatge u obstacles als indicadors de comprensió definits en cadascuna de les preguntes abans i després del tractament didàctic (Osuna, Martínez-Torregrosa et al. 2007; Osuna 2007). Es veurà, en primer lloc, la importància de cadascuna de les dificultats existents i, en segon lloc, s'analitzarà en quina mesura s'han reduït o no aquestes dificultats d'aprenentatge.

En l'avaluació de les dificultats d'aprenentatge utilitzarem una concepció general d'aquestes que s'estén no solament a les concepcions alternatives com obstacles d'aprenentatge sinó que també compren formes de raonament de sentit comú que ha detectat la recerca didàctica (Furió, Carrascosa i Solbes, 2006). Així doncs, es tindran en compte les següents tipus de dificultats:

a) **concepcions alternatives** com, per exemple, considerar la temperatura com el calor del cos o l'entalpia d'un sistema com la mateixa calor que roman al sistema quan s'escalfa...;

b) **errors conceptuais no deguts a concepcions alternatives** com per exemple confondre entalpia del sistema amb la seva entropia, creure que la formació d'un enllaç requereix energia o que el simple trencament d'un enllaç aporta calor al sistema.

c) **fixacions funcionals** com, per exemple, derivar de l'enunciat d'una qüestió on es diu que un gas està aïllat tèrmicament que la seva temperatura serà constant en el procés sense reflexió sobre altres possibilitats o sense posar en dubte aquesta afirmació (Furió 1997; Furió, Calatayud et al. 2000);

d) **reduccions funcionals** que, en general, consisteix en fer una anàlisi funcional simple de manera que una funció, com per exemple la pressió P d'un gas, depèn d'una única variable com, per exemple, e volum V del gas, sense tindre en compte la resta de variables (la temperatura T i la quantitat de substància n de gas) (Viennot 1996). Un altre tipus de reducció funcional que hem trobat en el treball consisteix en considerar que les interaccions entre sistemes soles s'expliquen per transferències energètiques en forma de calor Q i no tindre presents altres possibilitats com pot ser, per exemple, la realització de treball d'expansió-compressió de gasos o l'emissió de radiacions (Furió-

Gómez et al 2007). Es pot incloure en aquest apartat aquelles manifestacions operativistes dels estudiants on utilitzen les equacions matemàtiques, com per exemple $PV = nRT$, sense donar-li massa significat físic (com un reduccionisme matemàtic cec) i sense saber el seu camp de validesa (per exemple, que sols val quan el sistema gasós està aïllat, és a dir, sense interaccions amb altres sistemes);

e) *transferències inadequades de coneixements* assolits pels estudiants com per exemple el justificar la temperatura d'un gas a xocs inelàstics entre les partícules del propi gas. Aquest 'transfer' inadequat ve de l'aplicació errònia del mecanisme elemental de reacció que han après els estudiants anteriorment i on els xocs eficaços entre partícules dels reaccionants trenquen els seus enllaços i es formen altres que conformen les noves substàncies produïdes en la reacció;

f) *altres dificultats d'aprenentatge no incloses als apartats anteriors*

Com que es tracta de veure, primer, la importància de les dificultats d'aprenentatge detectades tant en la primera (pretest) com en la segona aplicació (postest) dels qüestionaris, es traurà una relació de cadascuna de les dificultats existents en el grup experimental i s'expressarà la freqüència amb la que apareixen en la primera aplicació ($f_{i,1}$) i en la segona ($f_{i,2}$).

S'introduirà un segon indicador, P_i , on es vegi si, després del tractament, ha disminuït o augmentat una concepció alternativa definit com a percentatge de la reducció de la seva freqüència prenent com a base de càlcul la freqüència inicial d'eixa mateixa concepció. És a dir, es calcularà aquest indicador amb la següent expressió:

$$P_i = [f_{i,1} - f_{i,2}] / f_{i,1} \cdot 100$$

En el cas que $P_i > 0$ hi haurà una reducció de la concepció alternativa i , per tant, una millora de l'aprenentatge. Si $P_i = 0$ no haurà variat el status de la dificultat i si $P_i < 0$ haurà empitjorat l'aprenentatge.

5.2.3.2 Disseny per posar a prova l'eficàcia de l'aprenentatge amb l'índex de ganància d'Hake.

D'altra banda, també s'ha utilitzat el darrer disseny pretest-postest (document 6) per comparar la millora en la comprensió conceptual aconseguida en l'aplicació de la primera llei de la termodinàmica i en el concepte entalpia pel grup experimental en el qüestionari esmentats en el paràgraf anterior (conseqüència ii). Per fer aquesta

comparació s'introduiria l'índex de ganància intrínseca, g_x , d'Hake (1998) definit com la fracció de màxima ganància possible aconseguida per la instrucció, és a dir:

$$g_x = [F_2(\text{post}) - F_1(\text{pre})] / [1 - F_1(\text{pre})]$$

on $F_2(\text{post})$ i $F_1(\text{pre})$ són els tants per ú d'èxit en el coneixement explicatiu en cadascuna de les preguntes plantejades (x) en el posttest i el pretest. A continuació es calcularia la mitjana de la ganància intrínseca per a tot el qüestionari emprat. Es considerarà que un valor d'aquesta mitjana de g_x igual o inferior a 0.10 implica que sols s'ha guanyat el 10% de la major millora de l'aprenentatge que es podria aconseguir gràcies a l'ensenyament experimental rebut. És a dir, en aquest cas la seqüència d'ensenyament utilitzat no s'ha aconseguit un diferència substancial respecte als tractaments convencionals i, per tant, no és considera satisfactori.

5.2.3.3 Disseny per veure si s'aconsegueixen diferències significatives en els aprenentatges dels grups experimental i de control.

Finalment s'utilitzarà un disseny post-post per comparar si hi han diferències en els resultats obtinguts en els tres primers ítems del qüestionari Q5 aplicades després d'un mes d'haver donat el tema tant al grup experimental com a uns altres grups de control i així poder falsar la conseqüència iii. Els grups de control estaven constituïts per: un grup de 54 estudiants del CAP de Física i Química organitzat pel Servei de Formació Permanent de la Universitat de València durant el curs acadèmic 2004-2005 que eren llicenciats en Física o Química i un segon grup de 37 estudiants de 3r de la carrera de Química que havien estudiat molt recentment aquesta temàtica en el curs 2003-2004. En aquestos dos casos s'utilitzarà la χ^2 com estadístic de prova per veure si hi ha diferències significatives en els grups de control i experimental al comparar els resultats obtinguts en els tres ítems del qüestionari Q5.

La χ^2 és un paràmetre estadístic que serveix per a comparar si les diferències trobades entre dos grups, un de referència (grup de control) que no ha estat tractat i un altre que si ho ha estat (grup experimental) són significatives i no són degudes a l'aleatorietat. El valor de la χ^2 es calcula mitjançant l'expressió següent:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - T)^2}{T}$$

On O és el percentatge de respostes correctes i incorrectes de cada ítem i de cada grup, i T és el percentatge teòric que correspon a la mitjana dels valors obtinguts en els dos grups que es vol comparar

CAPÍTOL VI.- PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ EXPERIMENTAL DE LA SEGONA HIPÒTESI.

6.0. INTRODUCCIÓ

En aquest capítol es presentaran els resultats que ens serviran per a verificar la segona hipòtesi principal relativa a l'ensenyament, l'operativització i disseny de la qual es va donar al capítol V. En primer lloc es plantejarà el programa guia amb els comentaris de cadascuna de les activitats i en segon lloc s'avaluarà l'eficàcia de l'aplicació d'aquest tractament didàctic en l'aprenentatge dels estudiants universitaris.

6.1. PROGRAMA D'ACTIVITATS SOBRE TERMOQUÍMICA DESENVOLUPAT EN LA CLASSE DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES FÍSICO-QUÍMIQUES A PROFESSORS EN FORMACIÓ.

A continuació es presenta el programa d'activitats que es va discutir en els futurs professors de Física i Química en les deu sessions de la classe de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques. Després de cada activitat es comenten alguns aspectes importants de les aportacions dels grups i les orientacions donades pel professor de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques.

“ENERGIA I PROCESSOS QUÍMICS”

0. - Introducció (feta pel professor)

En el tema anterior s'ha centrat l'atenció de l'estudi de la Química en els canvis substancials que ocorren en les reaccions químiques amb la finalitat d'obtenir nous materials necessaris per a la humanitat. Ara interessarà, per raons que discutirem més endavant, estudiar els canvis energètics que es produeixen simultàniament en els mateixos processos físics i químics.

Les activitats que es proposen en aquest apartat es destinaran a: a) crear interès envers l'estudi del tema evitant l'habitual descontextualització social de la ciència que s'ensenya (augmentant la motivació dels estudiants); b) que arriben a adquirir una concepció preliminar de la tasca que es va a desenvolupar (quines són les principals qüestions o problemes que es pretenen resoldre?, quins objectius es persegueixen?); c) que es vegi que existeix una relació lògica entre el que s'ha estudiat anteriorment i el que es va a estudiar ara, es a dir, contextualitzar el tema evitant l'habitual compartimentació inconnexa dels capítols.

A continuació es va plantejar una primera activitat als futurs professors de física i química que discutiren en els petits grups en què estava organitzada la classe de Didàctica de les Ciències.

A.0. Quines primeres activitats proposaries als teus estudiants quan s'inicia el tema d'Energia i processos físico-químics en un curs de química de 2n de Batxillerat?

Comentaris A.0.- Tres exemples de resposta que donaren els grups són les activitats A.1, A.2 i A.3 que venen a continuació i que tenen els següents objectius: valorar la importància del tema d'estudi; motivar amb una experiència espectacular i que els estudiants tinguin una concepció preliminar de l'estudi que van a fer com per exemple assenyalant-se les preguntes a respondre en el tema. A continuació es presenten i esmenten aquelles 3 activitats.

A.1. Quin interès personal i social pot tindre l'estudi dels canvis energètics que ocorren en els processos físics i químics? Proposeu exemples on es manifeste la importància que té aquesta temàtica a l'hora de cobrir necessitats individuals i socials.

Comentaris A.1.- Dels exemples de situacions problemàtiques que es varen proposar pels grups d'estudiants podem triar varies que poden anar des de l'interès personal (¿Com saber si una persona s'alimenta bé? ¿Com funcionen els cotxes?) fins a qüestions de tipus social (des de l'esgotament dels combustibles fòssils en el planeta fins al canvi climàtic). Tots aquests aspectes varen ser exposats pels grups de treball.

Posteriorment el professor va fer una petita introducció històrica sobre els orígens de la Termodinàmica com a ciència del S. XIX fonamentada al voltant del concepte estructurant d'energia, i com va tractar de resoldre problemes científics no resolts com l'aparició de calor en els xocs inelàstics on no es conservava la *vis viva* de Leibnitz fins a problemes tecnològics com l'optimització de les màquines tèrmiques que s'utilitzaven en la revolució industrial inicialment per treure l'aigua de les mines de carbó i després, com a força motriu de les màquines de les fàbriques o en el transport (trens, vaixells de vapor...). Aquest darrer problema fou enllestit pels enginyers francesos entre els quals es ben conegut el treball de Sadi Carnot.

A.2. Procedir a cremar una petita cinta de magnesi en classe i esmenteu quins canvis produïts ja s'han estudiat i en quins altres interessarà aprofundir?

Comentaris A.2.- Encara que aquesta qüestió està plantejada per motivar als estudiants de Batxiller, es va realitzar a classe perquè la conegueren els futurs professors. En el currículum de Química de Batxillerat s'ha estudiat primerament l'estequiometria de les reaccions químiques i, a continuació, s'estudien aquestes mateixes reaccions però centrant l'atenció de l'estudi en el punt de vista energètic, és a dir, estudiant la relació entre energia i processos físico-químics. En aquest cas, es pot realitzar l'experiència ficant atenció a quanta 'cal de magnesi' (MgO) es forma, però també pot interessar la producció de llum com s'utilitzava no fa molt de temps en el flash fotogràfic que produïa una petita bombeta on es cremava un filament de magnesi. Caldrà indicar que actualment s'utilitzen flaixos fotogràfics de tipus electrònic.

A.3. Quines preguntes que ens semblen rellevants podem plantejar-nos en l'estudi d'aquesta temàtica?

Comentaris A.3.- És obvi que la principal resposta esperada serà com es possible que en aquests processos s'obtinga energia en forma de calor, llum i treball. També cal indicar que es pot plantejar com a qüestió interessant quanta calor s'ha produït en alguns processos químics que pot aprofitar-se per a finalitats molt variades com, per exemple, escalfar-se, cuinar o fer treball. Aquest serà el lev motiv de l'estudi del

tema de Termoquímica al qual tractarà de respondre tot el tema que ara anem a iniciar. També es va plantejar a classe la qüestió de la causalitat d'aquests processos espontanis i es va aprofitar per indicar que la resposta del perquè es produeixen serà el motiu d'un estudi posterior (el del segon principi de la Termodinàmica) que no es tractarà en aquesta unitat didàctica. Caldrà que el professor presente una seqüenciació de continguts com el que hi ha en el següent índex:

0. Introducció.

1. Aproximació fenomenològica als canvis energètics que ocorren en els processos físico-químics.

2. Com s'interpreten les interaccions dels sistemes materials en aquests canvis físics i químics? El concepte d'*energia interna d'un sistema*.

3. ¿Què passa amb l'energia interna d'un sistema quan interacciona amb un altre sistema? El principi de conservació de l'energia i el *primer principi de la Termodinàmica*.

4. *L'entalpia dels sistemes*: una nova funció energètica que facilita l'explicació dels efectes tèrmics en processos físics i químics.

4.1. Es pot considerar *l'entalpia d'un sistema material* com una funció d'estat? La llei de Hess.

4.2. Com predir la variació d'entalpia estàndard d'un procés, ΔH_r° , a partir de les entalpies de formació de les substàncies que intervenen?

4.3. Interpretació microscòpica dels canvis entàlpics que ocorren en els processos físics i químics: el concepte d'*entalpia d'enllaç*.

5. Una aplicació d'aquest estudi d'interès personal: Com saber si la nostra alimentació afavoreix o no l'obesitat?

1. Aproximació fenomenològica als canvis energètics que ocorren en els processos físico-químics.

En una primera aproximació a l'objecte d'estudi convindrà que recordem i ens familiaritzem de manera pràctica amb tots aquells fenòmens on es produeixen efectes

tèrmics d'escalfament o refredament d'un sistema físic o químic a l'interaccionar amb un altre o al fer-ho entre parts d'un mateix sistema.

A.4. Recordeu quins procediments es poden utilitzar per aconseguir els següents efectes tèrmics: a) escalfar un poc d'aigua que hi ha en un got; b) escalfar l'aire que hi ha en una càmera de bicicleta inflada; c) escalfar un fil de coure; d) refredar el gas carbònic que hi ha en una bombona fins convertir-lo en sòlid (l'anomenat 'gel sec'); e) refredar una zona petita del cos d'una persona malalta on es va a operar; f) escalfar una planta a l'hivern; g) tindre una font continua de calor.

Comentaris A.4.- Es tracta de revisar qualitativament l'equivalència entre calor i treball que, amb seguretat, s'ha estudiat abans en Física centrant-se en pensar procediments habituals que s'utilitzen per escalfar o refredar sistemes materials bé ocasionalment bé amb certa continuïtat. Cal, a ésser possible, que s'expliciten en cada apartat més d'un disseny per aconseguir la mateixa finalitat. Per exemple, l'aigua del got es pot escalfar directament amb una font de calor o bé agitant-la energèticament amb una cullera, el fil de coure es pot escalfar fent passar un corrent elèctric... emulant així els experiments que va fer Joule. En el cas de l'escalfament del gas de la càmera caldrà fer un treball mecànic comprimint-lo. Més difícil serà pensar que la descompressió del carbònic fa que es gele ràpidament (en aquest cas s'interpreta que el gas fa treball d'expansió sobre l'entorn atmosfèric) i el refredament de, per exemple, la mà d'una persona a l'abocar-li un poc d'alcohol (o, millor, èter) ja que aquesta mà actua com a font de calor que vaporitza ràpidament el gas (procés adiabàtic). En resum, serà fàcil recordar que, en general, els dos principals processos de transferència d'energia entre sistemes són la calor i el treball mecànic. També s'ha posat algun exemple de mecanisme de transferència que ací no anem a tractar com són, per exemple, escalfar un cos amb radiacions lluminoses o fer un treball elèctric sobre el sistema material. És important que apareguen aquestos mecanismes per justificar el camp de validesa del concepte d'entalpia quan s'introdueix per explicar aquestos fenòmens (doncs, sols es considerarà els fenòmens on es produeixen calor i/o treball d'expansió-compressió).

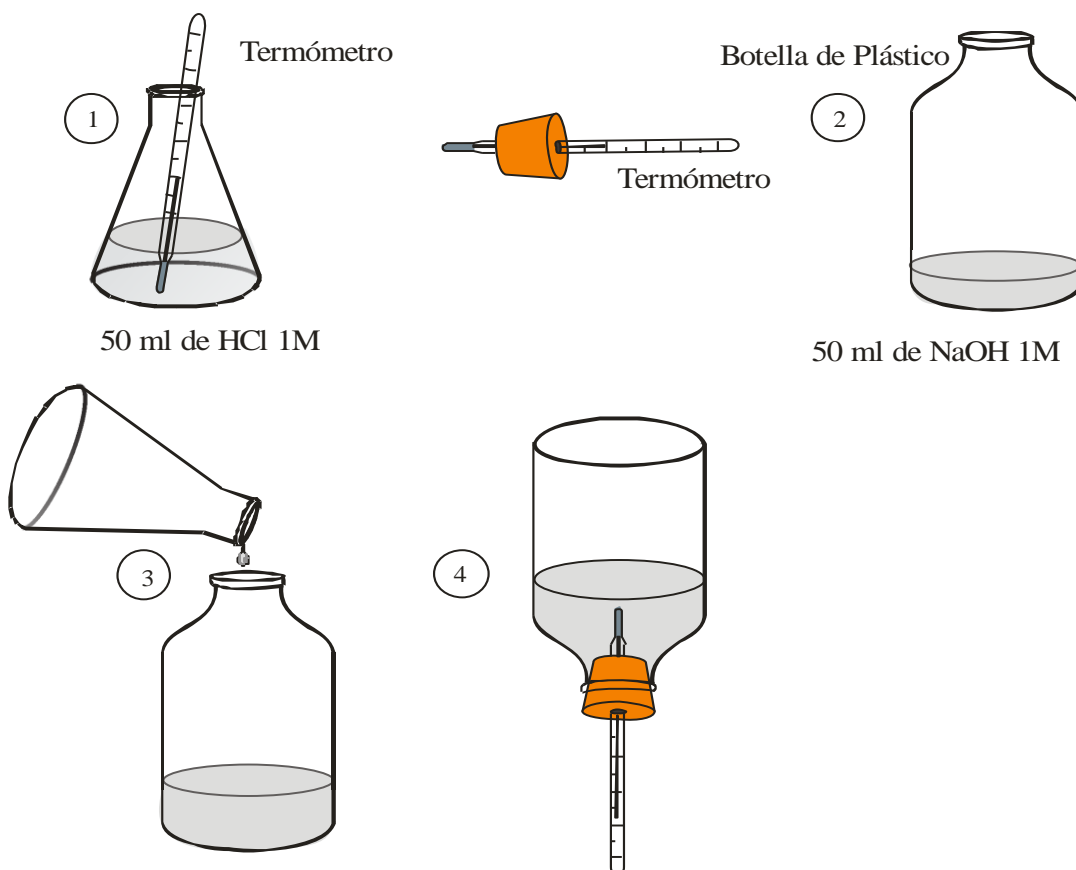
(A partir d'ací podrem centrar l'atenció en la classificació de processos físics i/o químic en exotèrmics i endotèrmics segons els efectes tèrmics que ocorren).

Després d'aquesta aproximació a com es pot intercanviar energia entre sistemes mitjançant processos com el de la calor o el del treball, convindrà tindre's en com podem reconèixer si un canvi físic o químic el podem classificar com exotèrmic o endotèrmic segons els efectes tèrmics que ocorren.

A.5. Dissenyeu experiments per veure qualitativament si els següents processos son exotèrmics o endotèrmics: i) la neutralització de NaOH per HCl; ii) l'evaporació a temperatura i pressió ambientals d'un poc d'èter etílic en una càpsula.

Comentaris A.5.- En aquesta activitat es poden presentar distintes dificultats procedimentals d'aprenentatge. Cal tindre en compte que els estudiants no estan familiaritzats que els processos poden transcorre de diferents maneres segons com es realitzen. Per exemple, si el procés es realitza molt ràpidament es podrà considerar que el sistema material està aïllat tèrmicament i que el procés és *adiabàtic*. Per tant, si el procés és exotèrmic el primer que passarà és que el sistema s'escalfa i si és endotèrmic es refredarà ell mateix (a costa de la seva energia interna com veurem a continuació). El disseny experimental serà prou senzill posant un termòmetre en contacte amb el sistema i mesurant les temperatures abans i després del canvi podrem concloure si és exotèrmic o endotèrmic. Ara bé, tant en un cas com en l'altre, cal pensar què hem de llevar o donar calor per portar el sistema a la temperatura que tenia inicialment. Pot ocorre que el procés es realitzi de *manera isoterma*, és a dir, sense que pràcticament s'elevi la temperatura del sistema perquè simultàniament el refredem si és exotèrmic o l'escalfem si es endotèrmic i segons el que fem es podrà saber si el classifiquem com exo o endotèrmic. Finalment, aquesta activitat es pot convertir en quantitativa (com varem fer a classe en una activitat posterior) si se'ls demana com podrien calcular la calor produïda o necessària en els canvis que s'han fet en la classe. És molt convenient recordar a aquestos efectes com s'obtenia la calor a l'eleva un ΔT un sistema de massa m (cas i) i el concepte de calor latent en el canvis físic d'una massa m de líquid en gas considerant que la temperatura del sistema es manté constant (cas ii de A.5). En el cas de l'apartat i) els estudiants realitzaren la neutralització de NaOH 1 M amb 50 ml d'HCl 1M mesurant la calor produïda mitjançant un disseny d'experiment prou senzill (veure figura 1). S'exposarà el procediment molt senzill que es pot fer pels estudiants amb

una botella de plàstic (PVC) de 250 ml amb un tap de goma al qual se li ha inserit un termòmetre que té el bulb de mercuri en la part de d'alt de la botella per poder llegir la temperatura de la mescla reaccionant (50 ml d'àcid i 50 ml de la base de la mateixa concentració). Després de mesclar els reaccionants cal tapar la botella i invertir-la ràpidament a fi de llegir la temperatura final.



Hem vist procediments per produir transferències d'energia entre sistemes en forma de calor i s'han classificat els processos en *exotèrmics* com, per exemple, la combustió del gas butà en la cuina de casa i *endotèrmics* com, per exemple, la vaporització d'un líquid. Ara centrarem l'atenció en el treball mecànic que es puga realitzar ja que també és un mecanisme de transferència d'energia entre sistemes. Per simplificar el problema seleccionarem un sistema senzill format per un gas que es pot expandir o comprimir.

A.6. Dissenyau algun experiment on es puga observar la realització de treball mecànic fet per un gas contra l'exterior. Com es podria calcular el valor del treball realitzat?

Comentaris A.6.- Un senzill i espectacular experiment on es mostre el treball realitzat per un gas a pressió consisteix en posar una pastilla d'alkaseltzer dins d'un tub d'aquestes pastilles amb un poc d'aigua i que després tancar-lo amb el seu tap. Al cap d'uns moments la pressió del gas que es va produint a l'interior del tub serà suficient per destapar-lo llançant el tap cap a d'alt. El treball realitzat pel gas comprimit es pot calcular mesurant el pes del tap i l'altura a què ha pujat. Ara bé per calcular fàcilment el treball d'expansió del gas convindrà triar un sistema més senzill com pot ésser l'aire d'una xeringa a pressió major que l'atmosfèrica i suposar que s'expansiona un ΔV contra el medi (aire) a pressió exterior constant (P_{ext}). No serà difícil recordar que el treball de les forces interiors del sistema gasós vindrà determinat per l'expressió: $W_{\text{int}} = - P_{\text{ext}} \cdot \Delta V$ (1)

(el resultat es pot calcular en unitats atm x litre que equivalen a 101 J). En aquest exemple ΔV serà positiu i el treball fet contra el medi disminuirà l'energia interna del sistema en l'estat final per la qual cosa el gas es refredarà. Arribat ací convindrà preguntar com es que el signe de l'expressió (1) és negatiu i s'haurà de justificar que aquest signe ha d'ésser coherent amb el de la calor, de manera que si el gas fa treball (o dona calor) serà a costa de la seva energia interna i, per tant, ha de tenir signe negatiu ja que aquella energia disminuirà (aquest aspecte es reiterarà més endavant quan es tracte el primer principi de la Termodinàmica). En el cas contrari més complex que el procés siga químic on desapareixen gasos (per exemple, en la combustió del fòsfor roig a l'aire) també es pot calcular el treball de compressió fet pel medi sobre el sistema suposant que el procés és isoterm i l'expressió (1) es converteix en la (2): $W_{\text{int}} = - P_{\text{ext}} \cdot \Delta V = - \Delta n \cdot R \cdot T$ (2)

on Δn és la diferència de les quantitats de substància dels productes i els reactius gasosos (el volum molar de les fases condensades de les substàncies és, aproximadament, mil vegades inferior al de l'estat gasós i es poden considerar menyspreable) segons la reacció tal com està escrita, és a dir, $\Delta n = n$ (**productes gasosos**) – n (**reactius gasosos**) i, per tant, W_{int} serà positiu augmentant l'energia interna del sistema. Açò es veurà amb més deteniment en el primer principi de la Termodinàmica quan es relacionen les magnituds introduïdes per explicar aquestes interaccions.

Com veiem els sistemes materials o les parts d'un mateix sistema poden interaccionar entre si produint-se escalfaments, refredaments, fent treball, etc. Ara caldrà passar a fer-se més preguntes com, per exemple: Com és que es produeixen aquestos efectes tèrmics i/o mecànics en els processos físics i químics? D'on ix l'energia necessària per produir-los? Com és que, a vegades, passa el contrari i sembla que desapareix l'energia?

2. Com s'interpreten les interaccions dels sistemes materials en aquestos canvis físics i químics? El concepte d'energia interna d'un sistema.

Respondre aquesta qüestió requereix revisar i relacionar dues idees que ja han estudiat els alumnes per separat anteriorment: el concepte macroscòpic d'energia com la capacitat que tenen els sistemes per produir canvis i la interpretació microscòpica de com ocorre un canvi físic i químic segons el model atòmic de la matèria.

A.7.- Recordeu en què consisteix la capacitat de produir canvis dels següents sistemes (i per això diguem que tenen energia) i quin tipus d'energia associem a cadascun d'ells:

- a) la massa d'aigua embassada d'una central hidroelèctrica;
- b) el butà d'una bombona domèstica;
- c) el corrent de vapor d'aigua que interaccionarà amb la turbina d'una central tèrmica;
- d) l'arc tensat i disposat a llançar una fletxa .

Comentaris A.7.- L'objectiu fonamental d'aquesta activitat és el de recordar els concepte qualitatiu *d'energia cinètica* associada als moviments dels sistemes que van a interaccionar (per exemple, la del vapor d'aigua de l'apartat c), i els de *les energies potencials* (no convé anomenar-les com 'energies emmagatzemades' perquè es pot agreujar la preconcepció substancial de l'energia que, segons la literatura, tenen els estudiants) (Pacca i Henrique, 2004) que s'associen a estructures o configuracions de partícules dels sistemes que es mantenen unides degut a camps de forces conservatives. Forces com són les gravitatòries (que hi ha, per exemple, entre la massa d'aigua del pantà d'una central hidroelèctrica i la Terra), les electromagnètiques (com, per exemple, les que expliquen la unió de les partícules – macromolècules- que hi ha lligades en una goma o aquelles que mantenen units els

àtoms en les molècules d'una massa de butà) o les nuclears (com, per exemple, les que uneixen els nucleons d'un nucli d'urani).

A.8.- Expliqueu, a títol d'hipòtesi, com és possible que sistemes materials del tipus de, per exemple, una massa de vapor d'aigua a 100°C o un poc de gas butà i l'oxigen necessari, poden utilitzar-se per escalfar un segon sistema material com, per exemple, un altra massa d'aigua líquida.

Comentari A.8.- En aquest tema centrarem l'atenció en l'energia que es pot associar als sistemes materials formats per substàncies que van a intervindre en processos físics (per exemple, en la condensació del vapor d'aigua on sols canvia l'estat físic però no la seva composició) i, especialment, en els químics on sol canviar la composició i estructura d'aquelles substàncies (com, per exemple, la combustió del butà esmentada). Aquesta activitat es pot abordar donant una explicació macroscòpica on s'introduirà el concepte d'*energia interna* de sistemes físics i químics i la seva variació en les interaccions que ocorren. En el primer cas, l'escalfament de la massa d'aigua líquida pel vapor es pot explicar en dues accions relacionades. En primer lloc, suposant que el vapor d'aigua a 100°C que és la font de calor perd energia interna al passar del seu estat inicial al de líquid. En segon lloc, l'explicació de la interacció es completa al relacionar aquella disminució d'energia interna del vapor amb la que li passa tèrmicament al segon sistema (l'aigua líquida freda s'escalfa). Aquesta aigua hi haurà, al final, augmentat la seva energia interna (a l'eleva-se la seva temperatura) gràcies a l'energia transferida per la massa de vapor que es condensa (anteriorment es parlava de transferència de la 'calor latent' del vapor condensat a l'aigua líquida freda). Convindrà ací insistir que, com la calor no és substancial, cal modificar el llenguatge i l'expressió '*calor latent del vapor que s'ha condensat*' transformar-la en altra més adequada com '*disminució de l'energia interna al passar el primer sistema de vapor a líquid a la mateixa temperatura*'. També caldrà que els estudiants reflexionen donant una explicació microscòpica de la condensació del vapor utilitzant el model atòmic-molecular de la matèria ordinària acceptant que la formació d'enllaços intermoleculars suposa una disminució de l'energia interna del sistema al passar, en aquest cas concret, de molècules lliures de gas a molècules lligades en l'aigua a 100°C. Cal tindre en compte que la majoria dels estudiants pensen el contrari, és a dir, que "la formació

d'enllaços requereix energia" (en aquest sentit se sol parlar en els llibres de text d'enllaços 'rics en energia') i que el trencament d'enllaços allibera energia a l'ambient en forma de calor. És per això que s'ha introduït el segon exemple on la font de calor és la combustió de butà en l'aire. En aquest cas, més complex, hi hauran de fer-se les dues interpretacions complementàries macro i micro aplicant el model elemental de reacció. L'explicació macro es pot fer associant el nou concepte *d'energia interna del sistema material en l'estat inicial al del conjunt de les substàncies químiques que conformen eixe estat del sistema*. De manera semblant s'aplicarà una energia interna distinta (en aquest cas menor) a l'estat final del sistema quan s'explique d'on ix la calor en la combustió. En l'explicació micro caldrà posar en relleu que l'efecte tèrmic produït en la reacció química és el 'saldo energètic' entre la formació dels enllaços en les partícules del productes (alliberament d'energia) i el trencament d'enllaços en els reaccionants (aportació externa d'energia al sistema) sempre considerant que la temperatura del canvi resta constant. L'energia interna ho es respecte a un determinat sistema. En sistemes mecànics i termodinàmics usualment s'anomena energia interna a l'energia cinètica de les partícules que el constitueixen més l'energia potencial de les seues interaccions mútues. Alonso y Finn (1995) filen més prim i a eixa energia l'anomenen energia pròpia del sistema ($U = E_c + E_{p,int}$) i separen l'energia cinètica de les partícules en E_c de les partícules respecte al CM ($E_{c,int}$) i E_c del propi CM ($E_{c,cm}$) i, per tant, consideren l'energia interna $U_{int} = E_{c,int} + E_{p,int}$. Per últim, si actuen forces externes conservatives sobre el sistema, p.e., gravitatòries i/o elèctriques, l'energia total és la suma de l'energia pròpia més l'energia potencial externa.

La majoria dels llibres limiten la conservació a sistemes mecànics i termodinàmics, com es posa de manifest en Solbes i Tarín (1998) i Tarín (2000). Alguns, en capítols posteriors, introdueixen l'energia dels camps i l'energia en repòs, E_0 , però no les inclouen en un principi generalitzat de conservació, limitat normalment a la mecànica i la termodinàmica. Des d'aquest punt de vista l'energia interna inclou totes les energies del sistema: la cinètica de les partícules, la d'interacció entre les partícules del sistema (anomenada potencial si els camps són conservatius), l'energia en repòs, E_0 , l'energia dels camps, etc. (Solbes y Tarín, 2004).

En química no s'introdueix l' E_0 perquè sols cal introduir-la en el balanç d'energia quan les masses varien d'una forma sensible i en les reaccions químiques varien, però de l'ordre dels eV.

Una vegada s'ha introduït el concepte d'energia interna dels sistemes materials que interaccionen per explicar en què consisteix la seva capacitat en produir canvis físics o químics mitjançant la realització de treball i/o calor, és molt convenient que ens familiaritzem amb aquesta idea aplicant-la primer qualitativament i, després, quantitativa a diferents situacions.

A.9.- A l'explicar els canvis que ocorren hem definit la funció '*energia interna*' d'un sistema com la suma del conjunt de les energies internes associades a les substàncies que el conformen. De quin factors penseu que dependrà l'energia interna d'una substància química?

A.10.- Raona quins dels dos sistemes que hi ha en cada apartat té major energia interna:

- la massa d'aigua a 25°C o la mateixa massa a 75°C;
- aquesta massa d'aigua líquida a 100°C o quan s'ha convertit en vapor també a 100°C;
- un volum de gas hidrogen molecular a una T y P fixes i el mateix volum d'hidrogen atòmic a les mateixes P i T.

Comentari A.9 i A.10.- Es tornarà a repensar microscòpicament que aquesta funció potencial dita '*energia interna*' d'un sistema material, com pot ser per exemple una substància que va a reaccionar, va a dependre, fonamentalment, de factors com la *massa* (que té'n compte el nombre de partícules), la *temperatura* (lligada al moviment caòtic o vibratori de les partícules que formen la substància i, per tant, relacionada amb l'energia cinètica mitjana d'eixes partícules en el cas dels gasos) i de la seva *configuració o estructura físico-química*, lligada a les possibles energies potencials associades als enllaços existents entre les seves partícules (intermoleculars, interatòmiques i intratòmiques). És a dir, aquesta nova funció serà extensiva i dependrà de m, de T, de la natura de la substància (tipus de partícules que la configuren) i del seu estat físic a aquella temperatura. Cal tindre en compte que en aquestes interaccions substancials s'espera que sols hi hagen canvis d'estat

i/o químics. Precisament la introducció d'una funció termodinàmica com l'energia interna en aquests sistemes substancials ens evita determinar, d'una banda, l'energia cinètica de les partícules i, de l'altra, la potencial en estructures complexes on no es pot fer aquest anàlisi com, per exemple, la d'un sòlid on les partícules es mouen amb moviments vibratoris harmònics. En el cas més senzill que el sistema siga un gas ideal monoatòmic l'energia interna solament dependria de l'energia cinètica de les partícules, és a dir, de la massa i de la seva temperatura.

3.- ¿Què passa amb l'energia interna d'un sistema quan interacciona amb un altre sistema? El principi de conservació de l'energia i el primer principi de la Termodinàmica.

La introducció de l'energia interna d'un sistema ens va a facilitar l'explicació del que passa macro i microscòpicament quan interacciona amb un segon sistema al qual també se li pot associar un altra energia interna.

A.11.- Exposa, a títol d'hipòtesi, què passa amb les energies internes de dos sistemes quan interaccionen i amb l'energia total dels conjunt format pels dos sistemes. Explica amb aquesta idea l'exemple conegut de l'equilibri tèrmic que s'assoleix al mesclar dues masses de gas, un calent i un altre gelat.

Comentaris A.11.- Convé recordar ací que, en general, el principi de conservació d'energia s'aplica a un sistema aïllat on interaccionen parts del mateix. Si, per exemple, es considera que són dues parts les que interaccionen, una hipòtesi plausible és que la l'energia total del sistema romandrà constant ($\Delta E_T = 0$) encara que hi hagen intercanvis d'energia entre les parts. Si el sistema està aïllat, no caldrà considerar l'energia externa i sols es tindrà en compte en l'energia total del sistema les energies internes bé cinètica, potencial gravitatòria, potencial elèctrica. etc., segons el tipus d'interaccions que es produeixen entre les parts.. Així doncs, es pot derivar que la pèrdua de l'energia interna d'una de les parts del sistema implicarà l'augment de l'energia interna de la segona de les parts ($\Delta E_{i,1} + \Delta E_{i,2} = 0$). S'entén així que a més de transferència d'energia interna puga haver-hi també transformació d'un tipus d'energia interna (per exemple, cinètica) en un altre (per exemple, potencial gravitatòria en el sistema Terra-pedra que cau). El cas més senzill

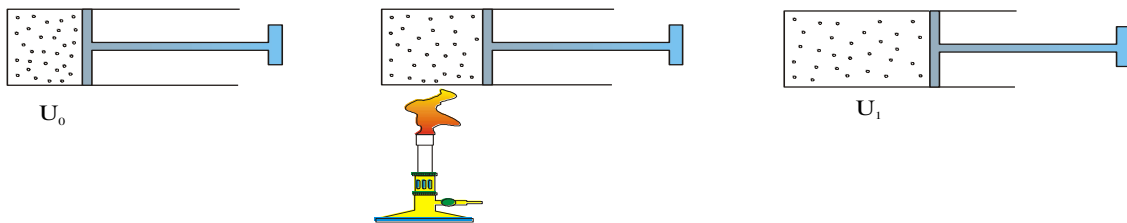
d'interacció triat ha estat el de la transferència de l'energia interna cinètica de la massa de gas calenta a la de la freda perquè permet fer una interpretació microscòpica no massa complexa. Es pot aprofitar aquest exemple per recordar que la calor no es una forma d'energia sinó una forma de transferir energia quan els dos sistemes que interactuen són a diferent temperatura com passa en aquest cas. A nivell microscòpic, aquesta transferència d'energia com a calor pot interpretar-se com la suma de nombrosos treballs moleculars produïts al xocar les partícules ràpides del gas calent amb les lentes del gas gelat arribant-se finalment a un equilibri tèrmic. La qual cosa no significa que totes les partícules tinguin, al final, la mateixa velocitat a la temperatura d'equilibri. Es pot aprofitar per parlar del caràcter estadístic de T (és a dir, del col·lectiu de partícules) i que a una mateixa temperatura hi ha una distribució de Maxwell-Boltzmann de velocitats o d'energies cinètiques del conjunt de partícules. En la qüestió relativa a l'explicació de l'exemple de la mescla de dos gasos, un calent i un altre gelat que s'havia proposat prèviament als estudiants com a pregunta individual que portaren escrita a la classe, varen eixir concepcions alternatives tant respecte als conceptes de 'temperatura' i de 'calor' que s'associaven per la majoria dels estudiants a cadascuna de les partícules del gas. A continuació, es presenta un exemple prototípic de resposta del grup dels estudiants:

“En el primer gas no totes les molècules estan a la mateixa temperatura, hi ha algunes a major temperatura i altres a menor. Al posar-se en contacte amb l'altre gas que estarà a menor temperatura, les partícules del primer gas interaccionaran amb les partícules del gas a menor temperatura cedint-les calor, gelant-se elles (les del primer gas) i escalfant a les partícules del segon gas. A l'arribar a l'equilibri, s'assolirà un equilibri tèrmic en el que la temperatura serà la mitjana a ambdós gasos”

Aquestes idees alternatives han de posar-se també en qüestió més endavant en el segon curs de batxillerat quan s'aprofundisca en la distribució normal d'energies de les partícules d'un gas ideal a l'hora d'utilitzar el model de col·lisions de les reaccions químiques per emetre hipòtesi sobre com dependrà la velocitat de reacció de la temperatura. En aquest cas, es recordarà que, per al càlcul del nombre de xocs eficaços, caldrà introduir la funció exponencial del nombre de partícules amb una energia cinètica igual o superior a la d'activació, és a dir: $N(E_i \geq E_a) = f[(\exp(-E_a/T))]$.

Un cas particular d'aquesta hipòtesi general que anomenem '*principi de conservació de l'energia*' és aquell en el qual centrem l'atenció en el que li passa a l'energia interna, U , d'un sistema principal sense preocupar-nos massa de quin o quins sistemes interaccionen amb ell. El que si haurem d'analitzar amb cura són els processos pels quals s'intercanvia l'energia entre el sistema considerat i els altres sistemes. Vegem un exemple en el qual ens interessa saber quan ha variat l'energia interna d'un sistema físic senzill com pot ésser una massa de gas tancada en una xeringa com la de l'A.12.

A.12.- La figura adjunta representa el cas d'un gas tancat en una xeringa que s'escalfa amb un encenedor i, al mateix temps, s'expansiona.



Quina relació pot haver-hi entre la variació de l'energia interna dels gas, ΔU , la calor, Q , aportada pel focus calorífic extern i el treball, W , realitzat pel sistema gasós sobre l'exterior?

Comentaris A.12.- En aquesta activitat es farà notar que l'expressió obtinguda és un cas particular del principi de conservació de l'energia conegut com *Primer principi de la Termodinàmica* i que ve en els llibres de manera diferent [$\Delta U = Q + W_{\text{ext}}$ (1) o $\Delta U = Q - W_{\text{int}}$ (2)] sense clarificar prou el sistema de referència i el signe de les variables de procés Q i W . Si es pren com sistema de referència el que li passa a l'energia interna del sistema considerat, el signe de Q i W serà positiu en l'expressió (1) si en els processos s'augmenta aquesta energia interna. En aquest cas concret de l'activitat, com es un procés endotèrmic (el sistema s'escalfat) Q serà positiu i, en canvi, com és el sistema el que fa treball sobre el medi exterior, W en l'expressió (1) tindrà valor negatiu. En resum, en el cas concret de l'A.12 l'augment de l'energia interna del gas tancat serà la diferència entre la calor donada i el treball d'expansió del gas.

A continuació tractarem de posar a prova la validesa general del primer principi de la Termodinàmica (familiaritzant-se, al mateix temps, amb la idea d'energia interna d'un sistema) en explicar els efectes tèrmics i mecànics que es produeixen en les més variades situacions possibles.

A.13.- Expliqueu amb l'ajuda del primer principi de la Termodinàmica els següents fenòmens quotidians: a) l'escalfament de l'aire d'una càmera de bicicleta que es comprimeix per un alumne; b) el refredament del sistema al dissoldre en aigua un poc de clorur amònic.

Comentaris A.13.- En aquesta activitat es pretén que els estudiants aprofundeixin en l'anàlisi energètica de les interaccions entre sistemes. Per això primer es va plantejar una pregunta més ampla, quines orientacions donarien als nostres estudiants per que pogueren fer correctament l'anàlisi energètica d'una situació problemàtica?. Els estudiants arribaren a conclusions pertinents després de les discussions en petits grups i a la posterior posada en comú dels coneixements aportats pels grups individuals. En primer lloc, anotaren en la pissarra la necessitat de prendre decisions respecte als sistemes o les parts del sistema que anaven a interaccionar. A continuació es determinava com es realitza la interacció i, en particular, si era un procés lent on la temperatura dels sistemes a penes variava (isoterm) o si pel contrari, es feia ràpidament sense pràcticament transferència d'energia en forma de calor a l'ambient (procés adiabàtic). També s'hauria d'analitzar si havia possibilitat de transferència d'energia en forma de treball d'expansió-compensió fet sobre o per un dels sistemes considerat principal. Aquest anàlisi energètica implicava veure si es realitzava no sols treball mecànic (p.e. d'expansió-compensió de gasos) sinó també treball elèctric o es produeixen o incideixen radiacions sobre el sistema. Finalment s'aplicava el concepte d'energia interna del sistema o sistemes que interaccionen amb la finalitat de veure si realment es pot afirmar que havia canviat al realitzar-se la transformació físico-química amb l'ajuda del primer principi de la Termodinàmica. Posteriorment el professor va facilitar un diagrama de flux que interpreta holísticament totes les fases per interpretar l'anàlisi energètica d'un dels processos físics o químics (veure Quadre 1 del capítol III).

A.14.- Tracteu de predir que li passarà a la temperatura dels següents sistemes: a) l'evaporació ràpida d'un poc de l'alcohol etílic que s'ha deixat en una capsula oberta a l'aire lliure; b) la dilució en aigua d'un poc d'àcid sulfúric concentrat.

Una vegada feta la predicció, dissenyeu i realitzeu els respectius experiments per posar a prova les suposicions emeses.

Finalment caldrà plantejar-se com es pot mesurar quantitativament la variació de l'energia interna del sistema en algun dels processos estudiats

A.15.- ¿Com es pot mesurar la ΔU en qualsevol procés físic o químic? Apliqueu-ho al cas de la dilució del sulfúric tractada en A.14.

Comentaris A. 14 i 15.- En A.14 es tracta que els estudiats pensin dissenys senzills als quals arriben ja que indiquen que sols necessiten un termòmetre que introdueixen en el sistema i posen a prova les seves hipòtesis qualitatives. En A.15 cal l'ajuda del professor/a per derivar del primer principi que la ΔU dels processos es pot mesurar calculant el calor a reacció si es realitza a volum constant, Q_V , ja que el treball possible d'expansió-compressió dels gasos serà nul ($\Delta V = 0$) i sempre tenint en compte que no es fa cap altre tipus de treball. Respecte a com determinar la ΔU en aquests dos casos, es pot, molt senzillament, arribar a calcular la calor aportada per l'alcohol líquid en (a) i l'obtinguda en la dilució del sulfúric concentrat en (b). En el primer cas, hi haurà de suposar-se que la massa d'alcohol líquid ha variat molt poc (s'ha evaporat poc alcohol) i, en el segon cas, que la calor específica de la dissolució diluïda del sulfúric és la mateixa que la de l'aigua. El disseny en aquesta dilució pot consistir en una botella de plàstic de 50 cl i un tap de goma amb un termòmetre incorporat de manera que el bulb de mercuri quedi en la part superior de la botella. Quan s'afegeix el sulfúric sobre l'aigua, es tancarà la botella i s'invertirà mesurant la màxima temperatura a la qual ha arribat la mescla. (Veure la figura 1 exposada en el comentari d'A.5).

4. L'entalpia dels sistemes: una nova funció energètica que facilita l'explicació dels efectes tèrmics en processos físics i químics.

Com hem vist a l'apartat anterior, la ΔU dels sistemes quan interaccionen es pot determinar realitzant els processos a volum constant i mesurant la calor produïda en aquestes condicions. Ara bé, la majoria de les reaccions químiques on es vol aprofitar el calor, com pot ser, per exemple, la combustió del butà, se solen realitzar a pressió atmosfèrica constant. En aquestos casos, la predicció de la calor que es va a produir requereix, segons el primer principi de la Termodinàmica, el càlcul de la ΔU i, a més, determinar el treball d'expansió/compressió dels canvis gasosos que resulten al passar el sistema d'un estat inicial (butà i l'oxigen necessari per a la reacció) a un estat final (gas carbònic i vapor d'aigua si la combustió és completa). La qüestió que varen plantejar els científics fou la següent:

És possible idear una nova funció anomenada *entalpia (H) del sistema* que ens eviti càlculs i que pugui explicar directament la producció o absorció de calor i la realització de treball d'expansió- compressió en els processos físics i químics?

A.16.- Deriveu del primer principi de la Termodinàmica ($\Delta U = Q - W_{\text{int}}$) una nova funció termodinàmica que anomenarem *entalpia del sistema (H)* restringida a processos a pressió constant on sols es pot intercanviar energia amb l'exterior en forma de calor i de treball d'expansió/compressió (és a dir, sense que es produïska, p.e., treball elèctric o hi ha intercanvi de radiacions distintes a les de la calor).

A.17.- Quin significat qualitatiu podem associar a l'entalpia d'un sistema i com podem mesurar la seva variació ΔH en un procés físico-químic?

Comentaris A.16 i A.17.- S'ha seleccionat l'expressió (2) del primer principi per tindre en compte solament les variables d'estat (**U, P, V**) del sistema considerat principal i així poder agrupar-les en la nova funció (**H=U + P.V**). L'entalpia serà un nou potencial energètic suma de l'energia interna del sistema (relacionada, en particular, amb la temperatura i la seva configuració) i de la seva capacitat de fer treball mecànic per tindre un nou potencial (**P.V**) al considerar que el procés es realitza a pressió externa constant (més endavant, es detindrem en veure que H és funció d'estat i, per tant, es podrà utilitzar independentment de com tinga lloc el procés). Al derivar d'aquell principi que $\Delta H = Q_P$ poden explicar directament l'efecte tèrmic (**Q_P**) del procés a partir de la variació de l'entalpia del sistema. Cal

tindre en compte que no s'ha d'identificar *la nova funció H amb la calor de reacció a pressió constant* doncs *pot induir a l'error conceptual que els sistemes tenen o posseeixen calor al seu sí*. Error conceptual que també es troba en llibres de text. Un altre assumpte és dir que, si es fa el procés a pressió constant, la calor produïda servirà per mesurar (o serà equivalent a) la variació de l'entalpia del sistema al passar de l'estat inicial al final amb les limitacions indicades abans (és a dir, que no es produeixen treball elèctric ni radiacions). La utilitat de la nova funció respecte a l'energia interna ja s'ha esmentat en la introducció i es deguda a la simplificació dels càlculs. Pensem, per exemple, en el que significaria de càlcul complicat determinar la ΔU , per una banda, i, de l'altra, el treball d'expansió/compressió en un procés adiabàtic com l'explosió de nitroglicerina (on, a més, augmenta ràpidament la temperatura del sistema).

Una vegada s'ha vist la necessitat d'introduir l'entalpia dels sistemes per explicar més fàcilment els efectes tèrmics dels processos i com es pot mesurar la seva variació, cal que tractem de dissenyar algun experiment on pugem assajar-ho.

A.18.- Dissenyu i mesureu la ΔH d'un procés químic com pot ser la neutralització d'una quantitat de substància d'un àcid fort (p.e., de clorhídric 1 molar) amb la corresponent quantitat d'una base forta (per exemple, d'hidròxid sòdic 1 molar).

Comentari A.18.- Ací es pot recordar el disseny realitzat en A.15 o, millor encara, recuperar els resultats de les temperatures inicial i final obtingudes en A.5 al reaccionar els 50 ml d'HCl 1 molar amb els 50 ml de NaOH 1 molar i continuar els càlculs. En aquell cas la variació de temperatura que es va obtenir va ser de 6°C. A partir d'ací és fàcil calcular que la ΔH del procés de neutralització resulta ser de 12 kcal. El professor va indicar que el valor teòric d'aquesta ΔH està al voltant de 13,6 kcal i, a continuació, preguntà a què podia ser deguda aquesta diferència. Com la majoria dels grups havien fet la mateixa experiència i els resultats eren molt semblants no pareixia que es devia a errors personals o instrumentals. Un grup va indicar com hipòtesi que no s'havia determinat prèviament *l'equivalent en massa del calorímetre* ja que també s'havia escalfat el termòmetre i el recipient. Així doncs,

la suposició semblava correcta i es podia tornar a millorar el disseny de la mesura de la variació d'entalpia de la neutralització.

A.19.- Habitualment la ΔH d'un canvi químic es pot mesurar amb la calor produïda o absorbida pel sistema a pressió constant però no sempre és així. En quins processos no es pot fer aquesta equivalència entre ΔH i Q_p ?

Comentari A.19.- L'activitat 19 fa èmfasi en la importància d'introduir quin és el camp de validesa per a la definició procedimental de la ΔH . És necessari explicitar que aquesta equivalència amb la calor de reacció només és vàlida quan no hi ha treball elèctric o processos en els quals la transferència d'energia siga diferent al treball d'expansió-compensió (com per exemple emissions de radiacions). Si una reacció es portada irreversiblement mesclant directament els reaccionants a pressió constant, el flux de calor està relacionat amb la variació d'entalpia : $Q_p = \Delta H$.

Però, per exemple, si fem la mateixa reacció en una cel·la electroquímica reversible, no canviarà la ΔH però sí el flux de calor. En aquest cas la Q_p es pot determinar per la variació d'entropia: $Q_p = T \cdot dS = \Delta H - \Delta G$ i per tant no serà vàlida l'equivalència que $Q_p = \Delta H$.

A.20.- Indiqueu quin estat inicial (reactius) o final (productes) dels sistemes que interaccionen i s'esmenten a continuació, tenen major entalpia:

- a) $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ (s'absorbeixen 35.2 kJ per mol de líquid vaporitzat)
- b) $\text{C}(\text{grafit}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ (es desprenen 393.5 kJ per mol de grafit cremat)
- c) $\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g})$ (s'absorbeixen 90.3 kJ per mol de NO format)

Com és habitual representar en un diagrama les entalpies dels reactius i dels productes de manera que fàcilment es visualitza la variació d'entalpia del procés, es va plantejar l'activitat següent.

A.21.- Dibuixeu els diagrames entàlpics corresponent als processos dels apartats (a) i (b) de l'activitat anterior (A.19).

Hem vist com es pot representar la variació d'entalpia d'un procés però cal quantificar també l'entalpia de cada estat del sistema. Caldrà, doncs, introduir un sistema de referència estàndard associant entalpies a cadascuna de les substàncies que intervenen en el procés. Així es podrà quantificar completament el diagrama sabent quines són aquestes substàncies.

A.22.- Com podem definir l'entalpia estàndard de formació d'una substància, H_f° per aque es puga utilitzar en els processos en què participe?

Comentari A.22.- Amb aquesta activitat es pretén que els grups de treball reflexionen sobre la necessitat d'associar a cada substància una entalpia estàndard de formació que haurà de partir del coneixement de la variació d'entalpia que es puga produir en el procés de formació més senzill de la substància en unes condicions de temperatura i pressió estàndards per a totes les reaccions químiques. Això doncs, els grups proposen que el procés més directe és la síntesi a partir de les substàncies simples d'entalpia més baixa a 25°C i 1 atm i a les quals li assignarem un valor d'entalpia nul·la. Aleshores, la variació d'entalpia d'aquesta reacció de síntesi coincidirà amb l'entalpia estàndard de la substància formada.

4.1. Es pot considerar l'entalpia d'un sistema material com una funció d'estat? La llei de Hess.

El que la variació d'entalpia estàndard d'una reacció es mesure a partir de la calor absorbida o produïda en el procés a pressió constant d'1 atm i 25°C no significa que aquesta magnitud siga dependent de com es realitza el procés. Els científics suposen que *aquesta magnitud és una funció d'estat* quan la seva variació sols depèn de l'estat final i de l'inicial del sistema bé es realitze a pressió constant, a volum constant o per qualsevol altre camí distint. Es dóna per suposat que la temperatura és constant.

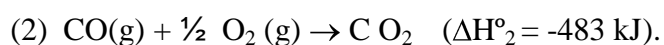
A.23.- Tracteu de raonar perquè l'entalpia ha d'ésser una funció d'estat. Dissenyeu algun experiment on es pose a prova si la ΔH° de la dilució d'àcid sulfúric concentrat quan passa d'una concentració 36 M a un altra 1 M, és la mateixa independent del camí seguit al fer aquest procés (és a dir, que donarà el mateix si la dilució es fa en una o en varies etapes).

Comentaris A.23.- Es tracta d'argumentar que el que H siga una funció d'estat és coherent amb el seu significat de potencial energètic del sistema i, per tant, si aquest passa d'un estat 1 a un altre 2, siga com siga el camí la variació energètica serà la mateixa per que es complisca el principi de conservació de l'energia. D'altra banda, també cal introduir l'aspecte històric que fou Hess qui en 1826 i abans d'haver-se acceptat el principi de conservació de l'energia va mostrar que els calors de dilució del sulfúric eren additius com es veurà en els dissenys fets i realitzats pels estudiants. És a dir, que els esquemes de reacció química poden incorporar les variacions d'entalpia corresponents i treballar-les com si foren equacions matemàtiques.

Un cas particularment interessant on es pot veure la utilitat que l'entalpia dels sistemes és una funció d'estat (o també que es compleix la llei de Hess), és la determinació de la ΔH° de processos que són difícils de realitzar en la pràctica.

A.24.- La ΔH° de l'oxidació parcial del grafit (C) a CO(g) és difícil d'obtenir experimentalment perquè no pot evitar-se que una part del CO continue oxidant-se a CO₂. Com podria calcular-se la ΔH° d'aquest procés?

Comentaris A.24.- Ací caldrà subministrar les dades de variacions d'entalpia que segurament demandaran els estudiants. És a dir les dades d'aquestes dues reaccions :



També es pot tornar més enrere i mostrar que associar a cada substància una entalpia de formació, com s'ha vist abans, és precisament una conseqüència d'aquesta característica de funció d'estat que té la magnitud entalpia. I això fa que també es pugui utilitzar la llei de Hess per calcular entalpies estàndard de formació de substàncies que tampoc es poden obtenir experimentalment.

A.24bis (alternativa a A.24).- L'entalpia estàndard de formació del gas CO, [H_f° (CO)], no es pot determinar experimentalment perquè el CO fàcilment s'oxida a CO₂. Com es pot calcular aquesta entalpia?

4.2 Com predir la variació d'entalpia estàndard d'un procés, ΔH_r° , a partir de les entalpies de formació de les substàncies que intervenen?

Tenint en compte el caràcter de funció d'estat de l'entalpia i havent associat a les substàncies la variació d'entalpia que ocorre en el seu procés de formació no és difícil predeterminar els canvis energètics que pot haver-hi en qualsevol reacció química on participen distintes substàncies de les quals es coneix la seva entalpia de formació.

A.25.- Com determinar, en general, la variació d'entalpia estàndard d'un procés, ΔH_r° , a partir de les entalpies de formació de les substàncies productes, [H_f° (producte 1), H_f° (producte 2), ...] i les dels reactius [H_f° (reactiu 1), H_f° (reactiu 2), ...].

A.26.- El metà és el principal component del gas ciutat que s'utilitza com combustible domèstic. Calculeu la ΔH_r° de la combustió del metà i el seu poder calorífic en kJ/kg.

A.27.- El metanol líquid (CH_3OH) se li anomena en la vida quotidiana com 'alcohol de cremar' i la seva H_f° val -238.6 kJ/mol . Quin combustible tindrà major poder calorífic el metanol líquid o el metà?

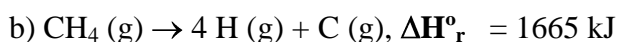
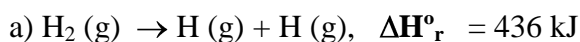
Comentaris A.25, A.26 i A.27.- En primer lloc, es planteja el problema en general en l'**A.25** on els estudiants han de concloure que, d'acord amb el caràcter de funció d'estat de les entalpies, la variació d'entalpia estàndard de qualsevol procés, ΔH_r° , serà la diferència entre la suma de les entalpies dels productes i la suma de les corresponents als reactius. D'altra banda, en **A.26 i A.27** s'aplica l'equació obtinguda en dos casos pràctics que tenen relació amb la vida quotidiana com són: predir el poder calorífic d'un combustible com el metà i la comparació amb un segon combustible com l'alcohol de cremar.

4.3. Interpretació microscòpica dels canvis entàlpics que ocorren en els processos físics i químics: el concepte d'entalpia d'enllaç.

A l'igual que per calcular macroscòpicament els canvis energètics que ocorren en els processos físics i químics s'ha ideat el concepte d'entalpia estàndard de formació de les substàncies, es pot pensar en explicar els mateixos canvis però a nivell microscòpic. És a dir, com que ja coneguem el mecanisme elemental pel qual ocorren aquests canvis físics i químics a nivell de les partícules constituents de les substàncies, podem imaginar com es transfereix l'energia que es podrà transferir en forma de calor i/o treball a altres sistemes o de transformar-se en radiacions.

A.28.- Expliqueu, a títol d'hipòtesi, el que passa energèticament quan les molècules de dues substàncies interaccionen per a formar les noves molècules de les substàncies productes.

A.29.- Què és l'entalpia mitjana d'enllaç? Indiqueu quines serien les entalpies mitjanes dels enllaços H-H i C-H a partir de les següents dades termoquímiques?



A.30.- Calculeu l'entalpia mitjana de l'enllaç H-Cl a partir de les següents dades: entalpia de dissociació de les molècules d'hidrogen, H_2 , (436 kJ/mol); entalpia de dissociació de les molècules de clor, Cl_2 (239 kJ/mol); entalpia estàndard de formació d' $\text{HCl}(\text{g}) = -92.4 \text{ kJ/mol}$.

Comentaris de A.28, A.29 i A.30.- En primer lloc, l'A.28 tracta de revisar el model elemental de reacció química on sols seran xocs eficaços els de les molècules que tenen una energia cinètica superior a la d'activació trencant-se els seus enllaços i formant-se nous enllaços i, per tant, noves molècules dels productes. Al passar a debatre aquesta activitat cal fer posar en qüestió la idea bastant arrelada que el trencament dels enllaços implica 'despreniment de calor' (utilitzant una analogia macroscòpica equivocada) quan és, al contrari, ja que aquell trencament requereix energia interna del propi sistema (més concretament, energia cinètica de les

partícules que xoquen). En canvi, és en la formació d'enllaços quan el sistema aporta energia a l'exterior al disminuir l'energia potencial del sistema. Així doncs, els químics associen també una entalpia mitjana a cadascun dels enllaços interatòmic d'una molècula que es pot obtenir fàcilment a partir de les entalpies estàndard de formació en les substàncies simples (A.29) i també en les compostes (A.30).

4. Una aplicació termodinàmica d'interès personal: Com saber si la nostra alimentació afavoreix o no l'obesitat?

Una de les moltes aplicacions que té la introducció del concepte d'entalpia dels sistemes ha de veure amb el problema actual de la salut personal i, en particular, el relatiu a una malaltia prou actual com és el de l'obesitat dels adolescents i de gent gran.

El cas preocupant de la sobrealimentació que es dona en països desenvolupats i que està generant una població adolescent amb problemes d'obesitat i d'altres malalties que van contra una alimentació saludable pot servir-nos com a exemple d'aplicació de la Termodinàmica d'interès personal. És doncs un estudi important en la formació de les persones saber si la dieta alimentària que seguim diàriament és saludable o, pel contrari, afavoreix l'obesitat. El primer que farem serà plantejar-nos aquesta situació problemàtica.

A.31.- En què consisteix l'obesitat i quines són les possibles causes d'aquesta malaltia?

Comentaris A.31.-L'obesitat infantil i dels adolescents està constituint un greu problema en els països més desenvolupats, així per exemple en USA més del 20% de la població escolar de Primària té un sobrepès que no correspon al que hauria de ser el seu pes normal d'acord amb l'edat. És més, l'Organització Mundial de la Salut (OMS) fa uns anys va presentar resultats que mostraven que més de 94 països tenen una població amb un elevat sobrepès. Les possibles causes d'aquesta malaltia que citen els experts són principalment: en primer lloc, una alimentació poc saludable basada en aliments on abundin nutrients constituïts per lípids (en particular, greixos saturats o insaturats *trans*) i hidrats de carboni (en particular, sucres) que s'acumulen en l'organisme en els teixits adiposos; un altra causa important de l'obesitat és que, cada vegada més, anem envers un estil de vida prou sedentària i, al mateix més

estressant, en el que va disminuint l'activitat física de l'ésser humà essent substituïda per altres hàbits que no consumeixen quasi energia com, per exemple, veure la televisió durant hores. Llavors caldrà esbrinar o diagnosticar, primerament, com podem saber si estem o no malalts d'obesitat sense adonar-nos.

A.32.- Com saber si una persona està obesa?

Comentaris A.32.- Fer un diagnòstic personal respecte a l'obesitat requereix saber si la persona, tenint en compte les seves característiques idiosincràtiques com és el gènere, l'alçada o talla, té el pes que li correspon dins d'una banda considerada estàndard, o, pel contrari, té sobre pes. És a dir, encara que cada persona tinga unes característiques peculiars i distintes al d'un altra, com és el cas del pes, es pot trobar un patró per a poder comparar si està obesa o no. L'OMS va introduir una variable estàndard dita Índex de Massa Corporal (IMC) que es defineix empíricament com una relació entre el pes, P, mesurat en kg, i la talla, T, mesurada en m, com la següent:

$$\text{IMC} = \text{P (en kg)} / \text{T}^2 \text{ (en m}^2\text{)}$$

Aquesta variable s'ha mesurat per a dos distribucions normals de poblacions amb dones i homes de menys i de més de 35 anys i s'ha obtingut la taula de valors 18 com la que s'expressa a continuació que s'utilitza com a patró per veure si una persona té el pes normal:

| Taula 18.- Distribució normal de l'índex de massa corporal (IMC) en homes i dones de menys de 35 anys i més de 35 anys segons l'OMS. | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| | Menys de 35 anys | | | Més de 35 anys | | |
| | Defecte de pes | Pes normal | Sobrepès | Defecte de pes | Pes normal | Sobrepès |
| Homes | <20 | 20 - 25 | >25 | <22 | 22 - 27 | >27 |
| Dones | <19 | 19 - 24 | >24 | <21 | 21 -26 | >26 |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|

Ara bé, com una dels principals factors que influeixen en l'obesitat és la dieta alimentària de les persones caldrà plantejar-se quin és el paper de l'alimentació en els éssers vius i, en particular, quines són les condicions aconsellades per l'OMS per que una dieta alimentària siga saludable. Això és el que es discutirà en la següent activitat.

A.33.- Què és un aliment i quines poden ser les funcions bàsiques dels aliments en els éssers vius?

Comentaris A.33.-En aquesta activitat caldrà que els estudiants recorden, o millor revisen, que un aliment és un conjunt de nutrients i altres materials que serveixen per cobrir les necessitats vitals d'un ésser viu. És a dir, l'alimentació ha de servir per a mantenir l'activitat normal de les persones com, per exemple, mantenir la temperatura a 36.5°C, realitzar el treball físic quotidià necessari per viure (caminar, córrer, etc.) o aportar substàncies pel seu creixement. Convindrà en aquesta revisió definir i diferenciar entre aliment i nutrient. També serà important recordar que els principals nutrients d'un aliment són mescles de compostos químics orgànics molt variats però, principalment, constituïts per lípids (greixos), glúcids (hidrats de carboni) i proteïnes. Aquests aliments són els productes que junt a l'oxigen de l'aire respirat intervenen en els processos de nutrició dels éssers vius ja estudiats en cursos anteriors però que convindrà rememorar. En aquest sentit caldrà recordar que els aliments cobreixen principalment tres funcions en els éssers vius: la funció energètica facilitant l'energia necessària per viure com ja s'ha dit anteriorment i on els lípids i glúcids són importants; la funció estructural amb la finalitat de rejuvenir les cèl·lules que es van morint així com la creació de nou teixit en el creixement de la persona i on les proteïnes tenen un paper fonamental, i la funció catalítica aportant tots aquells enzims que inhibeixen o acceleren els processos químics que es desenvolupen al cos de l'ésser viu.

Respecte a la funció energètica dels aliments que serà el punt bàsic a desenvolupar en aquest apartat 5 serà fonamental debatre com calcular l'aportament energètic de cada aliment en la nutrició dels éssers vius amb la finalitat de veure si és més que suficient.

A.34.- Com podem esbrinar l'aportació energètica d'un aliment específic?

Comentaris A.34.- Resoldre aquesta qüestió requerirà que els estudiants es plantegen, d'una banda, saber quina és la composició massica dels principals nutrients de l'aliment en qüestió, és a dir de la massa de glúcids, de lípids i de proteïnes que té i, d'altra banda, conèixer l'energia mitjana per gram que poden aportar les molècules d'aquestes substàncies bàsiques al reaccionar amb l'oxigen dissolt en la sang del cos. En aquest assumpte caldrà proporcionar una taula com la següent:

| Taula 19.- Aportació energètica per cada gram dels principals nutrients | |
|--|---|
| La massa d'1 gram de | Energia aportada a l'organisme (en kcal) |
| Glúcids | 4 |
| Lípids | 9 |
| Proteïnes | 4 |

Es pot donar la composició en nutrients de distints aliments coneguts pels estudiants i que calculen, per exemple, l'aportació energètica de 100 g de varis aliments a fi que puguem comparar les quantitats obtingudes. A títol d'exemple es dona, a continuació, els resultats que poden calcular en 4 aliments com la mantega, l'arròs, el bonítol i xulles de porc (Taula 20).

| Taula 20.- Energia total que pot aportar la ingesta de 100 g de 4 aliments | | |
|---|--|---|
| Tipus d'aliment | Composició màssica (en g) | Energia total aportada (en kcal) |
| 100g de mantega | 82 g de lípids 0.6 g de proteïnes 0 0 g de glúcids | 740.4 |
| 100 g d'arròs | 0.8 g de lípids 7.0 g de proteïnes 61 g de glúcids | 279.2 |
| 100g de bonítol | 5.0 g de lípids 21 g de proteïnes 5.2 g de glúcids | 149.8 |
| 100 g de xulles de porc | 35 g de lípids 13 g de proteïnes 0.0 g de glúcids | 367.0 |

En aquest punt es pot introduir una activitat optativa per aprofundir quines són les condicions d'una dieta saludable o bé plantejar-la com una derivació de la discussió en A.32. En aquest darrer cas, pot el professor aportar informació del que aconsella l'OMS sobre les 4 condicions d'una dieta saludable: a) ha de ser *suficient* en el sentit de cobrir les necessitats energètiques (que serà l'objectiu de l'A.34); b) també ha de ser *completa* de manera que continga els nutrients específics i necessaris per a cadascú; c) ser *equilibrada* en una proporció adient dels aliments a prendre i d) *segura*, és a dir que no tinga substàncies nocives o perjudicials per a la persona.

Una vegada s'ha discutit l'aportació energètica d'alguns exemples d'aliments es pot proporcionar una taula de dades energètiques més extensa per que puguin posteriorment - en un altra activitat- recordar cadascú personalment què han menjat el dia anterior i determinar quina és l'aportació energètica de la seva dieta alimentària.

Finalment es pot esbrinar per a cada persona quines són les seves necessitats energètiques i entrar a analitzar l'aportació energètica de la dieta i extreure conclusions. Això ho farem en la següent activitat.

A.33.- Com saber si la dieta alimentària d'una persona és suficient o no des del punt de vista energètic?

Comentaris A.33.- En primer lloc caldrà aportar informació de quines són les necessitats energètiques quotidianes de les persones, la qual cosa dependrà, en general, del gènere doncs habitualment les dones tenen menys pes que els homes i requereixen menys energia en la seva activitat ordinària i, també, de l'edat de la persona doncs, per exemple, els joves necessitaran menys energia que els adults. Es poden proporcionar dades normalitzades de necessitats habituals com les de la taula 20.

| Taula 20.- Necessitats diàries d'energia de nens, joves i adults | |
|---|------------------------------------|
| Categoria de la persona | Energia diària (en kcal) |
| Nens | 1800 |
| Joves: Xic Xica | 2900 2500 |
| Adults: Home Dona Embarassada | 3000 - 4000 2200 - 3000 2550 |

Amb aquesta informació podran comparar la quantitat d'energia aportada per la seva dieta alimentària del dia anterior amb el que habitualment es necessita en una persona de la seva mateixa categoria i arribar a la conclusió de si estan sobrealimentant-se. Com que la dieta dels estudiants d'una classe pot ser molt variada caldrà que el professor o la professora dispose d'una taula de dades amb els aliments més habituals del medi local i dels nutrients que conté cadascun d'ells. Els estudiants també hauran d'apreciar el pes aproximat que han menjant de cada aliment eixe dia per a fer un càlcul estimatiu.

Es pot aprofundir en aquesta temàtica eixamplant l'estudi per veure si l'alimentació setmanal de la persona a més de ser suficient des del punt de vista energètic també ha estat completa, és a dir, si ha estat variada en nutrients segons el que s'aconsella pels experts. Aquesta pot ser una perspectiva a treballar posteriorment pels estudiants que vullguen.

Una vegada s'ha finalitzat l'estudi del tema de termoquímica, és molt convenient que es faci una recapitulació del tema centrant l'atenció en els principals objectius i competències que els estudiants han d'haver après. En aquesta recapitulació caldrà deixar plantejades noves preguntes interessants que puguin continuar i profunditzar aquest estudi o d'altres que es puguin relacionar-se amb el realitzat com, per exemple, quines són les causes de que es produïsquen processos espontanis en determinades condicions com poden ser les combustions dels aliments i com és que, al mateix temps en altres condicions es fabriquen per les plantes els nutrients dels aliments.

6.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS EN L'AVALUACIÓ DELS APRENENTATGES ACONSEGUITS EN L'APLICACIÓ DEL PROGRAMA D'ACTIVITATS.

En aquest apartat es presentaran els resultats que tracten de posar a prova la hipòtesi segona relativa a la millora en l'aprenentatge degut a la nova seqüència d'ensenyament-basada en el model d'aprenentatge com activitat d'una recerca orientada i que s'ha plasmat en la proposta del programa d'activitats presentat en l'apartat 6.1. Aquest programa va ser utilitzat, com ja s'ha esmentat, en dos grups d'estudiants universitaris (N=35 en total) del dos darrers anys de la carrera que cursaven l'assignatura de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques. També es recorda el disseny per avaluar l'eficàcia de la seqüència d'ensenyament que constava dels següents aspectes:

- Veure si després del tractament disminuïa significativament la freqüència de les dificultats d'aprenentatge del grup experimental.
- Analitzar si, després del tractament didàctic, ha augmentat la comprensió dels estudiants del grup experimental respecte a l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica i del concepte d'entalpia dels sistemes mesurant l'índex de

ganància d'Hake al realitzar el pretest i el postest amb dos qüestionaris prou similars.

- Comparar els percentatges de respostes correctes a preguntes idèntiques dels grups de control i experimental per veure si hi ha diferències significatives des del punt de vista estadístic aplicant el paràmetre chi quadrat.

6.2.1 Presentació i anàlisi dels resultats per veure la possible reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic.

Recordem que la primera de les conseqüències derivades de la segona hipòtesi suposava que, degut al nou tractament didàctic del tema, hi hauria una reducció substancial de les dificultats trobades en mostres d'estudiants universitaris que havien estat ensenyats convencionalment.

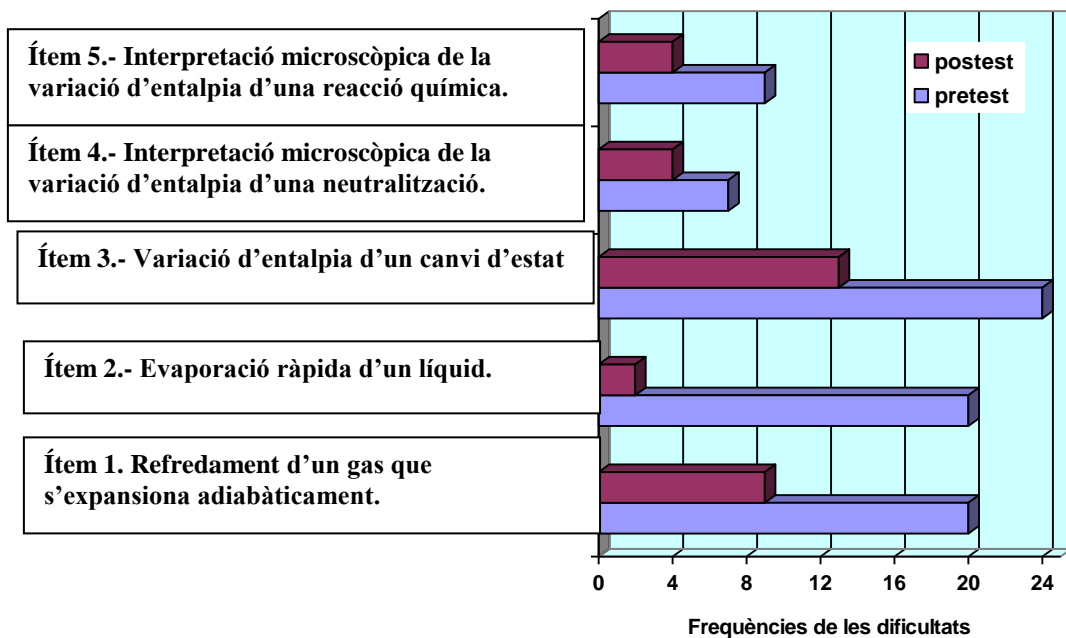
Les dificultats d'aprenentatge del grup experimental d'estudiants universitaris s'han estret, per una part, de les respostes que donaren els estudiants quan feren el pretest (Q.4) i que ja ha estat exposat al capítol V (document 6). D'altra banda, es registraren en el mateix grup d'estudiants les dificultats d'aprenentatge del postest (Q.5) fet després de que s'aplicara el tractament didàctic. En la Taula 21 podem veure els resultats de les freqüències de les principals dificultats d'aprenentatge en cada ítem abans ($f_{i,1}$) i després ($f_{i,2}$) del tractament didàctic de la Termoquímica així com el percentatge de reducció (P_i) de cada dificultat. i el seu percentatge de reducció.

| Taula 21.- Freqüències de les principals dificultats d'aprenentatge dels estudiants dels grups experimentals en cada ítem abans ($f_{i,1}$) i després ($f_{i,2}$) del tractament didàctic de la Termoquímica i percentatge de reducció (P_i) de cada dificultat. | | | | |
|--|--|-----------|-----------|-------|
| Ítem N. | Tipus de dificultat d'aprenentatge | $f_{i,1}$ | $f_{i,2}$ | P_i |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fixació funcional de la no variació de T del sistema derivada de l'enunciat de la pregunta</i> (Per exemple, quan la resposta és: 'Si el sistema està aïllat tèrmicament la T és constant') | 5 | -- | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Reduccions funcionals on s'utilitza macroscòpicament l'equació dels gasos de forma errònia sense tenir en compte tots els factors que poden influir en el fenomen</i> (Per exemple, en les respostes següents: 'Si la pressió del gas baixa segons l'equació dels gasos la T baixarà' 'Com que al baixar la P del gas augmenta el volum, la T serà constant') | 4 2 | 5 -- | |

| | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-----------|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> Reduccions funcionals on s'utilitza microscòpicament l'equació dels gasos transferint erròniament idees del model elemental de reacció (Per exemple: 'Si la pressió del gas baixa segons l'equació dels gasos el volum del gas augmentarà, les partícules es mouen més a pressa i la T pujarà' 'Com que baixa la P del gas augmenta el volum, hi hauran menys xocs entre partícules i la T disminuirà') | 2 | -- | |
| | | 7 | 4 | |
| Total de dificultats en l'ítem 1 | | 20 | 9 | 55 |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> Transferències inadequades de coneixement empíric: | 14 | -- | |
| | 'Quan hi ha canvi d'estat (<i>vaporització</i>) la temperatura sempre és constant' | 4 | -- | |
| | 'Per evaporar-se (<i>el líquid</i>) cal donar-li calor (<i>des de l'exterior</i>)' | -- | 2 | |
| | 'Per evaporar-se cal donar-li calor i després és gela' | 1 | -- | |
| | 'Reacció amb l'oxigen' | 1 | -- | |
| Total de dificultats en l'ítem 2 | | 20 | 2 | 90 |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> Errors conceptuals i concepcions alternatives sobre el concepte d'entalpia: | | | |
| | - S'associa l'entalpia del sistema al concepte d'entropia (Exemples: 'L'entalpia del gas es major que en el líquid ja que les partícules es mouen caòticament i, per tant, augmenta el desordre'; 'Perquè les partícules del gas tenen més graus de llibertat'). | 7 | -- | |
| | - S'identifica l'entalpia amb la calor (Exemples de resposta: 'El gas és més energètic i tindrà més calor o despendrà més calor a pressió constant que el líquid...'; 'El gas té major calor a pressió constant ja que $\Delta H = n \cdot c_p \cdot \Delta T$ '). | 2 | -- | |
| | <ul style="list-style-type: none"> Reduccionismes funcionals en els factors de que depèn el concepte d'entalpia d'un sistema format per una única substància: | | | |
| | - L'entalpia del sistema sols depèn del tipus de substància i no de l'estat de la substància. (Exemples: 'H no depèn de l'estat de la substància' o 'L'entalpia del gas és la mateixa que la del líquid perquè no hi ha reacció química'). | 7 | -- | |
| | - L'entalpia del sistema sols depèn de la seva temperatura. (Exemples: 'Com que el procés es realitza a temperatura constant l'entalpia del gas i del líquid seran idèntiques' o 'El gas està a major temperatura que el líquid i per això $H(g) > H(l)$ '). | 6 | 7 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> Fixacions funcionals respecte a l'energia d'enllaç de les partícules. Exemples: - 'H(l) > H(g) perquè els enllaços en la fase condensada són més energètics' - 'H(g) > H(l) perquè en (<i>les partícules d'</i>) el gas els enllaços són més forts que en (<i>les partícules d'</i>) el líquid' | 2 | 6 | |
| Total de dificultats d'aprenentatge a l'ítem 3 | | 24 | 13 | 46 |
| 4 | <ul style="list-style-type: none"> Concepcions alternatives microscòpiques: | | | |
| | - La formació d'enllaços requereix energia i/o el seu trencament proporciona energia al sistema. (Exemple: 'L'energia del sistema que no es consumeix en la formació de nous enllaços llavors es desprèn en forma de calor'). | 4 | 4 | |

| | | | | |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| | - <i>S'identifica l'entalpia amb l'energia d'activació.</i> (Exemple. 'La reacció és exotèrmica ja que la reacció es produeix sense falta d'afegir energia') | 3 | -- | |
| | Total de dificultats en l'ítem 4 | 7 | 4 | 43 |
| 5 | • <i>Concepcions alternatives microscòpiques:</i> - <i>La formació d'enllaços requereix energia i/o el seu trencament proporciona energia al sistema .</i> (Exemple: '...Microscòpicament per a formar un enllaç es necessita menor energia que per a trencar-ho. Per això, es dona un augment en l'entalpia del sistema'). | 6 | 3 | |
| | • <i>Confonen els termes exotèrmic i endotèrmic:</i> (Exemple: "El procés és exotèrmic degut que ΔH és positiu, és una reacció que proporciona energia. Microscòpicament el que passaria és que en el gas les molècules de NO es mourien ràpidament i això augmentaria l'entropia S per formacions caòtiques i això provocaria un augment de T ") | 3 | 1 | |
| | Total de dificultats en l'ítem 5: | 9 | 4 | 56 |
| En total: | | 80 | 32 | 60 |

Gràfica 6.- Freqüències de les principals dificultats d'aprenentatge abans i després del tractament didàctic



A continuació passarem a analitzar els resultats obtinguts en les dificultats de cada ítem i que s'han representat en la gràfica 6 i farem una valoració global d'aquests resultats.

En l'ítem 1 on s'havia d'aplicar el primer principi de la Termodinàmica a l'explicació del refredament d'un gas que s'expansiona adiabàticament, les dificultats pràcticament s'han reduït a la meitat doncs s'ha passat d'una freqüència inicial de 20 dificultats a una freqüència final de 9 dificultats, és a dir amb una reducció global del 55% de les dificultats. En particular, desapareixen totes les 5 respostes equivocades que la temperatura del sistema es manté constant però aquest resultat pot ser degut que l'enunciat de la pregunta 1 del postest es diferent ja que, en aquest cas, es diu que hi ha una disminució de la temperatura donat que amb la mescla d'aire i vapor d'aigua es fa la neu artificial. Pel contrari, es mantenen aquelles dificultats basades en un operativisme cec derivat d'una anàlisi funcional on hi ha un únic sistema (gasos tancats) en el qual s'aplica l'equació dels gasos ideals (de 6 passen a ser 5), però per altra banda es redueixen pràcticament a la meitat les explicacions microscòpiques del fenomen on s'utilitza erròniament el mecanisme elemental de reacció amb xocs inelàstics de partícules (de 9 passen a ser 4). En general, la reducció del 55% de les dificultats en aquest ítem 1 és satisfactori però caldrà posar més èmfasi sobre l'aplicació del primer principi de la termodinàmica en el programa d'activitats.

En l'ítem 2, l'anàlisi és molt positiu ja que pràcticament han desaparegut quasi totes les dificultats (de 20 s'ha passat a 2) al posar en dubte, mitjançant el programa guia, la confusió en molts dels estudiants que l'evaporació és el mateix que la vaporització i posant en relleu que hi ha processos adiabàtics on el sistema està aïllat tèrmicament i, en canvi, es pot refredar o escalfar interaccionant amb ell mateix, disminuint o augmentant la seua temperatura.

En l'ítem 3 també s'han reduït quasi a la meitat les dificultats (de 24 s'ha passat a 13) En l'anàlisi de resultats cal indicar que les 6 fixacions funcionals microscòpiques associades a les energies d'enllaç i registrades en aquest ítem en el postest es donaren en el primer grup d'estudiants del curs 2004-2005 i, per això, es va modificar el programa d'activitats per superar aquesta dificultat. Des del començament del programa d'activitats es va incidir simultàniament en les interpretacions macro i microscòpiques dels fenòmens estudiats. Aquesta ha estat la raó de la seua absència en el postest del segon grup experimental del curs 2005-2006. També s'aconseguí que tots els estudiants

tingueren en compte l'estat de la substància al valorar l'entalpia del sistema. En canvi, fou prou persistent el reduccionisme funcional que H depèn sols de la T basant la seva resposta en què el gas estarà a major temperatura que el líquid i sense tenir en compte que en un equilibri gas-líquid els dos estats de la substància subsisteixen a la mateixa temperatura.

En l'ítem 4, la versió del postest és molt més difícil que la del pretest plantejada al grup experimental d'estudiants ja que implica no sols un coneixement profund del tema de la neutralització d'àcids i bases sinó, a més, l'elaboració d'una hipòtesi microscòpica que tinguera en compte que la dissociació completa de l'àcid feble requereix energia que justifica que la ΔH del procés siga menor. Nogensmenys, s'ha de tenir en compte que són estudiants universitaris i que havien discutit extensament les activitats del programa.

En l'anàlisi dels resultats d'aquest ítem es dedueix que hi haurà de fer-se major èmfasi en l'explicació microscòpica del que passa amb l'entalpia dels enllaços quan es formen i quan es trenquen en les reaccions químiques, per superar la idea equivocada que la formació de l'enllaç significa absorció d'energia en forma de calor i el seu trencament despreniment de calor (tal vegada deguda a una transferència indeguda del balanç energètic d'un procés quan, per exemple diem que ingerim aliments o molècules "riques" en energia', i no es té en compte que es formen noves substàncies).

És important ressaltar en aquest ítem no solament les dificultats d'aprenentatge superades sinó també el canvi en la qualitat de les explicacions donades. Així mentre en el pretest hi ha 18 de les 33 respostes dels dos grups que donen raonaments provatius on només es descriu empíricament que el procés és exotèrmic (és a dir, donen exemples del tipus 'perquè augmenta la temperatura del sistema' o 'perquè es produeix calor') en canvi en el postest són només 8 de 34 els estudiants que utilitzen aquestos tipus d'arguments.

En l'ítem 5, hi ha una reducció en les dificultats d'aprenentatge (es passa de 9 a 4) i també la desaparició de les 8 respostes descriptives o operativistes que es donen en el pretest. En particular, cal assenyalar que les 5 que havia donat el segon grup experimental –on hi ha la meitat del grup que són físics- s'han convertit en respostes correctes o incorrectes però microscòpiques.

En resum, de les 80 dificultats trobades s'ha passat a 32, el que suposa que s'han eliminat el 60% de les dificultats inicials.

6.2.2 Presentació i anàlisi dels resultats per posar a prova l'eficàcia de l'aprenentatge amb l'índex de guany d'Hake.

La segona conseqüència derivada de la segona hipòtesi principal indicava que *s'aconseguiria una ganància en la comprensió del primer principi de la Termodinàmica i del concepte d'entalpia mitjançant la utilització del programa d'activitats.*

Per a posar a prova aquesta conseqüència, recordem que en l'apartat 5.2.3.2 es proposava la utilització de les respostes del pretest i postest, per al càlcul d'un índex que ens mostrara la millora en la comprensió conceptual aconseguida en la instrucció.

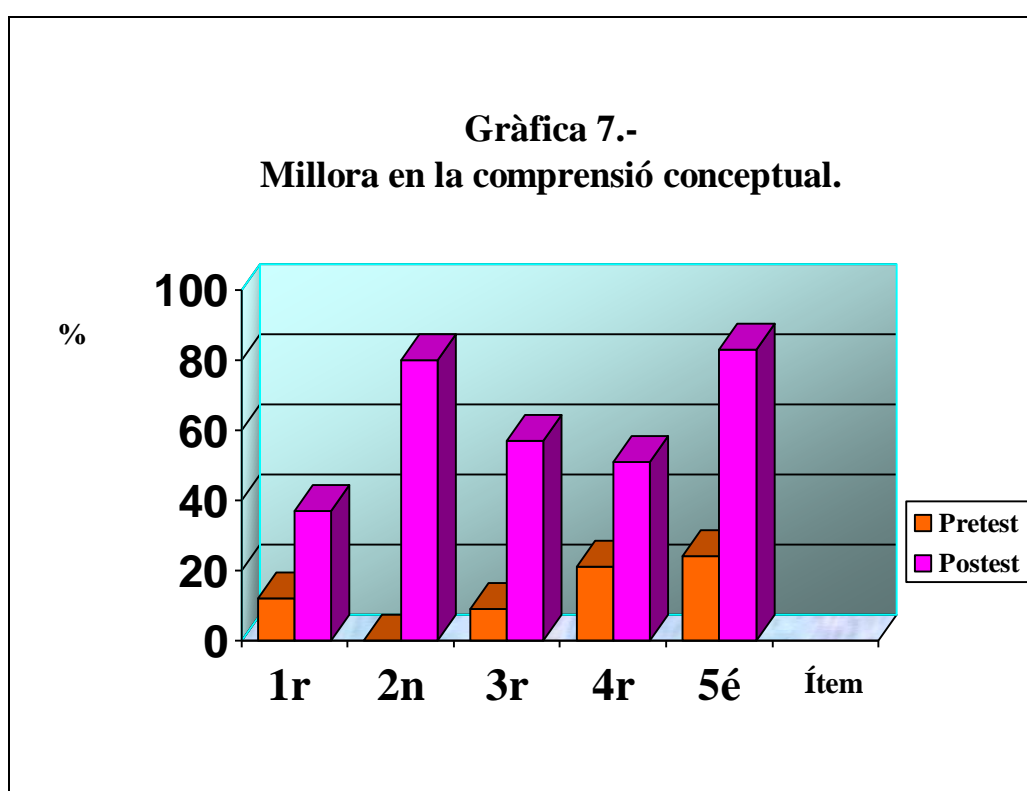
L'índex de ganància intrínseca d'Hake (1998), g_x , es defineix com la fracció de màxima ganància possible aconseguida per la instrucció, és a dir:

$$g_x = [F_1(\text{post}) - F_2(\text{pre})] / [1 - F_2(\text{pre})] \quad (2)$$

on es tracta de comparar les respostes explicatives correctes dels qüestionaris Q4 (pretest) i Q5 (postest) calculant els tants per ú d'èxit en el pretest $F_1(\text{pre})$ i en el postest $F_2(\text{post})$. La Taula 22 ens mostra els resultats d'avaluació d'aquest índex en cada ítem.

| Taula 22.- Millora en la comprensió conceptual (índex d'Hake) aconseguida en l'aplicació de la primera llei de la termodinàmica i en el concepte entalpia pel grup experimental. | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------|
| Ítem | Resp. correctes (pretest) (N=33) | $F_1(\text{pre})$ | Resp. correctes (postest) (N=35) | $F_2(\text{post})$ | g_x |
| 1 | 4 | 0.12 | 13 | 0.37 | 0.29 |
| 2 | 0 | 0.00 | 28 | 0.80 | 0.80 |

| | | | | | |
|---|---|------|----|------|------|
| 3 | 3 | 0.09 | 20 | 0.57 | 0.53 |
| 4 | 7 | 0.21 | 18 | 0.51 | 0.38 |
| 5 | 8 | 0.24 | 29 | 0.83 | 0.77 |



Com vegem en els resultats de la Taula 7, els índex d'Hake trobats comparant tots els ítems dels qüestionaris Q4 i Q5, són majors de 0.1, el que indica una millora en la comprensió conceptual i per tant una ganància aconseguida amb la nova proposta d'ensenyament per recerca orientada.

En les preguntes 2, 3 i 5 es pot veure en els resultats de l'índex d'Hake (1998), que ens mostra l'increment percentual de respostes correctes entre la primera i la segona major aplicació respecte a la major millora possible, que els valors són els més elevats ($g_2 = 0.80$; $g_3 = 0.53$ i $g_5 = 0.77$). La resta de preguntes, un poc més complexes en el

postest, tenen índex més baixos ($g_1 = 0.29$ i $g_4 = 0.38$). Aquesta complexitat es pot atribuir a dos aspectes, per una banda es requeria contextualitzar els coneixements en aspectes quotidians (ítem 1 de Q5) i, per altra, analitzar des del punt de vista energètic, sistemes més complexos (ítem 4 de Q5), la qual cosa pot explicar els resultats més baixos en aquest índex.

Si ens fixem en cada ítem individualment veurem que, segons els resultats d'aquest índex, la menor eficàcia en la millora de comprensió conceptual, s'ha donat en l'ítem 1 ($g_1 = 0.29$) ja que en l'anàlisi energètic del sistema, a l'utilitzar el primer principi de la termodinàmica, l'estudiant havia de tenir en compte només el treball que realitza el sistema o que es fa sobre el sistema, per analitzar la variació d'energia interna i per tant de la seua temperatura. És possible que aquests casos siguin els menys analitzats tan en classe com als llibres de text i per tant els menys coneguts pels estudiants, ja que quan s'estudia la termoquímica se sol restringir l'estudi a sistemes on es desprèn o absorbeix calor i es deixa de banda aquests aspectes on el sistema realitza treball o es fa sobre ell treball. Una altra qüestió en aquest ítem és que els estudiants no saben quan en els processos descrits no s'intercanvia calor amb l'exterior (be perquè no sabem que 'l'aïllament tèrmic' significa això i no procés isoterm com molts alumnes consideren en l'ítem 1 del pretest. O be perquè no saben diferenciar entre un procés adiabàtic i el que no ho és quan els fenòmens transcorren d'una manera ràpida, tal com ocorre en l'ítem 1 del postest).

En l'ítem 4 l'índex d'Hake és el següent més baix ($g_4 = 0.38$). Aquest resultat es pot explicar en part perquè l'estudiant havia d'utilitzar un coneixement més profund del que ocorre des del punt de vista microscòpic amb la variació d'entalpia d'un sistema químic, fixant-se en els tipus d'enllaços trencats i formats i a més on es demana una conclusió i relació entre la feblesa de l'àcid dissolt i l'entalpia de la reacció. Aquests resultats confirmen el que ja vàrem veure en la gràfica 18, que les fixacions funcionals sobre l'energia dels enllaços no s'eliminen fàcilment, tal vegada perquè es requereix major profundització en l'estudi energètic des del punt de vista microscòpic.

Tanmateix en l'ítem 5, l'índex trobat és major ($g_5 = 0.77$) i en aquest cas la dificultat de la pregunta del postest era superior a la del pretest ja que intervenien ions en dissolució. En la pregunta del postest es demanava que explicaren des del punt de vista

microscòpic el que ocorre energèticament en una reacció endotèrmica que implicava la dissolució d'una sal iònica en l'aigua, que sol ser més complicada per als estudiants que la reacció entre gasos que era la pregunta del pretest, però pense que en aquest cas els estudiants estan més familiaritzats amb aquest tipus de processos ja que quan estudien les característiques dels compostos iònics sempre es dona una justificació microscòpica a l'elevada solubilitat en aigua d'aquests compostos i a la formació de xarxes iòniques amb la introducció del concepte microscòpic de l'energia reticular.

6.2.3 Presentació i anàlisi dels resultats per veure si s'aconsegueixen diferències significatives en els aprenentatges dels grups experimental i de control.

La tercera hipòtesi derivada de la segona hipòtesi principal preveia que el desenvolupament i vivència del programa d'activitats en la classe de professors de Física i Química en formació generaria una major comprensió conceptual del tema de Termoquímica respecte a l'ensenyament universitari habitual.

Aquesta hipòtesi es va operativitzar en tres conseqüències derivades que en part han segut confirmades en els dos apartats anteriors. Una d'elles referides a la reducció de dificultats d'aprenentatge degut al tractament didàctic i l'altra per veure l'eficàcia de l'aprenentatge aconseguit. En aquest apartat anem a verificar la tercera d'aquestes conseqüències veient els resultats que s'extrauen al comparar les respostes dels tres primers ítems del Q5 de dos grups de control amb l'experimental i comprovant si hi ha diferències significatives en els aprenentatges d'aquests grups.

Els dos grups de control que s'utilitzaren corresponien, d'una banda, a un grup de estudiants de 3r curs de la carrera de Químiques en el curs acadèmic 2003-2004 i, de l'altra banda, a llicenciats de Física o Química que participaren en 3 grups de Didàctica de Ciències Físico-Químiques del CAP matriculats l'any 2004-2005 en la Universitat de València. Donat que el percentatge de respostes correctes dels dos grups de control eren versemblants, es va decidir ajuntar els resultats en un únic grup de control.

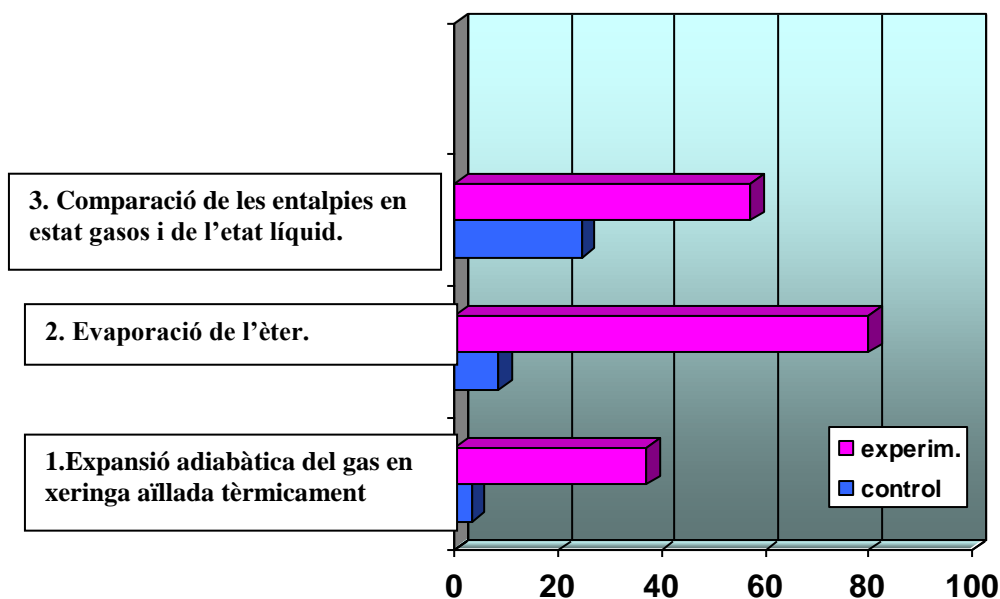
Per a la comparació de resultats s'ha calculat amb les dades dels dos grups el paràmetre estadístic χ^2 amb el que s'obté la probabilitat **p** que les diferències trobades

en els resultats del grup de control i l'experimental siguin o no significatives, és a dir, siguin degudes al tractament efectuat en el grup experimental. Es considera que, com és habitual, si p és menor que 0.05 les diferències intergrupals són significatives i, per tant, no degudes a l'atzar (*). En la Taula 23 es mostren els resultats de les comparacions entre els dos grups, l'experimental i el de control.

Taula 23.- Comparació dels percentatges de respostes correctes als ítems 1, 2 i 3 del qüestionari Q5 dels estudiants del grup de control (3r Químiques del curs 2003-2004 [N=45] i CAP del curs 2004-2005 [N=63]) i del grup experimental (Didàctica de les Ciències Físico-Químiques dels cursos 2004-2005 i 2005-2006 [N=35])

| Ítem num. | % respostes correctes del grup control (N=108) | % respostes correctes del grup experimental (N=35) | χ^2 | p(*) |
|--|--|--|----------|--------|
| 1. Expansió adiabàtica del gas en xeringa aïllada tèrmicament | 3.1 | 37.1 | 36 | <0.01 |
| 2. Evaporació de l'èter. | 8.4 | 80.0 | 104 | <0.001 |
| 3. Comparació dels valors de les entalpies de l'aigua gasosa i de l'aigua líquida. | 24.5 | 57.1 | 22 | <0.01 |

Gràfica 8.- Comparació dels percentatges de respostes correctes dels grups de control i l'experimental



Com veiem, en els tres ítems s'aconsegueixen diferències significatives en l'aprenentatge conceptual obtingut pels estudiants del grup experimental degut a l'aplicació de la seqüència d'ensenyament en forma de programa d'activitats que ha desenvolupat el tema de Termoquímica en una classe de formació inicial de potencials professors de Física i Química d'Educació Secundària i Batxillerat.

En l'ítem 1 es passa d'un percentatge de 3,1% de respostes explicatives correctes a un 37,1%. En l'ítem 2 els resultats són millors, ja que hi ha un 8,4% de respostes encertades en el grup de control i 80% en el grup experimental i en l'ítem 3 de 24,5% a un 57,1%. L'efectivitat de la seqüència d'activitats es posa de manifest amb una millora d'aproximadament un 46% en els resultats dels estudiants experimentals respecte dels de control

6.3. RECAPITULACIÓ.

En resum es pot afirmar que la segona hipòtesi principal relativa a la millora de l'aprenentatge conceptual del tema de Termoquímica del grup experimental format per 35 estudiants universitaris de Física o Química que han assistit a classe de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques durant els cursos acadèmics 2004-2005 i 2005-2006, ha estat verificada.

En aquest capítol el que s'ha presentat, en primer lloc, és el disseny i desenvolupament del tema 'Energia i processos químics' en forma de seqüència d'ensenyament basada en el model d'aprenentatge com a recerca orientada que s'ha plasmat en un programa que consta de 34 activitats amb els corresponents comentaris que abunden en orientacions per a la mediació del professor en una classe de Química de 2ón de Batxillerat. Aquest programa d'activitats s'ha desenvolupat en una classe organitzada en petits grups de 3 ó 4 estudiants universitaris que, com a futurs professors de Física i Química, s'han implicat en la discussió i millora d'aquest material didàctic i els ha fet viure una nova metodologia d'ensenyament al temps que adquirien competències conceptuais i procedimentals sobre el tema en qüestió.

Com es tractava de posar a prova aquesta segona hipòtesi principal veient si la seqüència d'ensenyament elaborada millorava realment l'aprenentatge conceptual dels estudiants universitaris sobre Termoquímica, s'ha elaborat i desenvolupat un disseny experimental que consta de tres conseqüències derivades. La primera d'aquestes conseqüències ha posat l'èmfasi mostrant que, mitjançant un disseny pretest-postest, els estudiants han reduït molt substancialment en un 60% el nombre de dificultats d'aprenentatge sobre el primer principi de la Termodinàmica i el concepte d'entalpia dels sistemes. La segona conseqüència ha provat que en els 5 ítems dels que consta el qüestionari aplicat als futurs professors també ha estat substancial la ganància en comprensió del principi i concepte esmentats com s'ha vist a l'aplicar en cada cas l'índex de guany d'Hake. Aquest indicador ha resultat ser en el cas més baix de l'ítem 1 amb un valor de 0.28 prou lluny del valor límit de 0.10 que significa un avanç notable sobre el que s'aconsegueix en l'aprenentatge conceptual universitari. En la resta dels ítems s'ha arribat fins a una ganància de 0.80 en el grup experimental d'estudiants. Finalment, la tercera conseqüència ideada ha mostrat que el tractament didàctic realitzat ha millorat amplament i de manera significativa l'aprenentatge del grup experimental comparat amb un grup de control format per estudiants de 3r de la carrera de Química que ja havien donat la Termoquímica i per llicenciats de Física o Química que s'havien matriculat en els cursos de Didàctica de les Ciències Físico-Químiques del CAP.

Finalment com a resultat del que s'ha esmentat en els apartats anterior, es pot afirmar que ha estat verificada la segona hipòtesi principal d'aquesta recerca i, en conseqüència, es pot passar en el pròxim capítol a sintetitzar les conclusions a què s'han arribat en aquest estudi.

CAPÍTOL VII.- CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE TREBALL.

7.0. INTRODUCCIÓ

Aquest treball tracta de donar resposta a les principals qüestions plantejades en el problema didàctic abordat que es varen precisar en el capítol I i que recordem:

Què s'entén per tindre una comprensió adequada dels intercanvis energètics en els processos fisicoquímics?

Tenen dificultats els estudiants preuniversitaris i universitaris de Química en la interpretació energètica dels processos físics i químics? I en cas que les tinguen: Quines són les principals?

En el supòsit que aquestos estudiants hagen rebut l'oportuna docència, la pregunta didàctica a fer-se és quina responsabilitat es pot atribuir a l'ensenyament. És a dir, les qüestions fonamentals sobre l'ensenyament que s'han respost han estat:

Quines són, des d'una òptica constructivista, les mancances fonamentals del procés d'ensenyament-aprenentatge de la Termodinàmica química que s'ha seguit? I

Què caldrà canviar de l'ensenyament convencional de les interaccions energètiques en els canvis fisicoquímics per afavorir la construcció dels coneixements termoquímics i així superar les principals dificultats d'aprenentatge?

Les respostes temptatives a aquestes qüestions, que s'han enunciat en forma d'hipòtesis principals en els capítol II, han estat les següents:

H1: *“La introducció del primer principi de la Termodinàmica i/o dels principals conceptes implicats (com el treball, el calor, l'energia interna i l'entalpia) en l'ensenyament convencional de la Química es fa sense tindre en compte els resultats de la recerca didàctica sobre els nous models d'aprenentatge d'orientació constructivista i això farà que no s'afavoreixen en els estudiants preuniversitaris, universitaris i professors en formació una interpretació macroscòpica i microscòpica correcta dels intercanvis energètics en els processos fisico-químics”*

I la segona d'elles com:

H2: *'El desenvolupament a l'aula d'un programa d'activitats de Termoquímica per a Batxillerat basat en el model d'aprenentatge com activitat de recerca orientada presentat en un curs de Didàctica de les Ciències impartit a estudiants universitaris de Física i Química, que estan formant-se com futurs professors, produirà millores substancials en la seva comprensió dels continguts respecte a l'aconseguida en l'ensenyament universitari habitual'.*

En aquest capítol VII es tracta de resumir les principals conclusions a les que s'han arribat al tractar de contrastar les hipòtesis esmentades aplicant el disseny experimental elaborat a mostres d'estudiants, professors i llibres de text de Química General. Així doncs, es presentarà en primer lloc, quines són les reflexions didàctiques sobre el que significa comprendre la primera llei de la termodinàmica i l'entalpia d'un sistema. A continuació s'exposarà les conclusions relatives a les principals dificultats de l'aprenentatge i mancances de l'ensenyament en aquest domini. Posteriorment veurem quins resultats s'han obtingut a l'aplicar el programa d'activitats elaborat en aquest treball sobre 'energia i processos químics'. Finalment s'indicaran les principals perspectives futures de treball.

7.1. CONCLUSIONS SOBRE EL QUE SIGNIFICA COMPENDRE I APLICAR LA PRIMERA LLEI DE LA TERMODINÀMICA I EL CONCEPTE D'ENTALPIA .

Es recorda que en el capítol II d'aquesta memòria s'especificava la importància que tenia per al professorat conèixer els resultats de la recerca didàctica de les ciències a fi que s'adonés de les dificultats d'aprenentatge que es poden presentar en l'ensenyament d'un domini concret com pot ser el de la termodinàmica química. En particular, el professorat ha de conèixer la història i epistemologia de la Ciència per a clarificar què significa comprendre els intercanvis energètics en els processos fisicoquímics i, d'altra banda, apropiat-se de la didàctica de les ciències com a cos teòric de coneixements, per tal de saber com cal ensenyar aquests continguts. Això implica conèixer els resultats de la recerca didàctica i, en particular, conèixer els models emergents d'ensenyament de canvi conceptual, epistemològic i actitudinal com, per exemple, el d'aprenentatge per investigació orientada. En aquests nous models s'estan integrant els resultats de línies de recerca com, per exemple, la de concepcions alternatives dels estudiants, la de resolució de problemes com investigació o la de la dimensió "Ciència, Tecnologia i Societat".

D'acord amb aquestes idees el primer que s'ha desenvolupat en aquest treball és el que s'entén per tenir una 'bona comprensió' de la primera llei de la Termodinàmica i el

concepte d'entalpia. Aquest punt és molt important ja que defineix les competències, en sentit ample de coneixements, habilitats i actituds, que ha d'haver assolit l'estudiant al final del procés d'aprenentatge d'aquest domini. Les conclusions a què s'ha arribat respecte a què haurien de saber els estudiants en el procés d'aprenentatge per arribar a donar una explicació correcta amb plantejaments energètics d'un canvi físic o químic són les següents:

- Saber valorar l'interés personal o social que pot tindre la situació problemàtica proposada (introducció de les relacions CTSA en el plantejament de la situació).
- Tindre una idea preliminar del problema que es pretén resoldre quan s'inicia el plantejament energètic d'una situació problemàtica científica, tecnològica i social.
- Saber analitzar qualitativament la situació problemàtica plantejada tractant de precisar-la fins arribar a un problema acotat. Això significa, entre d'altres, un seguit de competències com les següents:
- Saber delimitar els sistemes que van a interaccionar i com ho van a fer. En particular, els estudiants han de familiaritzar-se amb aquells canvis que ocorren ràpidament i no dona temps a què es pugui transferir energia en forma de calor amb l'exterior (processos adiabàtics on el sistema està aïllat tèrmicament).
- També han de saber classificar els processos en exotèrmics i endotèrmics.
- Eixir al pas de concepcions alternatives relatives a les variables de procés com la calor i el treball. La calor no ha d'identificar-se amb la temperatura ni amb l'energia sinó amb una forma de transferir l'energia entre sistemes a diferent temperatura. Una altra forma de transferència energètica és el treball que cal considerar quan interaccionen mecànicament els sistemes.
- Saber reconèixer l'equivalència mecànica de la calor superant la hipòtesi substancial sobre la seua natura.
- Tindre una concepció qualitativa de l'energia interna com una funció d'estat dels sistemes amb capacitat per a produir canvis termodinàmics i eixir al pas de concepcions alternatives on es considera erròniament que aquest concepte és la temperatura o una espècie de calor existent en els sistemes.
- Saber que l'entalpia d'un sistema és una altra funció d'estat distinta a l'energia interna que s'introdueix amb la restricció que la interacció entre sistemes es realitzi a pressió constant. A l'entalpia del sistema se li atribueix com significat conceptual el de la suma de dos potencials termodinàmics, un degut a la seua energia interna (associada habitualment a la temperatura i estructura química del sistema) i un segon potencial $P_{\text{ext}} \cdot V$ (possibilitat de realitzar treball d'expansió-compressió) quan interacciona amb l'entorn com a segon sistema.

- Saber que la variació d'entalpia d'un sistema en un canvi es pot mesurar amb l'energia intercanviada en forma de calor sempre que es realitzi a pressió constant i no hi hagen altres processos de transferència com, per exemple, treball elèctric o emissió de radiacions distintes a les del calor. Es a dir, s'ha de tindre en compte el camp de validesa del concepte introduït.
- Saber modelitzar la situació a nivell microscòpic implica tot un seguit de competències relatives al domini del model atomicomolecular de la matèria (saber com són les substàncies químiques i com reaccionen) i saber associar les corresponents energies o entalpies als sistemes i als canvis que ocorren. Particular importància té: i) conèixer l'energia interna cinètica en els gasos i com es relaciona amb la temperatura, magnitud estadística del sistema; ii) saber associar els enllaços dels àtoms amb l'energia interna potencial en la matèria condensada; iii) saber relacionar la variació d'entalpia en un canvi físic o químic amb el balanç entre l'entalpia necessària per a trencar els enllaços en les partícules de les substàncies reactives i l'alliberada al formar-se nous enllaços en les de les substàncies formades en el procés a pressió i temperatura constants.
- Saber utilitzar altres aspectes bàsics del tractament científic de situacions problemàtiques d'interès, la qual cosa implicarà, a més de saber-les analitzar i precisar, emetre hipòtesis, elaborar estratègies de solució fonamentades (en el principi de conservació de l'energia quan el sistema està aïllat o en el cas particular del primer principi de la termodinàmica) que requeriran dissenys tecnològics, anàlisis de les dades obtingudes a fi de veure si es falsen les hipòtesis i explotar les conclusions aplicant les oportunes relacions CTSA.

En resum, els indicadors de comprensió exposats en aquest apartat han orientat a títol d'hipòtesi, les conseqüències derivades tant pel que fa a les dificultats d'aprenentatge com les mancances d'ensenyament que s'han estudiat en aquest treball. Així doncs, en primer lloc, dedicarem el següent apartat a mostrar les conclusions obtingudes en les dificultats d'aprenentatge en aquest domini.

7.2. CONCLUSIONS SOBRE LES PRINCIPALS DIFICULTATS D'APRENENTATGE EN AQUEST DOMINI.

Els resultats obtinguts en el treball han mostrat que, en general, es pot afirmar que els estudiants preuniversitaris i universitaris tenen greus dificultats en fer anàlisis energètiques dels processos fisicoquímics, tant quan han d'emprar la primera llei de la termodinàmica en les explicacions com quan han de respondre qüestions conceptuals més acadèmiques relatives a la comprensió del concepte d'entalpia.

Aquestes conclusions les presentarem en dos subapartats que coincidiran, en primer lloc, amb les relatives les dificultats dels estudiants en el tractament energètic de dos fenòmens i, en segon lloc, a les corresponents a les dificultats del concepte d'entalpia.

7.2.1. Conclusions sobre les dificultats del que significa comprendre el primer principi de la Termodinàmica.

Recordem que en l'anàlisi de les respostes donades als ítems 1 (l'expansió d'un gas aïllat tèrmicament i 2 (l'evaporació quasi adiabàtica d'èter líquid) del qüestionari 1 s'ha fet una doble valoració. La primera correspon al percentatge de respostes declaratives correctes que encerten que baixa la temperatura en els dos ítems i la segona és la que més interessa, ja que mostra realment l'aprenentatge significatiu amb el percentatge de respostes explicatives correctes o quasi correctes donades pels estudiants a cadascun dels ítems.

Els resultats obtinguts han mostrat que, per terme mig, una tercera part dels estudiants enquestats dóna una resposta declarativa correcta (31% en l'ítem 1 i 42,5% en el 2) mentre els percentatges d'alumnes que donen una explicació correcta de la baixada de temperatura dels dos canvis proposats en Q1 amb ajuda del primer principi de la Termodinàmica, són molt baixos, 6,1% i 8,0%, respectivament. En conclusió, al voltant d'1 de cada 10 estudiants fa una anàlisi energètica correcta en les dos situacions proposades. Aquest resultat explica per què els estudiants, fins i tot els universitaris, no entren a fer plantejaments energètics a l'hora de justificar qualsevol canvi com els mecànics i prefereixen utilitzar un tractament dinàmic molt més familiar (Gil et al, 2002).

Exemple prototípic, que s'ha detectat en aquest treball ja que s'ha trobat en molts dels arguments incorrectes de l'ítem 1, és un raonament seqüencial lineal de tipus microscòpic com el següent:

- i) El volum del gas augmenta mentre el nombre de partícules és constant, la qual cosa implica que*
- ii) la quantitat de xocs disminueix en el gas, per tant,*
- iii) baixa la calor despresada i, finalment,*
- iv) també ho fa la temperatura del gas.*

En el cas de l'evaporació ràpida de l'èter, un dels raonaments més emprats parteix del coneixement macroscòpic que la vaporització d'un líquid requereix calor i s'introdueix un segon sistema que siga el que aporte la calor que causa l'evaporació. Per exemple:

- i) *L'èter absorbeix energia (en forma de calor) necessària per evaporar-se,*
- ii) *calor que li donarà la càpsula que està en contacte amb el líquid,*
- iii) *per tant, tot es gelarà i baixarà la temperatura.*

Si s'aprofundeix concretant els aspectes que dificulten el fer una anàlisi energètica correcta com s'ha realitzat en aquest treball, es conclou que:

- A) En primer lloc, al voltant de *la meitat dels estudiants tenen dificultats en saber quins són els sistemes que interaccionen*. Això es posa de manifest si ens fixem en els resultats extrets del qüestionari 1 passat a 207 estudiants on el 51,1% presenta aquesta dificultat en l'ítem 1 i el 56,2% en el 2. En el primer ítem, pràcticament la majoria dels arguments incorrectes estan basats en considerar únicament el sistema format pel gas sense adonar-se que interacciona mecànicament amb el medi ambient. Els estudiants justifiquen les respostes sobre la variació de temperatura en base als seus coneixements sobre l'equació d'estat dels gasos o transferint coneixements que no són adequats, com per exemple, que la disminució de les interaccions entre partícules, quan el gas augmenta el seu volum, provoca una disminució de la temperatura. Aquesta darrera confusió dels estudiants va ser advertida pel mateix Planck (1913) en les seues lliçons de Termodinàmica quan esmenta que el refredament del gas a l'expandir-se no és degut a l'augment de volum sinó a la realització de treball contra l'exterior. Unes altres dificultats en els raonaments que hem vist en les respostes de l'ítem 2 són, d'una banda, la manca de familiarització dels estudiants en el que és un procés adiabàtic i, d'altra, la fixació funcional que sols es pot vaporitzar una substància donant-li calor (Furió et al 2000).
- B) A més de la dificultat bàsica de no saber delimitar els sistemes que interaccionen que hem comentat anteriorment, els estudiants tenen problemes quan han de decidir *quins són els processos de transferència d'energia (calor i/o treball) que ocorren*. En efecte, quan s'analitzen els arguments utilitzats en els dos ítems anteriors es veu que les $\frac{3}{4}$ parts dels enquestats (74,1%) no s'adonen de la realització de treball del gas sobre l'exterior en l'ítem 1 i prop de la meitat en el 2 (48,7%) no s'adonen que l'evaporació de l'èter, en aquest cas, és un procés adiabàtic i, per tant, el sistema està aïllat tèrmicament.
- C) Una tercera dificultat important detectada en el treball és la relativa *al poc ús que fan els estudiants del concepte d'energia interna que introdueix la termodinàmica per explicar els efectes tèrmics produïts en aquestes situacions*. Els resultats són concloents ja que sols el 6,5% de les respostes de l'ítem 1 i el 8,5% en les del 2

utilitzen explícitament aquest concepte. Es a dir, per terme mig, únicament 17 estudiants dels 207 enquestats hi fan servir l'energia interna del sistema en l'explicació correcta de com ocorre, almenys, un d'aquests fenòmens.

- D) L'anàlisi dels arguments utilitzats pels estudiants de segon de Batxillerat en les entrevistes (respecte de la compressió d'un gas i l'evaporació de l'èter) són convergents amb les conclusions abans esmentades. Només una estudiant dels dotze utilitza quasi correctament el primer principi de la termodinàmica adonant-se, per exemple, que l'augment de temperatura es degut al treball que es fa quan es comprimeix el gas, no gensmenys en cap argument dels dos ítems es fa ús del concepte d'energia interna.
- E) Finalment, en relació a la freqüència i competència amb què els estudiants enquestats empren arguments microscòpics, com fa la mecànica estadística, a l'hora d'explicar els ítems de Q1, els resultats trobats mostren que, d'una banda, la utilització d'arguments macroscòpics és majoritària, amb un 64% front a la dels microscòpics (11,6%) i, d'altra, que dels pocs estudiants que utilitzen explicacions atòmiques ho fan correctament sols l'1,7%. Per tant, es pot concloure que hi ha en aquestes mostres d'estudiants preuniversitaris i universitaris una manca quasi total de l'ús de relacions macro-micro correctes en les interpretacions energètiques d'aquests processos (Gabel 1998). Aquests resultats mostren que els estudiants universitaris estant molt lluny de poder comprendre la complementaritat d'aquestes dues visions de les que parla Atkins (1992) o de poder veure la coherència del cos teòric de la Termodinàmica química.

7.2.2. Conclusions sobre les dificultats de comprensió del concepte d'entalpia.

El concepte d'entalpia dels sistemes se sol introduir quan s'han de fer anàlisis energètiques en fenòmens químics dels quals interessa els efectes tèrmics més que la producció de noves substàncies com és, per exemple, en la combustió del motor d'un cotxe. En aquest cas, a més de totes les dificultats inherents al tractament energètic, trobades en l'apartat anterior, cal afegir les corresponents al context químic on s'han d'aplicar els coneixements termodinàmics.

La primera dificultat en aquesta temàtica, que s'ha analitzat a través d'entrevistes en els estudiants preuniversitaris, ha estat el veure si al llarg de l'ensenyament han adquirit cert referent empíric d'aquests efectes tèrmics i saben classificar els processos en exotèrmics i endotèrmics. Aquesta és una competència prèvia a plantejar-se l'explicació d'aquests fenòmens (Johnstone 1993). Els resultats han mostrat que hi ha alguna

reacció química coneguda empíricament com és la dissolució de l'àcid sulfúric en l'aigua doncs 9 de 12 estudiants encerten en considerar-la exotèrmica. En altres reaccions exotèrmiques com la neutralització de la sosa amb clorhídric o endotèrmiques com la dissolució del clorur amònic no passa el mateix ja que sols 4 i 3 estudiants, respectivament, les coneixen. Ara bé, quan es passa a analitzar les explicacions que donen, s'adverteix que, des del punt de vista macroscòpic, *cap estudiant fa servir el concepte d'entalpia o la seua variació en l'explicació del procés*. I des del punt de vista microscòpic, *sols hi ha una estudiant dels 12 que dona una explicació quasi correcta al referir-se al com ocorren aquests fenòmens, justificant-los mitjançant el trencament i formació dels enllaços en les substàncies*.

L'absència de l'ús del concepte d'entalpia en els seus arguments s'explica en base al desconeixement del seu significat qualitatiu que tenen els estudiants de COU i del CAP en l'ítem 1 del qüestionari Q2 aplicat. Els resultats sobre el concepte qualitatiu de l'entalpia d'aquest ítem 1 mostren que sols el 18,2% dels estudiants de COU i el 36,2% dels professors en formació, el coneixen. La majoria dels professors en formació que s'equivoquen (57,8%) solen relacionar l'entalpia amb la calor d'una substància o de la reacció química (19%), be la confonen amb l'energia interna (19%) o simplement donen la fórmula memoritzada (U+PV) de la definició conceptual sense cap explicació (19,4%). Així doncs, podem concloure que prop de *les dos terceres parts dels estudiants enquestats tenen greus dificultats en la comprensió de l'entalpia d'una substància* i la tercera part que respon correctament dóna la definició operacional de l'entalpia d'un compost com la calor de reacció a pressió constant del procés de formació de la substància a partir dels seus elements. Coherentment amb els resultats anteriors, les respostes d'aquests estudiants *no donen cap significació microscòpica d'aquesta variació d'entalpia ni esmenten el seu camp de validesa*.

Una segona dificultat ha estat detectada al comparar la dependència de l'entalpia respecte a l'estat físic (gas *versus* líquid) d'una substància en l'ítem 2 de Q2. Les conclusions obtingudes són convergents amb les de l'ítem 1 anterior. Menys de la meitat de tots els grups enquestats (44,5%) han donat una resposta declarativa correcta al dir que l'entalpia del gas és major que la del líquid però *sols 1 de cada 5 estudiants (20%) dóna explicacions correctes i només en el 2% d'aquestes respostes correctes apareixen argumentacions microscòpiques sobre la ΔH* . A més, tal i com s'indicava en l'apartat 7.2.1., les principals dificultats apareixen lligades a *concepcions alternatives on s'associa una major entalpia al líquid que al gas degut als enllaços en les partícules de la matèria condensada (metàfora energètica del moll), a la major estabilitat del líquid o se sol confondre l'entalpia del gas amb la variació d'entalpia del procés*.

Finalment, l'últim aspecte considerat en l'ítem 3 de Q2 ha segut el caràcter de funció d'estat de l'entalpia. Hi ha hagut una mitjana del 56,7% d'estudiants que han respost correctament la resposta declarativa dient que la variació d'entalpia era la mateixa malgrat que el fenomen tenia lloc a volum constant. Nogensmenys *sols el 4,6% dels estudiants ha donat una justificació correcta*. Es a dir, la quasi totalitat dels estudiants no fan servir el caràcter de funció d'estat per explicar que la variació d'entalpia no varia i això coincideix amb el que diuen altres autors (Barlet i Mastrot 2000). Una de les principals dificultats ha estat l'ús operativista de la definició conceptual memoritzada ($H=U+PV$) sense tindre una significació qualitativa del concepte. Es per això, que en *la majoria dels arguments incorrectes, els estudiants fan dependre la variació d'entalpia del procés de la temperatura (relacionada amb l'energia interna) i les condicions de P i V que es realitza*.

En definitiva, les conclusions obtingudes podem resumir-les afirmant que la majoria dels estudiants preuniversitaris i universitaris tenen grans dificultats s l'hora de fer un tractament energètic dels canvis físics o químics considerats i, també, quan han de donar significació i utilitzar els conceptes d'energia interna i d'entalpia. Aquestes dificultats s'agreugen quan es passa al nivell microscòpic i han de donar explicacions energètiques dels canvis produïts.

7.3. CONCLUSIONS SOBRE LES PRINCIPALS MANCANCES EN L'ENSENYAMENT DE LA TERMOQUÍMICA.

En el capítol II la primera hipòtesi didàctica suposava una relació no exclusiva entre les dificultats d'aprenentatge en aquest domini i les mancances conceptuais, epistemològiques i axiològiques en l'ensenyament convencional degudes, fonamentalment, a les visions deformades de la ciència i del procés d'aprenentatge que es transmeten explícitament o implícitament pels professors.

Aquestes deficiències en l'ensenyament que influeixen en els resultats que hem vist sobre les dificultats d'aprenentatge, han segut comprovades en aquest treball analitzant l'eina més utilitzada pels professors que són els llibres de text i enquestant als mateixos professors, anem a veure en els següents apartats les principals conclusions a les que hem arribat.

7.3.1. Conclusions sobre les mancances que presenten els llibres de text de Química General en el domini particular de la Termoquímica.

Un primer disseny experimental destinat a posar en qüestió les conseqüències derivades de la primera hipòtesi pel que fa a l'ensenyament, ha donat com a resultat l'elaboració d'una xarxa d'anàlisi de 30 llibres de Química General. Els resultats obtinguts han permès veure que la majoria de les 16 qüestions de la xarxa s'han contrastat arribant a les conclusions que es detallen a continuació.

- A) Hi ha un 70% dels llibres analitzats que al llarg del o dels temes de termoquímica no han arribat a inserir, almenys tres exemples de relacions CTSA (qüestió 1). Es a dir, sols una tercera part dels textos eixen al pas d'una visió socialment descontextualitzada de la ciència al presentar, introduint amb una certa profunditat, aspectes científics relacionats amb la societat mostrant així l'interés de l'estudi.
- B) Un de cada 6 textos (16,3%) esmenten, almenys, un dels problemes del naixement i/o del desenvolupament històric de la Termodinàmica com a ciència moderna transmetent una visió aproblemàtica en la construcció dels conceptes científics (qüestió 2).
- C) Els llibres de text no posen massa èmfasi en advertir al lector de l'existència de concepcions alternatives rellevants que poden entrebancar l'aprenentatge segons la didàctica de les ciències (qüestions 3, 4 i 5). Així s'ha trobat que:
- i) 29 llibres dels 30 (96,7%) analitzats no fan menció que l'energia no és una substància que està en els cossos;
 - ii) 22 textos sobre 30 (73,3%) no diuen explícitament que cal diferenciar calor de temperatura;
 - iii) 17 llibres de 30 (56,7%) no esmenten que la calor i el treball no són formes d'energia.
- D) Respecte a altres aspectes conceptuals i procedimentals que cal presentar en l'ensenyament si es vol aproximar els estudiants a la metodologia científica (qüestions 6, 7, 8 i 9) quan han d'analitzar energèticament els canvis, els resultats han segut variats:
- i) el 33,3% dels llibres no defineixen què és un sistema (ací no s'ha valorat la manca d'èmfasi dels llibres en la necessitat que, en els tractaments energètics, hi ha d'haver interacció entre sistemes);
 - ii) el 30% dels textos no atribueixen cap significació qualitativa a l'energia interna;

- iii) el 60% dels textos no inclouen, almenys, tres situacions d'anàlisi on es puguin mostrar en concret què és un sistema i com és que introduïm el concepte d'energia interna;
 - iv) el 96,3% dels llibres no adverteix al lector de possibles fixacions o reduccionismes funcionals en les formes de pensar en les quals és fàcil caure a l'argumentar en els plantejaments energètics.
- E) Al voltant de la meitat dels llibres de text (46,7%) no presenten la classificació dels processos en exotèrmics i endotèrmics (qüestió 10), la qual cosa hauria de fer-se abans de la introducció del concepte d'entalpia que tractarà d'explicar aquests efectes termodinàmics.
- F) En relació a la conceptualització de l'entalpia que presenten els textos cal destacar que mentre 4 de cada 5 (80%) dona una definició matemàtica ($H = U + PV$) derivant-la de l'equació del primer principi (qüestió 11), s'inverteix aquest percentatge ja que sols 1 de cada 4 llibres (20%) dona una significació a base d'idees qualitatives del concepte d'entalpia (qüestió 12). Es a dir, la majoria dels textos no eixen al pas d'una visió rígida de la natura de la ciència ja que es prefereix introduir directament l'algoritmització matemàtica en lloc de començar amb una conceptualització que done sentit químic al concepte.
- G) Aquests resultats són coherents quan es tracta de mesurar la variació d'entalpia d'un procés, la quasi totalitat dels llibres (93,3%) dona la seua definició operacional com 'la calor de reacció a pressió constant (qüestió 14) i això fa que els lectors puguin donar-li un sentit erroni a l'entalpia com una mena de calor o *'contingut calorífic' del sistema*. D'altra banda, quasi les $\frac{3}{4}$ parts dels llibres (70%) no especifiquen el camp de validesa o les limitacions d'aquest concepte (qüestió 15).
- H) Per últim, cal destacar, que tal com hem vist en els resultats de les dificultats d'aprenentatge, els llibres no posen massa èmfasi en mostrar les relacions entre les visions macro i microscòpiques a fi de cercar respostes coherents pròpies dels arguments científics en les anàlisis energètiques (qüestió 16). Hi ha un 70% dels llibres que no presenta cap exemple d'anàlisi microscòpica on s'explique la relació entre l'energia interna, el treball i la calor fent ús del primer principi de la Termodinàmica i es mostre la coherència d'aquesta teoria .

7.3.2. Conclusions sobre les mancances que presenten els professors quan ensenyen el tema de Termoquímica.

El segon disseny experimental va consistir en enquestar a un grup de professors (N=69) d'universitat i batxillerat (en actiu) i altre (N=55) de professors en formació. D'aquesta manera es pretén, per una banda, contrastar les conseqüències sobre les possibles mancances en l'ensenyament i veure, per altra, si les conclusions a les que s'arriba són coherents amb els resultats que hem vist en l'anàlisi de llibre de text.

En aquest disseny es va passar un qüestionari (Q.3) amb 7 preguntes obertes relacionades amb l'ensenyament de la Termoquímica en el currículum de segon curs de Batxillerat i primers cursos d'universitat. Els resultats obtinguts són els següents:

- A) Tal com es va fer explícit en la primera hipòtesi didàctica, es mostra en primer lloc que l'ensenyament es fa amb una visió socialment descontextualitzada de la ciència sense prestar atenció als aspectes axiològics i sense tenir en compte les relacions CTSA. Segons aquestos resultats, la major part dels docents, 79,4% del professorat en actiu i el 85,5% del professorat en formació, no es plantegen en la introducció del tema, motivar o interessar als alumnes en la nova problemàtica en la que s'enfronten, presentar per a què els serveix l'estudi que van a començar, en què està relacionat o ni tantsevol quins problemes (de la nostra vida quotidiana) podrien resoldre en els coneixements que van a assolir.
- B) Més notables són les mancances en aspectes relatius a comentaris històrics sobre quins varen ser els principals problemes científics i tecnològics que es resolgueren amb la introducció dels nous conceptes. En aquest cas el percentatge encara és més baix, ja que només el 3,5% dels professors, es a dir 4 dels 124 enquestats, menciona o li dona importància a la història de la ciència a l'inici del tema, oblidant que els conceptes naixen com a resposta als problemes i per tant confirmant-se la visió aproblemàtica i ahistòrica que es pressuposava. En aquest cas el percentatge és inclús inferior al trobat en l'anàlisi dels llibres de text (16,3%).
- C) Quan sel's pregunta als professors (qüestió 2) quins creuen que van a ser les principals dificultats que tindran els alumnes al llarg del tema, obtenim les següents respostes:
 - i) El 95,5% de professors en actiu i el 100% de professors en formació donen com a respostes majoritàries les dificultats en comprendre els conceptes. D'acord

en aquest pensament, es dedueix que la majoria dels docents ja comencen el tema introduint conceptes de manera arbitrària.

- ii) De les respostes anteriors sols hi ha 22 professors dels 124 que valoren les dificultats en l'aprenentatge que poden resultar degudes a les concepcions alternatives dels estudiants i només 2 professors anomenen les dificultats degudes a les formes de raonament. Ambdós percentatges molt semblants als extrets en l'anàlisi de llibres.
- iii) Per tant en aquestes respostes es reflexa que no es tenen en compte els aspectes axiològics ni metodològics, sinó que es dona rellevància als aspectes conceptuals, recolzant la visió simplista de l'ensenyament segons la qual la transmissió verbal del coneixement del professor és suficient per que els alumnes depenguin i per tant, fent una escassa utilització d'aspectes bàsics de la metodologia científica com per exemple que els alumnes sàprien analitzar qualitativament situacions problemàtiques, afavorir que els estudiants que els estudiants construïsquen l'aprenentatge partint de les seues idees i emetent hipòtesis o elaborant estratègies per a la resolució dels problemes plantejats. Com veurem, aquestos resultats es repeteixen al llarg de la resta de respostes del qüestionari.

D) Si ens centrem en l'ensenyament del concepte d'entalpia, al que es fa referència en les preguntes 3 i 4 del qüestionari, vegem que:

- i) El 88,6% del professorat en actiu i el 100% del professorat en formació o no dona cap significat qualitatiu al concepte d'entalpia o quan el dona és erroni. Tal i com es pressuposava en la conseqüència C.5, la introducció d'aquest concepte és de tipus operativista, ja que es desconeix la definició qualitativa i només es dona la definició matemàtica ($H = U + PV$), o be es confon amb la definició procedimental de la variació d'entalpia, com la calor de reacció que es desprén en un procés a pressió constant o be es confon amb l'energia interna per una banda o el treball d'expansió compressió per altra.
- ii) Al demanar pel camp de validesa del concepte, hem trobat que el 91,4% del professorat en actiu i el 94,5% del professorat en formació no donen una resposta satisfactòria. La majoria de professors pensen que l'única restricció és que el procés s'efectue a pressió constant.

E) Els resultats dels ítems 5, 6 i 7 on es demana a quins indicadors de comprensió s'han de donar importància a l'hora d'explicar el tema de termoquímica, quins són els continguts que dona i quines dues o tres qüestions ens podrien servir per avaluar l'eficàcia de l'aprenentatge, també avalen la nostra hipòtesi:

- i) El 77,1% dels professors en actiu i el 94,5% dels professors en formació no inclouen en les seues respostes, almenys, dos indicadors de comprensió distints de la dimensió conceptual ni tampoc fan referència a fer anàlisi energètica qualitativa de fenòmens.
- ii) El 89,7% dels professors en actiu i el 94,5% en formació no esmenten al llarg del currículum, com a mínim, dos aplicacions de relacions CTSA (o altres axiològiques).
- iii) Per últim, el 74,3% dels professors en actiu i el 90,9% dels professors en formació no faran en les proves als seus alumnes, cap pregunta o activitat d'autoregulació o d'interregulació sobre dificultats conegudes, de tipus conceptual o procedimental significatives, ni de relació macromicro en l'explicació d'un fenomen. La major part dels enquestats posa èmfasi en què s'han de conèixer els conceptes que s'utilitzen i saber aplicar-los en la resolució de problemes numèrics (com l'aplicació de la llei de Hess), però en cap resposta s'afavoreix que els alumnes facen anàlisis qualitatius, sobretot microscòpics que recolzen les explicacions macroscòpiques i on es puga mostrar la coherència del cos teòric.

En resum, els resultats obtinguts, en aquesta recerca mostren que la primera hipòtesi que relaciona les dificultats d'aprenentatge en la termodinàmica química amb les mancances de l'ensenyament convencional d'aquest domini ha quedat contrastada.

7.4. CONCLUSIONS SOBRE ELS RESULTATS OBTINGUTS A L'APLICAR EL PROGRAMA D'ACTIVITATS SOBRE 'ENERGIA I PROCESSOS QUÍMICS' A DOS GRUPS EXPERIMENTALS D'ESTUDIANTS UNIVERSITARIS.

7.4.1. Sobre el programa d'activitats elaborat.

Les estratègies d'ensenyament basades en l'aprenentatge com investigació orientada presenten tres dimensions interrelacionades, la dimensió afectiva (on els coneixements afavoreixen una actitud positiva envers la ciència), la dimensió conceptual i la dimensió epistemològica (on els coneixements afavoreixen la utilització de procediments propis del treball científic).

El disseny d'una seqüència d'aprenentatge consisteix en graduar la dificultat de la feina i organitzar-la en funció de les dificultats de l'estudiant per a enfrontar-se a ella. Per a oferir aquesta proposta innovadora es dissenyen i desenvolupen els materials didàctics. Aquesta nova proposta per dur a terme l'ensenyament-aprenentatge, no es caracteritza per canvis espectaculars en el sistema educatiu, sinó per canvis qualitatius en l'estratègia d'ensenyament emprat a l'aula, per les activitats proposades als estudiants i per la seqüenciació dels continguts conceptuals i metodològics (Guisasola et al., 2007).

D'acord amb la interdependència entre els objectius exposats, es presenta un programa-guia on es tracta de problematitzar la qüestió de l'energia en els processos químics, centrant-se en el primer principi de la termodinàmica i en la introducció del concepte d'entalpia.

El disseny de la seqüenciació del tema tractat s'elabora amb una estructura problematitzadora, es a dir, segons una possible estratègia per avançar en la solució a preguntes proposades als alumnes. Això dona lloc a un fil conductor on les activitats estan lligades lògicament amb els problemes inicials. En aquest context de resolució de problemes, els conceptes i models s'introdueixen pels alumnes i professor, com temptatives, com hipòtesis fonamentades, que deuen ser posades a prova a través de la seua capacitat predictiva en situacions de laboratori i a l'abordar noves situacions problemàtiques, així com mitjançant l'establiment de la seua coherència amb la globalitat dels coneixements establits per investigacions precedents. Aquest programa, realitzat per tres investigadors, es proposaria com exemple de microcurriculum que havien de viure i debatre els dos grups experimentals de futurs professors de Física i Química inscrits voluntàriament en l'assignatura de Didàctica de les Ciències FisicoQuímiques dels cursos acadèmics 2004-2005 i 2005-2006.

L'aplicació del programa d'activitats tingué una duració de 10 sessions de dues hores que duraren unes 5 setmanes en cada curs comptant amb la realització del pretest que es faria durant la primera sessió.

En la implementació del programa elaborat es varen plantejar les activitats als estudiants universitaris (com a professors de física i química de Batxillerat en formació) i es varen reformular o suprimir algunes activitats adequada per al 2n curs de Batxillerat. Per iniciar el programa es va proposar i debatre en classe quines serien les primeres activitats que ells, com a professors, proposarien als seus estudiants en el tema d'Energia i processos químics. Les primeres activitats d'iniciació del programa es destinaren a promoure l'interés del seu estudi relacionant-lo amb problemes quotidians

i a fer que els estudiants pogueren adquirir una concepció preliminar de la tasca en aquell estudi.

A continuació, es proposaren i discutiren activitats de desenvolupament que tenien com a objectiu general la familiarització amb la fenomenologia i l'explicació científica introduint els conceptes i principis necessaris, i utilitzant les estratègies que tracten d'estimular als estudiants a què es plantegen problemes, avancen hipòtesis i tracten d'argumentar la validesa de les seues solucions fent ús de la metodologia científica.

Finalment, es va proposar un seguit d'activitats per finalitzar el tema que tractava de mostrar la utilitat del cos teòric incorporat al plantejar i resoldre el problema de l'obesitat de les persones deguda a estils de vida no saludables des del punt de vista energètic.

Els resultats de la intervenció a l'aula amb l'estratègia d'ensenyament basada en l'aprenentatge com investigació orientada amb el programa d'activitats ens han servit per avaluar l'eficàcia d'aquesta proposta com veurem en els apartats següents.

7.4.2. Conclusions sobre la reducció de dificultats d'aprenentatge deguda al tractament didàctic.

L'aprenentatge aconseguit pels alumnes es mostra constatant les millores en l'aprenentatge de continguts conceptuals i metodològics d'acord amb el model d'aprenentatge-ensenyament proposat. L'avaluació d'aquesta millora, en primer lloc, es va comprovar elaborant un disseny pretest-postest per poder comparar la reducció de dificultats d'aprenentatge que es poguera produir, mitjançant l'aplicació dels qüestionaris Q4 i Q5 (Document 6) sobre el primer principi de la termodinàmica i el concepte d'entalpia que es passaria únicament a cadascun dels estudiants del grup experimental abans (pretest) i després (postest) del tractament didàctic.

Els resultats d'aquesta investigació dels 2 grups experimentals (35 estudiants) recolzen la possibilitat de millora d'aprenentatge en la forma de plantejar i resoldre situacions problemàtiques. En particular, s'observa una millora notable en la disminució de fixacions funcionals com identificar un procés adiabàtic amb un procés isoterm, en l'eliminació de reduccions funcionals com, per exemple, la utilització operativa cega de l'equació dels gasos sense una anàlisi qualitativa prèvia o de transferències inadequades del model elemental de reacció. Altre aspecte que millora és el coneixement del concepte d'entalpia. Hi ha una reducció de les dificultats en identificar l'entalpia amb

entropia, calor o energia d'activació. També és significativa la millora al conèixer que l'entalpia no és sol funció de tipus de substància, sinó també del seu estat.

Ara bé, si es pren el conjunt de resultats de l'anàlisi de les proves escrites dels grups experimentals, podem concloure que la majoria dels estudiants han reduït les seues dificultats, ja que de les 80 trobades inicialment s'han passat a 32 i, per tant, han disminuït en un 60%. També cal dir que no s'ha apreciat l'aparició de noves dificultats després del tractament.

Els resultats, no obstant, no deuen ser sobrevalorats, ja que en alguns ítems no millora aquest aprenentatge, per exemple quan persisteixen fixacions funcionals respecte a l'energia d'enllaç on s'associa una major energia a les fases condensades o quan pensen que l'entalpia sol depèn de la temperatura.

7.4.3. Conclusions sobre l'aprenentatge aconseguit en el grup experimental.

Altra manera d'avaluar l'eficàcia de l'ensenyament que hem utilitzat ha estat analitzar si, després del tractament didàctic, ha augmentat la comprensió dels estudiants del grup experimental respecte a l'aplicació del primer principi de la Termodinàmica i del concepte d'entalpia dels sistemes. Per mesurar aquest canvi s'ha decidit utilitzar l'índex de guanys d'Hake comparant el pretest i el postest amb dos qüestionaris prou similars.

Aquest índex es conceptualitza com la fracció de màxima ganància possible d'aprenentatge aconseguida per la instrucció tenint en compte la situació inicial de l'estudiant. L'índex d'Hake es calcula dividint l'augment (o disminució) del percentatge de respostes explicatives correctes (al passar del pretest al postest) pel màxim que podria guanyar l'estudiant tenint en compte el percentatge del pretest (es a dir, 100-percentatge del pretest). Hem considerat que si aquest índex és menor o igual a 0.1 (10%) la instrucció no ha estat eficaç.

Així, en aquest treball els índex d'Hake obtinguts en els ítems aplicats van des de 0.29 a 0.80 dependents del tipus d'ítem avaluat. Es a dir, els estudiants universitaris que han rebut el tractament innovador han guanyat entre el 29% i el 80% respecte de la major millora possible. En conseqüència, es conclou que la instrucció ha estat prou eficaç respecte a la situació dels seus coneixements inicials.

7.4.4. Conclusions sobre les diferències trobades entre l'aprenentatge del grup experimental i el de control.

La darrera prova per comprovar l'eficàcia de l'ensenyament va consistir en comparar les respostes de les tres primeres preguntes del postest realitzades pel grup experimental i dos grups de control formats per estudiants de 3r de Químiques (N=45) i un altre de llicenciats en Física o Química (N=63).

Els resultats obtinguts en l'aprenentatge pels estudiants de les classes experimentals són significativament millors que els obtinguts pels altres estudiants. L'estadístic χ^2 ha segut calculat en cada ítem amb les respostes correctes del grup de control i l'experimental, calculant la probabilitat per veure si les diferències són significatives, es a dir si són degudes al tractament realitzat. En tots els casos aquesta probabilitat **p** és menor a l'1%, el que indica que les diferències intergrupals són significatives i per tant no degudes a l'atzar sinó al tractament didàctic que és la variable entrevinent a l'aprenentatge.

En tots els ítems, el percentatge de respostes correctes del grup de control estan per baix del 25% i en el grup experimental per dalt del 40% aproximadament. La millora en l'aprenentatge, atenent la diferència entre els percentatges de respostes correctes, va des d'un 32,6% en l'ítem 3 fins a un 71,6% en l'ítem 2.

Tanmateix, és precís indicar que en dos ítems (l'1 i el 3) el percentatge de respostes correctes en el grup experimental són de 37,1% i 57,1% respectivament, el que considerem encara percentatges baixos, ja que significa que 6 estudiants de cada 10 i 4 de cada 10 en ambdós ítems respectivament, no han après les competències referides en aquestes preguntes. Segons els resultats del primer ítem, caldrà doncs analitzar en profunditat i tractar de perfeccionar aquestos aspectes relatius a l'anàlisi de processos adiabàtics o/i isoterms on s'haja d'aplicar el primer principi de la termodinàmica quan es realitza treball per o sobre el sistema, i en conseqüència perfeccionar el programa d'activitats proposat i la seua manera de portar-ho a l'aula. El mateix s'haurà de fer en el cas del tractament de l'entalpia quan es referim des del punt de vista microscòpic a l'energia ficada en lloc quan hi ha diferent tipus d'enllaços associats a diferents estats d'una mateixa substància. Aquestos resultats són coherents en els trobats en l'apartat 7.4.2.

7.5. Perspectives futures de treball.

Aquest treball ha posat en relleu, en primer lloc, la importància que té en l'aprenentatge de la termodinàmica química l'ajuda que puga prestar l'ensenyament. Ara be som conscients que la mostra de professors en formació inicial que s'ha utilitzat en aquest treball (N=35) és reduïda i una primera perspectiva consistiria en replicar la investigació ampliant amb més grups experimentals de professors en formació inicial. També es podria provar les conclusions obtingudes en grups de professors de física i química de secundària en actiu.

D'altra banda, s'ha enunciat una segona hipòtesi en la que s'ha mostrat com influeix en la superació de les dificultats dels estudiants l'ús d'un ensenyament innovador mitjançant una proposta de nous materials didàctics basat en un model d'aprenentatge d'orientació soci-constructivista, el model d'aprenentatge com activitat d'investigació orientada. Nogensmenys, caldria una segona perspectiva segons la qual es podria millorar l'esmentat programa d'activitats amb la fi de millorar l'eficàcia del rendiment obtingut en els estudiants. Es tractaria de recollir informació en els petits grups quan tracten cadascuna de les activitats per tal d'aprofundir i revisar aquelles dificultats que han resultat ser més resistents al canvi.

En tercer lloc, seria molt convenient aplicar el tractament experimental a grups aleatoris d'estudiants de Química de 2n de Batxillerat amb la finalitat de posar a prova el programa d'activitats assajat i veure si també resulta eficaç en una millora de l'aprenentatge de manera versemblant a com hem vist en aquesta recerca. En aquest futur treball caldria veure més en profunditat l'aprenentatge aconseguit no sols tenint en compte el canvi en la component conceptual sinó també en les components procedimentals i actitudinals. Aquesta perspectiva s'està portant endavant actualment en instituts d'ensenyament secundari.

Una quarta perspectiva que considerem fonamental consistiria en utilitzar els resultats d'aquesta recerca com a punt de partença per a contribuir en la millora de la formació professional docent del professorat universitari que ha d'ensenyar els conceptes i lleis en aquest domini a futurs professors de secundària.

Finalment, es podria començar una nova línia de recerca que es centrara en l'estudi de la mediació de l'ensenyament quan s'utilitza el mateix model per varis professors que tenen distinta experiència innovadora. Es tractaria de plantejar el problema de veure les dificultats docents en l'aplicació d'aquest programa d'activitats.

**ANNEX I.- EXEMPLES D'ENTREVISTES DAVANT DE FENOMEN
(ENTREVISTES E1 I E2)**

Exemple de transcripció d'entrevista (E1), que se li ha fet a Paula sobre l'inflament ràpid d'una càmera de bicicleta i sobre l'evaporació d'èter en recipient obert.

1. *Entrev.: Anem a inflar més una càmera de bicicleta amb un bombí, què*
2. *creus que passarà amb la temperatura de l'aire que hi ha dins de la*
3. *càmera després de varies embolades? Es gelarà, s'escalfarà o seguirà a*
4. *la mateixa temperatura?*
5. *Paula: Pues jo pense que es podria escalfar, es a dir s'escalfaria el*
6. *sistema.*
7. *En.: Anem a fer l'experiència del bombí...*
8. *En.: Com explicaries que s'haja escalfat el sistema?*
9. *Paula: Pues perquè augmenta la concentració de mols d'aire que hi ha*
10. *dins i a l'augmentar deu d'augmentar també la temperatura perquè hi ha*
11. *mòlta més pressió i això... a l'augmentar la pressió el volum on està*
12. *l'aire disminueix ja que s'expandeix tot i supose que la calor serà deguda*
13. *llavors a l'augment de pressió.*

14. *En.: Una altra experiència és posar un poc d'èter d'aquesta botella en*
15. *una càpsula. Aquesta substància ja saps que s'evapora molt ràpidament.*
16. *Què creus que li passarà a la temperatura del líquid?*
17. *Paula: Pues s'evapora degut al calor de l'ambient, pues si l'ambient*
18. *estiguera més gelat no s'evaporaria i lo més normal es que augmentarà*
19. *la temperatura, però per altra part està perdent calor amb les molècules*
20. *que s'evaporen, per tant no sé que li va a ocórrer a la temperatura.*
21. *En: Com podríem saber si l'èter es manté o no la mateixa temperatura?*
22. *Què faríem?*
23. *Paula: Pues amb un termòmetre es fixaríem en el que li passa a la*
24. *temperatura.*
25. *En: Ara l'èter etílic el fem en la càpsula i li col·loquem el termòmetre a*
26. *veure que és el que ocorre.*
27. *Paula: Ara medeix 21 °C.. ara està a 20°C... va disminuint.*

28. *E: Com expliques que s'haja refredat l'èter?.*
29. *Paula: Pues supose que s'anirà evaporant, a l'anar evaporant-se pues*

30. està baixant la temperatura ja que estarà absorbint energia per
31. l'evaporació.
32. En: I d'on absorbeix aquesta energia?.
33. Paula: De l'aire, de l'ambient.

34. Exemple de transcripció d'entrevista (E1), que se li ha fet a Pep sobre l'inflament ràpid d'una càmera de bicicleta i sobre l'evaporació d'èter en recipient obert.

34. Entrev.: Anem a inflar més una càmera de bicicleta amb un bombí, què
35. creus que passarà amb la temperatura de l'aire que hi ha dins de la
36. càmera després de varies embolades? Es gelarà, s'escalfarà o seguirà a
37. la mateixa temperatura?
38. Pep: Home si l'infles s'escalfa.
39. En: Anem a comprovar-ho.
40. Pep: Acò no rebenta, veritat?
41. En.: No, no et preocupes. Com explicaries que s'haja escalfat el sistema?
42. Pep: Pel fregament que fas en l'èmbol. Quan tires l'aire el bombí roça i
43. fa que s'escalfe.
44. En.: Una altra experiència és posar un poc d'èter d'aquesta botella en
45. una càpsula. Aquesta substància ja saps que s'evapora molt ràpidament.
46. Què creus que li passarà a la temperatura del líquid?
47. Pep: Pues augmentarà.
48. En.: Anem a comprovar-ho..
49. Pep : Disminueix!. Però si l'aigua quan s'evapora se suposa que té que
50. augmentar la temperatura...i hem de donar-li calor!.
51. En.: Però nosaltres en aquest cas no l'estem escalfant...
52. Pep: Ah!. Doncs serà que el sistema està perdent energia, perquè
53. utilitza energia calorífica per a evaporar-se.
54. En.: Energia calorífica?
55. Pep: O... energia interna. Ah! Llavors és com els altres (experiments),
56. per exemple el sulfúric i l'aigua s'escalfen per l'energia interna del
57. sistema.

Exemple de transcripció d'entrevista (E1), que se li ha fet a Mara sobre l'inflament ràpid d'una càmera de bicicleta i sobre l'evaporació d'èter en recipient obert.

58. Entrev.: Anem a inflar més una càmera de bicicleta amb un bombí, què
59. creus que passarà amb la temperatura de l'aire que hi ha dins de la
60. càmera després de varies embolades? Es gelarà, s'escalfarà o seguirà a
61. la mateixa temperatura?
62. Mara: La temperatura del sistema es mantindrà constant. Perquè va
63. circulant per la càmera i no ix a l'exterior l'aire. No li estàs aplicant aire
64. calent ni res.
65. En: Anem a comprovar-ho.
66. Mara: Si que s'escalfa, sobre tot el bombí.
67. En: I com explicaries que s'haja escalfat el sistema?
68. Mara: Perquè estem aplicant una força i fa que l'aire es menege.
69. En.: Una altra experiència és posar un poc d'èter d'aquesta botella en
70. una càpsula. Aquesta substància ja saps que s'evapora molt ràpidament.
71. Què creus que li passarà a la temperatura del líquid?
72. Mara: Augmentarà, perquè sinó no s'evaporaria.
73. En: Anem a comprovar-ho.
74. Mara: Disminueix la temperatura.
75. En: Com expliques que s'haja refredat l'èter?.
76. Mara: Pues, com s'evapora necessita energia.. calor... però si disminueix
77. a mi no em quadra açò!.
78. En: Què està passant des del punt de vista microscòpic?.
79. Mara: Pues que les molècules del líquid agafen energia i se separen i
80. passen a l'estat gasos.
81. En: I d'on agafen aquesta energia?
82. Mara: Pues si ahí no hi ha res més l'agafaran del propi èter... de les
83. mateixes interaccions entre les molècules.

Exemple de transcripció d'entrevista (E2), que se li ha fet a Blanca sobre la dilució d'àcid sulfúric concentrat en aigua, la dissolució de cristalls de clorur amònic en aigua i la neutralització d'hidròxid sòdic 2 M amb àcid clorhídric també 2 M.

84. En: Què penses que ocurrerà quan mesquem sulfúric amb aigua?. El
85. fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no variarà la temperatura?.

86. Blanca: Augmentarà la temperatura, es desprendrà calor i serà
 87. exotèrmica la reacció.
 88. En: Ara ho comprovem.
 89. Blanca: Ho mesquem i el deixem un temps per que reaccionen. Augmenta
 90. la temperatura.
 91. En: A que creus que es degut l'augment de temperatura?
 92. Blanca: Perquè a l'afegir l'aigua reaccionen i es desprendrà calor.
 93. En: Ara anem a afegir clorur amònic a l'aigua. ¿Que passarà en aquest
 94. cas?.
 95. Blanca: S'hidrolitza, l'aigua envoltarà a les molècules de clorur amònic,
 96. perquè és un dissolvent universal i separa les molècules del compost i es
 97. quan es dissol.
 98. En: I llavors que li passarà a la temperatura?.
 99. Blanca: Com és una reacció àcid-base, si ho dissols els ions es menegen i
 100. augmentarà la temperatura. Serà una reacció exotèrmica.
 101. En: Be, anem a comprovar-ho.
 102. Blanca: Disminueix la temperatura, serà endotèrmica.
 103. En: Podries donar una explicació del que està passant?.
 104. Blanca: Pues... no sé.
105. En: Ara anem a neutralitzar àcid clorhídric en sosa, què creus que li
 106. passarà a la temperatura?. El fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no
 107. canviarà la temperatura?
 108. Blanca: Que augmentarà la temperatura, la reacció serà exotèrmica.
 109. En: Anem a comprovar-ho. Què haurem de fer per tal de veure si és
 110. exotèrmica?.
 111. Blanca : Pues mesurar amb un termòmetre la temperatura abans i
 112. després de la reacció. Vegem que si augmenta la temperatura.
 113. En: ¿A què serà degut aquest augment de temperatura?
 114. Blanca: Perque l'àcid clorhídric és un àcid fort i n'hi havia una llei que
 115. dia que si reaccionava un àcid fort amb una base forta era una reacció
 116. exotèrmica.

Exemple de transcripció d'entrevista (E2), que se li ha fet a Jordi sobre la dilució d'àcid sulfúric concentrat en aigua, la dissolució de cristalls de clorur amònic en aigua i la neutralització d'hidròxid sòdic 2 M amb àcid clorhídric també 2 M.

117. *En: Què penses que ocurrerà quan mesquem sulfúric amb aigua?. El*
118. *fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no variarà la temperatura?.*
119. *Jordi: S'escalfa, es una reacció exotèrmica.*
120. *En: Anem a comprovar-ho.*
121. *Jordi: Si augmenta la temperatura.*
122. *En: I a què es degut que augmente?*
123. *Jordi: Això ja és complicat. Home perquè l'aigua i l'àcid reaccionen*
124. *però es desprèn calor no sé perquè.*
125. *En: Be, si mesquem clorur amònic amb aigua, què ocurrerà?*
126. *Jordi: També serà exotèrmica.*
127. *En: Per què penses això?*
128. *Jordi: Perquè es desprendrà calor, ja que si fora endotèrmica el got*
129. *hauria de gelar-se i no crec que ocrrega això. Es més fàcil que*
130. *s'escalfe que es gele.*
131. *En: Què hauríem de fer per a comprovar si és exotèrmica?.*
132. *Jordi: Podríem tocar el got, si crema serà exotèrmica.*
133. *En.: Anem a comprovar-ho realitzant l'experiència.*
134. *Jordi: S'està gelant el got.*
135. *En: Podries donar una explicació del que està passant?*
136. *Jordi: Si, l'altra reacció era exotèrmica... tira temperatura... i el que*
137. *fa l'aigua amb el clorur amònic és absorbir la temperatura de fora i fa*
138. *que disminuïska.*
139. *En: Que fa, absorbir temperatura de l'exterior?*
140. *Jordi: O siga la temperatura va disminuint perquè gasta l'energia en*
141. *intentar reaccionar. L'energia provindrà dels xocs de les molècules.*
142. *En: Ara anem a neutralitzar àcid clorhídric en sosa, què creus que li*
143. *passarà a la temperatura?. El fenomen serà exotèrmic, endotèrmic o no*
144. *canviarà la temperatura?*
145. *Jordi: Pues no variarà la temperatura. Si l'àcid i la base estan a*
146. *temperatura ambient, al mesclar la mateixa quantitat pues es quedarà*
147. *neutra, a temperatura ambient.*
148. *En: Be, doncs anem a comprovar-ho.*
149. *Jordi: Llavors l'àcid pot més i per això augmenta la temperatura?. Es a*
150. *dir, com abans (es refereix a la reacció de l'àcid sulfúric i l'aigua)...*
151. *l'àcid fa que augmente la temperatura.*

Exemple de transcripció d'entrevista (E2), que se li ha fet a Alba sobre la dilució d'àcid sulfúric concentrat en aigua, la dissolució de cristalls de clorur amònic en aigua i la neutralització d'hidròxid sòdic 2 M amb àcid clorhídric també 2 M.

152. En: *¿Qué piensas que ocurrirá cuando mezclamos ácido sulfúrico y*
153. *agua?. ¿El fenómeno será exotérmico, endotérmico o no variará la*
154. *temperatura?*
155. Alba: *Se calentará.*
156. En: *¿Cómo será la reacción exotérmica, endotérmica o no variará la*
157. *temperatura?*
158. Alba: *Se calienta, coge calor... endotérmica.*
159. En: *El sistema se calienta, coge calor... ¿de dónde?*
160. Alba: *Del medio, porque al reaccionar con un ácido se calienta.*
161. En: *¿Por que hay un desprendimiento de calor?*
162. Alba: *No, no se desprende calor, sino que aumenta la temperatura de la*
163. *mezcla. La reacción es endotérmica porque coge calor.*
164. En: *Bueno entonces ¿podrías explicar de dónde proviene ese calor?*
165. Alba: *Del choque entre las moléculas. El ácido sulfúrico es un ácido*
166. *fuerte y encima es muy concentrado, es del 96%, entonces el choque*
167. *entre las moléculas es muy fuerte y por eso aumenta la temperatura.*
168. En: *Y si mezclamos cloruro amónico con agua ¿cómo será la reacción*
169. *exotérmica, endotérmica o no cambiará la temperatura?*
170. E: *Aumentará la temperatura, será endotérmica.*
171. En: *Vamos a comprobarlo.*
172. Alba: *Disminuye la temperatura. Pues será que el medio coge calor.*
173. En: *¿A qué te refieres cuando dices “el medio”?*
174. Alba: *Pues al aire, al ambiente.*
175. En: *Si ahora realizamos la neutralización del ácido clorhídrico con sosa*
176. *¿la reacción será endotérmica, exotérmica o no variará la temperatura?*
177. Alba: *La temperatura se quedará igual. Se mantendrá porque éste es un*
178. *ácido fuerte i ésta una base fuerte i se contrarrestarán.*
179. En: *¿La base y el ácido están a diferente temperatura?*
180. Alba: *Si, el ácido está más caliente que la base.*

181. En: *¿Qué haríamos para poder comprobar lo que has dicho?*
182. Alba: *Podríamos medir la temperatura del ácido y de la sosa por separado y después de juntarlos.*
184. En: *Bien pues vamos a comprobarlo.*
185. Alba: *Están a la misma temperatura (a 20 °C) el ácido y la sosa... y después sube...este termómetro va mal.*
187. En: *¿Por qué crees que aumenta la temperatura?*
188. Alba: *Porque un ácido y una base fuerte reaccionan.*

ANNEX II.- RELACIÓ DE LLIBRES DE TEXT DE QUÍMICA ANALITZATS.

Textes de 2^{on} de Batxillerat

FIDALGO J.A. I FERNÁNDEZ, M.R. 1999. *Química 2*. León (España): Everest, S.A.

MORCILLO, J. I FERNÁNDEZ, M. 1990. *Química COU*. España: Anaya.

QUILEZ, J. et al. 1998. *Química 2*. Valencia (España): ECIR.

SAURET, M. 1993. *Química COU*. España : Bruño.

Textes de Química General.

ATKINS, P. i JONES, L. 1989. *Química*. Barcelona (España): Ediciones Omega..

BABOR-IBARZ, 1935. *Química General Moderna*. Barcelona (España): Marín, S.A.

BAILAR J.C., MOELLER T., KLEINBERG J.,GUSS C.O.; CASTELLION M.E. i METZ C. 1985.
Química. Barcelona (España): Vicens Vives, S.A.

BECKER, M. i WENTWORTH, L. 1977. *Química General*. España: Reverté.

BRADY, F., RUSSELL, C. i HOLUM, J. 2000. *Chemistry*. USA: Brace Jovanovich.

BROWN, T.L., LEMAY, H.E. i BURSTEN, M.L. 1998. *Química*. México: Prentice Hall.

CASTELLS, J. 1985. *Química General y Bioorgánica*. Barcelona (España): Alambra S.A.

DICKERSON, L., GRAY, J. i DARENSBOURG, P. 1986. *Principios de Química*. Barcelona (España): Reverté.

GARRITZ, A. i CHAMIZO, J.A. 1994. *Química*. USA: Addison-Wesley Iberoamericana.

- GILLESPIE, L. BAIRD, J. i ROBINSON, R. 1990. *Química*. Barcelona (España): Everest, S.A.
- GRAY, H.B. i HAIGHT, G.P. 1969. *Principios básicos de Química*. Barcelona (España): Reverté, S.A.
- GUTIERREZ RÍOS, E. 1985. *Química*. España: Reverté.
- KOTZ, R. i PURCELL, M. 1987. *Chemistry and Chemical reactivity*. USA: Saunders College Publishing.
- LOZANO, J.J. i VIGATA, J.L. 1983. *Principios de Química General*. España: Alambra.
- MAHAN, B. H. 1968. *Química. Curso universitario*. USA: Fondo Educativo Interamericano, S.A.
- MASTERTON, W. L. i SLOWINSKI, E.J. 1968. *Química General Superior*. España: Alhambra.
- MOORE, J.W., DAVIS, W.G. i COLLINS, R.W. 1981. *Química*. Colombia: Mc. Graw-Hill.
- PETRUCCI, R.H. i HARWOOD, L.M. 1998. *Química General*. España: Prentice Hall.
- PIMENTEL, G.C. i SPRATLEY, R.D. 1978. *Química Razonada*. Barcelona (España): Reverté.
- RUSELL, J. B. 1980. *Química General*. España : Mc. Graw-Hill.
- SEARS, B.G. i SALINGER, G.L. 1980. *Termodinámica, teoría cinética y termodinámica estadística*. Barcelona (España): Reverté.
- SEGAL, B.G. 1989. *Chemistry: Experiment and Theory*. Singapore: Wiley.
- STRANKS, D.R. et al. 1967. *Química*. Madrid (España) : Selecciones Científicas.
- USÓN, R. 1970. *Química Universitaria Básica*. España: Alambra.
- WHITTEN, L., GAILEY, R. i DAVIS, J. 1981. *General Chemistry*. USA: Saunders College Publishing.
- YODER, C.H., SUYDAM, F.H. i SNAVELY, F.A. 1975. *Chemistry*. USA: Harcourt Brace Jovanovich.

ANNEX III.- EXEMPLES D'APLICACIÓ DE LA XARXA D'ANÀLISI A LLIBRES DE TEXT

Nom del text: Química.
 Editorial: Ediciones Omega
 (Espanya)
 Any de publicació: 1989

Autor: P. Atkins & L. Jones
 Lloc de publicació: Barcelona
 Edició: 3^a Idioma: Castellà.

(En aquest cas hi ha dos temes en el llibre titulats "Termoquímica: El fuego interno" y
 "Energia en transición: Termodinámica".

| Dimensió axiològica i actitudinal | | |
|--|-----------|---|
| <p>1. S'indica al començament del tema almenys, un motiu pel qual interessa estudiar què passa amb l'energia en els processos químics?</p> | <p>Si</p> | <p>En la introducció: "La fuente inicial de la mayor parte de energia que se utiliza en la tierra es el Sol. En las capas altas de la atmósfera, la radiación solar provoca reacciones que van acompañadas por un desprendimiento de calor. También provoca reacciones químicas en la superficie de la Tierra, destacando especialmente las de las fotosíntesis de las plantas verdes. Estas reacciones almacenan de forma eficaz la energia para su uso posterior, en ocasiones miles de años más tarde, como en los combustibles fósiles, pero a veces para su inmediato consumo como alimento. En este capítulo se estudiará cómo seguir la pista de los cambios de energia asociados a los cambios físicos y químicos" (pp.188).</p> |
| <p>2. Hi ha al llarg del tema almenys 3 exemples de relacions CTS que mostren l'interés social d'aquest estudi?</p> | <p>Si</p> | <p>Al principi del tema en el primer punt titulat "Energia, calor y entalpia" parla de les reaccions de combustió: "Los seres vivos practican una forma muy sofisticada de combustión para obtener la energia que necesitan, la glucosa, un componente típico de los carbohidratos, es el combustible responsable de nuestros pensamientos y acciones... Esta reacción no transcurre como una combustión normal: la glucosa no se quema con una llama en nuestro interior. En lugar de ello tienen lugar una serie de reacciones, gobernadas por una compleja interacción de enzimas que aseguran que la reacción ocurra en la medida necesaria... En este capítulo se estudiará cómo predecir el efecto calefactor o enfriante de cualquier reacción, no sólomente de las combustiones. (pp.190).</p> <p>Posteriorment hi ha un requadre que ocupa tota la pàgina on s'escriu un text titulat: "Los recursos energéticos mundiales" on es parla de les diferents fonts d'energia (biomassa, combustibles fòsils i les fonts d'energia alternativa). (pp.208).</p> <p>Després hi ha comentaris que acompanyen a 2 fotografies concernents als combustibles emprats pels cotxes com el gas d'aigua i l'electricitat.(pp.213).</p> <p>Ja per a finalitzar, hi ha un últim article (que ocupa dos fulls) que es titula "Alimentación y forma física". (pp.215).</p> <p>Pel mig del tema hi ha exemples més concrets, així: "Las entalpias de los cambios de fase tienen utilidad práctica en las casas que utilizan energia solar.... (pp.201)</p> |
| <p>3. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques?</p> | <p>Si</p> | <p>Es planteja en el segon apartat del tema titulat "Procesos exotérmicos y endotérmicos" després que en el primer apartat s'ha parlat de l'energia, la calor, el treball i la llei de conservació de l'energia però sense entrar en la primera llei de la termodinàmica que s'introdueix en el tema de Termodinàmica. "Una reacción exotérmica es aquella que cede calor (...). Una reacción endotérmica absorbe calor. La mayoría de las reacciones endotérmicas sólo absorben pequeñas cantidades de calor. Por ello, las neveras químicas no parecen tener demasiado futuro". (pp.192).</p> |

| | | |
|--|----|--|
| | | |
| 4. Es presenta quin o quins foren els principals problemes històrics que motivaren la naixença de la Termodinàmica com a ciència moderna en el S.XIX?. | No | No en el tema de termoquímica però sí en el de termodinàmica, encara que enmig del tema, en un requadre aïllat que ocupa una fulla i es titula "Tendiendo un puente entre los mundos macro y micro" parla somerament de l'història de la TD per a introduir el concepte d'entropia des del punt de vista microscòpic: "A mediados del S.XIX hubo una explosión de conocimientos acerca de cómo interactuaba la materia con la energía. Este conocimiento proporcionó los cimientos de la TD. Sin embargo, aunque las propiedades termodinámicas se podían predecir, no podían explicarse. Finalmente el físico austriaco Ludwig Boltzmann estableció la relación que existe entre las propiedades termodinámicas medibles experimentalmente y el comportamiento de las grandes cantidades de átomo, moléculas e iones que forman la materia. Desgraciadamente, la existencia de los átomos no era aún aceptada universalmente, por lo que su trabajo fue activamente desacreditado. Al final, desesperado, se quitó la vida. (...)" (pp.618). |

| Dimensió conceptual i epistemològica | | |
|---|----|---|
| 5. Es diferencia explícitament entre calor i temperatura? | Si | En l'apartat titulat "La transferencia de energía en forma de calor" explica: " A escala molecular, el flujo de energía hacia el exterior tiene lugar a medida que el calor excita el movimiento caótico de las moléculas próximas al sistema. Estas moléculas, que se mueven muy rápidamente, colisionan unas con otras y transfieren su exceso de energía durante los choques, esparciendo así su energía a los alrededores. El movimiento aleatorio molecular se denomina agitación térmica , por lo que se puede decir que el calor estimula la agitación térmica de las moléculas del entorno. La temperatura es una medida de la agitación térmica. Cuando el calor fluye de una zona de alta temperatura a una de baja temperatura, se indica que la energía fluye desde una zona donde la agitación térmica es vigorosa a otra zona, donde la agitación térmica es menor. La energía contenida en una muestra depende de su tamaño. Por ejemplo un bloque de hierro de 2 Kg contiene el doble de energía que uno de 1 Kg a la misma temperatura. Por lo tanto, la energía es una propiedad extensiva. Por el contrario, la temperatura de una muestra de agua tomada de un baño uniformemente caliente es la misma, independientemente del tamaño de la muestra. Así pues, la temperatura es una propiedad intensiva". (pp.190-191) |
| 6. S'indica expressament que l'energia no és cap substància que hi ha en els objectes o que no és cap propietat dels objectes aïllats? (Duit, 1987?; Domenech, 2001). | No | |
| 7. Es diu que el calor i el treball no són formes d'energia sinó formes de transferir energia entre sistemes? (Duhem, 1908; Domenech,2001). | Si | "Hay tres formas de aumentar la energía de un sistema: añadiendo material al sistema, calentándolo o realizando trabajo sobre él" (pp.610). " El calor y el trabajo son formas equivalentes de modificar la energía de un sistema". (pp.611-612). |
| 8. S'introdueix el concepte qualitatiu d'energia interna? | Si | "La energía total de un sistema recibe el nombre de energía interna , U. Es la suma de las energías cinéticas de todas las partículas, y de la energía potencial que proviene de sus interacciones entre sí. Si las moléculas se |

| | | |
|---|----|---|
| | | mueven rápidamente, como en el caso de un gas caliente, entonces su energía cinética es elevada y, consecuentemente, la energía interna de la muestra también lo es. Si las partículas están muy próximas unas de las otras, como en el caso de un sólido - por ejemplo, los átomos de un muelle metálico- entonces, el acercarlas aún más puede aumentar su energía potencial y, como consecuencia, la energía interna del sólido." (pp.610) |
| 9. Es presenta què és un sistema i que, en el cas més senzill, quasi sempre es va a considerar que van a interaccionar dos sistemes? (p.e., el sistema seleccionat amb el medi exterior, o les dos parts d'un mateix sistema o varis simultàniament). | Si | <p>"por sistema se entiende la sustancia, o mezcla de reacción, de interés. Por ejemplo, un sistema químico puede ser una reacción colocada en el interior de un recipiente, o puede ser un sistema puro y sencillo, tal como un pedazo de cobre. El entorno, es decir, los alrededores, son los recipientes y todo aquello que se encuentra fuera del sistema" (pp.190-191).</p> <p>Després fica exemples de calor i de treball incloent a l'ambient com el segon sistema que interacciona: "(Fig. 16.3). Cuando se calienta un sistema, se utiliza la diferencia de temperatura que hay entre él y su entorno para hacer que la energía fluya a través de las paredes del sistema" (pp.609)"</p> <p>"La tercera forma de cambiar energía de un sistema es haciendo un trabajo sobre el sistema o dejando que el sistema realice un trabajo sobre el entorno. Se realiza trabajo cuando un objeto se mueve contra una fuerza opuesta" (pp.609).</p> |
| 10. S'adverteix al lector de possibles fixacions o reduccionismes funcionals en les formes de raonar en les quals es pot caure fàcilment?. | No | |
| 11. Es presenten al tema, almenys tres exemples d'anàlisi energètic de fenomen o situació en els quals els estudiants estan poc familiaritzats?. (Els estudiants estan més familiaritzats en l'anàlisi dinàmic dels fenòmens o situacions físiques). | Si | <p>* Quan parla de la fusió: "Las entalpías de los cambios de fase tienen utilidad práctica en las casas que utilizan energía solar. El aire caliente de las placas solares del techo circula a través de un depósito de sal sólida cuyo punto de fusión es un poco más alto que la temperatura del ambiente, tal como el cloruro cálcico hexahidratado, $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. El aire caliente derrite parte de la sal (su punto de fusión es tan sólo de 29 °C) y se forma una disolución acuosa de cloruro de calcio: de hecho, la sal se disuelve en su propia agua de hidratación. La sal solidifica de nuevo por la noche, cediendo energía para calentar la casa". (pp.201).</p> <p>*Explicació de la corba d'escalfament del gel (pp.202).</p> <p>* Altre exemple es quan parla d'entalpia específica dels combustibles: "Una medida práctica del valor de un combustible es su entalpia específica, es decir, la entalpia de combustión por gramo. Los combustibles con una elevada entalpia específica ceden una gran cantidad de calor cuando se queman. Así, la entalpia específica es un buen criterio de selección cuando la masa es un factor importante, como es el caso de los aviones. Cuando el factor importante es el volumen ocupado por un combustible, como en el caso de los automóviles, el valor se expresa en términos de densidad de entalpia, es decir la entalpia de combustión por cada litro. Un combustible con una baja densidad de entalpia cede muy poco calor cuando se quema.</p> <p>Los combustibles más asequibles son el hidrógeno, el metano y el octano. El metano es el principal componente del gas natural y el octano es un componente normal de la gasolina. Los datos de la tabla 6.4 (referits a propietats termoquímiques dels combustibles com la variació d'entalpia de combustió, l'entalpia específica i la densitat d'entalpia) il·lustren una ventaja del uso de la gasolina: su elevada densidad de entalpia, de 38 MJ.L^{-1}. Este valor tan alto significa que no hace falta que un depósito de combustible tenga grandes dimensiones para almacenar gran cantidad de energía. En casos donde la masa es un factor importante a considerar, como lo es en los cohetes, el hidrógeno es un combustible atractivo debido a su elevada entalpia específica.</p> <p>Una de los grandes ventajas del hidrógeno respecto a los demás hidrocarburos combustibles es que no produce dióxido de carbono cuando se quema...(..).</p> <p>No obstante aunque el hidrógeno no contribuye al efecto invernadero, su utilización es limitada debido a su baja densidad de entalpia, porque es un gas. Los químicos trabajan para sintetizar compuestos sólidos que puedan concentrar hidrógeno y cederlo cuando sea necesario. Los posibles candidatos son los hidruros que se forman al calentar hidrógeno junto con titanio, cobre y otros metales. Estos compuestos ocupan un volumen mucho menor que la misma cantidad de hidrógeno gas y ceden hidrógeno cuando se calientan o se ponen en contacto con un ácido. Un ejemplo calrode este tipo de compuestos es el hidruro de hierro y titanio, cuya fórmula aproximada es</p> |

| | | |
|---|-----------|--|
| | | <p>FeTiH₂. Su densidad de entalpia es alta, pero su contenido de hierro y titanio hacen que el compuesto sea denso, y por tanto su entalpia específica es pequeña. Los alimentos son realmente un tipo especial de combustible. En el estudio de "Caso 6" se considera el valor como combustible de alimentos como las hamburguesas, las patatas y el pan".(pp. 212-...-216).</p> <p>* O també quan parla de la vaporització: "La vaporización es un proceso endotérmico porque se necesita energía para superar las fuerzas que mantienen unidas las moléculas de un líquido. La absorción del calor de la piel cuando se evapora el sudor es un mecanismo del cuerpo para mantenerse fresco. El frío que se siente al salir de la ducha es otro signo de que la vaporización es endotérmica. Las cremas "frías" provocan la sensación de frescor porque contienen agua, la cual se evapora después de aplicar la mezcla sobre la piel. Ya que la vaporización es endotérmica, el vapor de agua a 100 °C tiene una entalpia mayor - almacena más energía- que la misma masa de agua líquida a 100 °C. Esta energía almacenada se puede notar cuando nos escaldamos con vapor de agua: al condensarse el vapor, éste cede energía a la piel en forma de calor, y se transforma en agua líquida" (pp.199).</p> |
| <p>12. Es presenta algun exemple d'interpretació qualitativa microscòpica (mecànica estadística) d'un fet o situació que habitualment s'interpreta macroscòpicament amb el primer principi?. (p.e. l'evaporació adiabàtica d'un líquid o la simple vaporització d'un líquid que s'escalfa, la dissolució aquosa d'una sal, la dilució d'un àcid concentrat com el sulfúric, etc...)</p> | <p>Si</p> | <p>Quan parla de la fusió amb una il·lustració, diu: "La fusión es un proceso endotérmico. Al adquirir energía las moléculas empiezan a trasladarse moviéndose junto a sus vecinas. Al final la muestra cambia de un estado sólido con las moléculas ordenadas a un estado líquido con las moléculas desordenadas". (pp.200).</p> <p>Més baix, ja en el text indica: "Un sólido funde si se le da calor en su punto de fusión. Las moléculas oscilan más y más vigorosamente debido a la energía añadida, hasta que se pueden mover en forma de líquido." (pp.200).</p> <p>*També com hem vist abans en l'item 6 quan parla de la calor.</p> <p>*Altre exemple ho tenim en l'apartat 6.7 anomenat "Curvas de calentamiento" quan interpreta des del punt de vista microscòpic l'escalfament d'un tros de gel: "Por ejemplo, considérese lo que ocurre cuando se calienta un trozo de hielo muy frío. Como se puede ver en la fig. 6.18 (que es la corba d'escalfament), su temperatura aumenta constantemente. Aunque las moléculas se encuentran atrapadas en una masa sólida, oscilan muy rápido. Al llegar al punto de fusión, las moléculas tienen la energía suficiente para circular libremente unas encima de otras. A esta temperatura toda la energía que se añade se emplea para contrarrestar las fuerzas de atracción entre moléculas..." (pp.203).</p> |
| <p>13. Es defineix l'H com la suma U+P.V?</p> | <p>Si</p> | <p>No en el tema de termoquímica ja que no més parla del principi de conservació de l'energia de manera qualitativa i també introdueix el concepte de variació d'entalpia com a calor de reacció a pressió constant. Aquest tema està bàsicament dedicat a la calor en les reaccions químiques.</p> <p>Si en el tema de termodinàmica, basant-se en la introducció que ha fet prèviament en el tema de termoquímica sobre la variació d'entalpia, encara que no utilitza expressament aquesta expressió i a més fa una similitud amb els comptes d'un banc: "Cuando se usa la entalpia, realmente se ignora el trabajo que debe realizar el sistema para hacer sitio a los productos de una reacción. Un inspector bancario que quisiera dar cuenta de todas las transacciones de energía haría un seguimiento de las reservas del banco en base a la energía interna de la cámara acorazada del banco. En cambio, un inspector bancario que no tuviera en cuenta el coste de la expansión o contracción de la cámara acorazada examinaría los libros de entalpia.</p> <p>Para comprender esta interpretación, imagínese lo que ocurre cuando se suministran 100 KJ de calor a un recipiente lleno de gas. Si el volumen no puede cambiar, todo el calor suministrado se utilizará para aumentar la energía interna de un sistema, con lo que $\Delta U = 100$ KJ. Sin embargo, si el gas tiene capacidad para cambiar su volumen y permanecer a la misma presión, se gastará parte de los 100 KJ en hacer retroceder la atmósfera a medida que se expande el sistema. Por tanto, a presión constante, sólo una parte de la energía suministrada en forma de calor se usa para aumentar la energía interna del sistema - el resto sale del sistema al entorno en forma de trabajo. Aunque $\Delta H = +100$ KJ, el cambio de energía interna sería solo de 90 KJ si se usaran 10 KJ para la expansión del gas, con lo que $\Delta U = 90$ KJ. En general: $\Delta U = \Delta H - \text{energía utilizada en trabajo de expansión.}$ (pp.199)</p> |

| | | |
|---|----|---|
| | | |
| 14. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema? | Si | No més diu que "la palabra entalpia proviene de la palabra griega que significa calor interno"(pp.196). |
| 15. En el cas que s'introduïska una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa? | Si | calor interno |
| 16. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despressa o absorbida quan ocorre a pressió constant? | Si | |
| 17. Es té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi? | No | No parla en cap moment del treball elèctric. Únicament s'indica que és una funció d'estat. |

Nom del text: Química COU
 Editorial: Anaya
 Any de publicació: 1990

Autor: J. Morcillo y M Fernández.
 Lloc de publicació: España
 Edició: 2^a Idioma: Castellà

Títol del capítol: Energía de las reacciones químicas.

| Dimensió axiològica i actitudinal | | |
|---|----|--|
| 1. S'indica al començament del tema al menys, un motiu pel qual interessa estudiar què passa amb l'energia en els processos químics? | Si | <p>En la introducció: "Las reacciones químicas van acompañadas de una variación de energía, que suele manifestarse en forma de calor. Su estudio es muy importante, porque hay muchas reacciones químicas cuya principal aplicación es la producción de energía, problema de candente actualidad. Pero además, dicha variación de energía constituye el factor principal que determina si una reacción química puede producirse de forma espontánea, lo que es de sumo interés en la industria química." (pp.172)</p> <p>En el primer apartat titulat "Cambio de energía en las reacciones químicas" hi ha un requadre que diu: "La humanidad ha utilizado desde su existencia reacciones químicas para producir energía. Desde las más rudimentarias de combustión de madera o carbón, hasta las más sofisticadas, que tienen lugar en los motores de los modernos aviones o naves espaciales. Las reacciones químicas, pues, van acompañadas de un desprendimiento y en otros casos de una absorción de energía.</p> |
| 2. Hi ha al llarg del tema almenys 3 exemples de relacions CTS que mostren l'interès social d'aquest estudi? | No | |
| 3. Es planteja prèviament a la introducció teòrica que en qualsevol canvi físic o químic hi ha, en general, transferències energètiques en forma de calor que permeten la seua classificació en exotèrmiques i endotèrmiques? | Si | <p>En el primer apartat ho indica: "El calor desprendido o absorbido, en determinadas condiciones⁽²⁾, en una reacción química, se llama <i>calor de reacción</i> y tiene un valor característico para cada reacción. Las reacciones químicas pueden entonces clasificarse en <i>exotérmicas</i> o <i>endotérmicas</i>, según que haya desprendimiento o absorción de calor. (2) Las cantidades de calor puestas en juego se refieren normalmente a las condiciones estándar de 25°C y 1 atm." (pp.173)</p> |
| 4. Es presenta quin o quins foren els principals problemes històrics que motivaren la naixença de la Termodinàmica com a ciència moderna en el S.XIX? | Si | <p>Al final del tema, en una secció que es titula "Complementos" hi ha una biografia de Mayer que l'autor titula "Historia de la Ciencia: Conservación de la energía" adaptat de l'obra de D. Papp : Historia de la Física. Madrid. Espasa-Calpe. 1945. En aquest article només parla de la vida de Mayer al que diu se li atribueix l'enunciat d'aquest principi que escriu en la seua memoria "Observaciones acerca de las fuerzas de la naturaleza inanimada". (pp.188)</p> |

| Dimensió conceptual i epistemològica | | |
|---|----|---|
| 5. Es diferencia explícitament entre calor i temperatura? | No | |
| 6. S'indica expressament que l'energia no és cap substància que hi ha en els objectes o que no és cap propietat dels objectes aïllats? | No | |
| 7. Es diu que el calor i el treball no són formes d'energia sinó formes de transferir energia entre sistemes? | No | |
| 8. S'introdueix el concepte d'energia interna? | Si | Respecte a l'energia interna diu. "Cada molécula posee una energía química o energía interna característica y que depende principalmente de los enlaces entre sus átomos ⁽¹⁾ . Si en la reacción química disminuye la energía interna, se desprende energía. Si por el contrario, aumenta la energía interna, se absorbe energía. La energía desprendida o absorbida puede ser en forma de energía luminosa, eléctrica, mecánica, etc., pero habitualmente se manifiesta en forma de calor. " (pp.172) |
| 9. Es presenta què és un sistema i que, en el cas més senzill, quasi sempre es va a considerar que van a interaccionar dos sistemes? (p.e., el sistema seleccionat amb el medi exterior, o les dos parts d'un mateix sistema o varis simultàniament). | No | |
| 10. S'adverteix al lector de possibles fixacions o reduccionismes funcionals en les formes de raonar en les quals pot caure fàcilment?. | No | |
| 11. Es presenten al tema, almenys tres exemples d'anàlisi energètic de fenomen o situació en els quals els estudiants estan poc familiaritzats?. (Els estudiants estan més familiaritzats en l'anàlisi dinàmic dels fenòmens o situacions físiques). | No | No, només he trobat dos exemples, el primer dels quals també va acompanyat de càlculs numèrics. Aquestos son: (1) Confirmació del principi de conservació de l'energia (segons el qual, " la energia ni se crea ni se destruye, sino que únicamente se transforma") mitjançant la reacció de descomposició electrolítica de l'aigua i la seua síntesi. (2) Interpretació de manera qualitativa de la variació d'entalpia d'una reacció mitjançant els diagrames entàlpics de dos reaccions particulars (una exotèrmica i un altra endotèrmica). |

| | | |
|--|----|---|
| | | |
| 12. Es presenta algun exemple d'interpretació qualitativa microscòpica (mecànica estadística) d'un fet o situació que habitualment s'interpreta macroscòpicament amb el primer principi?. (p.e. l'evaporació adiabàtica d'un líquid o la simple vaporització d'un líquid que s'escalfa, la dissolució aquosa d'una sal, la dilució d'un àcid concentrat com el sulfúric, etc...) | No | Només quan parla d'energies d'enllaç, al principi de l'apartat, reflexiona sobre el que passa en les reaccions químiques: "Una reacción química consiste en un nuevo reagrupamiento de los átomos de los reactivos para formar los productos. Esto supone la ruptura de ciertos enlaces y la formación de otros nuevos. Si se conociesen las energías de estos enlaces, se podría calcular fácilmente la entalpía de la reacción." (pp.179) |
| 13. Es defineix l'H com la suma U+P.V? | Si | Però com a ampliació del tema. |
| 14. S'introdueix alguna idea qualitativa del concepte d'entalpia d'un sistema? | No | |
| 15. En el cas que s'introduïska una idea qualitativa sobre l'entalpia d'un sistema, amb què s'associa? | | |
| 16. S'introdueix el significat de ΔH d'un procés com la calor despressa o absorbida quan ocorre a pressió constant?. | Si | <p>En el punt 3^{er} del tema anomenat "Entalpía de Reacción": "Supongamos la reacción endotérmica: $2 \text{NH}_3 (\text{g}) \rightarrow \text{N}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2 (\text{g})$ } (a) 87,3 KJ; (b) 92,2 KJ</p> <p>Podemos llevarla a cabo a volumen constante, o bien a presión constante (la atmosférica), con lo cual se produce un aumento de volumen, puesto que de dos moles de NH_3 se pasa a cuatro: uno de N_2 y tres de H_2.</p> <p>El calor absorbido, en el primer caso, se llama <i>calor de reacción a volumen constante</i>, q_V, y según la termodinámica, es igual a la variación de la energía interna de la reacción: $q_V = \Delta U$ (v. Ampliación I).</p> <p>En el segundo caso, el calor absorbido se llama <i>calor de reacción a presión constante</i> q_P, y según la termodinámica, coincide con la variación de entalpía de la reacción: $q_P = \Delta H$ (v. Ampliación II).</p> <p>¿Por qué uno vale 87,3 y el otro 92,2 KJ, siendo la misma reacción? ¿Contradice esto el principio de la conservación de la energía?.</p> <p>Todo lo contrario, ya que la energía consumida en la reacción, tanto verificada a volumen constante como a presión constante, es la misma, pero en este último caso se consume además la energía necesaria para realizar el trabajo de expansión. Por esto resulta $q_P > q_V$. Sólo para las reacciones químicas en las que la variación de volumen sea despreciable es $q_P = q_V$, o bien, $\Delta U = \Delta H$.</p> <p>Como la mayoría de las reacciones químicas, tanto en el laboratorio como en la industria, se llevan a cabo en recipientes abiertos, es decir a presión constante, sólo suele emplearse, en general, el calor de reacción a presión constante, que se llama corrientemente <i>entalpía de reacción</i>(6), y se representa normalmente por ΔH.</p> <p>(6) El ΔH se suele referir también a 298 K y 1 atm. Para recalcar esto se</p> |

| | | |
|---|----|---|
| | | escribe más correctamente ΔH_{298}° . Mucha veces no es posible determinar ΔH en estas condiciones, pero puede calcularse a partir del valor medido para otra temperatura o presión." (pp.175) |
| 17. Es té en compte el camp de validesa de la definició de ΔH d'un canvi? | No | |

ANNEX IV.- TAULA DELS RESULTATS DE LA XARXA D'ANÀLISI DE LLIBRES DE TEXT.

| Ne. dels ítems | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
|-----------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Atkins (1989) | v | | v | | v | v | v | v | v | v | v | v |
| Babor (1935) | | | | | | | v | | | v | v | |
| Bailar (1985) | | | | | | | | | | v | | |
| Becker (1977) | | | | | | v | | | v | | v | |
| Brady (2000) | v | | | v | | v | v | | | v | v | |
| Brown (1998) | v | v | v | | v | v | v | v | | | v | |
| Castells (1985) | | | | | | v | | v | | | v | |
| Dickerson (1986) | | | | | | v | | v | | | v | |
| Fidalgo (1999) | | | | | v | v | v | v | | v | v | |
| Garritz (1994) | v | | v | | v | v | v | v | v | | | |
| Gillespie (1990) | v | | | | v | v | | v | | v | v | |
| Gray (1969) | v | | | | | v | v | | v | v | v | |
| Gutierrez Rios (1985) | | | | | | | | v | | v | | |
| Kotz (1987) | | | v | | | v | v | | v | | | |
| Lozano (1983) | | | | | v | v | | v | | v | v | |
| Mahan (1968) | | | | | v | v | | v | v | | v | |
| Masterton (1968) | v | | | | v | | | | | v | | |
| Moore (1981) | | | | | | | | v | | v | v | |
| Morcillo (1990) | | v | | | | | | v | | v | v | |
| Petrucci (1998) | v | | | | v | v | | v | v | | v | |
| Pimentel (1978) | | v | | | v | v | v | v | v | | v | |
| Quilez (1998) | v | | | | v | v | | v | v | | v | |
| Rusell (1980) | | | | | | | | | | | v | |
| Sauret (1993) | | | | | | v | | v | | | v | |
| Sears (1980) | | v | v | | | v | v | | v | | v | |
| Segal (1989) | | v | v | | v | v | | v | v | | v | |
| Stranks (1967) | | | v | | | | | | | v | | |
| Usón (1970) | | | | | | | | v | | v | v | |
| Whitten (1981) | | | | | v | v | v | v | | v | v | |
| Yoder (1975) | | | v | | | | v | v | | v | v | |
| Percentatges (%) | 30,0 | 16,7 | 26,7 | 3,3 | 43,3 | 66,7 | 40,0 | 70,0 | 36,7 | 53,3 | 80,0 | 2 |

ANNEX V.- EXEMPLES DE RESPOSTES DE PROFESSORS DE QUÍMICA AL QÜESTIONARI Q3 SOBRE MANCANCES DIDÀCTIQUES EN L'ENSENYAMENT DE LA TERMOQUÍMICA

Exemple de resposta, per al qüestionari Q3, donada per Pau, un professor en actiu:

Ítem 1: *En quins aspectes creus que s'ha de fer especial èmfasi quan s'inicia el tema de Termoquímica/Termodinàmica en una classe de Química/Física Aplicada de 2n de Batxillerat?*

Recordem els conceptes d'energia, treball i calor que ens permetran introduir el primer principi de la TD.

Que en les reaccions químiques es donen canvis energètics que es poden aprofitar per diferents activitats de les persones, saber que conèixer-les ens pot beneficiar.

Ítem 2: *Quines creus que són les principals dificultats que van a tindre els alumnes a l'hora de tractar en classe el tema de Termoquímica/Termodinàmica?*

Identificar l'entalpia com a “calor de reacció a pressió constant” amb la calor que absorbeix o es cedeix en un procés qualsevol dels que estan acostumats a veure, com cremar un combustible, etc.

Relacionar entalpies de reacció amb el tema de l'enllaç pel que fa als enllaços trencats i formats i amb el tema de l'enllaç relatiu als enllaços iònics, covalents, etc.

Relacionar allò que estudien en les reaccions amb els canvis que tenen lloc a la natura.

Ítem 3: *Un dels conceptes importants que s'introdueixen en el tema és el d'entalpia d'un sistema com, per exemple, la d'una substància. Quin significat qualitatiu d'aquest concepte fa falta que deprenguen els estudiants?*

Un procés a pressió constant és una reacció que té lloc amb la “tapa oberta”, es a dir, la calor que es desprèn, per exemple, en encendre un foc i cremar butà. Han d'entendre que es tracta doncs, d'una energia absorbida o emesa.

Ítem 4: *L'entalpia d'un sistema, com qualsevol altre concepte, té un camp de validesa determinat i per tant hi ha ocasions en les que no es pot aplicar. Indica en quines situacions no és vàlid aplicar aquest concepte.*

Sols és vàlida a pressió constant, en un recipient tancat (una olla a pressió, per exemple) no pot aplicar-se.

Ítem 5: *Quins objectius importants consideres que poden servir d'indicadors que l'estudiant hi ha comprés el tema al que ens referim?*

Conèixer el significat dels conceptes fonamentals del tema: energia, calor, treball i entalpia.

Realitzar càlculs estequiomètrics.

Utilitzar la llei de Hess a partir dels diferents tipus d'entalpies: de reacció, de formació i d'enllaç.

Ítem 6: *Exposa una breu relació de continguts que tingues en la teua programació al desenvolupar el tema de Termoquímica/Termodinàmica.*

- Conceptes d'energia, calor i treball.
- Energia interna, primer principi de la TD.
- Treball d'expansió i calor de reacció. Concepte d'entalpia. Calor a volum constant. Calor a pressió constant. Entalpia.
- Entalpia de reacció. Reaccions endo i exotèrmiques.
- Llei de Hess
- Entalpies d'enllaç.

Ítem 7: *Proposa a títol d'exemples, dues o tres qüestions que proposaries als estudiants per a valorar l'aprenentatge del tema.*

1. Podrà ser espontània una reacció endotèrmica? En quines condicions?
Que té més entropia, el gel, l'aigua líquida o el vapor d'aigua? Per què?
2. Calcula la variació d'entalpia corresponent a la dissociació tèrmica del carbonat càlcic a temperatura constant i el consum de carbó mineral que es requereix per obtenir 1000 kg d'òxid de calci, suposant un rendiment del forn del 65%.
3. Calcula l'energia de la reacció d'hidrogenació de l'1,3-butadié a butà, a partir de les següents dades....
(Calcula l'entalpia de formació del borà, a partir de les següents reaccions.....)

Exemple de resposta, per al qüestionari Q3, donada per Sergi, un professor en actiu:

Ítem 1: *En quins aspectes creus que s'ha de fer especial èmfasi quan s'inicia el tema de Termoquímica/Termodinàmica en una classe de Química/Física Aplicada de 2n de Batxillerat?*

- S'introdueix la Termoquímica com un estudi específic de les relacions energètiques de les reaccions químiques propiciant que l'alumne busque resposta a alguns dels següents interrogants: Serà important per a la nostra salut saber el valor energètic dels aliments que consumim? Que podrien fer en la nostra vida per a contribuir a no agreujar la crisi energètica? Sabem que són les energies alternatives? Tindran les energies alternatives avantatges ambientals?.
- A partir d'ací elaborar l'estratègia didàctica per a desenvolupar el tema. La tasca anterior es fa per que l'alumne aconseguisca interessar-se pel tema, i buscar que el coneixement li siga significatiu i buscar una orientació per unir els coneixements conceptuals de Química amb la seua aplicació en la vida quotidiana.
- Unit a açò s'aplica una avaluació diagnòstica per a saber quins són els coneixements conceptuals, procedimentals i actitudinals que té l'alumne.

Ítem 2: *Quines creus que són les principals dificultats que van a tindre els alumnes a l'hora de tractar en classe el tema de Termoquímica/Termodinàmica?*

- El maneig inadequat de les relacions materials de les reaccions químiques (problemes en l'ajust de les reaccions químiques, deficiències en els càlculs estequiomètrics,..) producte bàsicament del desconeixement del concepte de mol com quantitat de substància.
- Tal vegada la insuficiència més significativa siga la propiciada per la falta de vinculació temàtica que han tingut al llarg de la seua vida acadèmica. Em refereix al desenvolupament lineal del pla d'estudis, que impossibilita vincular els temes com a currículum en espiral. Això provoca la ruptura de la lògica unió a l'abordar els temes relacionats amb la Termoquímica. La columna de coneixements al llarg del semestre hauria de ser: L'home i els materials (aparició del foc), consum i conversió de l'energia, substàncies i les seues propietats qualitatives i quantitatives i Termoquímica.
- La falta d'un vertader treball en equip que propicie la investigació, i la comunicació del coneixement assolit, així com la seua discussió en aquells aspectes en els que no s'estiguen d'acord .

- Deficiència en la metodologia científica en les pràctiques de laboratori, el que provocarà que els treballs pràctics siguin esquematitzats com a meres il·lustracions, en lloc de plantejar-se com a una oportunitat de construcció conceptual.
- També l'absència de metodologia correcta al moment de resoldre els problemes de llapis i paper, ja que utilitzen l'anomenat “Resolució de problemes de Química amb l'ús de la regla de tres”.

Ítem 3: *Un dels conceptes importants que s'introdueixen en el tema és el d'entalpia d'un sistema com, per exemple, la d'una substància. Quin significat qualitatiu d'aquest concepte fa falta que deprenguen els estudiants?*

L'entalpia del sistema mesurarà conjuntament l'Ei i el W d'expansió necessari per que el sistema ocupe el volum V a la pressió P” d'on $qp = \Delta H a P ct.$

Ítem 4: *L'entalpia d'un sistema, com qualsevol altre concepte, té un camp de validesa determinat i per tant hi ha ocasions en les que no es pot aplicar. Indica en quines situacions no és vàlid aplicar aquest concepte.*

Limita les possibilitats de predir l'evolució espontània d'un sistema per a la qual cosa es necessita una nova funció termodinàmica

Ítem 5: *Quins objectius importants consideres que poden servir d'indicadors que l'estudiant hi ha comprés el tema al que ens referim?*

- Coneixements conceptuals: es poden establir proves objectives que ens permeten saber el nivell de domini dels termes fonamentals, què és la temperatura?, què és la calor?....
- Coneixements procedimentals: una avaluació de treballs pràctics en Termoquímica, com serien, tipus de sistemes, reaccions endo i exotèrmiques, calor de neutralització, construcció d'un calorímetre,...
- Continguts actitudinals: que s'avaluarien per mitjà del treball d'investigació en equip. Amb tot açò hem aconseguit investigacions importants en “Contingut energètic en calories dels sucus envasats”, “energia eòlica per Zacatecas”, “Energia geotèrmica”, energia solar, Focus solars, sistemes d'electrificació fotovoltaic, etc...

Ítem 6: *Exposa una breu relació de continguts que tingues en la teua programació al desenvolupar el tema de Termoquímica/Termodinàmica.*

Objectiu general

Que l'alumne compregui que en les reaccions químiques existeixen relacions energètiques. Que elles es poden estudiar mitjançant canvis de calor i que aquests processos tenen interès pràctic.

Objectiu específic

Que l'alumne compregui els conceptes bàsics amb els que es construeix el tema de canvis energètics en les reaccions químiques.

Continguts. Canvis energètics en les reaccions químiques..

Tipus de sistemes (oberts, tancats, aïllat)

Processos exotèrmics i endotèrmics.

Objectiu específic

Que l'alumne compregui la llei de conservació de l'energia en les reaccions químiques i l'aplique tant a nivell molecular, com a nivell atòmic per conceptuar l'energia interna.

Continguts : Llei de conservació de l'energia i energia interna d'un sistema..

Llei de la conservació de l'energia.

Energia interna d'un sistema.

Primer principi de la TD.

Objectiu específic

Que l'alumne compregui la forma en què s'introdueix el concepte d'entalpia d'un sistema i que pugui diferenciar els processos a volum constant dels de pressió constant. Així com la forma en què es pot mesurar els canvis de calor al laboratori.

Continguts: Entalpies de reacció.

Equacions termoquímiques.

Entalpia normal o estàndard de reacció.

Additivitat de les entalpies de reacció.

Calorimetria.

Calor específic

Capacitat calorífica

Calorimetria a volum constant

Calorimetria a pressió constant.

Objectiu específic.

Que l'alumne conegui la Llei de Hess i les seues aplicacions.

Contingut : Llei de Hess.

Entalpies de formació.

Entalpies estàndard de formació i de reacció.

Aplicacions.

Objectiu específic

Que l'alumne conega el camp de validesa de l'entalpia i com en la segona llei de la TD s'introdueix el concepte d'entropia per establir l'energia lliure de Gibbs i així predir l'espontaneïtat d'una reacció química.

Contingut: Espontaneïtat de les reaccions químiques.

Camp de validesa del concepte d'entalpia.

Segona llei de la TD.

El concepte d'entropia.

L'energia lliure de Gibbs.

Aplicacions.

Ítem 7: *Proposa a títol d'exemples, dues o tres qüestions que proposaries als estudiants per a valorar l'aprenentatge del tema.*

- Resolen diversos problemes de la vida quotidiana, les dades dels quals ells proposen. Per exemple: l'energia que gasta un elevador al pujar; l'energia requerida per escalfar l'aigua d'una dutxa; comparar valors; et trobes en equilibri tèrmic amb el teu saló?
- Resolen problemes quantitius per desenvolupar la seua destresa en el maneig dels conceptes i equacions estudiades.
- Sel's proposa elaborar una xarxa conceptual sobre l'energia.
- Es fa èmfasi en què el coneixement científic (en aquest cas la termodinàmica) fa possible que hi hagen moltes més explicacions a processos tan senzills com el destapar un refresc. El mon i els seus processos es veuen diferents. Els propose als alumnes un problema de resolució qualitativa que detalle a continuació:

Problema 1.- La termodinàmica d'un refresc.

Imagina que traus una pepsi-cola d'un congelador. El refresc està “molt gelat” de tal manera que quan destapes, immediatament es congela una part del mateix.

- (a) Fes una llista dels fenòmens físics i químics que observes o sàpies que ocorren al destapar la pepsi-cola.
- (b) Fes una llista del número de components d'aquest sistema.
- (c) El procés de congelació, és exotèrmic o endotèrmic?
- (d) Durant el temps que va transcórrer des que es destapa el refresc fins que es congela, creus que va haver-hi transferència de calor entre l'entorn i el refresc?
- (e) Si tries com sistema el refresc contingut en la botella i consegüentment la frontera són les parets internes de la mateixa, com classificaries el fenomen, isotèrmic o adiabàtic?
- (f) Per a què es va utilitzar la calor alliberada per la formació del gel?

- (g) Com classificaries els fenòmens ocorreguts al destapar la pepsi-cola: isocòrics, isobàrics o adiabàtics?
- (h) Quina és major, la temperatura de l'estat termodinàmic 1 o la de l'estat termodinàmic 2?
- (i) Quin és el valor de la variació de pressió?
- (j) Com és la variació de volum, positiva o negativa?
- (k) Quantes fases detectes en l'estat 1 i quantes en l'estat 2?
- (l) Va ocórrer alguna reacció química?

Problema 2.- Termodinàmica d'un refresc.

Si la pepsi-cola de l'exemple anterior es congela quan està dins del congelador, abans de destapar-la...

- (a) Va ocórrer la congelació a temperatura constant, es a dir va ser aquest un procés isotèrmic?
- (b) Va ocórrer aquest procés a 0° C?
- (c) El procés de congelació és adiabàtic o hi ha flux de calor a través de les parets del sistema?
- (d) Es manté constant la pressió dins del recipient?
- (e) Com canvia l'energia interna del sistema a mesura que ocorre la congelació del refresc?
- (f) Com canvia la variació d'entalpia?
- (g) Quin és el valor de la variació de volum?
- (h) Per què es rebenten les botelles?
- (i) Realitza treball el sistema quan es rebenta la botella?

Problema 3.- Termodinàmica d'un refresc.

Vares observar el so produït al destapar el refresc de l'exemple primer?

- (a) el sistema es va comprimir o va realitzar una expansió?
- (b) Com varia la pressió?
- (c) Que va ocórrer amb la U_g de l'atmosfera?
- (d) va realitzar treball el sistema? Podries idear un experiment que ens permetia calcular $W_{exp} = P \cdot \Delta V$?
- (e) El sistema és aïllat, obert o tancat?
- (f) d'on obté energia el sistema per a realitzar el treball d'expansió?
- (g) Degut que el procés va ocórrer en un temps francament molt curt, creus que va haver-hi temps per a la transferència de calor dónes dels arrodalies (l'aire) al gas que ix del refresc?
- (h) Quin és el valor de q ?
- (i) Classificaries este fenomen com expansió isotèrmica o expansió adiabàtica?
- (j) Quin és el signe de ΔU del procés?

- (k) de quants components està format el gas?
- (l) Per què creus que és forma un xicotet núvol en la boca de la botella? Està format este vapor?
- (m) Per què s'observen minúscules gots ballarines sobre la superfície del refresc?
- (n) A quina causa atribueixes que és formen gotetes d'aigua en la paret externa de la botella? Per què la superfície de l'envàs s'observa banyada?

**ÀNEX VI.- EXEMPLES DE RESPOSTES D'ESTUDIANTS UNIVERSITARIS
A L'ACTIVITAT A. 11 SOBRE COM S'INTERPRETA
ENERGÈTICAMENT L'EQUILIBRI TÈRMIC AL MESCLAR UN
GAS CALENT AMB UN GELAT.**

Nom i cognom: Anna (5)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R.: -“El gas amb temperatura elevada li cedeix calor al gas amb menor temperatura. Hi ha una transferència de calor. Per això s'acaba igualant, s'arriba a una temperatura mitjana dels dos gasos. Hi ha un intercanvi d'energia cinètica. El (gas) d'energia cinètica elevada tendeix a disminuir-la i el que la té baixa tendeix a pujar-la.”

Comentaris: En la primera i segona línies es pot observar com es considera que el gas calent té calor que va transferint al gelat. I en la tercera i quarta línies es passa a dir el mateix però amb la noció d'energia cinètica dels gasos. Es a dir, la cessió de calor s'identifica amb l'intercanvi d'energia cinètica.

D'altra banda, es veu com en aquesta resposta s'eludeix la interpretació microscòpica doncs no apareixen les partícules malgrat que era una condició demanada en la pregunta,

Nom i cognom: Paco (8)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R.: -“Doncs que en el gas a major temperatura el moviment de les partícules és major que en el que té la temperatura menor. Llavors al mesclar-los:

- o les partícules amb menys velocitat de moviment augmenten la seua velocitat al xocar amb les altres que tenen major velocitat, disminuint aquestes la seua velocitat. Asolint-se un equilibri de velocitat de totes les partícules,
- o com varem veure el gas-mescla conté partícules de major temperatura (major moviment) i de menor temperatura en la qual cosa el termòmetre mesurarà una temperatura intermitja si estan en la mateixa relació màssica”.

Comentaris: En cadascuna de les dos solucions que aporta aquest estudiant es detecten les següents idees: a) en la primera (línies 3 a 5) que les partícules d'un gas a una mateixa temperatura tenen la mateixa velocitat i això es reforça al final del paràgraf quan esmenta que hi ha al final un equilibri de velocitat de totes les partícules; b) en la segona (línies 6 a 9) s'associa clarament que en un mateix gas-mescla hi ha dues temperatures (dues velocitats distintes) però el termòmetre marcarà la T mitjana.

Nom i cognom: Eva (12)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “El gas de temperatura més elevada li cedeix calor al gas de temperatura inferior. El gas de temperatura menor absorbeix calor cedit i augmenta la seua temperatura. S'arriba a un equilibri tèrmic en el que les temperatures s'igualen i resulta una temperatura mitja d'equilibri”.

Comentaris: En aquesta resposta es presenta solament una explicació macroscòpica en la que els sistemes cedeixen calor que tenen o absorbeixen si estan a menor temperatura. És una explicació que sol fer-se en nivells educatius inferiors a l'universitari on els cossos tenen calor en lloc del concepte d'energia interna.

Nom i cognom: Irene (14)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “Les molècules del gas que està a major temperatura tenen energia cinètica, vibren més. Al posar-se en contacte els dos gasos, l'agitació de les partícules d'un es transmet, mitjançant xocs, a les partícules de l'altre fins que s'igualen les seues velocitats. Les

partícules dl gas més calent hem dit que tenen més energia, són més ràpides. En cada impacte cedexen part de l'energia a les partícules més lentes amb les que entren en contacte. Les partícules del gas que està a major temperatura es frenen un poc, però al mateix temps fan que les més lentes acceleren fins que s'igualen les seues velocitats, els dos gasos assoleixen la mateixa velocitat mitja i, per tant, la mateixa temperatura: s'assoleix 'l'equilibri tèrmic'.”

Comentaris: Aquest és un exemple d'interpretació microscòpica quasi correcta. Nogensmenys, sembla que s'està descrivint el moviment de les partícules d'un sòlid o d'un líquid quan en la primera línia indica que 'les molècules del gas a major T estan vibrant més'. Aquesta estudiant maneja la hipòtesi implícita que totes les partícules de cada gas tenen la mateixa velocitat a una T i que en cada xoc s'igualen les velocitats de la molècula ràpida i la de la lenta (línia 7).

D'altra banda, es manifesta una superposició macro-micro en la penúltima línia quan diu que 'els dos gasos assoleixen la mateixa velocitat' ja que aquest concepte ha d'aplicar-se a les molècules i no al seu conjunt macroscòpic que és el gas.

Nom i cognom: Martina (20)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “La transferència de calor es produeix sempre en el sentit de major temperatura a menor temperatura. Amb la qual cosa les partícules de major temperatura, que es mouran a major velocitat en el gas que les conté, transferiran calor a les partícules gelades del gas a menor temperatura, assolint-se així l'equilibri tèrmic.”

Comentaris: Es pot veure en la segona línia com l'estudiant atribueix la noció de temperatura a les partícules i també com en la tercera línia pareix que la calor està dipositada en les partícules a major T que el cediran a les més refredades.

Nom i cognom: Carme (23)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “Al principi com que cada gas tenia una temperatura diferent, un es trobava més calent que l'altre, el que es podia veure és que en el gas més calent les partícules que el formaven es movien amb més velocitat que el gas que estava a temperatura inferior. Al poc de temps, per l'efecte de la transmissió de calor (*) del fluid calent al fred i, al contrari, adquireixen els dos la mateixa temperatura, i el que es pot veure es que ara les partícules que formen cada gas es mouen amb la mateixa velocitat, per això tenen la mateixa temperatura.

(*) Es a dir, per l'efecte del contacte de les partícules d'un gas amb les de l'altre.”

Comentaris: En aquesta resposta també s'admet que hi ha una transmissió de calor del fluid calent al fred encara que, després, l'estudiant ho clarifica dient ‘per l'efecte del contacte de les partícules d'un gas amb les de l'altre'. Ara bé, en el que no hi ha dubte és que, al final del paràgraf, s'associa explícitament la temperatura del gas a una velocitat de les partícules sense adonar-se de que en qualsevol gas hi ha una distribució normal de velocitats a una mateixa temperatura. Es a dir, no es sap que la temperatura és una magnitud estadística del gas i no pot associar-se a una partícula sola.

Nom i cognom: Enric (30)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “Les molècules a major temperatura, tenen una energia cinètica major que les molècules de baixa energia. Així doncs, en el moment en què interaccionen 2 molècules de diferent velocitat (es produeix un xoc), després del xoc, les molècules canvien de velocitat perquè es produeix un intercanvi de quantitat de moviment de la de major velocitat a la molècula de menor velocitat. Fins aplegar un moment en què les energies cinètiques de totes les molècules són en promedi iguals, i per tant la temperatura també s'igualava.”

Comentaris: Al començament del seu escrit, com ja s'ha vist en casos anteriors, s'adjudica una temperatura a les molècules com pot veure's en la primera línia. També s'observa com al final del paràgraf s'indica explícitament que les energies cinètiques de totes les molècules són iguals el que justifica que s'iguale la temperatura.

Nom i cognom: Elena (33)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “Primer aclarir que, encara que un gas estiga a una determinada temperatura no significa que cada una de les partícules estiguen a eixa temperatura.

Quan els gasos es mesclen, com ja sabem, les partícules del gas estan en continu moviment de manera que les partícules amb major temperatura estan mesclades a l'atzar amb les partícules del gas amb menor temperatura, per això, la temperatura de la mescla resultant serà una temperatura intermitja entre les dos inicials.”

Comentaris: També ací apareix que les partícules tenen temperatura. Es més, en el primer paràgraf de la resposta se suposa que les partícules d'un gas a una temperatura poden tindre 'partícules a temperatures distintes'. Aquest és l'argument que s'utilitza en el segon paràgraf per poder arribar a justificar que la simple mescla de dos gasos a diferent temperatura tinga una intermitja. Una explicació plausible del pensament d'aquesta estudiant pot ser que fa una transferència de les propietats macroscòpiques de la mescla de fluids a diferent temperatura (que va estudiar en calorimetria) al món de les partícules. D'altra banda s'observa que, encara que fa servir les partícules, no parla res dels possibles xocs entre elles que podria explicar la transferència d'energia cinètica entre aquelles.

Nom i cognom: Biel (2)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: “Si fem la mitjana de les temperatures que introduïm, vorem que ens dona la mateixa temperatura que tindrem després. L'energia total es queda igual. L'energia interna del gas calent disminuirà i l'energia interna del gas gelat augmentarà. Existirà una transferència d'energia, el calor que done el (gas) calent serà igual al calor que absorbisca el (gas) gelat. De manera que la suma de les variacions d'energia interna serà zero. Això ocorre amb el xoc de les partícules.”

Comentaris: Aquest és un dels casos trobats en el qual s'utilitza els conceptes d'energia total i energia interna de cadascun dels gasos que es mesclen. Nogensmenys, introdueix el llenguatge calòric al referir-se que el gas calent dona el mateix calor que absorbeix el

gelat. En l'explicació donada s'eludeix l'argument microscòpic ja que el despatxa vagament indicant que passa amb el xoc de les molècules.

Nom i cognom: Diana (34)

A.11.- En un recipient buit es mesclen dos gasos que estan a diferent temperatura. Després d'un poc de temps es comprova que la mescla té una temperatura intermitja a les dues inicials. Com s'explica, a nivell microscòpic, aquest fenomen tèrmic?

R: Els gasos tenen una estructura corpuscular discontinua: partícules en continu moviment aleatori o caòtic.

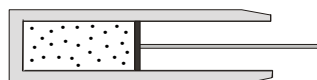
El moviment de les partícules (la velocitat) s'associa a la temperatura. Si un dels gasos té major temperatura que l'altre, es produeix una transferència d'energia en sentit de temperatures decreixents i així s'arribarà a una temperatura intermitja que s'observarà amb l'augment de la intensitat del nombre de xocs.”

Comentaris: És una descripció macroscòpica bastant ambigua en la que es parla de transferència d'energia però que no es diu entre quins sistemes. La manca de claredat s'adverteix en particular quan, al final del segon paràgraf, s'indica que es veurà (?) l'augment de la intensitat i nombre de xocs.

ANNEX VII. EXEMPLES DE RESPOSTES D'ESTUDIANTS UNIVERSIARIS ALS QÜESTIONARIS Q4 (PRETEST) I Q5 (POSTEST).

Nom i cognoms: Sabi

Q.4.- 1. El dibuix adjunt presenta una xeringa aïllada tèrmicament de l'ambient que conté un gas ideal a pressió major que l'atmosfèrica. Què li passarà a la temperatura del gas quan s'expansione?



- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura.
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Justifica detalladament el perquè de la resposta.

R: “Si la xeringa no estiguera aïllada ocurreria que si el volum del gas augmentara, mantenint-se constant la pressió del gas, la pressió d'aquest augmentaria també. Però a

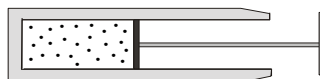
l'estar aïllada tèrmicament de l'ambient, el gas no intercanvia calor amb els voltants, amb la qual cosa la temperatura no es modificarà”

Q.5.- 1. Les màquines que fabriquen neu tenen un dipòsit on hi ha una mescla d'aire comprimit i vapor d'aigua a 20 atm, aproximadament. Quan aquesta mescla es llançada a l'atmosfera s'obté neu artificial. Dona una explicació raonable d'aquest fenomen.

R: *“Quan es llança a l'atmosfera la mescla d'aire i de vapor d'aigua, s'expandeix, el que és indicatiu que s'ha realitzat un treball. Per això, com l'energia interna és la suma de la calor transferida i del treball realitzat, al ser adiabàtic el sistema i no intercanviar calor, es considera només el treball. Per això, al realitzar treball, la temperatura disminueix i es forma la neu artificial a partir de la mescla de vapor inicial.”*

Nom i cognoms: Víctor.

Q.4.- 1. El dibuix adjunt presenta una xeringa aïllada tèrmicament de l'ambient que conté un gas ideal a pressió major que l'atmosfèrica. Què li passarà a la temperatura del gas quan s'expansione?



- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura.
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Justifica detalladament el perquè de la resposta.

R: *“Com segons la llei dels gasos : $P.V=n.R.T$. Si n és constant, augmenta el volum i disminueix la pressió queda la T constant”*

Q.5.- 1. Les màquines que fabriquen neu tenen un dipòsit on hi ha una mescla d'aire comprimit i vapor d'aigua a 20 atm, aproximadament. Quan aquesta mescla es llançada a l'atmosfera s'obté neu artificial. Dona una explicació raonable d'aquest fenomen.

R: “ *A l'eixir (la mescla d'aire i vapor) hi ha un canvi de pressió, de 20 atm a 1 atm. Això implica un treball d'expansió del sistema i per tant una perduda d'energia, tan ràpida que l'aigua baixa la seua temperatura bruscament i solidifica (neu)* ”

Nom i cognoms: Francisco.

Q.4.- 2. Si fiquem en una càpsula de porcellana èter líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

R: “*El que s'estarà produint en la càpsula serà l'evaporació de l'èter líquid, per tant, el que mesuraria el termòmetre seria la temperatura d'ebullició de l'èter que roman constant durant tot l'ebullició, i després assolirà la temperatura ambiental una vegada finalitze l'ebullició.*”

Q.5.-2. Si fiquem en una càpsula de porcellana acetona líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

R: “*Perquè en l'acetona líquida ens trobem en molècules de major energia i menor energia. Les de major energia són les que es van evaporant quedant les de menor energia i per tant disminuint la temperatura, ja que el procés es produeix de manera ràpida i es pot considerar adiabàtic.*”

Nom i cognoms: Sandra.

Q.4.- 2. Si fiquem en una càpsula de porcellana èter líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

R: *“L'èter per que estiga líquid ha d'estar a una temperatura baixa perquè el seu punt d'ebullició és baix. A temperatura ambient es converteix en gas, es a dir s'evapora per la qual cosa augmenta la seua temperatura.”*

Q.5.- 2. Si fiquem en una càpsula de porcellana acetona líquid a temperatura ambient podem comprovar que a l'evaporar-se ràpidament varia la temperatura del líquid. Indica si:

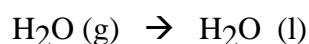
- (a) Disminueix la temperatura.
- (b) Es manté la temperatura
- (c) Augmenta la temperatura.
- (d) No ho sé.

Explica amb detall la teua resposta.

R: *“Disminueix la temperatura del líquid perquè el pas de líquid a gas de l'acetona li costa energia. Com no hi ha interacció amb altre sistema, l'energia per a passar d'estat es fa en forma de calor per la qual cosa el líquid disminueix la seua temperatura (ha transferit calor).”*

Nom i cognoms: Miriam.

Q.4.- 3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



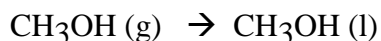
Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

R: “L'entalpia del líquid i del gas són iguals. No es destrueixen ni es formen enllaços forts com H-O-H sinó que els enllaços que canvien són les forces de Van der Waals que no ens interfereixen en l'entalpia. L'entalpia d'una substància és sempre la mateixa, no interfereix l'estat en el que es trobe” .

Q.5.- 3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

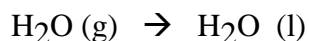
Explica amb detall la teva resposta.

R: “Per a passar de gas a líquid, canvien les interaccions entre les molècules, en el gas estan més lliures i en el líquid estan ordenades; en el gas tenim més energia cinètica que en el líquid. L'entalpia del gas és major..

Si ferem l'experiment, voriem que en el pas de gas a líquid es perd energia, per tant la $\Delta H < 0$, es a dir $H(g) < H(l)$.”

Nom i cognoms: Sara.

Q.4.-3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



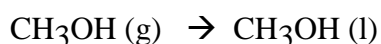
Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

R: “Si és la mateixa temperatura l'entalpia és igual pel $\text{H}_2\text{O (l)}$ que pel $\text{H}_2\text{O (g)}$ perquè està en el punt de la recta l-g en el diagrama de fases”

Q.5.- 3. Considerem la transformació d'un gas en líquid a la mateixa temperatura:



Quin estat de la substància tindrà una major entalpia?

- (a) L'entalpia del gas és major.
- (b) L'entalpia del líquid és major.
- (c) Les entalpies del líquid i del gas són iguals
- (d) No ho sé

Explica amb detall la teva resposta.

R: *“L'entalpia del gas és major perquè per a passar a líquid s'ha després energia en forma de calor.”*

Nom i cognoms: Eva.

Q.4.-4. Al neutralitzar una dissolució de NaOH amb un altra d'HCl, en el líquid resultant s'observa un augment de la temperatura. Indica si la reacció és exotèrmica o endotèrmica i explica amb detall com és que ocorre aquest fenomen tèrmic.

R: *“Com hem de trencar enllaços i es queden ions en la dissolució necessitem energia per la qual cosa és endotèrmica i es manifesta amb un augment de temperatura, els ions estan lliures i amb major energia.”*

Q.5.- 4. Al neutralitzar una dissolució de NaOH amb un altra d'HCl, en el líquid resultant s'observa un augment de la temperatura. Es comprova que la ΔH de la neutralització de qualsevol àcid fort amb una base forta val el mateix, -13,4 kcal/mol. En canvi, si la reacció és entre un àcid feble (per exemple, l'acètic) i una base forta (per exemple, NaOH), la ΔH és menor. Intenteu explicar, a tall d'hipòtesis, aquestos dos fets.

R: *“Un àcid és fort perquè es dissocia per complet, així a l'unir-se als ions d'una base forta (que també es dissocien per complet) s'obté més energia al formar els enllaços NaCl que si l'àcid fora feble, ja que no es dissocia per complet i es formen menys enllaços NaCl.”*

Nom i cognoms: Belén.

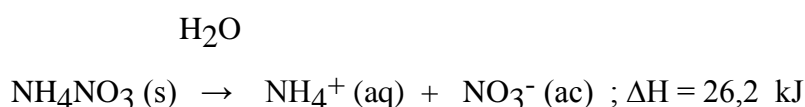
Q.4.- 5. La variació d'entalpia en la reacció de formació del monòxid de nitrogen ve expressada en la següent equació:



Indica si el procés és exotèrmic o endotèrmic i explica microscòpicament com és que augmenta l'entalpia al formar-se el monòxid de nitrogen.

R: *“Procés exotèrmic ja que la variació d'entalpia és positiva, el que vol dir que quan la reacció té lloc es desprèn calor. Dos elements a l'ajuntar-se tenen tendència a reaccionar sense necessitat d'un agent extern, per la qual cosa la reacció és instantània i exotèrmica, no necessita un aportament de calor per que les partícules s'exciten i reaccionen.”*

Q.5.- 5. La variació d'entalpia de la dissolució aquosa de nitrat amònic ve expressada en la següent equació:



Indica que li passarà a la temperatura del sistema quan es dissol un poc d'aquesta sal en aigua i explica microscòpicament com és que augmenta l'entalpia del sistema en aquest procés.

R: *“La temperatura del sistema disminuirà (procés endotèrmic: $\Delta H > 0$). Microscòpicament: dos compostos reaccionen, es trenquen els enllaços i es formen els ions, es dona un augment d'energia en el sistema.”*

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ABD-EL-KHALICK, F. (2001). Embedding nature of science instruction in preservice elementary science courses: Abandoning scientism, but... *Journal of Science Teacher Education*, 12(3), 215-233.
- ABD-EL-KHALICK, F. & LEDERMAN N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22, 665-701.
- ALONSO, M. i FINN, E. J. (1995). *Física*. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano S.A.
- ALSTER , B.J. (1997). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 39-55.
- ARONS, A. B. (1997). *Teaching introductory physics*. New York: Wiley.
- ARONS, A. B. (1970). *Evolución de los conceptos de la Física*. México: Ed. Trillas.
- ATKINS, P.W. (1992). *La segunda ley*. Barcelona: Prensa científica.
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. i HANESIAN, H. (1978). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Ed. Trillas.
- BARLET, R. i MASTROT, G. (2000). L'algorithimisation-refuge, obstacle à la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en 1er cycle universitaire. *Didaskalia*, 17, 123-159.
- BAUMANN, R. P. (1992). Physics that textbook writers usually get wrong. II. Heat and energy. *The Physics Teacher*, 30, 353-356.
- BELL R., ABD-EL-KHALICK F., LEDERMAN G., MCCOMAS W. & MATTHEWS M. (2001). The nature of science and science education: A bibliography. *Science & Education*, 10, 187-204.
- BENSAUDE-VINCENT, B i STENGERS, I. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Wesley Addison, U.A.M.
- BEVILACQUA, F. (1999). Interpretando fenomeni elettrici. *Proceedings of 5th International History, Philosophy of Science and Science Teaching Conference "Science as Culture"*, Como (Italia).
- BLISS, J. i OGBORN, J. (1985). Children's choice of uses of energy. *European Journal of Science Education*, 7, 195-203.

- BOLTZMANN, L., 1986. *Escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza Editorial.
- BROCK, W. H. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Alianza Editorial.
- BUNGE, M. (1999). La energía entre la física y la metafísica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 12(1), 53-56.
- CAMPANARIO, J. M. (2002). Asalto al castillo. ¿A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), 315-325.
- CARLTON, K. (2000). Teaching about heat and temperature. *Physics Education*, 35(2), 101-105.
- CARNICER, J. i FURIÓ, C. (2002). La epistemología docente convencional como impedimento para el cambio. *Investigación en la Escuela*, 47, 33-52.
- CARR, M. i KIRWOOD, V. (1988). Teaching and learning about energy in New Zealand secondary school junior science classrooms. *Physics Education*, 23, 87-91.
- CERVANTES, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 66-70.
- CHALMERS, A. (1992). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Ed. Siglo XXI.
- CLAUSIUS, R. (1868). *Théorie Mécanique de la Chaleur*. Paris: Eugène Lacroix, Éditeur.
- CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of nature of science and of how children learns science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 429-455.
- COBERN, W.W. (2000). The nature of science and the role of knowledge and belief. *Science & Education*, 9 (3), 219-246.
- COHEN, I. i BEN-ZVI, R. (1992). Improving students achievement in the topic of chemical energy by implementing new learning materials & strategies. *International Journal of Science Education*, 14 (2), 147-156.
- COHEN, I. i MANION, L., 1990. *Métodos de investigación educativa*. Madrid: La Muralla.
- COLLINS, S., OSBORNE, J.F., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., DUSCHL, R. (2003). What Ideas-about-Science should be taught in School Science?: A Delphy study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (7), 692-720.
- DE BERG, K.C. (1997). The development of the concept of work: a case where history can inform pedagogy. *Science & Education*, 6, 511-527.

- DE JONG, O. (2000). How to teach the concept of heat of reaction: a study of prospective teachers' initial ideas. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe (CERAPIE)*, 1(1), 91-96.
- DOMÉNECH, J. L. (2001). L'ensenyament de l'energia en l'educació secundària. Anàlisi de les dificultats i una proposta de millora. Tesi doctoral. Universitat de València.
- DOMÉNECH, J. L., GIL-PÉREZ, D., GRAS, A., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R. i VALDÉS, P. (2003). La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, 20 (3), 285-311.
- DOMÍNGUEZ, C. (2004). 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. Tesi doctoral. Universitat de València.
- 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. Thessanoliiki: ESERA-University of Thessanoliiki.
- DOMÍNGUEZ, C., FURIÓ, C. i GUIASOLA, J. (2007). Learning from History and Philosophy of Science: Deficiencies in the teaching of the macroscopic concepts of substance and chemical change. En R. Pintó & nD. Couso (Eds.), *Contributions from Science Education Research*, pp. 249-259. Dordrecht: Springer,
- DOMÍNGUEZ, J. M., DE PRO, A. i GARCÍA-RODEJA, E. (2003). Esquemas de razonamiento y de acción de estudiantes de ESO en la interpretación de los cambios producidos en un sistema material. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (2), 199-214.
- DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.
- DRIVER, R., NEWTON, P. i OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- DRIVER, R. & OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

- DRIVER R., SQUIRES A., RUSHWORTH P. & WORD-ROBINSON V. (1994). *Making sense of secondary science-research into children ideas*. London: Routledge.
- DRIVER, R. i WARRINGTON, L. (1985). Students's use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, 171-176.
- DUHEM, P. (1910). *Thermodynamique et Chimie. Leçons élémentaires. (Seconde édition)*. Paris: Librairie scientifique A. Hermann et fils.
- DUIT, R. (1986). In search of an energy concept. In: *Energy matters*. Leeds: University of Leeds.
- DUIT, R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity-remarks on the article by R.U. Sexl. *European Journal of Science Education*, 3(3), 291-301.
- DUIT, R. (1984). Learning the energy concept in school-empirical results from the Philippones and Wst Germany. *Physics Education*, 19, 59-66.
- DUIT, R. (1987). Should energy be illustrated as something quasi-material?. *European Journal of Science Education*, 9 (2), 139-145.
- DUIT, R. & TREAGUST, D. F. (1998). Learning in science-From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook on Science Education*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- DUIT, R., TREAGUST, D. & MANSFIELD, H. (1996). Investigating students understanding as prerequisite to improving teaching and learning in science and mathematics. In D.F. Treagust, R. Duit and B.J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp.17-31). New York: Teachers Press College.
- DUMRAUF, A. y CORDERO, S. (2004). ¿Qué cosa es el calor? Interacciones discursivas en una clase de física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 45-46.
- DUSCHL, R.A. (1990). *Restructuring science education*. New York: Teachers College Press.
- DUSCHL, R.A. (1994). Research on the history and philosophy of science. In D.L. Gabel, *Handbook of research on science teaching and learning* (pp.443-465). New York: MacMillan Publishing Company.
- 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.

- DUSCHL, R.A. (2000). Making the nature of science explicit. In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds.) *Improving Science Education- The contribution of Research*. Buckingham: Open University Press. 187-206.
- DUSCHL, R.A. & GITOMER, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (9), 839-858.
- DUSCHL, R.A. & HAMILTON, R.J. (1998). Conceptual change in science and the learning of science. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook on Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- EDWARDS, M., GIL, D., VILCHES, A. VALDÉS, P., ASTABURUAGA, R. i ROMERO X. (2002). El desafío de preservar el Planeta: Un llamamiento a todos los educadores. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, N° 2, Enero-abril.
- ERICKSON, G. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education*, 64, 323-336.
- FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: una propuesta de transformación. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.
- FERNÁNDEZ, I, GIL, D., VILCHES, A., VALDÉS, P., CACHAPUZ, A., PRAIA, J, i SALINAS, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.
- FEYNMANN, R. (1972). *Física*. México: Ed. Fondo Educativo Interamericano.
- FLEURY, E. (2001). Perfil conceptual: formas de pensar y hablar en las clases de ciencias. *Infancia y Aprendizaje*, 24 (4), pp. 475-490.
- FURIÓ, C. (1997). Dificultades procedimentales en el aprendizaje de la Química: la fijación y reducción funcionales. *Educación Abierta* 132, p. 39 - 78.
- FURIÓ, C. (2001a). La enseñanza aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. En J.Guisasola & Pérez de Eulate, L. (Eds.), *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*. Bilbao: Servicio de Publicaciones de la U.P.V./E.H.U.
- FURIÓ, C. (2001b). La didáctica de las ciencias experimentales como nuevo cuerpo teórico de conocimientos. Proyecto Docente presentado en el Concurso a una plaza de

Catedrático de Universidad de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universitat de València (documento interno).

FURIÓ, C. (2006). La motivación de los estudiantes y la enseñanza de la Química. Una cuestión controvertida. *Educación Química*, 17, extra, 222-227.

FURIÓ C., AZCONA R. i GUIASOLA J. (1999). Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 359-376.

FURIÓ, C., AZCONA R. & GUIASOLA J. (2002). The learning and teaching of the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. A review of the literature. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 3(3), 277-292.

FURIÓ, C., AZCONA R. & GUIASOLA J. (2006). La enseñanza de los conceptos de 'cantidad de sustancia' y de 'mol' basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 43-58.

FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA, J. i RATCLIFFE, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, 22 (12), 1285-1304.

FURIÓ, C. i CALATAYUD, M. L. (1996). Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules. *Journal of Chemical Education*, 73 (1), 36-41.

FURIÓ, C., CALATAYUD, M. L., BÁRCENAS, S. i PADILLA, O.M. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Science Education*, 84 (5), 545-565.

FURIÓ, C. i CARNICER, J. (2002). El desarrollo profesional docente a través de tutorías de orientación constructivista. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), 47-73.

FURIÓ, C., CARRASCOSA, J. i SOLBES, J. (2006). Las ideas alternativas sobre los conceptos científicos: tres décadas de investigación. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, nº 48, 64-77.

FURIÓ, C., GUIASOLA, J. (1993). ¿Puede ayudar la Historia de la Ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos? *Revista Española de Física*, 7 (3), 46-50.

FURIÓ, C., GUIASOLA, J. & ALMUDÍ, J.M. (2004). Elementary electrostatic phenomena: Historical hindrances and students' difficulties. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(3), 291-313.

- FURIÓ, C., GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J.M. & CEBERIO, M. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87 (6), 640-662.
- FURIÓ C., GUIASOLA J., ZUBIMENDI J. L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol 3. (http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol3/n3/v3_n3_a2.htm)
- FURIÓ C., HERNÁNDEZ, J. & HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), 616-618.
- FURIÓ-GÓMEZ, C. (2004). L'ensenyament-aprenentatge de la Termoquímica en el Batxillerat i la Universitat. Treball d'investigació. Departament de Didàctica de les Ciències. Experimentals i Socials. Universitat de València.
- FURIÓ-GÓMEZ, C., SOLBES, J. & FURIÓ-MÁS, C. (2007). La historia del primer principio de la Termodinàmica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación Científicas*, 4 (3), 460-474.
- FURIÓ-MÁS, C., CALATAYUD, M. L. i FURIÓ-GÓMEZ, C. (2005). How are the concepts and theories of acid-base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1337-1358.
- FURIÓ-MÁS, C., CALATAYUD, M. L., GUIASOLA, J. i FURIÓ-GÓMEZ, C. (2003). Questioning inadequate epistemological views in textbooks: The case of the introduction of acid base reactions. En W. Hinrichs, G. Mübener & D. Schulz (Hg.), *Schulpraktische Studien. Ein Paradigm der Lehrerbildung*. Leipzig: Leipziger Universitätsverlag.
- FURIÓ-MÁS, C. i DOMÍNGUEZ-SALES, M. C. (2007a). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), 241-258.
- FURIÓ-MÁS, C. i DOMÍNGUEZ-SALES, M. C. (2007b). Deficiencias en la enseñanza habitual del concepto macroscópico de sustancia y del cambio químico como cambio sustancial. *Journal of Science Education. Revista de Educación en Ciencias*, 8 (2), 84-92.
- GABEL, D. L. (1994) (Ed.). *Handbook of Research in Science Teaching and Learning*. New York:Macmillan Publishing Company.

- GABEL, D. L. (1998). The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. En B.J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Vol. I, 233-248. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- GIL, D. (1991). ¿Qué han de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77.
- GIL, D. 2003, Constructivism in science education: the need for a clear line of demarcation. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselves, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos & M. Kallery (eds.) *Science Education in the knowledge-based society*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. & GALLEGO, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science & Education*, 11, 557-571.
- GIL, D. i SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physic: overcoming a deformed vision of sience. *International Journal of Science Education*, 15(3), 255-260.
- 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.
- GIL, D. i CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3), 231-236.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. i MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: HORSORI- ICE Universitat de Barcelona.
- GIL, D., FURIÓ, C. i CARRASCOSA, J. (1996). *Curso de formación para profesores de ciencias. Unidad I.1. La energía: la invención de un concepto fructífero*. Madrid: MEC.
- GILBERT, J.K., JUSTI, R., VAN DRIEL, J.H., DE JONG, O. i TREAGUST, D.F. (2004). Securing a future for Chemical Education, *Chemical Education Research and Practice*, 5 (1), 5-14.
- GIL-PÉREZ, D. (1996). New trends in Science Education. *International Journal of Science Education*, 18 (8), 889-901.
- GLASSON, G.E. & BENTELEY, M.L. (2000). Epistemological undercurrents in scientists' reporting of research to teachers. *Science Education*, 84 (4), 469-485.

- GRANVILLE, M. (1985). Student's misconceptions in thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 62, 847.
- GUISASOLA, J. (1996). Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista. Tesis doctoral. Universitat del País Basc.
- GUISASOLA, J., ALMUDÍ, J. M., CEBERIO, M. i ZUBIMENDI, J. L. (1997). ¿Contribuye la enseñanza de problemas-tipo al aprendizaje significativo de los conceptos y principios fundamentales de la física en primer curso de universidad?. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra. del V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 343-344.
- GUISASOLA, J., ALMUDI, J.M., ZUBIMENDI, J.L. & ZUZA K. (2005). Campo magnético: Diseño y evaluación de estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada, *Enseñanza de las Ciencias* 23(3), 303-320.
- GUISASOLA, J, FURIÓ, C. i CEBERIO, M. (2008). Science Education based on developing guided research. En V. Thomase (Ed.), *Science Education in Focus*, chapter 6th. N.Y.: Novapublisher Inc.
- GUISASOLA, J. i SALINAS, J. (2000) ¿Qué entendemos por una buena comprensión del concepto de energía?. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, tomo 1, 37-38.
- HAKE, R. (1998). Interactive engagement versus traditional methods: a six-thousands-students survey of mechanics test data for introductory physics course. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- HARRISON, A. G., GRAYSON, D. J. i TREAGUST, D. F. (1999). Investigating a grade 11 student's evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55-87.
- HASWEH, M. Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- HEMPEL, C. (1966) *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- HEWSON, P. W. & THORLEY, N. R. (1989). The conditions of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 11, special issue, 541-543.
- HODSON, D. (1992). Assesment of practical work. Some considerations in philosophy of science, *Science Education*, 24, 41-52.
- HOLTON, G. i ROLLER D. (1963). *Introducción a la Física Moderna*. Barcelona: Ed. Reverté.

- HUANN-SHYANG, L. y HSIN-JU, CH. (2000). La valoración del conocimiento de estudiantes y profesores sobre las leyes de los gases. *Journal of Chemical Education*, 77 (2), pp. 54-57.
- IZQUIERDO, M. & ADURIZ-BRAVO, A.. (2003). Epistemological foundations of School Science. *Science & Education* 12(1), 27-43.
- JIMÉNEZ, J. D. (2000). El análisis de los libros de texto. En F.J. Perales & P. Cañal, *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil. Pp. 307-322.
- JIMENEZ-ALEIXANDRE, M. P., RODRIGUEZ, A. B., DUSCHL, R. A. (2000). Doing the lesson or 'doing science': argument in high school genetics. *Science Education* ,84(6), 757-792.
- JOHNSTONE, A. H. (1993). Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-703.
- KALALI, F. (1998). Quelles conceptions de la motivation ont les enseignants de Biologie? *ASTER*, 26, 59-63.
- KESIDOU, S., DUIT. R. i GLYNN, S. M. (1995). Conceptual Development in Physics: Students' understanding of Heat. In S.M. Glynn and R. Duit (Eds), *Learning Science in Schools*. (pp. 179-198). Mahwah, NJ: Lawrence-Erlbaum.
- KESIDOU, S. i DUIT, R. (1993). Student's conceptions of the second law of thermodynamics - an interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85-106.
- KOBALLA, T.R., GLYNN, S.M., UPSON, L. & COLLEMAN, D.C. (2005). Conceptions of teaching science held by novice teachers in an alternative certification program. *Journal of Science Teacher Education*, 16, 287-308.
- KUHN, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago PRESS
- KUHN, T. (1977). *The essential tension: Selected studies in scientific tradition and change*. Chicago: University of Chicago Press.
- LAKATOS, I. (1970). Falsation and the methodology of scientific research programs. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*, pp. 91-196. London: Cambridge University Press.
- LAUDAN, L. (1977). *Science and values*. Berkeley, CA: University of California Press.
- LAUDAN, L (1984). *Progress and its problems: Toward a theory of scientific growth*. Berkeley, CA: University of California Press.

- LAUGSCH, R. C. (2000). Scientific Literacy: A Conceptual Overview. *Science Education*, 84 (1), 71-94.
- KUHN, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LARKIN, J. i RAINARD, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (3), 235-254.
- LEACH J. & SCOTT P. (2002). Designing and evaluating and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning, *Studies in Science Education*, 38, 115-142.
- LEACH J. & SCOTT P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 12, 91-113.
- LEDERMAN, N., SCHWARTZ, R., ABD-EL-KHALICK, F., BELL, L. (2001). Pre-Service teachers' understanding and teaching of Nature of Science: An intervention study. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1(2), 135-160.
- LIJNSE, P. & KLAASSEN, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- LOPEZ-GAY, R. (2001). La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física. Análisis de la situación actual y propuesta para su mejora. Departamento de Física de la Materia Condensada. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- LOSEE, J. (1980). *A historical introduction of the philosophy of science*. New York: Oxford University Press.
- MALLINCKRODT, A. J. i LEFF, H. S. (1992). All about work. *American Journal Physics*, 60(4), 358-365.
- MARTÍNEZ, A. i PÉREZ, B. A. (1997). Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 287-300.
- MARTON, F. (1981). Phenomenography- Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
- MARTON, F. & BOOTH, S. (1997). *Learning and awareness*, Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- MASON, L. (2002). Developing epistemological thinking to foster conceptual change in different domains. In M. Limon & L. Mason (Eds.) *Reconsidering conceptual*

change: Issue in theory and practice (pp. 259-290). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

MATTHEWS, M. R. (1994a). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.

MATTHEWS, M. R. (1994b) Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277.

MCCLELLAND, G. (1989). Energy in school science. *Physics Education*, 24, 162-164.

MCCOMAS, W.F. (Ed.) (2000). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MCCOMAS, W.F. (2000). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In W.F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and strategies*, pp. 53-70. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MCCOMAS, W.F., CLOUGH, M.P. & ALMAZROA, H. (2000). The role and the character of the nature of science in science education. In W.F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and strategies*, pp. 3-39. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MCCOMAS, W.F. & OLSON, J.K. (2000). The nature of science in international science education standard documents. In W.F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and strategies*, pp. 41-52. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MCDERMOTT, L. C. (1993). Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste? (Primera parte). *Revista de Enseñanza de la Física*, 6(1), 19-32.

MELLADO, V. (1998a). The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science. *Science Education*, 82, 197-214

MELLADO, V. (1998b). Preservice Teachers' Classroom Practice and Their Conceptions of the Nature of Science. En B. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook on Science Education*, Part Two, pp. 1093-1110. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

MELLADO, V. i CARRACEDO, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 331-339.

MILLAR, R. (1998). Comments on: Experimental facts & common ways of reasoning in thermodynamics: learners' common approach (L. Viennot). *I.C.P.E. Book. International Commissions on Physics Education*. 1997, 1998.

- MILLAR, R. (2003). What can we reasonably expect of research in science education? In D., Psillos, P., Kariotoglou, V., Tselfes, E., Hatzikraniotis, G., Fassoulopoulos & M., Kallery (Eds.) *Science Education Research in the Knowledge-based Society*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- MILLAR, R. & OSBORNE, J. (1999). *Beyond 2000: Science Education for the future*. London: KCL.
- MORENO, A. (2006). Atomismo *versus* equivalentismo: controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (3), pp.411-428.
- MORTIMER, E. F. (1995). Conceptual change or change of a conceptual profile change? *Science & Education*, 4, 267-285.
- MORTIMER, E.F. & SCOTT, P.H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *Science Education National Standards*. Washington D.C.: National Academic Press.
- NICHOLLS, G. i OGBORN, J. (1993). Dimensions of children's conceptions of energy. *International Journal of Science Education*, 15, 1, 73-81.
- NOVICK, S. i NUSSBAUM, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65, 187-196.
- NUNES, A.(2003). El conocimiento escolar sobre el calor y la temperatura: caracterización del mismo y estudio de la evolución de las concepciones de los alumnos de bachillerato. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- OGBORN, J. (1990). Energy, change, difference & danger. *Science School Review*, 72, 259- 261. OLIVA, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.
- OSBORNE, J., COLLINS S., RATCLIFFE M., MILLAR R. & DUSCHL R. (2002). What 'Ideas-about-Science' should be taught in school science? A delphy study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* 40(7), 692-720.
- OSUNA, L., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., CARRASCOSA, J. & VERDÚ R. (2007) Planificando la enseñanza problematizada: El ejemplo de la óptica geométrica en la educación secundaria, *Enseñanza de las Ciencias* 25(2), 277-294.
- PACCA, J. L. de A. i HENRIQUE, K. F. (2004). Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), pp. 159-166.
- PHYE, G. (Ed.) (1997). *Handbook of Academic Learning. Construction of knowledge* . San Diego: Academic Press.

- PLANCK, M. (1913). *Leçons de Thermodynamique*. Paris: Librairie Scientifique A. Hermann et fils.
- PINTÓ, R. (1991). Algunos conceptos implícitos en la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica: una aportación al estudio de las dificultades de su aprendizaje. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- POSNER G., STRIKE K., HEWSON P. & GERTZOG W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- POZO, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de las ciencias como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.
- ROCARD, M., CSERMELY, P., JORDE, D., LENZEN, D., WALBERG-HENRIKSSON, H. I HEMMO, V. (2007). *Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
(<http://ec.europa.eu/research/science-society/>)
- ROCKE, A. J. (1986). *Chemical atomism in the nineteenth century*. Columbus: Ohio State University Press.
- ROSCHELLE, J. (1998). Beyond romantic versus sceptic: a microanalysis of conceptual change in kinematics, *International Journal of Science Education*, 20(9), 1025-1042.
- ROTH, W. (1998). Learning process studies: examples from physics. *International Journal of Science Education* 20(9), 1019-1024.
- ROZIER, S. i VIENNOT, L. (1991). Students' reasoning in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13(2), 159-170.
- RUBBA, P.A., SCHONEWEG-BRADFORD, C. & HARKNESS, W.L. (1996). A new scoring procedure for the views on Science-Technology-Society Instrument. *International Journal of Science Education* 18, 387-400.
- 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.
- SCOTT, P. (1987). The process of conceptual change in science: A case of study of the development of a secondary pupils' ideas relating to matter. En J.D. Novak (Ed.) *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational*

- Strategies in Science and Mathematics* (Cornell University: Ithaca, N.Y.), vol.II, 404-419.
- SHAYER M. i WYLAM, H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13-years-old. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 419-434.
- SOLBES, J. y TARÍN, F. (1998). Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía, *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), pp. 387-397.
- SOLBES, J. y TARÍN, F. (2004). La conservación de la energía: un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados, *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), pp. 185-194.
- SOLBES, J. i TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las Ciencias en la enseñanza de la física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 103-112.
- SOLBES, J. i TRAVER, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry Education, *Science & Education*, 12, pp. 703-717.
- SOLBES, J. i VILCHES, A. (1989). Interacciones ciencia/técnica/sociedad (CTS): un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 14-20.
- SOLBES, J. i VILCHES, A. (1992). El modelo constructivista y las relaciones ciencia/técnica/sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 10, 181-187.
- SOLBES, J. i VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377-386.
- SOLOMON, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 4, 49-59.
- STINNER, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76 (1), 1-16.
- STRIKE, K.A. & POSNER G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R.A. Duschl & R.J. Hamilton (Eds.) *Phylosophy of science, cognitive psicology and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany: State University of New York Press.
- SUPPE, F. (1977). *The structure of scientific theories*. Champagne-Urbana: University of Illinois Press.
- SUTTON, C. (1998). New perspectives on language in science. En B. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook on Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- TARÍN, F. (2000a). Enseñanza/aprendizaje de la energía. Trabajo de investigación. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.

- TARÍN, F. (2000b). El principio de la conservación de la energía y sus implicaciones didácticas. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- THAGARD, P. (1992). *Conceptual revolutions*. New Jersey: Princenton University Press.
- THOMAS, M. F., MALAQUIAS, I. M., VALENTE, M. O. i ANTUNES, M. J. (1994). Uma tentativa para ultrapassar concepções alternativas sobre calor e temperatura. *Gazeta de Física*, 17 (3).
- TIBERGHIE, A. (1980). Un exemple de restructuration de l'organisation conceptuelle à l'occasion d'un enseignement concernant la notion de chaleur. En *Compte-rendue de Deuxièmes Journées International sur l'Education Scientific*. Chamonix.
- TIBERGHIE, A. (1983). Critical Review on Research Aimed at elucidating the sense that notion of temperature and heat have for the students aged 10 to 15 years. *Proceedings of the First International Workshop*, 75-90, La Londe les Maures.
- TOULMIN, C. (1977). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.
- TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G. & MAMIALA, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25, 1353-1368.
- TURNER, S. & SULLENGER, K. (1999). Kuhn in the classroom, Lakatos in the lab: Science educators confront the nature-of-science debate. *Science, Technology & Human Values*, 24 (1), 5-30
- TRUMPER, R. (1990). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept, Part one. *International Journal of Science Education*, 12, 343-354.
- TRUMPER, R. (1993). Childrens energy concepts: a cross-age study. *International Journal in Science Education*, 15(2), 139-148.
- VASINI, E. & DONATI, E. (2005). Thermodynamics concepts: some considerations on their use in introductory courses of Chemistry. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, vol. 93, N° 1/3, 177-184.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO J. A. i MANASSERO M. A. (2006). Consenso sobre la naturaleza de la ciencia: Evidencias y aplicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación* [http://www.rieoei.org/did_mat19.htm].
- VERDÚ, R. (2005). La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje. Tesis doctoral. Universitat de València.

- VERDÚ, R. & MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (2005) *La estructura problematizada de los temas y cursos de Física y Química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje*. Alicante, Spain: CEE Limencop S.L.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en Physique. La part du sens commun*. París: de Boeck & Larcier.
- VIENNOT, L. (1998). Experimental facts & ways of reasoning in thermodynamics: learner's common approach. *I.C.P.E. Book International Commissions on Physics Education*. 1997,1998.
- VILCHES, A. i GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University.
- VYGOTSKY, L.S. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica
- WANDERSEE, J. H., MINTZES, J. J. i NOVAK, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D.L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research in Science Teaching and Learning* (Macmillan Publishing Company: New York), 177-210.
- WARREN, W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4, 295-297.
- WATTS, D. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213-217.
- WENHAM, M. (1993). The nature and the role of hypotheses in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), 231-240.