

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

**TESI DOCTORAL**

**LA HISTÒRIA DE LES CIÈNCIES**  
**EN**  
**L'ENSENYAMENT DE LA FÍSICA I LA QUÍMICA**

**Presentada per**  
**Manuel Josep Traver i Ribes**  
**Dirigida per**  
**Jordi Solbes i Matarredona**  
**València, setembre 1996**



Jordi Solbes i Matarredona, Doctor en Ciències Físiques per la Universitat de València, Catedràtic de Física i Química de Batxillerat, Assessor de Física i Química del CEP de València i Professor del Departament de Física Aplicada a la Universitat de València.

CERTIFIQUE: que aquesta memòria titulada "La Història de les Ciències en l'ensenyament de la Física i la Química" ha estat realitzada per Manuel Josep Traver i Ribes, sota la meua direcció i constitueix la tesi per a optar al grau de Doctor en Ciències Químiques.

Per tal que així conste i en compliment de la legislació vigent, es presenta aquesta memòria de Tesi Doctoral i es signa aquest certificat a València, setembre de 1996.

Signat: Jordi Solbes i Matarredona.



*A ma mare i a la memòria de mon pare.*



## AGRAÏMENTS

La realització d'aquest treball ha estat possible gràcies a l'ajut, l'encoratjament i la participació desinteressada de moltes persones. A tots els que hi han col·laborat vull expressar el meu sincer agraïment i d'una manera especial

A En Jordi Solbes per la seua inestimable guia i els savis consells amb què ha orientat la realització d'aquest treball.

Al Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals, particularment a En Carles Furió i En Daniel Gil, per les facilitats donades per a la consulta bibliogràfica.

Als companys del *Grup de Física i Química "Jeroni Munyós"*, Juanjo Bonache, Vicent Gimeno, Vicent Girbés, Elisa Laveda, Miquel Maravilla, Soledad Galán i Encarna Rossell, i als col·legues Elena Casasús i Vicent Pineda, per la seua col·laboració i suggeriments en la preparació i experimentació de materials i qüestionaris amb els alumnes.

Als nombrosos professors i alumnes que han volgut contribuir pacientment a expressar llurs idees i opinions en contestar els qüestionaris, sobretot als i a les alumnes amb qui he tingut el gust de compartir uns anys la il·lusió de dur endavant un projecte per a renovar la tasca docent.





*¾ Sènyer ¾dix Fèlix al fisolof¾, segons vostres paraules, par que digats que impossible cosa sia fer transmutació d'un element en altre, ne d'un metall en altre, segons l'art d'alquímia; car diu que negun metall no ha apetit de mudar son ésser; car si mudava son ésser en altre ésser, no seria aquell ésser mateix lo qual ama ésser. On, bé he enteses totes vostres raons e totes vostres semblances; mas d'una cosa me meravell fortment, ço és saber, com pot hom haver tan gran afecció a l'art de l'alquímia, si l'art no és vera.*

**RAMON LLULL (s. XIII)**

*(LLIBRE DE MERAVELLES. LLIBRE SISÈ: DELS METALLS)*



## INTRODUCCIÓ

A les acaballes del segle XX es clou una època en què la ciència i la tècnica han irromput definitivament en la vida quotidiana de les persones. D'ençà que el segle XVII l'activitat científica inicià gradualment l'abandonament dels cercles purament il·lustrats i el conreu quasibé entre diletants, l'impacte de la ciència s'ha traduït, entre d'altres coses, en la revolució industrial del segle XIX i la gran revolució tecnològica d'aquest segle, i les repercussions socials d'aquests canvis han estat cada volta més notòries. El nostre segle ha estat l'inici de l'era nuclear, l'acceleració de la carrera d'armaments i les amenaces serioses a la pervivència de l'espècie humana i de la civilització, però també ha estat l'era del descontrol en l'explotació dels recursos naturals i dels efectes perniciosos de la contaminació ambiental que han desvetlat la consciència ecològica de molts ciutadans. Tot això, unit a la generalització de l'educació bàsica, si més no en el món desenvolupat, i, sobretot, la difusió dels grans mitjans de comunicació de masses, ha contribuït paradoxalment a girar envers la ciència i els científics les responsabilitats últimes de tota mena d'efectes nocius que donen una imatge de la ciència totpoderosa, per la seua capacitat de producció de noves eines, i alhora com un perill, per l'atribució que se li fa de tot el que deriva del seu mal ús per la societat i els poders públics. Més que mai, l'impacte social de la ciència i les relacions mútues entre la ciència, la tècnica i la societat han sofert un canvi històric i el poder de la ciència inspira un cert recel.

D'altra banda, països gens sospitosos de negligir la importància de la ciència, com els EUA, i en general el món anglosaxó, han vist amb preocupació com l'analfabetisme científic creixia de forma alarmant en la segona meitat d'aquest segle i, en conseqüència, per aquest i per d'altres motius, han impulsat programes d'investigació que foren capaços de millorar l'ensenyament de les ciències i les fessen arribar a tot-hom. Aquestes línies s'han mostrat convergents amb les iniciades arreu d'Europa, en països com França, Itàlia i Espanya, i a d'altres indrets. La psicologia educativa ha desenvolupat el paradigma conceptual constructivista, segons el qual l'aprenentatge es produeix en la mesura que hom és capaç de construir llurs propis significats i aquests convergeixen amb els coneixements que es pretén d'ensenyar.

En aquest marc conceptual constructivista, la investigació sobre el procés d'ensenyament aprenentatge de les ciències ha anat ampliant-se gradualment amb nombroses contribucions, des de la preocupació per superar les preconcepcions i idees

científiques prèvies dels alumnes fins al paper que han de tenir els treballs pràctics en l'educació científica o des de noves formes d'avaluar els coneixements científics al paper formatiu de les interaccions entre la ciència, la tècnica i la societat.

El treball que ara presentem vol ser una aportació a l'enriquiment d'aquest marc conceptual, amb la incorporació d'una visió històrica a l'ensenyament de les ciències físico-químiques. Com quedarà exposat tot al llarg d'aquesta memòria, creiem que l'ensenyament de les ciències no pot ser complet si hi manca una perspectiva històrica que mostre alguns aspectes del complex procés d'evolució dels coneixements científics i de les mateixes relacions entre la ciència, la tècnica i la societat en distints moments històrics. Aquest enfocament podria contribuir a millorar notablement la imatge de la ciència que tenen els alumnes i, en conseqüència, predisposar-los, d'una forma crítica, oberta i constructiva, a adquirir actituds favorables a la ciència que superen les visions més tòpiques i errònies que encara circulen per la nostra societat.

La primera part del treball (del capítol 1 al 4) l'hem dedicada a considerar quin paper té la història de la ciència en l'ensenyament habitual i n'hem fet una anàlisi crítica per tal de palesar l'escassa presència d'aspectes històrics i la influència que això pot tenir en la imatge de la ciència dels alumnes i en l'interès que manifesten pel seu aprenentatge. Incloem la fonamentació teòrica de la nostra hipòtesi, la seua operativització i el disseny d'instruments de verificació amb l'anàlisi dels resultats obtinguts.

En la segona part (capítols del 5 al 7) ens hem plantejat de quina manera es poden incorporar aspectes històrics a la classe de ciències físico-químiques per tal de millorar-ne l'aprenentatge. S'hi inclouen també la fonamentació i operativització de la hipòtesi, així com el disseny experimental i l'anàlisi dels resultats. El treball finalitza amb un resum de les principals conclusions a què s'ha arribat i amb les perspectives que deixa obertes aquesta investigació.

El contingut de la memòria del treball desenvolupat queda resumit en aquest

## ÍNDEX

**CAPÍTOL 1 : PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA ..... 5**

**CAPÍTOL 2 : FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI ..... 9**

2.1. ENUNCIAT DE LA PRIMERA HIPÒTESI SOBRE EL PAPER ACTUAL DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA EN L'ENSENYAMENT DE LES CIÈNCIES FÍSICO-QUÍMIQUES ..... 9

2.2. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA PRIMERA HIPÒTESI .....	10
2.2.1. Imatge de les ciències que presenta el model habitual d'ensenyament aprenentatge on la Història de la Ciència és escassament tinguda en consideració .....	11
2.2.2. La Història de la Ciència com a disciplina científica i la seua presència en la formació del professorat .....	16
2.2.3. Repercussions en la imatge de la ciència i les actituds dels alumnes .....	19
<b>CAPÍTOL 3 : DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÒTESI.....</b>	<b>23</b>
3.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI .....	23
3.2. DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÒTESI .....	30
3.2.1. Qüestionari per a l'anàlisi de llibres de text.....	33
3.2.2. Criteris de valoració del qüestionari per a l'anàlisi de llibres de text.....	35
3.2.3. Disseny per a contrastar el paper que el professorat atribueix a la Història de la Ciència en l'ensenyament i criteris de valoració .....	36
3.2.4. Disseny per a contrastar la imatge de la ciència que tenen els alumnes.....	38
3.2.5. Criteris de valoració dels qüestionaris dissenyats per al contrast de la imatge de la ciència que tenen els alumnes .....	45
<b>CAPÍTOL 4 : PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS DE LA PRIMERA HIPÒTESI.....</b>	<b>47</b>
4.1. RESULTATS OBTINGUTS AMB EL QÜESTIONARI SOBRE EL PAPER ASSIGNAT A LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA EN ELS LLIBRES DE TEXT.....	47
4.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS AMB ELS QÜESTIONARIS DE PROFESSORS .....	60
4.3. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS AMB ELS QÜESTIONARIS D'ALUMNES .....	66
4.3.1. Qüestionari d'alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.....	67
4.3.2. Qüestionari d'alumnes (B) sobre el desenrotllament de la ciència i les contribucions dels científics .....	72
4.3.3. Qüestionari d'alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.....	78
4.3.4. Qüestionari d'alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.....	83
<b>CAPÍTOL 5 : FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI .....</b>	<b>89</b>
5.1. ENUNCIAT DE LA SEGONA HIPÒTESI SOBRE LA INCORPORACIÓ DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA I LA MILLORA DEL SEU APRENTATGE .....	89
5.2. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA SEGONA HIPÒTESI.....	90
5.2.1. El nou model d'ensenyament aprenentatge de les ciències basat en el canvi conceptual, metodològic i actitudinal.....	92
5.2.2. L'ús de la Història de la Ciència abans del nou model d'ensenyament i aprenentatge de les ciències.....	94
5.2.3. Una nova visió de la Història de la Ciència .....	96
5.2.4. El paper de la Història de la Ciència en el nou model d'ensenyament i aprenentatge de les ciències.....	98
5.2.5. La vigència dels programes d'activitats com a eina didàctica.....	103
5.2.6. Criteris per al disseny d'un currículum amb un enfocament que incorpore aspectes d'Història de la Ciència.....	106

**CAPÍTOL 6 : DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA SEGONA HIPÒTESI..... 109**

6.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI.....109

6.2. DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA SEGONA HIPÒTESI .....112

6.2.1. Elaboració de materials que permeten la introducció d'activitats d'Història de la Ciència en les classes de física i química.....113

6.2.2. Disseny per a contrastar si entre els alumnes dels grups experimentals es produeix una imatge més correcta de les ciències físico-químiques i un augment de l'interès cap a elles.....114

6.2.3. Disseny experimental per a contrastar la valoració positiva del professorat de la introducció d'aspectes d'Història de la Ciència en les classes.....117

6.3. PRESENTACIÓ D'UN PROGRAMA D'ACTIVITATS .....119

**CAPÍTOL 7 : PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS DE LA SEGONA HIPÒTESI..... 147**

7.1. RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ QUE ELS GRUPS EXPERIMENTALS MOSTREN UNA IMATGE DE LA CIÈNCIA MÉS CORRECTA .....147

7.1.1. Resultats del Qüestionari (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència obtinguts amb els grups experimentals .....149

7.1.2. Resultats del Qüestionari (B) sobre el desenrotllament de la ciència i les contribucions dels científics obtinguts amb els grups experimentals .....157

7.1.3. Resultats del Qüestionari (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència obtinguts amb els grups experimentals.....164

7.1.4. Resultats del Qüestionari (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència obtinguts amb els grups experimentals.....174

7.1.5. Comentari de la informació recollida amb la fitxa d'observació de l'aula .....180

7.2. RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ DE LA VALORACIÓ POSITIVA QUE FAN ELS PROFESSORS DE L'ÚS D'ASPECTES HISTÒRICS EN LA CLASSE DE FÍSICA I QUÍMICA.....184

**CAPÍTOL 8 : CONCLUSIONS I PERSPECTIVES..... 195**

**BIBLIOGRAFIA ..... 205**

**ANNEXOS ..... 225**

**ANNEX I : Selecció bibliogràfica comentada..... 227**

**ANNEX II : Recull d'activitats amb contingut històric i comentaris per al professorat ..... 259**

**ANNEX III : Curs de professors sobre Història de la Ciència..... 371**

**ANNEX IV : Llibres utilitzats en l'anàlisi de textos..... 383**

## **CAPÍTOL 1 :** **PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA**

El model habitual d'ensenyament de les ciències de nivell secundari i batxillerat reforça la divisió tradicional dels sabers en àrees temàtiques inconnexes i amb això contribueix al seu allunyament de les humanitats. Així els alumnes reben un ensenyament fragmentat on la separació entre les ciències i les lletres encara sol ser un referent per a classificar *grosso modo* les diverses disciplines que es treballen a l'escola.

Moltes propostes pedagògiques que han sorgit per a millorar el procés d'ensenyament i aprenentatge de les ciències experimentals han posat l'èmfasi en aconseguir el canvi conceptual i metodològic en els alumnes i acostar-los a la forma de treballar dels científics, però no han contribuït prou a modificar els hàbits taxonòmics que enquaden indefectiblement la Física i la Química com a matèries més aptes i orientades cap a un determinat grup d'alumnes ja predisposats cap a les ciències. Tot i haver-se enriquit el model, creiem que encara és possible fer noves aportacions que contribueixen a generalitzar l'interès pel coneixement científic a la major part d'alumnes i millorar la imatge de la ciència que habitualment se'ls transmet.

La ciència encara sol aparèixer com una activitat a banda, que no té res a veure amb la literatura o la història, i, en contra d'una tradició historiogràfica ben arrelada (Bachelard 1938), habitualment no es sol considerar part de la cultura general, amb la qual cosa s'entrebanca la seua difusió massiva. Hauria de ser possible, doncs, superar la visió deformada i descontextualitzada de la ciència que encara es propaga de forma majoritària, com si el coneixement científic no hagués estat el resultat dels esforços duts a cap a través dels segles per homes i dones preocupats pels problemes del seu entorn social.

Entre els aspectes que conformen la visió descontextualitzada de la ciència hi destaca l'excessiva preocupació pel formalisme matemàtic que trobem en la majoria de llibres de text, on rarament es justifiquen de forma adequada aquestes prioritats operatives i s'acaba emmascarant els conceptes científics subjacents, vertader objecte de l'ensenyament aprenentatge, que sovint es veu reduït a un pur operativisme sense sentit.

La visió deformada de la naturalesa del treball científic també aflora en l'abús de l'inductivisme que impregna el fil conductor de molts temes presentats com a models de com es produeixen els coneixements científics i es sol concretar en la tergiversació del paper dels experiments en la investigació científica i en la ignorància dels problemes que l'han generada.

El paper pràcticament testimonial assignat a la història de la ciència es manifesta en la importància atribuïda a les contribucions individuals dels grans genis, que generalment són forasters, l'oblit sistemàtic del caràcter col·lectiu del treball científic i de les seues repercussions socials i el recurs habitual a les cites de caràcter anecdòtic i superficial.

En general podem dir que hi ha una desvinculació clara entre el saber científic i els problemes globals del coneixement, perquè manquen aquells aspectes que podrien ajudar a entendre la ciència com una part més de la cultura humana que afavorís l'adquisició d'una cultura científica general. La necessària implicació dels ciutadans en la presa de decisions que afecten el seu benestar ens recorda la postura d'un científic tan popular del nostre segle com Albert Einstein que recolzava obertament l'educació científica, convençut de la seua importància:

"per tal que una ciutadania informada pugui en forma intel·ligent determinar i donar forma a la seua acció, i que aprofite al millor interès, propi i de la humanitat" (Einstein 1995).

Els darrers anys nombroses propostes de renovació de l'ensenyament de les ciències físico-químiques han començat a considerar el paper que pot tenir la història de la ciència en la millora d'aquest ensenyament però, en general, no hi abunden els exemples d'aplicació pràctica a l'aula, per això ens hem proposat com a objecte d'investigació didàctica esbrinar quina imatge de la ciència transmet l'ensenyament habitual i en quina mesura aquesta imatge es pot veure influenciada per l'absència d'un enfocament històric, de manera que una introducció apropiada d'aspectes històrics pugui ajudar a modificar aquesta imatge i contribuir a millorar-la.

Tot això permet de plantejar-se els següents problemes concrets:

¿Quina imatge de les ciències físico-químiques mostra l'ensenyament habitual i quin paper s'hi atribueix a la història de la ciència? És a dir ¿quina imatge transmeten els llibres de text que habitualment són les eines més utilitzades en general per professors i alumnes?



¿Per què creuen els professors que els aspectes històrics són absents de forma significativa de la seua pràctica docent? ¿Considera el professorat que s'han d'incloure determinats aspectes trets de la història de la ciència per tal de millorar la imatge de la ciència que reben els alumnes i, en conseqüència, millorar el seu aprenentatge?

Per tant, ¿quina imatge tenen els alumnes d'ensenyament secundari i batxillerat de la història de les ciències físico-químiques i del paper que representa en el seu aprenentatge? ¿Quines conseqüències té això en l'actitud i en l'interès dels alumnes cap a les ciències físico-químiques i el seu aprenentatge?

¿És possible millorar l'actitud dels alumnes envers l'ensenyament aprenentatge de les ciències amb la introducció ponderada d'aspectes d'història de la ciència? ¿El professorat està disposat a modificar el seu plantejament didàctic per tal d'aconseguir-ho?

En resum, ¿quin paper juga la història de les ciències en l'ensenyament de la Física i la Química? i ¿quines conseqüències té això en els alumnes, tant pel que fa a la imatge de la ciència que tenen com a les seues actituds envers aquesta?

En la primera part del treball tractarem de donar resposta a aquestes qüestions i en la segona part farem propostes concretes que mostren com la introducció de la història de les ciències pot facilitar els processos d'ensenyament aprenentatge, millorar les actituds dels alumnes i acostar més a la realitat la imatge que tenen de la ciència.



## **CAPÍTOL 2 : FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI**

### **2.1. ENUNCIAT DE LA PRIMERA HIPÒTESI SOBRE EL PAPER ACTUAL DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA EN L'ENSENYAMENT DE LES CIÈNCIES FÍSICO-QUÍMIQUES**

---

És un fet inqüestionable que la ciència ha tingut un creixement espectacular d'ençà de les successives revolucions científiques i tecnològiques dels segles XVII-XVIII i XIX-XX i, paral·lelament, s'ha produït un increment significatiu del seu impacte social. Actualment vivim en un món enlluernat pels avanços de la ciència i de les seues aplicacions tècniques, alhora que creix la desconfiança per les possibles conseqüències nocives del progrés tecnològic (Duran 1992, Sánchez Ron 1995). Tot això ha anat acompanyat d'una presència progressivament més important dels coneixements científics en els currículums educatius, de manera que es tendia a donar preferència als continguts de caràcter conceptual i operatiu mentre s'ignorava en quina mesura la ciència hauria de formar part del marc de referència cultural (García Moliner 1995). Per la forma com s'ha anat incorporant la ciència al sistema educatiu al llarg del temps, podríem dir que la societat s'ha preocupat prioritàriament de la formació dels ciutadans que en un futur s'havien de dedicar de ple a l'activitat científica i tecnològica, mentre que s'ha oblidat que la ciència forma part del llegat cultural de la humanitat (Bachelard 1938), al que ha aportat uns valors innegables de pensament crític i racionalitat, i com a tal s'hauria de considerar imprescindible per a la formació integral de tots els ciutadans, més enllà de l'especialització professional (Jenkins 1994, Matthews 1994b). Això ha influït de forma decisiva en l'orientació tradicional de l'ensenyament de les ciències, dirigit sobretot a un alumnat més selectiu i especialment motivat (Hodson 1994), mentre que ha ignorat el conjunt de la població necessitada d'una inajornable alfabetització científica que mostrara el costat més humà de la ciència i la presentara com una activitat vinculada a l'avanç general de les conquestes de la humanitat. Podríem dir que s'ha posat més èmfasi en ensenyar ciència i s'ha oblidat la importància d'ensenyar sobre la ciència (Hodson 1994).

L'absència de perspectiva històrica potser ha generat una percepció global de la ciència i els coneixements científics com a cosa d'uns pocs que no afecta la resta de ciutadans, més enllà dels productes als que s'ha trobat una utilitat o els efectes perniciosos que el seu ús haja pogut engendrar.

Aquesta reflexió ens duu a plantejar-nos en quina mesura s'haurà vist afectada la imatge de la ciència per la manca d'un enfocament històric, per això com a hipòtesi de treball ens proposem de verificar que en l'ensenyament habitual s'ignoren els aspectes d'història de les ciències, la qual cosa genera una visió distorsionada de l'activitat científica. La primera part en què podem detallar la nostra hipòtesi és que **la perspectiva històrica es troba absent de l'ensenyament de les ciències físico-químiques en els nivells secundaris, sobretot el BUP i el COU, on s'ignoren, en general, els aspectes històrics, només s'utilitzen de manera superficial i s'introdueixen tergiversacions i errors històrics, per la qual cosa en conjunt es transmet una imatge de la ciència allunyada de la seua realitat interna com a procés de construcció de coneixements i deslligada del context social en què ha nascut i s'ha desenvolupat al llarg dels segles.**

La segona part de la hipòtesi és que, **consegüentment, podem suposar que els alumnes tinguen una visió deformada de la naturalesa de la ciència i de com es construeixen i evolucionen els conceptes científics i ignoren les seues repercussions socials, cosa que en darrer terme produirà una actitud negativa de rebuig envers les matèries científiques que entrebancarà el procés d'ensenyament aprenentatge de la ciència.**

## **2.2. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA PRIMERA HIPÒTESI**

---

Per tal de fonamentar la primera hipòtesi tractarem d'argumentar com ens hem plantejat la investigació d'aquests problemes i per què creiem que són significatius per tal de millorar l'ensenyament aprenentatge de les ciències experimentals. Podem dir que l'escàs paper atribuït per l'ensenyament habitual a la història de les ciències es fa palès en els aspectes següents:

- es presenta una imatge de les ciències i del treball que fan els científics que no mostra com s'han construït i han evolucionat els conceptes científics, deslligada de les complexes relacions amb la societat i amb els avanços de la tècnica, que en cada moment històric han influït decisivament en l'evolució dels coneixements científics, i es distorsiona la realitat històrica amb tergiversacions i errors;
- el professorat atribueix l'absència d'aspectes històrics a la prioritat donada a d'altres aspectes del currículum i al·lega la seua falta de formació en Història de la Ciència com a uns dels motius per a no incorporar-la als seus materials didàctics, encara que considere que podria augmentar la motivació dels alumnes;

- per tant els alumnes desconixeran el paper real que ha jugat la ciència en la història de la humanitat, la manera com s'han construït les principals teories, les complexes motivacions i els problemes que els han donat origen i les repercussions socials que han tingut les diverses contribucions científiques;
- així, doncs, pot ser que aquesta imatge deformada siga una de les causes de la disminució de l'interès dels alumnes per la ciència que els fa adoptar una actitud poc favorable envers el seu estudi.

### **2.2.1. Imatge de les ciències que presenta el model habitual d'ensenyament a- prenentatge on la Història de la Ciència és escassament tinguda en consi- deració**

La imatge que tenen els alumnes és conseqüència lògica del tipus d'ensenyament impartit, centrat en la transmissió verbal de coneixements, sense una reflexió profunda sobre el seu significat i que és destinada de manera preferent a aconseguir una acceptació dels conceptes i teories de forma receptiva (Gil 1983), on la perspectiva històrica és majoritàriament absent (Kauffman 1989, Bybee et al. 1991, Stinner 1995) i on s'ignoren les seues idees prèvies, encara que representen greus barreres epistemològiques per tal d'assimilar els nous conceptes, tal com demostren les dificultats que aquests han tingut per a obrir-se camí tot al llarg de la història (Saltiel i Viennot 1985, Steinberg et al. 1990).

Així l'ensenyament s'encamina a la memorització de definicions i s'organitza bàsicament a través d'un enfocament massa quantitatiu amb un excés de dades (Rañada 1995), que persegueix la repetició mecànica de fórmules sense fer cap reflexió prèvia de tipus qualitatiu que permeta d'establir els seus límits de validesa. D'aquesta manera s'afavoreix la imatge falsejada que les fórmules físiques i químiques i les operacions matemàtiques són, sense més, exactes i es poden emprar en qualsevol situació (Martínez 1987, Gil et al. 1991). Això contribueix a consolidar una visió rígida del mètode científic (Izquierdo 1996) com a seqüència d'actuacions que cal repetir acuradament, on és prioritari el control rigorós i es menysté tota concessió al dubte i la creativitat (Gil 1993). Aquest excés d'operativisme s'aprofita per a emascarar sota l'aparell matemàtic el significat físic dels coneixements i, en canvi, no es mostra el paper apropiat d'aqueix llenguatge formal com a eina que gradualment ha permès d'aprofundir en la descripció dels problemes. Ben al contrari, no s'hi fa cap esforç per fer la ciència accessible a tothom i encara s'hi reforça la visió elitista (Gil 1985 i 1993, Gil et al. 1991).

Nombroses investigacions didàctiques dutes a terme els darrers anys han demostrat reiteradament el fracàs del model d'ensenyament de les ciències basat en la transmissió verbal de coneixements ja elaborats. Així, malgrat l'èmfasi operativista abans criticat, s'ha posat en evidència la dificultat dels alumnes per a resoldre correctament els problemes i, sobretot, per a entendre el significat dels conceptes científics més elementals (Viennot 1976). Tampoc no s'han mostrat eficaces les propostes d'aplicació d'un "ensenyament per descobriment" (Ausubel 1978, Gil 1983, Hodson 1985) que pretenien mostrar una imatge de la ciència més pròxima a l'activitat dels científics a base de prioritzar els procediments i menystenir una mica els continguts de caràcter més conceptual, encara que les orientacions de caràcter més pràctic no han tingut gaire repercussió al nostre país a causa d'una deficient dotació dels centres pel que fa a equipament i instal·lacions, juntament amb una orientació del currículum de caràcter enciclopedista i un excés d'alumnat per aula (Vilches 1993).

L'ensenyament habitual sol plantejar els treballs pràctics a manera d'il·lustració, a fi de corroborar la perfecció de les teories presentades de forma acabada i en canvi s'ignora que els treballs pràctics es poden proposar com a petites investigacions obertes (Gil i Payá 1988, Payá 1991, González 1994) a partir de situacions que els alumnes puguen reconèixer com a problemàtiques i siguen capaços d'emetre hipòtesis i concebre dissenys experimentals que les puguen verificar. A això s'afegeix la manca d'un sentit històric que mostre els problemes (Otero 1985) a partir dels quals s'originaren i avançaren la majoria d'investigacions que al llarg del temps han fructificat en contribucions al coneixement científic i que ajude a abandonar la visió empirista i atèrica (Gil 1993) on es destaca el paper de l'observació i l'experimentació "neutra" sense referència a les hipòtesis ni al marc teòric on s'insereixen de forma coherent.

Un altre terreny on la recerca didàctica s'ha mostrat especialment fructífera ha estat l'exploració dels anomenats errors conceptuals, (Osborne i Wittrock 1983, Carrascosa 1983, Hierrezuelo i Montero 1989, Nakhleh 1992), sovint transmesos pels mateixos llibres de text (Solbes 1986, Carrascosa 1987) que interfereixen en l'aprenentatge dels conceptes científics. De vegades, més que d'errors, es tracta de preconceptes o idees alternatives dels alumnes que, com més endavant descriurem, mostren alguns paral·lelismes amb idees vigents al llarg de la història (Furió et al. 1987, Sequeira i Leite 1991, Furió i Guisasola 1993), apareixen organitzades de forma més o menys coherent i palesen les dificultats que històricament s'hagueren de vèncer per tal d'establir les noves idees avui vigents.

Pel que fa a la forma de creixement de la ciència, l'absència d'aspectes històrics es tradueix en una visió lineal i acumulativa, criticada, entre d'altres, per autors com

Kuhn, Feyerabend, Toulmin o Lakatos, que ignora l'existència de crisis importants en els paradigmes científics (Kuhn 1971) i la complexitat dels processos que menaren a l'establiment de diferents maneres de treballar (Chalmers 1982), cosa que ha permès de qüestionar fins i tot l'existència d'un mètode científic únic (Feyerabend 1975).

També resta al marge de l'ensenyament habitual un aspecte tan crucial com les repercussions socials de les contribucions de la ciència en diferents moments històrics (Bernal 1967, 1989; Schibeci 1986; Hodson 1988, 1994) i s'amaga la seua influència en la concepció del món, com si la ciència fos neutral (Kuhn 1971, Catalán i Catany 1986, Jiménez i Otero 1990) i sense cap ideologia, dedicada només a la producció de coneixements purs, de forma objectiva i imparcial.

L'escassa importància concedida a la història es tradueix en la mera presència de biografies i anècdotes inconnexes fora de tot context significatiu, que reforcen el caràcter parcial de la informació que atribueix al geni d'uns pocs cervells privilegiats el mèrit d'haver aconseguit els fruits d'un treball vertaderament impossible d'abastar sense un col·lectiu molt més ampli d'homes, i també dones, tradicionalment ignorades per diversos motius (Koblitz 1987, Outram 1987, Lewin 1989, Herzenberg et al. 1991, Spector 1995, Muñoz-Páez 1996) i que romanen en l'anonimat o són conegudes només per uns pocs especialistes com si la seua contribució a la ciència no fos mereixedora de cap reconeixement. Podem dir que es transmet una visió individualista (Gil 1993) de l'activitat científica i es fa creure que els resultats d'un sol científic o equip pot verificar o falsar una hipòtesi. Aquesta visió es pot detectar en l'enorme difusió que han tingut diverses anècdotes pseudo-històriques, la veracitat de les quals s'ha posat seriosament en dubte, tal com han denunciat ja fa temps prestigiosos historiadors de la ciència (Cohen 1950/1993, Holton 1976).

L'escàs paper atribuït al caràcter col·lectiu del treball científic i la referència constant als grans genis es tradueix especialment en la ignorància sistemàtica de les contribucions fetes per científics del nostre entorn cultural i territorial més immediat (Països Catalans, Espanya...). Aquests, a priori, no es consideren dignes de figurar en aqueixa mena d'Olimp on es troben només els grans noms de la ciència moderna per tots esmentats a tort i a dret. S'ha difós una visió de la història de la ciència centrada només en les "grans figures" de manera que sota aqueixa perspectiva resulta bastant difícil trobar en tots els països i tot al llarg de la història moltes d'aquestes figures homologables. Per contra, és evident que la major o menor contribució d'un país a la ciència sol ser fruit de diverses circumstàncies socials i històriques (López Piñero 1979, 1982) i que, en qualsevol cas, entre nosaltres podem trobar molts noms dignes de ser tinguts en compte per les seues contribucions gens anecdòtiques al desenvolupament de la ciència.

pament de la ciència europea i en diferents èpoques històriques (López Piñero et al. 1983, Sánchez Ron 1994, López Piñero i Navarro 1995, Pérez i Sols 1995).

És coneguda l'estèril polèmica sobre la ciència espanyola (López Piñero 1979, Barona 1994) que ocupà diversos grups d'intel·lectuals enfrontats per les ideologies progressista i conservadora durant la segona meitat del segle XIX. Enmig d'aquesta polèmica són significatives les paraules d'Echegaray que esmenta López Piñero (1979) i que reproduïm pel seu interès. Segons Echegaray a l'Edat Moderna *"la ciencia matemática nada nos debe: no es nuestra; no hay en ella nombre alguno que labios castellanos puedan pronunciar sin esfuerzo"*. López Piñero recorda que no tenim un Descartes, un Fermat, un Newton o un Leibniz —amb paraules d'Echegaray— *"aquí donde no hubo más que látigo, hierro, sangre, rezos, braseros y humo"*. En aquest context també resulta il·lustrativa l'opinió expressada a l'exposició de motius del pla Pidal del 1845 sobre el paper de les ciències en l'ensenyament secundari, que esmenta A. Moreno (1988), segons la qual els estudis de ciències són *"propios de los hijos del norte, más tardíos sí, pero más atentos y meditabundos, no cuadran a ingenios vivos, ardientes y de imaginación fogosa, como son generalmente los que nacen en el mediodía"* que devem ser nosaltres.

Aquesta polèmica encara sembla perdurar en alguna mesura. Autors com A. F. Rañada (1995) consideren escassa la presència de professionals de la ciència a Espanya, comparat amb la resta de l'Europa de què formem part, fins a l'extrem de ser considerada encara l'espanyola com una cultura acientífica on s'observa un desequilibri clar entre la ciència bàsica i l'aplicada. La conseqüència funesta, segons Rañada, és la poca productivitat de la nostra economia i la dependència excessiva de la creativitat exterior. Aquesta preocupació s'ha fet palesa recentment per mitjà d'un manifest signat a El Escorial per 16 científics espanyols (Alario et al. 1996), entre els quals figuren noms com M. A. Alario, F. García Moliner, J. M. Sánchez Ron o el mateix A. Fernández Rañada, dirigit al Rei, al Govern de l'estat i a l'opinió pública espanyola, on expressen la seua preocupació per la visió poc favorable a la ciència existent en aquest país, amb les conseqüències que té per al desenvolupament de la investigació científica i el progrés socio-econòmic, i suggereixen algunes mesures per a pal·liar unes deficiències que ja sembles cròniques, encara que, malauradament, no aborden el tema fonamental de l'educació científica bàsica.

Com a conseqüència de tot el que hem dit, podem afegir que el model habitual d'ensenyament presenta un enfocament tancat, acabat, tergiversat, etc., on predomina una visió ahistòrica i aproblemàtica (Silverman 1992, Gil 1993). Aquesta visió de la ciència té caràcter dogmàtic (Griffith i Benson 1994) i presenta l'activitat científica



com una construcció acabada amb coneixements elaborats com a productes, l'origen, sentit i validesa actual dels quals s'ignora per considerar-los atemporals, per tant, el plantejament didàctic que hi predomina consisteix a transmetre verbalment aquells coneixements que ja es consideren definitivament establerts.

Tot això deixa en l'alumnat una petjada difícil d'esborrar amb el pas del temps. Només cal que ens fixem en la imatge de la ciència que ha quedat en moltes persones després d'anys de passar per l'escola i desvincular-se del món de la ciència. Amb prou feines recorden quatre anècdotes, dues fórmules —això sí ben apreses de memòria— i poca cosa més. La major part ignora aspectes bàsics per a la comprensió dels més elementals fenòmens físics i químics presents en el món quotidià. No diguem ja les dificultats que troba qualsevol proposta de divulgar la ciència a través dels mitjans de comunicació de masses amb el conegut argument de la complexitat de les idees científiques, aptes només per a entesos, mentre resulta inquietant veure que els mateixos mitjans no tenen cap escrúpol per esmerçar esforços en donar un cert "prestigi" a postures irracional i a científiques, sinó anticientífiques, amb arguments ben frívols com la suposada demanda i acceptació del públic.

Per la seua banda, paradoxalment, el professorat, que reconeix estar mancat d'una formació específica, és capaç d'intuir possibles avantatges de l'ús de la història de la ciència, però en canvi no els posa en pràctica, això quan no s'hi oposa rotundament amb els coneguts motius de la manca de temps, el poc interès -de qui?- o la poca importància, raons que en realitat revelen una preferència pel saber academicista de caràcter enciclopèdic i una descontextualització dels coneixements encaixonats en assignatures inconnexes entre si.

El repte està, doncs, en presentar la ciència com a part indestriable de la cultura, de manera que ningú pugui sentir-se plenament satisfet del seu estatus o nivell cultural si no és capaç d'entendre els principis bàsics que la ciència ha establert sobre la comprensió del món natural i incorporar als seus hàbits de pensament les formes pròpies de la ciència: l'esperit crític, la racionalitat, l'anàlisi objectiva i la contrastació de les fonts d'informació, la provisionalitat de les solucions suggerides, etc. Al capdavall es tractaria d'aconseguir la imatge de la dimensió humana de la ciència (Schibeci 1986, Kamsar 1987, Cushing 1991, Silverman 1992, Izquierdo 1996) com a fita de l'ensenyament, cosa que tindria repercussions força positives pel que fa a les actituds dels alumnes (Vilches 1993). Ben al contrari, l'ensenyament tradicional no es preocupa gaire d'estimular l'interès cap a la ciència com a eina cultural i mentre un estudiant universitari de ciències als EUA pot seguir cursos superiors d'altres àrees del saber i la cultura, no és tan fàcil trobar el cas contrari d'un estudiant d'humanitats que s'acoste

amb garanties d'èxit a la comprensió de les més recents fites de la ciència, que es solen presentar emmarcades en el tractament enciclopèdic i la profusió de formalisme matemàtic, sense transmetre la fascinació que els científics poden aportar a les seues matèries.

La manera de fer possible aquesta visió humanista de la ciència a través de la utilització de la seua història la mostrarem en la segona part del treball, però si volem defensar un ús coherent de la història a l'ensenyament, prèviament haurem de veure en quina mesura la Història de la Ciència es considera una disciplina de caràcter científic.

### **2.2.2. La Història de la Ciència com a disciplina científica i la seua presència en la formació del professorat**

La Història de la Ciència apareix com a disciplina científica als EUA gràcies a la labor de George Sarton que en 1913 fundà la revista *Isis* i en 1924 constituí la *History of Science Society* (Navarro 1983a, 1983b; Barona 1994). Aquesta nova disciplina naix orientada per una visió de la història de caire internalista, és a dir, més preocupada per l'evolució dels conceptes científics tot al llarg del temps, que no per les repercussions i les mútues influències socials.

A l'antiga URSS a iniciativa de V. Vernadski sorgeix el 1921 una organització per a l'estudi de la Història de la Ciència, la Filosofia i la Tècnica, a recer de l'Acadèmia de Ciències. L'any 1922 aquesta proposta passa a denominar-se *Comissió per a la Història dels Coneixements* (Mikúlinski et al. 1981). Els informes dels delegats soviètics al 2n Congrés Internacional d'Història de la Ciència celebrat el 1931 a Londres posaven de manifest els factors socials del desenrotllament científic i exerciran una gran influència en els científics occidentals (Mikúlinski et al. 1981, Ten 1987) que des d'aleshores abandonaran la perspectiva "interna" i plantejaran una història d'orientació social o externa que va influir en autors com Bernal (1939, 1954), Haldane (1934) i Merton (1938). R. K. Merton utilitzà les paraules ciència-tècnica-societat en un treball de 1938 i és considerat el fundador de la Sociologia de la Ciència.

La fundació el 1958 de la *Society for the History of Technology (SHOT)* fou una fita important per a la constitució d'una història global de la ciència i la tecnologia (Nielsen 1993). Un any després es publicà la revista *Technology and Culture* (Kranzberg i Pursell 1981).

Tot i aquests precedents, la influència de la Història de la Ciència en l'activitat docent no apareix fins els anys 50 als EUA. Efectivament, la primera universitat ame-

ricana on s'inicia la utilització d'un enfocament històric és Harvard, d'on sorgirà el famós llibre de Gerald Holton (1952), reeditat el 1976, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science*, text que marcarà una fita en l'ús de la història i la filosofia de la ciència en l'ensenyament de la ciència. Una altra edició modificada apareixerà en 1958 elaborada juntament amb el professor Duane Roller. També esdevindrà un clàssic el llibre de James B. Conant (1957) *Harvard Case Histories in Experimental Science* que recull els materials que feia servir el prestigiós professor per a l'estudi pels alumnes d'humanitats de "casos històrics", basats en processos clau en el desenvolupament de la ciència i llurs implicacions filosòfiques i socials. Alguns anys més tard (1970) veurà la llum *The Project Physics Course*, versió per als alumnes d'ensenyament secundari (16-18 anys) força divulgada als EUA durant els anys 70, que tenia també una versió de nivell universitari, de la que era també autor el professor G. Holton amb altres col·legues (Rutherford et al. 1970). Aquest text tingué un ampli ressò als centres de secundària nord-americans, la seua difusió aplegà a un 15 % del seu alumnat, i conegué també, entre d'altres, una versió italiana (Brush 1991). Es publicaren nombrosos estudis per tal d'avaluar la seua eficàcia (Welch 1973, en Matthews 1994b) amb informes positius. Entremig, és digne de menció el professor J. J. Schwab que proposà els seus treballs sobre la "narrativa de la investigació" (1962), en l'època d'efervescència dels enfocaments experimentalistes, on plantejava presentar als alumnes dades històriques reals que no es podien obtenir al laboratori escolar i també utilitzar la descripció de les situacions problemàtiques amb què s'enfronten els investigadors.

Tanmateix, llevat d'un cercle reduït d'iniciats, podem dir que el ressò i la influència dels treballs esmentats en el nostre país han estat més aviat minsos. Entre les notables excepcions que han tingut certa difusió hi ha a l'ensenyament secundari els llibres de text de Beltrán et al. del 1976 per al curs 2n de BUP i del 1977 per al 3r de BUP i els materials del *Grup Faraday*, publicats entre el 1982 i el 1988, en part inspirats en els materials de Harvard (Caamaño 1983). A nivell universitari han aparegut les propostes del professor Sánchez del Río (1986) que presenten una visió internalista de l'evolució històrica dels conceptes físics.

Aqueixa escassa repercussió pot ser conseqüència de l'estatus que s'ha atribuït a la història de la ciència com a disciplina en el món de l'ensenyament superior en els darrers anys. Llevat de comptades excepcions, en general ha estat una matèria considerada menor per un gran nombre d'ensenyants i quan s'ha plantejat ha estat de forma dogmàtica, per a desqualificar, sense més, les antigues teories que avui es consideren superades o per a enaltir el treball dels científics més brillants i famosos, segons el

criteri d'aquells que han tingut el privilegi de ser els divulgadors de la major part de coneixements científics moderns. Encara que, en general, s'ha optat més per ignorar qualsevol referència històrica. Al cap i a la fi, no mostrar la història explícita de la ciència és una manera de fer història tergiversant realitats com les que ja hem esmentat.

Per això, l'explicació de la imatge de la ciència que transmet l'ensenyament habitual podem trobar-la, sens dubte, en la imatge que a la seua vegada presenta la mateixa universitat a aquells que esdevindran els futurs professors. No ens ha d'estranyar, doncs, que fins fa pocs anys la pròpia Història de la Ciència fos una matèria ignorada en la majoria de centres universitaris d'aquest país, cosa que ha afavorit el desconeixement general i la falta de formació de la major part del professorat en actiu. Tan sols a partir dels anys 80 ha entrat a la universitat i no sense crítiques que qüestionen la seua validesa (Sánchez Ron 1988, Gutiérrez 1993) ja que no es veu clar quin paper positiu hi pot jugar o si no serà més aviat un entrebanc per al desenvolupament i la formació dels científics a un nivell superior, tasca sagrada a la que semblen irremissiblement abocats els professors.

Un altre tema és la repercussió que ha pogut tenir entre l'alumnat universitari l'aparició d'aquesta disciplina, considerada menor, dins del seu currículum. No sembla que haja estat rebuda amb gaire entusiasme, posat que el segment de població estudiantil que accedeix a les facultats de ciències i escoles d'enginyeria ja sol estar condicionat per una visió de la ciència que no sembla tenir massa temps a perdre amb aquestes qüestions de l'antigor, que ja es creuen superades, i són escassos els alumnes amb una motivació diferent els que apleguen a escollir-la. Les darreres reformes dels plans universitaris, a la Universitat de València, si més no, l'ofereixen en els primers cursos i no en els darrers com s'havia fet fins ara, amb la qual cosa potser canvie una mica la perspectiva de futur d'aquesta matèria.

La inclusió de la història de la ciència en els programes universitaris també ha generat certes prevencions o pors (Gutiérrez 1993) pels efectes suposadament distorsionadors en l'aprenentatge de la "vertadera" ciència que és l'actual, a la que sembla atribuir-se-li un paper definitiu que supera el passat, amb la qual cosa la història vindria a destorbar aquesta visió acabada que molts ensenyants tenen de la ciència, diguem-ne, oficial. Una vegada més es pretén mostrar la ciència pública i no la privada (Holton i Brush 1976, Otero 1989), és a dir, només el producte final (Gaskell 1992) que els científics han elaborat després de moltes vicissituds individuals i col·lectives i de nombroses temptatives sovint abocades al fracàs. Tot aquest rerefons de l'activitat

científica passa desapercbut per al neòfit que, al capdavant, s'emporta una imatge distorsionada de la ciència.

La darrera conseqüència de la visió errònia de la ciència i de l'escàs paper atribuït a la seua història serà l'absència de formació en aspectes històrics del professorat de ciències de nivell secundari, sorgit majoritàriament de les facultats de ciències, en franca contradicció amb l'interès que solen manifestar molts ensenyants per la seua possible aplicació didàctica (Carrascosa et al. 1984).

La deficient formació del professorat i la pròpia concepció que aquest té de la naturalesa de la ciència figuren entre les preocupacions de nombrosos investigadors en didàctica de les ciències (King 1991, Gil 1993, Guilbert i Meloche 1993, Gagné 1994, Matthews 1994a) i serà un dels objectius que es proposarà d'acomplir a fi d'aconseguir un perfil nou de professorat de ciències (Gil 1993, Martinand 1993, Furió 1994a, Izquierdo 1996) que contemple la seua tasca docent sota perspectives diferents, més directament implicades en l'assumpció de l'activitat docent com a procés d'investigació obert.

A la forma d'ensenyar del professorat s'unirà la imatge acabada de la ciència que també mostren els llibres de text més a l'abast, on la perspectiva històrica és majoritàriament absent (Brackenbridge 1991, Bybee et al. 1991, Cushing 1991, Solbes i Traver 1996) i incorpora nombroses tergiversacions. La importància que encara es concedeix als llibres de text (Brackenbridge 1991, Cushing 1991) i la credibilitat que té per a la majoria del professorat la informació que contenen (Cohen 1950/1993) fa que la seua influència siga considerable com a vehicle de difusió de la imatge de la ciència que arriba als alumnes. Per a autors com Brackenbridge (1991) el paper del llibre de text en les classes de Física és més imprescindible que en d'altres matèries, com ara la Geografia o la Història, on s'accedeix més sovint a d'altres fonts de coneixement. Aquesta dependència es mostra especialment incident en el model de ciència transmès ja que l'edició i difusió de llibres es sol guiar per criteris comercials, la qual cosa condiona i dificulta la incorporació de textos innovadors, com ara els que plantegen incloure aspectes històrics.

### **2.2.3. Repercussions en la imatge de la ciència i les actituds dels alumnes**

A conseqüència de tot això, la imatge de la ciència que tenen els alumnes es ressentirà dels efectes d'una orientació didàctica basada en el model de transmissió verbal, a càrrec d'un professorat deficientment format en aspectes històrics i duta a terme per mitjà de llibres de text que no mostren una perspectiva històrica adequada.

Les repercussions de la forma d'ensenyar en la imatge de les ciències que tenen els alumnes han estat posades de manifest per diversos treballs que han explorat alguns aspectes que poden estar relacionats amb la manca d'un enfocament històric a l'ensenyament habitual i a la presentació descontextualitzada dels coneixements.

Entre els aspectes que convé remarcar hi ha la persistència de les preconcepcions o idees prèvies dels alumnes que interfereixen i dificulten l'aprenentatge de les noves idees que presenta el professor. Anteriorment hem fet referència a l'existència de diversos paral·lelismes entre algunes preconcepcions dels alumnes i diferents idees vigents tot al llarg de la història, amb el factor d'agreujament que suposa la seua persistència en els estudiants, tot i haver passat per diferents cursos de ciències. Aquestes preconcepcions, a més, apareixen en molts camps del coneixement científic (Carrascosa 1983, 1985) i sovint mostren diversos graus de paral·lelisme amb les idees històriques. Abunden els preceptes associats a la interpretació de fenòmens mecànics com la caiguda lliure i la influència de la força sobre el moviment, alguns dels quals recorden l'antiga teoria de l'ímpetu (Saltiel i Viennot 1985, Sequeira i Leite 1991), encara que el paral·lelisme no és complet. També s'han fet estudis per a detectar les idees dels estudiants sobre conceptes com ara la càrrega i el potencial elèctric (Furió i Guisasola 1993) i llur relació amb les visions substancialistes dels primers models elèctrics del segle XVIII, així com la influència de la visió electrostàtica en la construcció del concepte de circuit elèctric (Benseghir i Closset 1993). En química, diversos treballs han mostrat les idees dels alumnes sobre les propietats dels gasos (Furió et al. 1987, Pasdeloup i Laugier 1994), la discontinuïtat de la matèria (Nakhleh 1987) o el significat de l'equilibri químic (Quílez et al. 1993) i s'han plantejat fins a quin punt la Història i la Filosofia de la Ciència poden contribuir a aclarir conceptes com els de "quantitat de substància" i "mol" (Azcona i Furió 1993) que habitualment són mal apresos pels alumnes. En la interpretació de reaccions químiques com la combustió també mostren els alumnes idees que recorden la vella hipòtesi de les afinitats (Gaudillière 1994, Pasdeloup i Laugier 1994), si bé les barregen amb les nocions ja adquirides sobre el paper de l'oxigen. En tots els casos s'hi detecta una manca habitual del tractament històric que permetria de clarificar les idees dels alumnes i anticipar-se als obstacles epistemològics que aquestes representen, a semblança de l'evolució històrica. Aqueix enfocament ahistòric s'assenyala, doncs, com a possible causa de la persistència d'aquestes idees més enllà de la presentació i l'estudi de les noves teories actualment acceptades.

A les dificultats de caràcter conceptual cal afegir també la deficient imatge que es mostra de la naturalesa del treball científic, tot i l'intent de presentar un currículum

de ciències ple d'activitats de caire procedimental com els treballs pràctics. Diversos autors han constatat les deficiències d'aquest model per a ensenyar la naturalesa del treball científic (Jenkins 1990, Bybee et al. 1991, Solomon 1991, Gaskell 1992, Gil 1993) i han suggerit la conveniència d'explorar el paper que hi pot tenir la visió històrico-filosòfica a l'hora de construir una imatge més correcta de la ciència.

La descontextualització i deshumanització dels continguts presentats també contribueix a deformar la imatge de la ciència. D'una banda, es sol mostrar una visió estereotipada dels científics i llur activitat (Schibeci 1986), que remarca l'empirisme i oculta el caràcter creatiu del treball científic. D'altra banda, els estudiants perceben que l'activitat científica es troba desconnectada del món real (Penick i Yager 1986) i no s'adonen de les influències socials que orienten determinades línies de treball científic, de com són diversos els interessos que condicionen la tria dels temes preferents d'investigació i, en definitiva, ignoren que la ciència i la tecnologia progressen impulsades pel tipus de societat en què es desenvolupen (Jiménez i Otero 1990, Gaskell 1992) i no són de cap manera activitats neutrals i purament objectives.

També són abundosos els estudis referits a l'actitud de desinterès i distanciament dels alumnes envers la ciència. Diversos autors (Aikenhead 1985, Penick i Yager 1986, Boyer i Tiberghien 1989) han resseguit les possibles causes del rebuig generalitzat a les matèries científiques i han constatat la visió que tenen els alumnes d'aquestes matèries com a més difícils, memorístiques, amb continguts de caràcter abstracte. Al nostre entorn també s'han fet estudis exploratoris sobre les actituds dels alumnes cap a les matèries científiques (Solbes i Vilches 1989, Acevedo 1993, Vilches 1993). Alguns d'aquests treballs han mostrat amb detall que la modificació de les propostes curriculars, amb la incorporació d'aspectes com les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat que augmenten l'interès dels alumnes i els aproximen a la realitat i a les repercussions del treball científic, té un efecte positiu sobre la imatge de la ciència i genera actituds positives envers el seu aprenentatge (Vilches 1993).

Cal suposar que els factors assenyalats són els causants de la deficient visió de la ciència que tenen els alumnes ja que, juntament amb d'altres elements, contribueixen a configurar el model d'ensenyament tradicional, com ara l'exigència de retenir de forma irreflexiva conceptes i fórmules, la demostració que es dominen aquestes destreses a través d'un procediment d'avaluació centrat en exàmens sobre els continguts memoritzats (Alonso et al. 1992), la suposada objectivitat dels criteris emprats per seleccionar els alumnes especialment dotats per a aquesta mena de sabers, etc. No podem ignorar que la complexitat dels processos d'ensenyament aprenentatge inclou també factors externs com els de caràcter socio-cultural, però hem de restringir les

nostres propostes al terreny didàctic, on podem actuar de forma efectiva, ja que aspectes com el clima de l'aula, les actituds i el comportament del professorat poden exercir una influència més directa sobre les actituds dels alumnes, tal com alguns treballs han revelat (Simpson i Oliver 1990). Per això, hem de considerar que la modificació d'aquesta imatge deficient de la ciència ha de venir per mitjà del canvi d'aquells factors assequibles a les possibilitats d'actuació més immediata del professor, la qual cosa implica un canvi en la pràctica docent que s'encamine a millorar la forma d'ensenyar les ciències i tinga en compte les aportacions de la pedagogia i la psicologia educatives, juntament amb les contribucions que pot fer la Història i la Filosofia de la Ciència (Gil 1993).

Per tot el que fins ací hem exposat considerem que les nostres hipòtesis sobre la influència de la manca de perspectiva històrica a l'ensenyament habitual en la imatge deficient de la ciència que s'hi mostra es fonamenten en els diferents aspectes assenyalats i permeten fer-nos una idea de la importància d'abordar aquest problema i proposar solucions que contribueixen a millorar l'ensenyament de les ciències i augmenten l'apreciació dels alumnes per aquestes matèries.

La incorporació d'una perspectiva històrica que destrie aquells elements més adients per a explorar les dificultats conceptuals dels alumnes, per a mostrar el procés de construcció dels coneixements científics, els aspectes humans del treball científic i les relacions entre la ciència, la tecnologia i la societat en diferents moments més rellevants de l'evolució històrica hauria de facilitar que els alumnes puguin comprendre millor la naturalesa i l'evolució del coneixement científic i, per tant, es troben en condicions per a valorar adequadament les contribucions de la ciència al desenvolupament de la humanitat. Aquesta faceta humanitzadora hauria de ser un objectiu prioritari de l'ensenyament per tal de situar la ciència en el lloc que li correspon entre les aportacions de l'intel·lecte humà i la faça assequible a la majoria dels ciutadans.



## CAPÍTOL 3 : DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÒTESI

### 3.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA PRIMERA HIPÒTESI

---

Fins ací hem tractat de fonamentar la hipòtesi que constitueix la primera part del nostre treball. Tot seguit assajarem de donar-li forma operativa, desenvoluparem les subhipòtesis que se'n deriven susceptibles de ser verificades de forma directa i descriurem la manera com han estat dissenyats els instruments usats en la seua validació.

Segons aquesta primera hipòtesi, considerem que **en l'ensenyament habitual es mostra una imatge deformada de les ciències on s'ignoren els aspectes històrics i s'introdueixen errades i tergiversacions. Tot això fa que els alumnes tinguem una visió esbiaixada de la forma com es construeixen i evolucionen els conceptes i les teories científiques que al capdavall els mena a adoptar una actitud de rebuig i de poca motivació envers l'estudi de les ciències.**

A fi d'especificar un poc més en què consisteix aquesta visió deformada de la ciència, direm que, en general, la utilització de recursos històrics és més aviat escassa, però quan es dóna hi convé distingir dos usos diferents: la utilització explícita i la utilització implícita.

La **utilització explícita** es centra en alguns aspectes de l'anomenada *història interna* de la ciència. Aquest ús es concreta en el recurs esporàdic a les biografies dels científics més famosos, l'esment d'algunes anècdotes poc contrastades, la referència als grans invents i aplicacions de la ciència i la història d'alguns conceptes i models només en uns pocs capítols.

En concret, és freqüent referir-se a les controvèrsies sobre la naturalesa de la llum o enumerar una retafila de models quan s'explica l'estructura de l'àtom, per posar dos exemples ben coneguts i força recurrents.

També és freqüent la utilització de la història que fan alguns llibres que mostren el procés de construcció d'alguns conceptes i s'entretenen a explicar com i per què s'han introduït aquests conceptes, abans d'introduir els principis bàsics. Aquesta

introducció és molt típica en els temes de física quàntica i sol anar acompanyada d'una metodologia de transmissió verbal (Solbes 1986).

La **utilització implícita** es fa palesa en allò que podríem anomenar una història per a ús dels mateixos científics, feta a mode de reconstrucció racional de la història (Lakatos 1974). En aquest ús la introducció de conceptes, la presentació d'experiments, l'elaboració de conclusions en forma de lleis, etc. es troben impregnats per unes visions molt *sui generis* del que han estat els processos de construcció del pensament científic, visions que d'altra banda han estat criticades reiteradament pels teòrics del pensament científic (Popper 1959, Kuhn 1971, Feyerabend 1975, Chalmers 1982). A tall d'exemple, és coneguda la tergiversació dels treballs de Dmitri Mendeleiev quan es volen reinterpretar des de la perspectiva moderna com a precursors de l'establiment de l'estructura electrònica dels àtoms, tot i que les seues contribucions a l'elaboració de la llei periòdica i la taula dels elements s'emmarquen en un context històric bastant allunyat de la línia d'investigació que portà a resoldre els problemes de l'estructura interna dels àtoms (Bensaude-Vincent 1984, 1991b).

Aquest ús implícit es caracteritza, doncs, per una pila d'errors i tergiversacions de caràcter històric i epistemològic, que podem detallar així:

1) **Començar un tema amb experiments anomenats crucials**, segons l'ideal inductivista o empirista que espera obtenir la inferència de la llei a partir dels resultats de les observacions i ignora les situacions problemàtiques que rauen en l'origen de les investigacions, que poden produir canvis en les teories existents i que condicionen la mateixa forma de dur a terme les observacions (Chalmers 1982). Un bon exemple n'és la utilització de les experiències de calcinació del mercuri i de reducció de l'òxid de mercuri realitzades per Antoine Lavoisier, que s'associen a l'ensenyament de les nocions d'oxidació i reducció, i no sols no produeixen el benefici pedagògic desitjat (Gaudillière 1994), sinó que més aviat introdueixen errors empiristes (Izquierdo 1988). En física un exemple semblant d'aquest enfocament distorsionat és la introducció de la teoria de la relativitat a partir de l'experiència de Michelson i Morley amb el propòsit d'accentuar el seu paper crucial, quan el mateix Einstein la ignorava en el moment que proposà les seues idees, tal com explica a les seues notes autobiogràfiques.

2) **Fer creure que el principal motiu que impulsa la creació és d'índole formal i matemàtica**, com quan es diu que va fer falta el geni de Maxwell per tal de descobrir la inconsistència de les equacions dels camps elèctric i magnètic que actualment porten el seu nom i que foren proposades per Gauss, Ampère i Faraday, i s'igno-

ren les dificultats que es plantegen per a interpretar el concepte de camp que el mateix Maxwell explicava al principi amb recursos mecanicistes com l'èter. També s'observa aquesta tendència formalista quan s'insisteix a presentar els càlculs estequiòmètrics per mitjà d'artificis matemàtics com els equivalents, actualment desproveïts d'un sentit químic coherent, que només es recolzen en la llei de Richter, de caire empirista, i que han estat superats per la moderna definició de mol, basada en propietats macroscòpiques mesurables com la massa molar de les substàncies pures.

3) **Mostrar que la ciència és obra bàsicament d'uns pocs grans genis** dotats d'un talent innat insuperable i ajudats per la inspiració i l'atzar, alhora que s'oblida el seu caràcter de creació col·lectiva, fruit del treball de molts homes i també de moltes dones, i s'ignoren les complexes relacions que condicionen el desenvolupament científic, de cap manera atribuïble a la tasca d'uns quants individus afortunats.

Igualment **s'introdueixen errors implícitament per omissió** quan s'ignoren alguns aspectes històrics a causa d'una idea de la ciència i del currículum caracteritzada per la neutralitat i l'objectivitat, de manera que:

4) **No es mostra el caràcter temptatiu** de la ciència ni els errors i controvèrsies que apareixen en el procés de creació que genera les noves idees científiques (Silverman 1992), ni les dificultats que tenen aquestes noves idees per a ser acceptades per la comunitat científica, per això

5) **s'atribueixen algunes aportacions o parts de la teoria moderna a científics anteriors**, com si les teories nasquessin ja completes, com és el cas de les equacions del moviment de translació d'Euler ( $F=m \cdot a$ ) que habitualment s'atribueixen a Newton (Truesdell 1975) sense fer cap referència al seu autor vertader, o el ja esmentat de les equacions de Maxwell que s'atribueixen a aquest físic i s'oblida injustament la contribució de Heaviside i Lorentz (Berkson 1981), o s'assigna a Lavoisier l'autoria explícita de llei de conservació de la massa i s'obliden moltes altres referències (Boyle, Newton, Euler, Lomonosov...) al principi de conservació de la matèria (Izquierdo 1988, Bensaude-Vincent 1991a, Mierzecki 1991); o s'atribueix a Ostwald la utilització del pes molecular quan aquest autor defensava els càlculs per equivalents basats en la llei de Richter i rebutjava l'atomisme (Mierzecki 1991).

6) Tampoc **no es mostren les limitacions de les teories** ni els problemes pendents de solució, com si la ciència ja ho hagués resolt tot. Això no és pas fruit de la casualitat sinó conseqüència del dogmatisme (Griffith i Benson 1994) que considera la ciència com una acumulació de "veritats", segons l'ideal realista ingenu (Chalmers

1982) on no hi ha cap intent per mostrar el valor de la versemblança de les afirmacions científiques i el seu grau d'aproximació a la realitat objectiva.

7) La mateixa visió acumulativa fa que **no es mostren les crisis dels grans paradigmes** (Gil i Solbes 1993), ni s'esmenten els problemes que hi ha en les teories incloses en aquests paradigmes, que produeixen el canvi de conceptes i models, llevat de les excepcions ja esmentades dels models de la llum o de l'àtom. Així, no es para esment en les visions mecanicistes (calòric, flogist, èter...) que impregnaren bona part de les idees científiques fins a la darrereria del segle XIX i apareixen sovint a la base de l'explicació de la fenomenologia de la calor o de les reaccions químiques com la combustió abans d'acceptar les noves interpretacions basades en les hipòtesis atomistes.

8) Així, doncs, **s'omet el context històric global** del que formen part les teories científiques que es presenten inconnexes i sense mostrar les seues repercussions socials, ni tampoc les complexes relacions que afavoriren o entrebancaren el seu establiment (Serres 1991, Silverman 1992, Caamaño 1966).

9) Una darrera conseqüència d'aquesta ciència que destaca els grans autors és l'escassa valoració i, conseqüentment, **l'oblit sistemàtic de les aportacions a la ciència realitzades al nostre país**, tot contribuint a difondre una imatge de suposada predisposició d'algunes tradicions culturals per a la investigació científica (Brush 1991, Krugly-Smolkska 1996) oposada a d'altres habilitats de la creació intel·lectual, **de la mateixa manera que s'ignoren les contribucions de les dones científiques**, pels prejudicis i condicionaments sexistes que impregnen la història de la cultura en general i, en particular, la història de la ciència més a l'abast (Koblitz 1987, Outram 1987).

Per tant, podem concloure que la imatge de la ciència que es mostra es manifestarà de manera més destacada en:

1. La poca atenció que prestaran els llibres de text als aspectes ja esmentats de tipus històric que hi seran majoritàriament absents, sobretot en els de major difusió entre la població escolar.

2. El professorat, encara que considere que cal tenir en compte aspectes històrics, efectivament no els utilitzarà com a element fonamental de la seua activitat a classe i, com a molt, proposarà de realitzar algunes activitats com a complementàries de forma marginal i sense atribuir-los un paper primordial.

3. La repercussió que tot això tindrà en els alumnes que també mostraran una imatge distorsionada de la ciència i els científics, cosa que els impedirà d'adquirir una actitud positiva adequada per a l'aprenentatge d'una matèria que serà percebuda amb un grau de duresa impropï del nivell secundari.

Els aspectes abans esmentats els podrem identificar a través dels detalls susceptibles de ser contrastats i que tot seguit s'indiquen a manera de subhipòtesis implícites en la hipòtesi principal:

1. Pel que fa als llibres haurem de detectar una absència significativa de tractament dels aspectes històrics. Més concretament hi trobarem que als llibres més difosos els darrers anys i majorment utilitzats en les classes de Física i Química de BUP i de COU:

1.1. Apareixeran poques biografies i poc detallades, només referides als científics més famosos, generalment estrangers, de manera que reforçaran les visions tòpiques pròpies d'un tractament superficial i ahistòric, amb una referència acrítica a anècdotes i breus aspectes biogràfics de forma descontextualitzada amb una finalitat merament il·lustrativa, si no decorativa, que contribuirà a distorsionar la imatge més humana de la ciència i dels científics. Aquest tractament superficial es mostrarà coincident amb investigacions fetes en altres països (Jenkins 1990).

1.2. Fruit d'aqueixa descontextualització, en alguns casos presentaran el desenvolupament històric d'uns pocs conceptes i d'alguna teoria científica, però no de la majoria de conceptes i teories, de manera que no es qüestionaran la necessitat d'un enfocament generalitzat de tipus històric, sinó que mostraran únicament una visió narrativa limitada a alguns casos, d'altra banda força recurrents, com els models atòmics o les controvèrsies sobre la naturalesa de la llum, sense tenir una intencionalitat didàctica clara d'aquest ús esporàdic.

1.3. L'escassa importància donada a la història de la ciència farà que apareguen poques cites textuales d'autores i autors científics i no s'hi utilitzaran majoritàriament textos originals com a font de comentari per a la reflexió ni com a eina de treball, ni tampoc presentaran altres activitats amb un tractament històric profund.

1.4. Mostraran una visió acumulativa i lineal del creixement científic i ignoraran l'aparició de grans crisis en els paradigmes científics, de manera que passa-

ran amb tota naturalitat d'uns esquemes conceptuals a d'altres totalment diferents, com el pas de la física clàssica a la quàntica, sense parar esment al significat revolucionari de les noves idees (Gil i Solbes 1993).

1.5. Oferiran un enfocament força descontextualitzat de les principals contribucions de la ciència, des del punt de vista històric i social, igual com les interaccions entre la ciència i la societat en diferents moments històrics. Així, no esmentaran les repercussions socials de la majoria de teories científiques més enllà de la visió utilitària centrada en les contribucions al progrés tecnològic.

1.6. Es referiran de manera preferent als grans genis més famosos, la tasca dels quals tergiversaran i no presentaran una imatge de la ciència com a treball col·lectiu d'homes i també de dones. Conseqüentment no apareixeran referències ni a científics espanyols ni a dones científiques, d'antuvi menys conegudes i poc divulgades per la bibliografia habitual.

1.7. Pel que fa als aspectes d'epistemologia de la ciència, contindran freqüents errors implícits de tipus empirista o inductivista, referint-se a algunes experiències històriques com a crucials i no mostraran el caràcter temptatiu de les investigacions científiques en presentar una ciència centrada en els resultats comprovats. Igualment presentaran un enfocament de caire bàsicament formalista i destacaran el desenvolupament de l'aparell matemàtic i el rigor en l'aplicació de les fórmules.

2. Pel que fa al professorat, atès l'escàs paper que té la història de la ciència en la seua formació i la presència irregular d'aspectes històrics en les fonts d'informació habitual com els llibres de text de secundària i d'altres nivells superiors on també és testimonial, si exceptuem els llibres especialitzats, podem suposar que aquest col·lectiu creurà que l'ús de la història de la ciència serà més aviat poc important encara que pugua resultar interessant. Però al mateix temps que intueixen alguns avantatges que pot comportar l'ús de la història de la ciència, els professors i professores al·legaran diversos motius per a no aplicar-lo o atribuir-li un paper secundari.

3. Com a conseqüència de tot això esperem que els alumnes mostren una visió deformada de com es construeixen els coneixements científics, caracteritzada perquè:

3.1. Consideren la ciència com el descobriment d'una realitat preexistent de caràcter autònom i no com una construcció intel·lectual de coneixements elaborada tot al llarg de la història amb la finalitat d'explicar els diferents proble-

mes que ens planteja el món natural i tenir-ne una visió global i coherent. Açò serà conseqüència de l'absència d'una perspectiva històrica que permeta mostrar el procés d'evolució dels conceptes i teories científiques.

3.2. Pensen que els coneixements científics es formen per inducció a partir de "dades pures" tretes de l'observació i l'experimentació més purament empirista, al marge de la formulació de respostes de caràcter temptatiu a manera d'hipòtesis que al llarg del temps han sofert modificacions o han estat substituïdes per altres hipòtesis més vàlides. Aquesta visió empirista es veurà reforçada per una consideració errònia del valor dels resultats dels experiments com a únic criteri de validació que permet acceptar o rebutjar una teoria, tot ignorant els altres factors de tipus social, econòmic, cultural, etc. que poden contribuir a elaborar un consens adequat entre la comunitat científica.

3.3. Ignoren el paper del plantejament dels problemes en el desenrotllament de la ciència i, sobretot, els problemes que originaren el desenvolupament d'algunes teories més importants en la història de la ciència, a causa d'un enfocament ahistòric i aproblemàtic que només mostra una ciència de resultats i conclusions que cal acceptar sense més arguments que el recurs a la neutralitat i a l'objectivitat suposades de la ciència.

3.4. Sobrevaloren el formalisme de caràcter matemàtic i vegem la ciència constituïda bàsicament per les fórmules, l'aplicació mecànica de les quals permet de resoldre qualsevol problema, a l'hora que, de les més utilitzades, ignoren l'origen i les modificacions sofertes en el procés històric de la seua elaboració per la intervenció de diversos autors, ja que el coneixement científic és el fruit d'un treball col·lectiu amb nombroses i variades aportacions.

3.5. Tinguen un plantejament lineal i acumulatiu del desenvolupament científic i no coneguen l'existència de crisis històriques, que s'han traduït en l'aparició de nous paradigmes o de canvis conceptuals en les idees acceptades per la comunitat científica en cada època històrica, i també en la coexistència de diferents models alternatius controvertits, i, per tant, tinguen una visió dogmàtica i ignoren el caràcter temptatiu de la ciència i la provisionalitat de les seues propostes.

3.6. Creguen que la ciència és fruit del treball d'uns pocs genis, de vegades ajudats per l'atzar, les contribucions reals dels quals sovint ignoren, i no la vegem com una activitat humana i col·lectiva on han participat molts homes i

també moltes dones, a la qual tothom pot contribuir si segueix un procés de formació adequat i esmerça els esforços necessaris, tal com s'ha esdevingut en diferents moments de la història i en diferents països.

3.7. Tinguen una imatge de les ciències físico-químiques allunyada del context històric i social del que aquestes formen part i no reconeguen les repercussions socials de molts productes del coneixement científic d'indubtable transcendència històrica, ni les influències del context socio-històric en l'avanç del coneixement científic.

3.8. No coneixen les contribucions a la ciència del seu entorn cultural i territorial més pròxim, ni les actuals ni de diferents èpoques històriques, per la qual cosa aquesta els semblarà una activitat realitzada sempre més enllà de les nostres fronteres i, doncs, fora del seu abast més immediat.

3.9. Atribuesquen un escàs paper a la història de la ciència per tal de millorar la seua visió de la ciència i la valoració dels coneixements rebuts durant la seua formació anterior, de manera que manifesten un escàs interès per conèixer temes de caire històric que puguin contribuir a modificar aquesta visió.

La comprovació de les conseqüències d'aquestes tres hipòtesis en què hem destriat la hipòtesi principal ens ha menat a dissenyar els instruments concrets que tot seguit descrivim.

### **3.2. DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA PRIMERA HIPÒTESI**

---

El disseny d'instruments d'observació i recollida d'informació per a contrastar la nostra hipòtesi ha consistit en l'elaboració, assaig i aplicació de diferents qüestionaris destinats a palesar els aspectes concrets que assenyalàvem a l'epígraf anterior com a manifestacions derivades de la hipòtesi principal. Segons els diferents col·lectius a què s'han dirigit els qüestionaris i les finalitats que aquests perseguien, les característiques dels ítems elaborats i de les mostres utilitzades han estat distints.

L'anàlisi dels llibres de text s'ha dut a terme a partir de l'exploració detallada d'una ampla i variada mostra del material que té major difusió en els nostres centres de batxillerat. Els aspectes a analitzar s'han formulat en forma de qüestions per tal de verificar la seua presència o absència en cada llibre. Més endavant detallarem aquest qüestionari que identificarem com a QÜESTIONARI (T) de llibres de text.



El QÜESTIONARI (T) de llibres de text s'ha passat a una mostra de 48 llibres de Física i Química de 2n i 3r BUP i de COU.

La constatació del paper que atribueixen els professors a la història de la ciència en l'ensenyament ens ha dut a dissenyar tres qüestionaris breus que identificarem com a (P1), (P2) i (P3). Els qüestionaris s'han proposat a professors en formació inicial i a professors en actiu, que han assistit a diverses activitats de formació permanent, com ara cursos d'actualització o el curs d'aptitud pedagògica per a accedir a l'ensenyament públic. Aquests qüestionaris han estat contestats per un total de 136 professors i professores entre els anys 1992 i 1996.

Pel que fa al col·lectiu més nombrós, l'alumnat, s'han elaborat diferents qüestionaris, que més endavant descriurem, i s'ha proposat la seua resolució a dues mostres distintes d'alumnes de control, és a dir, alumnes que seguien un ensenyament habitual on, segons la nostra hipòtesi, considerem que els aspectes històrics són tractats de forma superficial o són pràcticament absents.

La resolució dels qüestionaris s'ha dut a terme, generalment, cap a la fi del curs escolar, per tal d'interferir el mínim possible amb els continguts concrets que els alumnes pogueren estar rebent. Per a la resolució dels qüestionaris els alumnes han disposat de temps suficient, normalment una sessió de classe de 55 minuts com a màxim, segons l'extensió de cada qüestionari. En aquesta fase de la investigació s'han implicat un total de 694 alumnes de diferents instituts de batxillerat del País Valencià i s'ha dut a terme amb la col·laboració de set professores i professors, a més de l'autor mateix de la investigació. S'ha procurat que en el conjunt de la mostra estiguessen ben representats els diferents nivells d'ensenyament en què s'ha dut a terme la investigació. Atès que l'assignatura de Física i Química no s'imparteix al primer nivell de BUP (14-15 anys), la composició de la mostra d'alumnes inclourà els nivells 2n de BUP (15-16 anys), 3r de BUP (16-17 anys) i COU (17-18 anys). Convé indicar les característiques de les diferents mostres, atès el caràcter progressivament opcional d'aquestes matèries en els distints nivells. Per això, la mostra d'alumnes de 2n de BUP la componen la totalitat dels alumnes que cursen aquells nivells en els grups escollits com a control, ja que es tracta d'una matèria de caràcter obligatori. Així, els alumnes d'aquesta mostra representen, d'una banda, el nivell més baix en què s'imparteixen les ciències físico-químiques en el batxillerat, per tant la profunditat amb què s'hi tracten els temes és la mínima, i d'altra banda, inclouen una mostra representativa del conjunt de població escolar de la seua edat que cursa aquests estudis, que no ha fet encara cap tria personal a l'hora de manifestar la seua preferència per les matèries científiques. Per contra, la mostra d'alumnes dels altres nivells conté només alumnes que han fet una tria i han

optat lliurement per cursar les ciències físico-químiques, amb la qual cosa representen el segment de població escolar que ha iniciat la seua orientació professional cap a àrees de caràcter més científic. Tot i això, entre els alumnes de 3r de BUP i de COU hi ha també alguna diferència, atès que els primers només tenen una opció de Física i Química, que s'ofereix conjuntament com a assignatura optativa, mentre que els alumnes de COU poden fer la tria per separat i escollir-ne una d'ambdues (Física o Química) o bé totes dues, amb la qual cosa la seua orientació cap als estudis universitaris de caire científic pot restar més clarament definida. Per això, hem cregut adient tenir presents aquestes consideracions a l'hora d'analitzar els resultats dels qüestionaris, tal com més endavant explicarem.

Els dos primers qüestionaris d'alumnes s'han passat ambdós a dues submostres diferents, i els identificarem com a QÜESTIONARI (A) i QÜESTIONARI (B). En un primer assaig s'aplicaren a un total de 123 alumnes de 2n de BUP, 3r de BUP i COU durant el curs 1991/92. Una vegada analitzats els resultats i fetes unes breus modificacions per a precisar l'enunciat dels ítems, s'han passat a una segona submostra més ampla formada per 356 alumnes dels mateixos nivells que la submostra anterior, aquesta vegada durant el curs 1992/93. Posat que no s'hi trobaven diferències significatives entre els resultats d'ambdues mostres presentarem els resultats d'aquestes de forma acumulada; per tant, considerarem tots els alumnes com una sola mostra global formada per 479 alumnes de 2n de BUP, 3r de BUP i COU.

La necessitat d'incorporar alguns aspectes socials de la ciència que no apareixien en els qüestionaris (A) i (B) ens menà a elaborar un tercer qüestionari per a completar la imatge de la ciència que tenen els alumnes i que identificarem com a QÜESTIONARI (C). Finalment, per a constatar els aspectes actitudinals dels alumnes i el seu interès envers la introducció d'aspectes històrics hem elaborat un darrer QÜESTIONARI (D).

Els qüestionaris (C) i (D) s'han passat a una mostra de 215 alumnes de control dels nivells 2n de BUP, 3r de BUP i COU, durant els cursos 1993/94 i 1994/95, per tant es tracta d'una mostra diferent de la que contestà els qüestionaris anteriors (A) i (B).

Ara, doncs, vegem amb detall en què consisteixen els diferents qüestionaris i quins han estat els criteris de valoració aplicats a l'anàlisi de les respostes obtingudes.

### 3.2.1. Qüestionari per a l'anàlisi de llibres de text

La comprovació de les subhipòtesis relacionades a l'epígraf 3.1, referides als llibres de text utilitzats a les aules, s'ha fet per mitjà de l'examen minuciós d'una mostra de 48 exemplars de llibres de Física i de Química, distribuïts equitativament entre els diferents nivells on duem a terme la investigació (Física i Química de 2n i 3r de BUP, Física de COU i Química de COU), que han estat publicats entre 1978 i 1993 per les editorials de major difusió, per bé que la major part de la mostra la constitueixen edicions aparegudes posteriorment a l'any 1985. Aquest examen s'ha fet per mitjà d'un qüestionari que revisa la presència de diferents aspectes històrics i epistemològics. El qüestionari va ser assajat, en un format previ que contenia onze qüestions, amb una mostra de 13 llibres que cobria els diferents nivells i les editorials més divulgades.

El format definitiu del qüestionari, que hem identificat com a QÜESTIONARI (T), consta de deu qüestions, distribuïdes de la manera següent: les sis primeres examinen aspectes explícits i implícits d'història interna i les quatre darreres qüestions es plantegen aspectes externs i propostes concretes d'activitats sobre història de la ciència per al treball efectiu a l'aula.

La formulació de les qüestions s'ha fet amb l'expressió afirmativa de la presència d'aquells elements que considerem importants per a un enfocament de tipus històric i que, segons la nostra hipòtesi, apareixeran de forma minoritària o testimonial, quan no seran pràcticament absents. Les qüestions proposades inclouen aquelles conseqüències de les hipòtesis detallades a l'epígraf anterior (3.1) susceptibles de ser directament verificades. Les qüestions T1 i T7 connecten amb la subhipòtesi 1.1 sobre aspectes biogràfics, anècdotes o la referència només als científics més coneguts (1.6) als qui s'atribueix pràcticament tot el mèrit dels diferents treballs científics. La qüestió T2 connecta amb la subhipòtesi 1.2 sobre el desenvolupament històric d'alguns conceptes més enllà de la narrativa històrica. La qüestió T3 sobre les cites textuais fa referència a la subhipòtesi 1.3. Les qüestions T4, T5 i T6 es relacionen amb els aspectes epistemològics detallats en la subhipòtesi 1.7. Les qüestions T8 i T9 connecten, respectivament, amb les subhipòtesis 1.4, sobre la forma de creixement de la ciència, i 1.5, sobre les repercussions socials dels treballs científics. Finalment la qüestió T10 es refereix als usos concrets dels diferents aspectes històrics en forma d'activitats per al treball d'aula, que reflecteixen el paper concret atribuït pels autors a l'ús de la història de la ciència.

## **QÜESTIONARI (T) PER A L'ANÀLISI DE LLIBRES DE TEXT**

**AUTORS:**

**ANY:**      **NIVELL:**

**TÍTOL:**

**EDITORIAL:**

### **ASPECTES D'HISTÒRIA INTERNA:**

- T1. Presenta biografies detallades i contextualitzades de diversos científics i científiques que mostren les seues contribucions al desenvolupament de la ciència.*
- T2. Presenta el desenvolupament històric detallat de diversos conceptes i teories científiques de forma integrada en el text.*
- T3. Presenta nombrosos textos originals d'autors científics amb una proposta de treball.*
- T4. Mostra els problemes que hi ha a l'origen de les investigacions i evita una orientació bàsicament empirista i inductivista.*
- T5. Mostra el caràcter temptatiu de tota investigació científica i evita la visió acabada.*
- T6. Relativitza el caràcter formalista i incorpora el desenvolupament matemàtic després d'un tractament qualitatiu previ.*

### **ASPECTES D'HISTÒRIA EXTERNA I ACTIVITATS:**

- T7. Mostra el caràcter col·lectiu de la ciència i no esmenta només els noms dels grans genis.*
- T8. Presenta una visió del creixement de la ciència que considera les crisis dels grans paradigmes i no mostra una visió acumulativa.*
- T9. Mostra una visió històrica i socialment contextualitzada i presenta les repercussions socials dels principals treballs científics.*
- T10. Proposa activitats explícites d'ús d'història de la ciència com a treball pels alumnes.*

### 3.2.2. Criteris de valoració del qüestionari per a l'anàlisi de llibres de text

A l'hora d'examinar els textos s'ha intentat recollir tot allò que d'una manera o altra fes referència a aspectes històrics. Els que apareixen de forma explícita, com ara biografies, anècdotes, textos, il·lustracions o activitats, són fàcils de valorar, encara que a l'hora de ser tinguts en compte s'ha considerat el paper atribuït pels autors a aquesta mena d'informació. Així, per exemple, no s'ha considerat de la mateixa manera una breu referència biogràfica a peu de pàgina o de foto, que un text extens on s'expressen més detalls de la vida i obra de l'autor o la relació directa amb els aspectes tractats en el tema i les repercussions socials dels seus treballs. Ni s'ha tractat una cita textual merament decorativa com l'extracte d'un text més extens que podia anar acompanyat d'algunes qüestions per a la reflexió i el treball dels alumnes. La principal dificultat rau, però, en la valoració dels aspectes implícits, alguns dels quals només es poden detectar a través de referències breus o, de vegades, només veient l'enfocament general donat als temes.

Per això a l'hora de quantificar la presència dels diferents elements s'ha considerat de manera diversa segons el tipus d'aspectes. En les qüestions que ho permetien s'ha comptabilitzat el nombre de capítols i de pàgines on apareixia ni que fos una breu referència que pogués ser considerada una resposta positiva a cada qüestió analitzada i, per tant, desfavorable per a la nostra hipòtesi. D'altra banda, en les qüestions referides a aspectes implícits més difícils de comptabilitzar, s'ha fet una valoració global del llibre per tal de considerar si en conjunt es podia dir si responia afirmativament a la qüestió o bé responia desfavorablement.

La mostra examinada pretén abastar un nombre significatiu dels llibres de text usats en les assignatures de Física i Química de BUP i de COU que inclou els autors i editorials de major difusió en les nostres aules durant els darrers deu anys, encara que alguns es publiquen des de fa més temps, i, posat que es tracta d'una investigació de caràcter didàctic, els aspectes que es sotmeten a anàlisi crítica ho són únicament sota la perspectiva de les hipòtesis que ens proposem com a treball, de manera que en cap cas no es pretén qüestionar l'autoritat ni les orientacions donades pels autors, cosa que òbviament respectem, encara que hi puguem estar en desacord.

L'objectiu de l'anàlisi és posar de manifest quina presència té la història de la ciència en els llibres de text que habitualment constitueixen una forma de transmissió d'informació entre el professorat a la que es dona molta credibilitat, si més no pel que fa a les dades històriques que contenen (Cohen 1950/1993) i, sobretot, és la que majoritàriament arriba a l'alumnat des de l'aula, de manera que la imatge que mostren és,

en bona part, la que els aplega. Així, doncs, en el capítol de resultats presentarem els percentatges de llibres que mostren una imatge de la ciència més real a través d'una presència d'aspectes històrics ni que siga mínima i la nostra predicció és que aquests percentatges seran significativament baixos, com d'altres investigacions han demostrat (Jenkins 1990).

### **3.2.3. Disseny per a contrastar el paper que el professorat atribueix a la Història de la Ciència en l'ensenyament i criteris de valoració**

A fi de recollir l'opinió d'un cert sector del professorat que assisteix a les activitats de renovació pedagògica, i atesa la impossibilitat de copsar tot l'ampli espectre del professorat actualment actiu en l'àrea de les ciències físico-químiques, els hem proposat algunes breus qüestions al voltant del paper que pot jugar la història de la ciència en l'orientació de la seua activitat docent. L'objectiu n'és aportar al panorama crític d'aquesta primera part del treball el que suposem seran les visions dels professors, en tant que agents fonamentals de la tasca docent, que corroboraran l'absència pràcticament completa d'història de la ciència en llur pràctica habitual, cosa que explicarà en gran part la imatge defectuosa de la ciència que implícitament transmetran als alumnes.

La mostra global que hem contrastat la formen diversos col·lectius de professors en distints estadis de formació i activitat professional. Així hem acudit des dels futurs professors que ara es troben en formació inicial a través dels cursos per a l'obtenció del C.A.P. (Certificat d'Aptitud Pedagògica), encara prescriptiu per a l'accés a la professió, si més no en l'escola pública, fins als més experimentats que, amb diferents graus de sensibilització i motivació, volen participar en tasques de formació permanent i perfeccionament professional. En el col·lectiu han participat professors i professores d'ensenyament secundari, és a dir, de BUP, COU i Formació Professional.

A diferents grups de professors, que detallarem en comentar els resultats, se'ls han plantejat els qüestionaris que identificarem com a QÜESTIONARIS (P1), (P2) i (P3) i consten cadascun d'una sola qüestió. En el conjunt de la investigació han participat 136 professors, majoritàriament de centres del País Valencià i també d'altres indrets de l'estat espanyol.

El primer qüestionari fa referència a les propostes d'activitats que suggereixen els professors. Té com a objectiu plantejar per primera volta la possibilitat de dur a terme activitats d'aquesta mena i veure fins a quin punt el professorat s'hi troba motivat a l'hora de pensar en activitats concretes per tal d'usar-les en la seua classe.

### ***QÜESTIONARI (P1) DE PROFESSORS***

*Proposa alguna activitat d'història de la ciència que podries fer en la teua classe que resulte motivadora.*

El QÜESTIONARI (P1) s'ha plantejat sovint a l'inici d'un curs de formació relacionat amb el paper de la Història de la Ciència en l'ensenyament o sobre la importància del tractament de les relacions ciència-tècnica-societat amb el propòsit de fer reflexionar el professorat sobre la possibilitat de generar algun tipus d'activitat concreta per a la classe que contingués aquesta orientació i per a palesar també les dificultats que poden aparèixer en abordar per primera vegada un tal plantejament. L'objectiu del recull d'informació no era altre que constatar la possible varietat de propostes que, d'entrada, mostraven la viabilitat de l'enfocament, tot i les dificultats posteriors per a la seua materialització a l'aula, i assajar de classificar aquestes propostes per tal de manifestar la visió que tenen els professors sobre què pot aportar la història de la ciència com a font de disseny i elaboració de materials didàctics.

El segon qüestionari (P2) es refereix a la pràctica quotidiana del professorat i pretén d'establir quines raons expliquen la situació real de les aules on la presència d'història intuïm que és més aviat escassa, però volem centrar el debat sobretot en les causes d'aquesta situació.

### ***QÜESTIONARI (P2) DE PROFESSORS***

*¿Utilitzes de forma habitual la història de la ciència en les teues classes? ¿Per què si o per què no?*

El QÜESTIONARI (P2) incideix en la pràctica docent concreta, en el cas dels professors en actiu, i pretén fer aflorar les dificultats que segurament justificaran l'absència habitual d'història en les seues classes. Aquesta qüestió ha servit també com a debat introductor i plantejament del problema sobre el paper de la història de la ciència a l'ensenyament.

Finalment el QÜESTIONARI (P3) planteja directament quins papers assignen els professors a la història de la ciència en l'ensenyament i pretén fer palesa la paradoxa de l'absència del seu ús amb la possible consciència de les virtuts potencials que aquest tindria.

### ***QÜESTIONARI (P3) DE PROFESSORS***

*Expressa en un escrit breu quin paper creus que pot jugar la història de la ciència en l'ensenyament de les ciències.*

Aquest qüestionari pretén suscitar el debat sobre els possibles avantatges que comportaria un ús mesurat d'aspectes d'història de la ciència en les classes habituals, per tal de constatar si es donen les suposicions expressades anteriorment.

La valoració dels qüestionaris s'ha fet primerament de forma qualitativa, ja que es tractava de preguntes molt obertes, i després s'han recollit i classificat les múltiples respostes obtingudes i s'ha considerat la freqüència de propostes per cada professor. Per a major claredat, els criteris de classificació s'indicaran en l'apartat d'anàlisi dels resultats.

Aquests qüestionaris s'han proposat en els primers moments d'activitats de formació que tracten de posar damunt la taula les possibilitats reals de la història de la ciència, en un context didàctic innovador, juntament amb d'altres propostes de millora de l'ensenyament aprenentatge de les ciències físico-químiques. Aquestes visions prematures s'han completat, a la fi de les diferents activitats, amb d'altres qüestionaris de valoració una vegada exposades i discutides les noves propostes d'enfocament històric, però açò pertany a la segona part del treball i serà detallat en els propers capítols.

#### **3.2.4. Disseny per a contrastar la imatge de la ciència que tenen els alumnes**

Per a valorar quina imatge de la ciència tenen els alumnes, i més concretament com perceben els aspectes de tipus històric i social, hem considerat més adequat formular distints qüestionaris, uns de caire tancat i d'altres de resposta oberta, on els alumnes poguessen explicitar les seues idees i opinions sobre determinades afirmacions o indicar llur respostes davant preguntes obertes. Per això, el procés de disseny dels qüestionaris ha estat gradual, a la vista dels resultats que oferien les primeres propostes assajades. En el conjunt del disseny ha resultat un total de 21 ítems distribuïts en quatre qüestionaris, anomenats (A), (B), (C) i (D), respectivament, per tal de facilitar llur identificació.

Els qüestionaris (A) i (B) han estat els primers de ser utilitzats amb una primera mostra de 123 alumnes, on hi havia 33 alumnes de 2n de BUP, 40 alumnes de 3r de BUP i 50 alumnes de COU. El primer qüestionari (A) pretenia mostrar el grau d'acord dels alumnes amb afirmacions que contenen errors i tergiversacions habituals pel que fa a la naturalesa del treball científic i la seua forma d'evolució, per mitjà d'ítems de



resposta tancada. En el segon qüestionari (B) es pretenia que els alumnes explicitaren llurs respostes a qüestions obertes sobre aspectes més concrets de tipus històric i social, ja que aquests ítems permeten de recollir millor les idees dels alumnes, atesa l'escassa informació que aporta una resposta tancada induïda a partir d'una escala de valoració com la utilitzada en el qüestionari (A). Després de ser assajats aquests qüestionaris, s'estengueren a una mostra més gran formada per 176 alumnes de 2n de BUP, 94 de 3r de BUP i 86 de COU, que feia un total de 356 alumnes. Per a la presentació de resultats acumulem els de les dues mostres, ja que no presenten diferències significatives, per tant la mostra acumulada la formen 479 alumnes.

Una vegada recollits i analitzats els resultats d'aquests primers qüestionaris hem considerat adient ampliar la informació que podien aportar els alumnes i per això hem preparat dos qüestionaris més que, òbviament, s'han hagut d'assajar amb una mostra diferent de l'anterior. En un qüestionari, que anomenem (C), hem reforçat l'exposició de les idees dels alumnes sobre aspectes de sociologia de la ciència que estaven absents dels anteriors i que consideràvem convenient d'incorporar per tal de detallar millor alguns aspectes de les subhipòtesis com els referits a la contextualització del treball científic i el paper de la ciència espanyola.

Per tal d'arredonir les hipòtesis referides als alumnes només ens mancava explorar llurs actituds envers la ciència i el seu aprenentatge, per la qual cosa hem completat el disseny amb un breu qüestionari que hem anomenat (D). Per tal de no influir en les respostes, s'ha proposat la resolució prèvia del qüestionari d'actituds (D) i posteriorment el qüestionari d'aspectes sociològics (C).

Aquests qüestionaris (C) i (D) s'han passat durant dos cursos a una mostra formada per 86 alumnes de 2n de BUP, 67 alumnes de 3r de BUP i 62 alumnes de COU, de manera que la mostra global constava de 215 alumnes. S'inclouen en la mateixa mostra els alumnes dels dos cursos, atès que entre les submostres no hem trobat diferències significatives.

Vegem ara amb detall els ítems que formen els diferents qüestionaris i els criteris de valoració establerts per a l'anàlisi de resultats.

El QÜESTIONARI (A) d'alumnes pretén valorar de forma implícita la imatge de la ciència que tenen els alumnes. Per això consta de 6 ítems (A1 a A6) acompanyats cadascun d'ells d'una escala graduada de 0 a 10 per tal que els alumnes assenyalen el grau amb què estan o no d'acord amb l'afirmació que conté cada ítem. En la presentació següent hem omès l'escala per a major claredat dels enunciats. Es tracta,

doncs, d'un qüestionari tancat que pretén fer una primera aproximació a la sintonia de l'alumne amb certes afirmacions que molt sovint es formulen en llibres o pels professors en classe i expressen una imatge implícita distorsionada de la forma en què s'elaboren els coneixements científics.

**QÜESTIONARI (A) D'ALUMNES  
PER A VALORAR LA IMATGE IMPLÍCITA DE LA CIÈNCIA**

*Valora de 0 a 10 el teu grau d'acord o desacord amb aquestes afirmacions (0 desacord; 10 acord). Per això marca amb una creu la puntuació escollida:*

- A1. El treball dels físics i els químics consisteix a descobrir les lleis ocultes en la natura.*
- A2. L'objectiu del treball científic és l'establiment de relacions matemàtiques (lleis) entre magnituds físiques.*
- A3. El concepte de força i les lleis de la dinàmica foren establides per Newton en la seua forma actual (o no han experimentat canvis des que foren establides per Newton fins a l'actualitat).*
- A4. Quan els resultats d'un experiment ben realitzat contradiuen una teoria científica, aquesta s'enfonsa i és abandonada.*
- A5. Els conceptes o magnituds que s'utilitzen en Física i Química són descobriments de coses que ja existeixen a la natura, no invencions dels científics.*
- A6. El desenvolupament de les ciències tot al llarg de la història ha estat un procés acumulatiu de més i més coneixements.*

Les qüestions A1 i A5 tracten de fer aflorar la idea de la ciència com a descobriment, tan estesa a través del llenguatge quotidià a l'aula i també omnipresent en els llibres de text i connecten amb la subhipòtesi 3.1. Aquesta idea es correspon amb un cert realisme ingenu que magnifica la missió de la ciència i l'aboca a la recerca d'una veritat objectiva que espera tard o d'hora ser revelada si s'aplica la metodologia científica adequada (3.2) i es conseqüència d'un deficient enfocament històric.

Els ítems A2 i A3 plantegen el paper del formalisme matemàtic i l'abús de fórmules en l'ensenyament habitual de la Física i la Química, fins al punt d'afavorir tergiversacions històriques sobre l'autoria de les equacions simplificades que s'utilitzen, exposades fóra del context sòcio-històric en què foren obtingudes. Aquests ítems connecten amb la subhipòtesi 3.4. L'ítem A3 connecta també amb la subhipòtesi 3.6 sobre l'atribució dels treballs a uns pocs autors.

L'ítem A4 tracta de palesar les idees dels alumnes sobre el paper dels experiments en la progressió i validació del treball científic i la imatge falsacionista que sovint acompanya l'empirisme, per tant connecta amb la subhipòtesi 3.2.

L'ítem A6 pretén revelar quina idea tenen els alumnes de com ha evolucionat la ciència, per veure si subratllen més o menys el caràcter acumulatiu (subhipòtesi 3.5) que forma part de la imatge tradicionalment mostrada per l'ensenyament amb un tractament superficial del creixement de la ciència, sense cap perspectiva històrica.

El QÜESTIONARI (B) consta de 5 ítems de resposta oberta que tracten de concretar un poc més alguns aspectes abordats genèricament en el qüestionari anterior, alhora que inclouen diversos aspectes del desenrotllament de la ciència a fi d'indagar alguns coneixements dels alumnes, només com a indicatius de la imatge que els queda als alumnes després del contacte amb les ciències en nivells anteriors.

**QÜESTIONARI (B) D'ALUMNES**  
**AMB RESPOSTES OBERTES SOBRE DESENROTLLAMENT DE**  
**LA CIÈNCIA I CONTRIBUCIONS DELS CIENTÍFICS**

- B1. Indica breument algunes crisis o canvis profunds de coneixements i teories que s'han produït tot al llarg de la història en el desenrotllament de les ciències físico-químiques.*
- B2. Digues el nom d'almenys cinc científics o científiques importants i indica quina fou la seua principal contribució al desenrotllament de les ciències físico-químiques.*
- B3. Indica qui són els autors o autores d'aquestes contribucions al desenrotllament de la ciència: a) llei dels gasos perfectes; b) inducció electromagnètica; c) aïllament de l'element radioactiu radi; d) primer model quàntic de l'àtom; e) model corpuscular clàssic de la llum.*
- B4. Esmenta breument quines repercussions tingueren en la societat en el seu moment històric aquests desenrotllaments de les ciències físico-químiques: a) model heliocèntric de l'Univers; b) inducció electromagnètica; c) model nuclear de l'àtom; d) obtenció de nous metalls; e) síntesi de la urea.*
- B5. Tracta de formular els problemes a partir dels quals s'originaren els conceptes o teories següents: a) teoria de la combustió de Lavoisier; b) experiència d'Oersted; c) identificació de substàncies radioactives; d) equivalència entre calor i treball; e) model atòmic de Bohr.*

En el format del qüestionari dirigit als alumnes es deixaven unes línies en blanc per tal que poguessen expressar més clarament la seua resposta, per això aquesta conté més elements de valoració, tal com explicarem en l'anàlisi dels resultats.

L'ítem B1 permet de completar la resposta donada a la qüestió A6 del qüestionari anteriorment explicat i connecta amb la mateixa hipòtesi sobre la visió lineal de la ciència (3.5), ja que demana que s'esmenten les crisis de paradigma o canvis considerats revolucionaris pels estudiosos de la història i l'epistemologia de la ciència (Kuhn 1971). La possible dificultat de comprensió ens ha menat a modificar la redacció de les proves inicials per a fer-la més entenedora i validar millor les respostes donades.

L'ítem B2 connecta amb la subhipòtesi 3.6 i, indirectament, amb la 3.8, ja que demana noms i treballs d'un nombre significativament reduït de personatges dedicats a la ciència. La pregunta inclou l'associació dels noms amb els treballs per a donar-li una mica més de valor a la resposta, posat que alguns noms aïllats són generalment més fàcils de recordar, mentre que en el context dels treballs pels quals són coneguts tenen més sentit. L'aparició escassa o poc significativa de dones científiques i de científics del nostre país permet contrastar indirectament la hipòtesi 3.8, alhora que reforça aquells aspectes de la hipòtesi 3.6 referits a la presència recurrent dels grans genis, generalment coneguts també a través d'altres fonts d'informació fora de l'àmbit escolar.

L'ítem B3 insisteix en els aspectes assenyalats per a l'ítem B2, però incrementa un poc el nivell de dificultat en seleccionar alguns treballs científics de gran divulgació per a veure fins a quin punt els alumnes els relacionen correctament amb els autors més reconeguts, per això hem inclòs treballs força concrets que tingueren autors d'acceptació general. Aquest ítem també connecta amb la subhipòtesi 3.6.

Els ítems B4 i B5 fan referència, respectivament, a les repercussions socials i als problemes que originaren diferents contribucions a la ciència d'indubtable importància històrica i connecten amb les subhipòtesis 3.7 i 3.3. No ocultem la dificultat de respondre completament aquestes qüestions, segons el nivell d'aprofundiment a què hagen aplegat els alumnes, però cal dir que es tracta de treballs fonamentals en el desenvolupament de les ciències físico-químiques, per això la valoració pretén únicament evidenciar si, com a mínim, els alumnes reconeixen alguns d'aquests aspectes.

El QÜESTIONARI (C) d'alumnes conté 7 qüestions centrades en aspectes històrics, com les controvèrsies científiques, i de sociologia de la ciència, per tal de palesar el grau de familiaritat dels alumnes amb temes com el suport econòmic a la ciència, el paper dels avanços tècnics en l'evolució científica i, finalment, diversos as-

pectes sobre la ciència a Espanya. Es tracta d'un qüestionari dissenyat més específicament per a detectar el que suposem un fet habitual en les nostres aules: la nul·la presència d'aquests temes i, doncs, la poca familiaritat que hi tenen els alumnes. També es tracta d'un qüestionari de respostes obertes, com el (B), per això en el format presentat als alumnes se'ls deixaven unes línies en blanc per a respondre lliurement.

**QÜESTIONARI (C) D'ALUMNES**  
**AMB RESPOSTES OBERTES SOBRE DIVERSOS ASPECTES**  
**D'HISTÒRIA I SOCIOLOGIA DE LA CIÈNCIA**

- C1. Esmenta dos models o teories diferents, que han generat moltes controvèrsies, que s'han usat al llarg de la història de la ciència per a explicar alguns dels següents fenòmens que conegues: a) la caiguda lliure dels cossos; b) el moviment planetari; c) la influència de les forces en el moviment; d) la transferència de calor entre els cossos; e) els fenòmens elèctrics; f) la combustió; g) la naturalesa de la llum; h) l'estructura dels àtoms; i) el caràcter àcido-bàsic; j) la naturalesa de les substàncies orgàniques...*
- C2. Cita dos exemples de com ha influït el suport econòmic a la ciència al llarg de la història i en l'actualitat.*
- C3. ¿Creus que la ciència i els avanços científics són fruit més bé d'un treball col·lectiu o sobretot obra d'uns pocs científics? Argumenta-ho amb algun exemple.*
- C4. ¿Al llarg dels teus estudis se t'ha posat en contacte amb contribucions de científics espanyols? ¿Quins en recordes?*
- C5. ¿Coneixes algun cas històric en què els avanços de la tècnica (per exemple, nous invents) hagen afavorit el desenvolupament dels coneixements científics?*
- C6. ¿Coneixes les facilitats que s'han donat al treball científic a Espanya al llarg de la història? Esmenta alguns casos si en coneixes.*
- C7. ¿Coneixes els entrebancs posats al treball científic a Espanya al llarg de la història? Esmenta alguns casos si en coneixes.*

La qüestió C1 tracta de fer palès si l'alumne reconeix l'existència d'alguns models alternatius i controvèrsies en diferents camps d'estudi habitualment inclosos en els programes d'aquests nivells. S'indiquen, a manera d'orientació, els possibles temes per a palesar la presència pràcticament constant d'aquests models controvertits en quasibé tots els temes. Aquesta qüestió vol reforçar els aspectes especificats en les subhipòtesis 3.3 i 3.5.

La qüestió C3 planteja directament el caràcter col·lectiu del treball científic i complementa els aspectes que apareixien en l'ítem B2, per tant connecta amb la subhipòtesi 3.6.

Les qüestions C2 i C5 fan referència a diferents factors que condicionen l'avanç científic, com ara el suport econòmic a la ciència i el paper de la tecnologia. Aquests aspectes tracten de reflectir més detalladament les relacions ciència-tècnica-societat, suggerides per la subhipòtesi 3.7.

La resta de qüestions al·ludeix a la situació de la ciència a Espanya, com a símptoma de la visió allunyada de l'activitat científica que es mostra habitualment. Així, l'ítem C4 proposa recordar els científics espanyols que coneix l'alumne, mentre que els ítems C6 i C7 es refereixen a les facilitats i entrebancs per a l'activitat científica haguts en aquest país al llarg de la història. Es tracta conjuntament de qüestions que palesen més detalladament allò que expressava la subhipòtesi 3.8, com una exemplificació més pròxima del paper atribuït als aspectes socials de la ciència, en aquest cas analitzant la situació de la ciència en el nostre entorn cultural més immediat.

El QÜESTIONARI (D) d'alumnes només té 3 ítems orientats a fer palès el grau d'acceptació dels alumnes envers l'ensenyament de les ciències rebut fins al nivell en què es troben i explicitar llur actitud cap a la incorporació d'aspectes d'història de la ciència a fi de millorar-la.

**QÜESTIONARI (D) D'ALUMNES**  
***SOBRE L'INTERÈS I ACTITUDS ENVERS LA CIÈNCIA***

- D1. Valora de 0 a 10 si l'ensenyament que has rebut des de l'EGB fins ací ha despertat el teu interès per les ciències i, en particular, per la física i la química.*
- D2. ¿Creus que la utilització de la història de la ciència en la classe de física i química contribuiria a millorar la teua valoració? Argumenta per què.*
- D3. ¿Quins aspectes d'història de la ciència t'agradaria conèixer?*

El primer ítem (D1) els demana una valoració numèrica en l'escala de 0 a 10 que expresse fins a quin punt l'ensenyament rebut fins ara ha despertat l'interès de l'alumne per les ciències físico-químiques. Els altres dos ítems (D2 i D3) proposen que l'alumne responga de forma oberta si creu que la incorporació d'aspectes d'història de la ciència podrà millorar la seua valoració i quins aspectes concrets voldria conèixer. Tot plegat, aquest breu qüestionari connecta a la subhipòtesi 3.9 sobre el paper que poden atribuir els alumnes a la història de la ciència per tal de millorar la seua imatge

de l'activitat científica i com a forma d'augmentar el seu interès per l'aprenentatge de les ciències.

### **3.2.5. Criteris de valoració dels qüestionaris dissenyats per al contrast de la imatge de la ciència que tenen els alumnes**

Pel que fa al QÜESTIONARI (A) hem considerat tres graus qualitius, atès que es tracta d'un qüestionari de tipus tancat on les respostes a tots els ítems consisteixen en manifestar l'acord graduat de 0 a 10. El primer grau consta d'aquelles respostes que puntuen de 0 fins a 3, que les hem considerades en desacord amb l'afirmació continguda en cada ítem, i per tant, desfavorables a la nostra hipòtesi. Un segon grau el formen les respostes que freguen la indecisió i puntuen 4, 5 o 6, que considerem poc definides i, per tant, neutres. El tercer grau són les respostes de 7 a 10, que manifesten en menor o major grau un clar acord amb l'afirmació, i constitueixen el segment favorable a la nostra hipòtesi. Per tant, els resultats que esperem obtenir en aquest qüestionari seran percentatges significativament elevats de respostes que manifesten estar d'acord amb l'enunciat dels ítems.

En el QÜESTIONARI (B) s'han de valorar els diferents ítems, ja que els continguts no són paral·lels. Així, a l'ítem B1 distingirem dues possibles respostes. D'una banda, les respostes que esmenten almenys alguna referència, encara que siga vagament enunciativa, a aspectes com la substitució de la física aristotèlico-escolàstica per la nova física newtoniana, com ara fent un esment al canvi del sistema geocèntric a l'heliocèntric, o al trencament que significà l'adveniment de la física quàntica i, d'altra banda, aquelles que no fan cap referència a les crisis de paradigma o revolucions científiques, que representen el segment favorable a la nostra hipòtesi i, per tant, creiem que seran majoritàries.

A l'hora de valorar les respostes a l'ítem B2 hem considerat tres grups. El primer grup el formen les respostes que podríem considerar completament correctes, ja que esmenten 5 o més autors acompanyats d'alguns dels seus treballs més coneguts. Segons la nostra hipòtesi aquest tindrà percentatges baixos de respostes. El segon grup, que podríem dir mitjanament correcte, no arribarà a 5 autors i treballs correctes, però hi inclourem els que com a mínim tinguen un encert. Finalment deixarem en un grup a banda les respostes que no apleguen a esmentar correctament cap autor i treball.

Els ítems B3, B4 i B5 seran valorats de forma semblant, tot agrupant les respostes possibles en tres grups. Els que responguen correctament 4 o més apartats de

cada ítem, que podem considerar acceptables i, segons la nostra hipòtesi, seran els que presenten uns percentatges menors. Els que encerten menys de 4 apartats, però com a mínim n'encerten algun, seran el segon grup de respostes i els que no tinguen cap encert seran el tercer grup. Com a referència de la qüestió B3 hem considerat vàlides les respostes següents: a) com a autors de la llei dels gasos perfectes podem considerar Robert Boyle, Joseph Louis Gay-Lussac o Benoît Clapeyron; b) la inducció electro-magnètica la devem en primer lloc als treballs de Michael Faraday; c) Marie i Pierre Curie aïllaren per primera vegada l'element radioactiu que per això anomenaren radi; d) Niels Bohr és l'autor del primer model atòmic que incorpora idees quàntiques i e) Isaac Newton defensava el model corpuscular clàssic de la llum.

El QÜESTIONARI (C) el valorarem de la següent manera. En els ítems on es demana un cert nombre de respostes, com ara esmentar controvèrsies científiques (C1), casos de suport econòmic a la ciència (C2), científics espanyols (C4), avanços de la tècnica (C5), facilitats (C6) o entrebancs (C7) per a la ciència a Espanya, graduarem les respostes segons aqueix nombre, de manera que considerarem normalment dos o tres graus: un grau seran els que fan dos o més esments, que segons la nostra hipòtesi seran minoritaris, un segon grau els que fan un o algun esment, segons l'ítem, i un tercer grau els que no fan cap esment, que segons la nostra hipòtesi seran majoritaris. En l'ítem C3 que al·ludeix al caràcter col·lectiu del treball científic distingirem entre els que responen afirmativament i els que ho fan negativament i subdividirem les respostes en dos grups cadascuna, segons aporten o no arguments a la seua opinió.

Finalment per a valorar el QÜESTIONARI (D) distingirem els tres ítems. El primer ítem (D1) que presentarà una resposta numèrica la distribuïrem en tres nivells de valoració: el format pels que fan una valoració entre 0 i 3 (baix), els que valoren entre 4 i 6 (mitjà) i els que fan una bona valoració entre 7 i 10 (alt). Segons la nostra hipòtesi haurà de destacar el grup dels qui fan una valoració baixa o mitjana. L'ítem D2 pot presentar dues respostes, afirmativa o negativa, però a més considerarem els diferents tipus d'arguments que aporten els alumnes per tal de recolzar les seues respostes, que classificarem a partir de les nostres hipòtesis. A l'ítem D3 agruparem els aspectes de tipus històric que indiquen les respostes per tal de palesar si coincideixen amb la visió tòpica de la ciència i de la seua història que tenen els alumnes i mostrar l'escàs paper que atribuiran a aquells aspectes més relacionats amb les implicacions socials de l'activitat científica i la seua evolució històrica. També valorarem en els ítems D2 i D3 la freqüència de respostes de cada alumne, per a contrastar quin nombre de raons (D2) o d'aspectes històrics (D3) indiquen.



## **CAPÍTOL 4 :**

### **PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS DE LA PRIMERA HIPÒTESI**

Per tal de contrastar la primera hipòtesi, presentarem en aquest capítol els resultats que hem obtingut en aplicar els qüestionaris per a llibres de text, per a professors i per a alumnes, el disseny dels quals hem exposat en el capítol tercer.

L'anàlisi i comentari dels diferents resultats ens permetrà de validar la nostra hipòtesi que, com recordarem, fa referència a l'escàs paper atribuït a la Història de la Ciència en l'ensenyament habitual i la imatge deformada de la ciència que, consegüentment, es transmet als alumnes. La diversificació dels qüestionaris i l'aplicació als diferents àmbits permetrà una millor verificació de les diferents hipòtesis operatives en què es desenrotlla la hipòtesi principal tal com l'havíem enunciada anteriorment.

#### **4.1. RESULTATS OBTINGUTS AMB EL QÜESTIONARI SOBRE EL PAPER ASSIGNAT A LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA EN ELS LLIBRES DE TEXT**

---

El QÜESTIONARI (T) dissenyat per a l'anàlisi de llibres de text s'ha aplicat a una mostra de 48 llibres, que es relacionen a l'ANNEX IV. Per tal d'enriquir l'anàlisi presentem els resultats en tres blocs. Per un costat els resultats globals i d'altra banda, els llibres separats segons els nivells. Hem considerat oportú mostrar conjuntament els dos nivells de BUP (2n i 3r) on s'imparteixen la Física i la Química com una sola assignatura i, d'altra banda, els llibres del nivell de COU on apareixen separatament com a dues assignatures. Hem examinat 12 llibres de 2n de BUP, 12 llibres de 3r de BUP, 12 llibres de Física de COU i 12 llibres de Química de COU, per tant, cadascuna de les mostres parcials la formen 24 llibres.

La TAULA 4.1.1 mostra els resultats dels percentatges referits a capítols i pàgines en què s'han pogut comptabilitzar aspectes més concrets de les qüestions T1, T2, T3, T9 i T10. Cada percentatge s'acompanya de la seua desviació estàndard (s.d.). La resta de qüestions es referien a aspectes implícits més difícils de quantificar, per això s'analitzen en una segona taula.

TAULA 4.1.1 <b>RESULTATS DE L'ANÀLISI DE LLIBRES DE TEXT (I)</b> (Percentatge de capítols i de pàgines que es refereixen a la qüestió)												
QÜESTIÓ	LLIBRES BUP		LLIBRES COU		GLOBAL							
	Cap.	(s.d.)	Pàg.	(s.d.)	Cap.	(s.d.)	Pàg.	(s.d.)				
	N <sub>capítols</sub> = 615    N <sub>pàgines</sub> = 9140		N <sub>capítols</sub> = 376    N <sub>pàgines</sub> = 10002		N <sub>capítols</sub> = 991    N <sub>pàgines</sub> = 19142							
<b>T1</b> Biografies	22,3	(1,7)	1,6	(0,1)	6,1	(1,2)	0,3	(0,1)	16,1	(1,2)	0,9	(0,1)
<b>T2</b> Història conceptes	24,1	(1,7)	2,7	(0,2)	27,4	(2,3)	2,3	(0,2)	25,3	(1,4)	2,5	(0,1)
<b>T3</b> Textos originals	10,1	(1,2)	0,9	(0,1)	15,4	(1,9)	0,8	(0,1)	12,1	(1,0)	0,9	(0,1)
<b>T9</b> Repercus. socials	7,5	(1,1)	0,6	(0,1)	8,0	(1,4)	0,5	(0,1)	7,7	(0,8)	0,6	(0,1)
<b>T10</b> Activitats Hist. Cia.	14,6	(1,4)	1,5	(0,1)	14,1	(1,8)	0,8	(0,1)	14,4	(1,1)	1,1	(0,1)

Font: Qüestionari (T) d'Anàlisi de Llibres de Text, excepte qüestions T4, T5, T6, T7 i T8.

La TAULA 4.1.2 presenta els resultats referits a cada llibre considerat en conjunt, de manera que després d'examinar-lo tot detalladament podem contestar afirmativa o negativament cadascuna de les qüestions proposades. Així els resultats expressen els percentatges de llibres que responen afirmativament a cada qüestió i s'acompanyen de la seua desviació estàndard (s.d.). Com podem veure, en cap cas no arriben al 25 % els llibres amb una presència històrica mínimament acceptable.

TAULA 4.1.2							
<b>RESULTATS DE L'ANÀLISI DE LLIBRES DE TEXT (II)</b>							
(Percentatge de llibres que en conjunt responen afirmativament a la qüestió)							
		N <sub>BUP</sub> = 24		N <sub>COU</sub> = 24		N <sub>GLOBAL</sub> = 48	
QÜESTIÓ	BUP	(s.d.)	COU	(s.d.)	GLOBAL	(s.d.)	
<b>T4</b> Problemes origen	12,5	(6,8)	8,3	(5,6)	10,4	(4,4)	
<b>T5</b> Caràcter temptatiu	16,7	(7,6)	4,2	(4,1)	10,4	(4,4)	
<b>T6</b> Poc formalista	16,7	(7,6)	0,0	(0,0)	8,3	(4,0)	
<b>T7</b> Caràcter col·lectiu	16,7	(7,6)	0,0	(0,0)	8,3	(4,0)	
<b>T8</b> Crisis paradigma	20,8	(8,3)	12,5	(6,8)	16,7	(5,4)	

Font: Qüestionari (T) d'Anàlisi de Llibres de Text, excepte qüestions T1, T2, T3, T9 i T10.

Tot seguit comentarem els resultats de cada qüestió amb algunes exemplificacions dels aspectes analitzats i detectats en els textos.

#### **ASPECTES D'HISTÒRIA INTERNA:**

**T1. *Presenta biografies detallades i contextualitzades de diversos científics i científiques que mostren les seues contribucions al desenrotllament de la ciència.***

Aquesta qüestió referida als aspectes biogràfics sobre els científics ha estat avaluada de manera que s'ha considerat afirmativa la presència de textos d'una extensió raonable que oferissen una visió més enllà de la simple anècdota. Hem pogut constatar com la major part de llibres només esmenten el cognom pel que són coneguts la majoria de científics i, en alguns casos, només apareix una breu referència cronològica que de vegades acompanya una fotografia. Òbviament no s'han tingut en compte aquests casos.

Si analitzem les dades referides a capítols i pàgines dedicades a aquest aspecte, trobem que el 22,3 % de capítols dels llibres de BUP contenen referències biogràfiques més enllà de l'anècdota, però només ho feien igualment el 6,1 % dels capítols

dels llibres de COU. Globalment els capítols que responen aquest ítem són el 16,1 %. Això no obstant, el caràcter més aviat complementari d'aquestes informacions es pot reflectir millor en l'escàs nombre de pàgines que es dediquen, que com a molt arriba a l'1,6 % de les pàgines dels llibres de BUP i només representa un escàs 0,3 % de les pàgines dels llibres de COU. Aquesta informació, convé completar-la amb la presència simultània en molts llibres d'aspectes més aviat anecdòtics que contribueixen a reforçar una imatge tòpica de la ciència i els científics. Només cal recordar, com insistirem en la qüestió T7, que la majoria de llibres esmenten les grans figures com Isaac Newton, Galileo Galilei, Antoine Lavoisier, Albert Einstein, Michael Faraday, Robert Boyle, Dmitri Mendelejev, etc. i l'única dona científica que apareix, de tant en tant, és Marie Curie.

Per tant, en aquest aspecte, els protagonistes de la major part de llibres de text, quan fan referència a científics, són els genis als que s'atribueix pràcticament tot el mèrit, com revelen cites com aquestes, on el subratllat és nostre:

"La *notable perspicàcia* de Mendelejev li permeté predir l'existència d'elements i anticipar algunes de llurs propietats físiques i químiques".

"Lavoisier *fou el primer* en sistematitzar l'estudi de les reaccions químiques, utilitzant i perfeccionant la balança, cosa que el dugué a *enunciar l'any 1785 la llei de conservació de la massa*".

"Lavoisier, considerat pare de la química moderna, fou el científic que introduí el mètode experimental en la química"

"La teoria ondulatòria de la llum assoleix la seua *culminació i triomf definitiu* quan irromp en el camp dels fenòmens elèctrics la *poderosa capacitat de síntesi* de J.C. Maxwell (1831-1879)".

Tampoc no manquen les referències explícites a anècdotes de dubtosa credibilitat, com la coneguda de la suposada experiència pública de Galileu en la torre de Pisa:

"[Galileu] convida la gent a presenciar l'experiment de deixar caure des de la torre inclinada de Pisa una esfera de pedra i una altra de fusta que, efectivament, apleguen a terra alhora".

Així, doncs, el reduït percentatge de capítols i pàgines que mostren aspectes biogràfics lleugerament contextualitzats, que encara es reduiria més si consideràvem que sovint es presenten com a material complementari, si no clarament decoratiu, i sobretot en els nivells més introductoris, confirma la nostra hipòtesi sobre l'escàs paper atribuït a aquest aspecte d'història interna per una majoria dels llibres de text examinats.

***T2. Presenta el desenrotllament històric detallat de diversos conceptes i teories científiques de forma integrada en el text.***

La presència d'un enfocament històric en el desenvolupament dels continguts queda reflectida en el 25,3 % dels capítols dels llibres examinats, que corresponien a un 2,5 % de les pàgines del conjunt de la mostra. La distribució per nivells és semblant, amb un 24,1 % de capítols i 2,7 % de pàgines dels llibres de BUP i un 27,4 % de capítols i 2,3 % de pàgines de llibres de COU. Tot i que ens trobem davant els percentatges més elevats de tots els obtinguts en l'anàlisi de textos, no podem ser massa optimistes pel que fa a la visió evolutiva dels conceptes que mostren els llibres, ja que en tots els casos es tracta sempre d'uns pocs capítols que tenen un enfocament històric i sempre es sol tractar dels mateixos: els referits a les controvèrsies sobre la naturalesa de la llum, en els temes de física, i als diferents models atòmics, entre els temes de química. D'altra banda molts pocs llibres contenen una presència més variada d'aspectes històrics que incloga altres temes com els orígens de la dinàmica, la gravitació i els models astronòmics, les teories sobre la calor, l'origen i evolució de l'electromagnetisme, l'evolució del concepte d'element, les teories sobre la combustió, sobre el caràcter àcido-bàsic o sobre l'origen de la química orgànica, que alguns llibres esmenten esporàdicament, però en pocs d'ells apareixen com a mínim a la meitat dels capítols.

***T3. Presenta nombrosos textos originals d'autors científics amb una proposta de treball.***

La importància donada a algunes fonts del saber científic, com són els textos i cites originals dels autors científics, pot reflectir el paper que els autors o els editors del llibre atribueixen als documents històrics on apareixen les formulacions originals de determinades idees científiques, atesa la dificultat didàctica de transposar aquesta informació per fer-la més accessible al nivell dels alumnes. En aquest cas la presència de textos originals és també escassa i ateny un 12,1 % de capítols amb cites originals, però d'una extensió que ateny només el 0,9 % de les pàgines per al conjunt de la mostra. Les diferències entre nivells no són significatives, si exceptuen que també els llibres de COU, per estar dirigits a un alumnat amb major formació, dediquen un percentatge de capítols més elevat (15,4 %) però concretat només en un escàs 0,8 % de llurs pàgines. En canvi entre els llibres de BUP només hi apareix un 10,1 % de capítols amb textos originals, reflectits en un 0,9 % de pàgines.

En aquest ítem, hem considerat només aquells llibres que presentaven textos d'una certa extensió, de vegades acompanyats de qüestions per a comentar, però que com a mínim permetessen una lectura pels alumnes dels autors originals. També hem

d'esmentar el cas d'alguns llibres que es limiten a extraure frases curtes i situar-les com a il·lustració al principi d'un capítol, sovint sense cap relació amb el tema de què tractava i per tant descontextualitzades.

D'altra banda hem de destacar un parell de llibres que presentaven nombrosos textos originals a la fi de cada tema, relacionats amb els continguts tractats i amb propostes de lectura comprensiva i comentaris com a treball per als alumnes. En un altre cas, a més dels textos, s'acompanyava d'unes recomanacions generals sobre com comentar-los. No obstant, podem pressuposar que l'ús efectiu de molts d'aquests materials de treball resultarà escàs, atès que el conjunt dels temes sol tenir un enfocament ahistòric o neutre i els textos dels autors no s'integren, en general, en el fil conductor dels temes desenrotllats. Només dos llibres contien les cites textuais inserides en el discurs general de les explicacions. La major part dels llibres no cal dir que no presentaven cap referència original.

***T4. Mostra els problemes que hi ha a l'origen de les investigacions i evita una orientació bàsicament empirista i inductivista.***

Aquest ítem, que com ja hem explicat resulta de difícil quantificació, es valora en conjunt amb un 10,4 % de llibres que podem esmentar com a poc empiristes, de manera que fan alguna referència als problemes que originen les investigacions científiques i no cometen l'error tan freqüent de proposar l'observació i l'experimentació com a base de la investigació científica, suggerint sovint un falsacionisme ingenu en insistir en la importància dels experiments per a verificar les teories.

Encara que no és fàcil quantificar els capítols i pàgines en què apareixen aquestes visions, podem afirmar que es tracta més sovint d'un enfocament general que de tant en tant s'explicita obertament en alguns casos com els que tot seguit citem:

"El mètode científic dóna una importància fonamental a la realització d'experiments i mesures".

"L'experiment és el jutge suprem que confirma o invalida una hipòtesi".

"El rigor amb què va utilitzar la balança en l'estudi experimental de la combustió el portà a rebatre la teoria del flogist" [es refereix a Antoine Lavoisier].

"Estudiant experimentalment els processos electrolítics, Michael Faraday aplegà a les conclusions següents, conegudes avui com a lleis de Faraday".

Aquesta visió empirista es reforça quan s'esmenten anècdotes on s'atribueix un paper exagerat a l'atzar, com en aquesta referència al descobriment de la radioactivitat, on el subratllat és nostre:

"Antoine Henri Becquerel (1852-1908), nascut a París, descobrí la radioactivitat natural en 1896 (*de forma casual*) i a això deu la seua fama".

La manera com presenten les pràctiques de laboratori, generalment a banda del contingut del tema i com un seguit de passos a manera de recepta, corrobora aquesta visió empirista que, al mateix temps que emfasitza el caràcter experimental de les ciències físico-químiques, fa un tractament teòric neutre i ahistòric sense mostrar els problemes com a origen de les investigacions.

La visió inductivista queda ben provada ja que la majoria de llibres examinats permeten extraure sucoses referències fruit, molt sovint, d'un tractament superficial del que s'anomena habitualment "mètode científic", però que s'ignora o tergiversa sistemàticament tot al llarg del desenvolupament dels temes. Igualment, no cal ni quantificar-ho perquè és omnipresent l'ús del verb "descobrir" per a parlar de l'activitat més freqüent dels científics i del mot "descobriments" per a referir-se a qualsevol de les seues contribucions a la ciència.

***T5. Mostra el caràcter temptatiu de tota investigació científica i evita la visió acabada.***

La visió acabada de la ciència, sense dubtes ni limitacions, també és una constant en la major part de textos examinats i només un 10,4 % de llibres es poden considerar amb un enfocament que mostra més el caràcter temptatiu de la ciència i s'hi presenta una orientació més oberta, amb activitats d'exploració de les idees prèvies i amb un procés d'elaboració dels coneixements, més clar en alguns que en altres dels textos considerats contraris a la hipòtesi. La dificultat per a quantificar els capítols i les pàgines fa que tampoc hàgem considerat aquest còmput en l'ítem que comentem.

Pel que fa a les diferències per nivells, és notòria la presència en un 16,7 % dels llibres de BUP, enfront de només un 4,2 % dels llibres de COU. Aquest nivell superior sol mostrar una visió encara més acabada de la ciència i la majoria dels llibres que podem considerar més favorables a l'enunciat de l'ítem, i per tant contraris a la hipòtesi, es troben entre els de nivell inferior.

**T6. *Relativitza el caràcter formalista i incorpora el desenrotllament matemàtic després d'un tractament qualitatiu previ.***

El caràcter obertament formalista de la gran majoria de llibres de text examinats només es pot posar en dubte en un 8,3 % de la mostra global, tot i que, atesos els diferents nivells, només hem trobat un cert nombre de llibres que es podien considerar poc formalistes en els nivells més baixos (16,7 %), ja que els llibres de COU tendeixen a ser més formalistes a causa del major nivell d'exigència dels coneixements. Això seria acceptable si anés precedit d'una clara justificació i introducció qualitativa dels conceptes, cosa certament infreqüent, raó per la qual hem considerat que cap dels llibres analitzats en aquest nivell podia ser qualificat com a poc formalista.

L'escàs percentatge de textos que es podrien excloure d'una orientació bàsicament preocupada pel formalisme, les expressions amb rigor matemàtic i tota mena de càlculs numèrics amb poc deteniment en el raonament qualitatiu previ, la predicció dels resultats i el seu significat físico-químic, ens permet de considerar favorables a la nostra hipòtesi els resultats d'aquest ítem, que no hem pogut detallar en capítols i pàgines, ja que l'enfocament formalista és més aviat una tendència general de tot el text.

Per a millor argumentar aquesta postura mostrem algunes frases tretes de llibres que explícitament defensen la importància del formalisme matemàtic, algunes especialment significatives ja apareixen en el pròleg o presentació que justifica l'orientació donada al llibre, tot i incórrer en contradiccions evidents una volta examinat el text en conjunt. Els subratllats són nostres:

"L'estudi actual de l'estructura atòmica es fa amb l'equació de Schrödinger, que és la base de l'anomenada "mecànica quàntica", de la mateixa manera que la  $F=m \cdot a$  de Newton ho és de la mecànica clàssica".

"Tractem d'introduir el futur estudiant [universitari] en l'àmbit de la Física Superior mitjançant... la interpretació dels fenòmens físics sota el prisma de la *precisió i el rigor*...".

"Les fórmules es justifiquen sempre, i les lleis que les inspiren es comenten a partir del marc històric en què sorgiren".

El darrer subratllat no deixa de ser una bona intenció que, una volta examinat el contingut del llibre, resulta difícil de confirmar.

De vegades es tendeix a simplificar tant que s'identifica una teoria amb una fórmula com quan, en referir-se a la llei de conservació de la matèria-energia, es diu:



"...ja que amb la teoria de la relativitat d'Einstein  $E=m \cdot c^2$  queda demostrat que matèria i energia són conceptes interrelacionats".

Alguns llibres, per reblar el clau, esmenten cites de científics recolzant la visió matematicista, com aquesta de Heisenberg que duu un llibre de Química de COU:

"A qui donarà raó la ciència, a la teoria de Demòcrit o a la de Plató? Crec que en aquest punt la física moderna s'ha decidit definitivament per la de Plató. Perquè realment les unitats mínimes de la matèria no són objectes físics en el sentit ordinari del mot; són formes, estructures o idees -Plató-, i només se'n pot parlar sense equívocs amb el llenguatge matemàtic".

La cita anterior acompanya una biografia i una fotografia de Wolfgang Pauli, cosa que propicia la confusió. L'evident interès que pot tenir un text com aqueix per a suscitar a l'aula un debat sobre la naturalesa dels conceptes científics, lamentablement en aquest cas pot contribuir a la confusió i a la tergiversació del paper innegable que tenen les matemàtiques per a formular amb major precisió les idees científiques, ja que no s'acompanya de cap proposta de reflexió ni diàleg sobre el text al·ludit, i es presenta en un context de mera il·lustració al principi del tema.

#### ***ASPECTES D'HISTÒRIA EXTERNA I ACTIVITATS:***

##### ***T7. Mostra el caràcter col·lectiu de la ciència i no esmenta només els noms dels grans genis.***

Només podem considerar que un 8,3 % dels textos analitzats presenta una varietat suficient de referències biogràfiques o textuals que permeten fer-se una idea de la ciència com a treball col·lectiu, encara que entre els molts científics que citen els llibres triats sempre apareixen els grans genis, per la qual cosa hem estat més selectius a l'hora d'acceptar un llibre com a vàlid en aquesta qüestió i només hem triat aquells que explicitaren el caràcter plural o bé que presentaren suficient varietat d'autors. Si separem els nivells, comprovarem que tots els llibres que responen afirmativament aquesta qüestió són de BUP (16,7 %), mentre que en COU no podem escollir cap llibre que mostre aquest caràcter col·lectiu, ja que, com reflectia l'ítem T1, els aspectes biogràfics hi són menys presents i en aquest nivell superior es tendeix a donar una visió encara més neutra i ahistòrica de la ciència.

A banda, la major part dels llibres només mostren, i de passada, els noms, i alguns tan sols el cognom, dels científics més coneguts, sobretot si tenen alguna unitat de mesura dedicada. Com era d'esperar, científics com Newton, Einstein, Galileu o Lavoisier són esmentats en pràcticament tots els llibres i serveixen per a reforçar el

paper dels genis i ignorar les contribucions de tots els altres personatges, homes i dones, que han treballat en investigacions científiques en les diferents èpoques.

També podem referir-nos breument a la persistència en atribuir a uns pocs científics famosos el treball de molts altres i presentar els resultats com a producte final d'un sol autor. Així, llegint molts textos hom s'emporta la impressió que tota la dinàmica és obra de Galileu i Newton, que l'electromagnetisme el construí Maxwell ell tot sol i la química existeix gràcies a Lavoisier, Dalton i pocs més. En el cas de Maxwell i l'electromagnetisme es fa palesa la contradicció amb el fet de ser aquest un dels capítols del coneixement científic on, sense voler, més clarament apareix el caràcter col·lectiu de la ciència, ja que s'hi esmenten les contribucions de nombrosos científics com Coulomb, Galvani, Volta, Ampère, Oersted, Faraday, Lenz, Henry, Gauss, Biot, Savart, Heaviside, Lorenz, Siemens, Tesla, Weber i molts altres, sense els quals hauria estat impossible dur a terme una tasca tan complexa com l'elaboració de les teories sobre l'electromagnetisme.

Tot i això hem de ser crítics amb la visió general que mostren els llibres, ja que hem considerat benèvolament com a desfavorables a la nostra hipòtesi aquells llibres que eren generosos en la quantitat de personatges esmentats amb biografies o textos relativament extensos, com ara aquells que presentaven pràcticament en tots els capítols la referència extensa a algun científic relacionat amb els conceptes desenrotllats. Però si afinem una mica més en l'anàlisi dels personatges escollits, podem constatar l'absència pràcticament total de referències a les aportacions de col·lectius que es podrien considerar marginals en el món de la ciència (Brush 1991, Krugly-Smolka 1996), com ara les contribucions científiques hispàniques o el paper atribuït a les contribucions fetes per les dones. Algun llibre esmenta científics espanyols de la Il·lustració com els germans Elhuyar, descobridors del tungstè, i el metal·lúrgic del segle XVII Alonso Barba, i un altre llibre fa una breu referència als treballs de Miguel Catalán sobre la interpretació dels multiplets atòmics. Les referències a les dones científiques comencen i acaben amb Marie Curie i, de vegades, la seua filla Irene Joliot-Curie. Només per il·lustrar aquesta visió, esmentarem algunes cites de llibres que reflecteixen indirectament com són considerats habitualment aquests aspectes.

Com ara un llibre cita com a anècdota un fet tan important des del punt de vista històric com la presència del químic francès Joseph Louis Proust a l'Espanya de la Il·lustració, on treballà del 1777 al 1807, la major part de la seua vida:

"Joseph Louis Proust (1754-1826), químic francès que, com a dada anecdòtica, va ensenyar química a Madrid i Segòvia,...".

Com fan la majoria de referències a l'abast, molts llibres ignoren les contribucions de la física austríaca Lise Meitner als treballs sobre la fissió atòmica (Lewin 1989) i, per esmentar-ne només un parell, diuen:

"La fissió provocada per neutrons fou descoberta en 1939 pels físics alemanys Hahn i Strassmann".

"En 1938, Hahn i Strassmann realitzaren una transmutació molt profunda, que anomenaren fissió nuclear".

També n'hi ha que clarament aposten per destacar el gran valor de l'enginy dels grans genis i, enmig d'una dissertació sobre els principis de la dinàmica de Newton, per a suavitzar l'excés de confiança en la inducció empirista, argumenten:

"Encara que les lleis es recolzen, en certa mesura, en els resultats de l'observació científica, no es dedueixen d'una forma automàtica d'ells, sinó *que és l'enginy del científic el que les trau finalment a la llum*" [el subratllat és nostre].

Finalment, com a mostra del paper anecdòtic atribuït als científics poc divulgats, un llibre fa una única i breu referència a un personatge que considerarà molt conegut pel lector ja que només n'esmenta el cognom per a dir només:

"Dissenyat per Dempster, l'espectrògraf de masses és un instrument que..."

**T8. *Presenta una visió del creixement de la ciència que considera les crisis dels grans paradigmes i no mostra una visió acumulativa.***

Aquesta qüestió només és adequadament tractada per un 16,7 % dels llibres revisats, dels quals un 20,8 % corresponen al nivell de BUP, mentre que al nivell de COU correspon un 12,5 %. La qüestió no s'ha detallat en capítols i pàgines, ja que aquesta visió només es sol manifestar en alguns moments del desenvolupament dels temes i sol anar acompanyada de la visió global de l'enfocament històric.

Així, la majoria de textos solen presentar un enfocament ahistòric i una ciència neutra o atemporal, de la que no coneixem cap passat ni cap procés evolutiu, per la qual cosa s'infereix que, en qualsevol cas, els coneixements s'han anat acumulant tot al llarg del temps. Quan s'introdueixen noves idees com la física newtoniana respecte a l'aristotèlica, o la física quàntica respecte a la clàssica, no s'estableix cap reflexió especial i es segueix el fil conductor dels temes anteriors sense més.

Igualment els conceptes químics apareixen sense fil conductor històric i semblen haver sorgit espontàniament o haver-se desenvolupat de sobte. A tall d'exemple

heus ací el que diu un llibre de Química de COU sobre el desenvolupament de la teoria atòmica:

"La idea de l'existència dels àtoms es remunta a l'any 500 a. C., perquè ja Demòcrit considerava que la matèria es componia de partícules indivisibles anomenades àtoms. Però *l'inici real* de la teoria atòmica no tingué lloc fins a finals del segle XIX" [el subratllat és nostre].

Un altre aspecte anecdòtic de tipus històric molt freqüent és la dèria per esmentar una data sense cap altre sentit. Així trobem quasibé sempre que en els temes de termoquímica apareix una referència a la llei sobre l'addició dels calors de reacció a pressió constant, frases com aquesta:

"La llei de Hess fou enunciada en 1840 i, en la seua forma més senzilla, estableix...".

Sembla ser que aquesta llei fou establerta, efectivament, l'any 1840 arran dels treballs de Germain Henri Hess, químic d'origen suís, deixeble de Berzelius, que s'establí a Sant Petersburg, però no s'entén quin interès pot tenir per al lector conèixer únicament aqueixa data. Tot sovint es transmet la imatge que cal posar-hi una mica d'història, encara que siga només de passada i per a quedar bé.

***T9. Mostra una visió històrica i socialment contextualitzada i presenta les repercussions socials dels principals treballs científics.***

La presència més contextualitzada de les dades històriques que, tal com hem vist als ítems anteriors apareixen sovint de manera deslligada, és en conjunt escassa i les diferències entre nivells no són remarcables. Si examinem els capítols (7,7 %) i les pàgines (0,6 %) en el conjunt de la mostra resulten escassos. En els nivells baixos trobem un 7,5 % de capítols i un 0,6 % de pàgines i en els de COU un 8,0 % de capítols i un 0,5 % de pàgines on apareixen referències al context social i històric en què tingueren lloc els treballs científics presentats en cada tema.

En aquest ítem hem valorat si existien activitats de relació dels coneixements científics amb l'entorn social i si apareixien ni que foren breus esments a les repercussions socials de les distintes teories en el moment històric que van aparèixer. En tot cas les escasses mostres de referències socials solen concentrar-se en alguns temes específics, com ara els referits a processos industrials, que generalment són considerats marginals en el temari, si no clarament ignorats en la pràctica.

Pel que fa als entrebancs que les diferents situacions històriques han pogut significar per al desenvolupament de la ciència podem afirmar que la referència és pràcticament nul·la, amb alguna excepció, i la visió neutral de les relacions ciència-societat és omnipresent.

***T10. Proposa activitats explícites d'ús d'història de la ciència com a treball pels alumnes.***

Finalment aquesta qüestió pretenia reflectir el paper actiu atribuït a la història mitjançant les propostes d'activitats amb contingut sòcio-històric. Hem pogut constatar la presència d'activitats, encara que majoritàriament en forma de textos de lectura complementària, en un 14,4 % de capítols i un 1,1 % de pàgines de la mostra global, sense diferències significatives entre nivells.

La major part de llibres que presenten activitats ho fan en forma de lectures complementàries i molts pocs acompanyen el text de qüestions per a la reflexió, amb la qual cosa es perd gran part de la potencialitat d'aquests materials. D'altra banda, l'orientació majoritàriament operativista donada en el conjunt del llibre ens permet dubtar del seu ús real com a eina de treball a les aules, ni tan sols com a treball complementari a casa, i per tant els considerem d'escassa efectivitat.

Per tot això, una vegada comentats els aspectes parcials de cada qüestió, podem afegir que en conjunt els resultats del qüestionari mostren que només una minoria dels llibres analitzats conté aspectes històrics, ja que les dades de capítols oscil·len de l'escàs 7,7 % de la mostra global per a l'ítem T9 fins al màxim del 25,3 % de capítols en l'ítem T2, mentre que les pàgines concretes van del 0,6 % al 2,5 % dels mateixos ítems respectius. Lògicament els percentatges de pàgines són menors, ja que avaluen l'extensió d'alguns aspectes presents en el text i són només indicatius, posat que el conjunt de pàgines examinades és molt nombrós.

Pel que fa als ítems analitzats globalment, els percentatges mesurats van del 8,3 % en els ítems T6 i T7 al 16,7 % de l'ítem T8. En general cal destacar els resultats més baixos dels llibres de COU, sobretot en els ítems T6 i T7, tot i la dificultat d'avaluar aquests aspectes de forma quantitativa.

A la vista dels resultats podem considerar verificada la nostra hipòtesi pel que fa a la imatge de la ciència que presenten els llibres de text d'ús més freqüent a l'entorn

escolar i voldríem acabar aquest apartat amb dues breus referències tretes dels pròlegs dels llibres analitzats que revelen dues visions oposades de la importància concedida pels autors a la Història de la Ciència, encara que només siga una declaració d'intencions. Així mentre uns autors diuen:

"Hem preferit evitar els tòpics tradicionals i d'interès *merament* històric, a canvi d'elevant els continguts".

Altres argumenten per què han introduït alguns aspectes històrico-biogràfics, ja que segons ells:

"És coneguda la importància de la Història de la Ciència en l'ensenyament...".

Podem concloure dient que la primera cita apareix en un llibre publicat l'any 1978, mentre que la darrera és de 1989. Sembla que alguna cosa ha començat a canviar en les orientacions dels darrers anys, tot i ser, més aviat, a nivell d'intencions que no pas de fets. Una dada potser significativa és que la major part dels llibres on es detecta un increment dels aspectes biogràfics i històrics correspon a edicions noves de llibres amb gran difusió, quasibé sempre publicades a partir dels anys 90.

#### **4.2. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS AMB ELS QÜESTIONARIS DE PROFESSORS**

---

La visió que té el professorat sobre el paper que pot jugar la inclusió de la història de la ciència en la classe de física i química l'hem contrastada amb tres qüestionaris breus, d'una sola qüestió cadascun, que hem identificat com a P1, P2 i P3. Els qüestionaris els hem proposat a diferents mostres de professors com a activitats prèvies a la realització de cursos de formació sobre relacions ciència-tècnica-societat i sobre el paper de la història de la ciència, per tant es tracta d'informació recollida sobre el que pensen els professors abans d'haver reflexionat sobre aquests aspectes i podem considerar que mostren la imatge habitual del professorat.

Els qüestionaris s'han proposat a un conjunt de 136 professors d'ensenyament secundari del País Valencià i d'altres llocs de l'estat. El qüestionari P1 l'han contestat 48 professors, el qüestionari P2 l'han contestat 32 professors i el qüestionari P3 l'han contestat 94 professors. El total de respostes (174) excedeix el de professors implicats, ja que alguns professors han contestat més d'un qüestionari. Mostrem tots els resultats obtinguts, en percentatges i llurs desviacions estàndard, a les taules de la 4.2.1 a la 4.2.5.

Els resultats del QÜESTIONARI (P1) apareixen a les taules 4.2.1 i 4.2.2.

TAULA 4.2.1

**QÜESTIONARI (P1) DE PROFESSORS :**  
*Proposa alguna activitat d'història de la ciència que podries fer en la teua classe que resulte motivadora.*

(Percentatge d'activitats proposades sobre  $N_{TOTAL} = 86$ )

TIPUS D'ACTIVITATS ASSENYALADES	Percentatge	s.d.
Crisis i controvèrsies al llarg de la història	24,4	4,6
Problemes a l'origen i evolució de la ciència	17,4	4,1
Repercussions socials de la ciència	7,0	2,7
Aspectes biogràfics dels científics	5,8	2,5
Experiències històriques	1,2	1,2
Varis sense classificar	44,2	5,4

Font: Qüestionari de Professors (P1).

La TAULA 4.2.1 presenta la classificació de les activitats proposades per 48 professors en llurs respostes al qüestionari P1. Com es tracta d'una qüestió oberta hem recollit fins a 86 propostes, cosa que significa una mitjana de 2 activitats proposades per cada enquestat. La part que hem classificat correspon al 55,8 % de propostes, atesa la gran dispersió de possibles activitats suggerides. Destaquen, amb un 24,4 %, les propostes que plantegen activitats al voltant de les crisis i controvèrsies històriques, seguides de les que plantegen l'origen i l'evolució dels conceptes (17,4 %), les que al·ludeixen a aspectes biogràfics (5,8 %) i les que proposen replicar alguna experiència històrica (1,2 %). Tanmateix trobem a faltar activitats sobre els paral·lelismes entre l'evolució dels conceptes i l'aprenentatge dels alumnes, activitats que critiquen el paper de l'atzar en l'evolució de la ciència o activitats que mostren el caràcter col·lectiu de la ciència i les contribucions dels científics espanyols i de les dones científiques, entre d'altres.

La TAULA 4.2.2 mostra les freqüències de respostes al qüestionari P1, és a dir, l'anàlisi del nombre d'activitats que proposa cada professor.

TAULA 4.2.2

**QÜESTIONARI (P1) DE PROFESSORS :**  
*Proposa alguna activitat d'història de la ciència que podries fer en la teua classe que resulte motivadora.*

(Percentatge de propostes sobre  $N_{\text{PROFESSORS}} = 48$ )

<b>NOMBRE D'ACTIVITATS PER PROFESSOR</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
CAP	0,0	0,0
UNA	62,5	7,0
DUES	16,7	5,4
TRES	6,3	3,5
QUATRE	8,3	4,0
CINC	6,3	3,5

*Font: Qüestionari de Professors (P1).*

Tal com veiem a la TAULA 4.2.2, la majoria de professors només proposa una activitat (62,5 %) i també és significatiu el percentatge dels que en proposen dues (16,7 %). El màxim de propostes fetes aplega a cinc (6,3 %) i no hi ha cap professor que ignore la resposta i no propose cap activitat (0,0 %). Atès que es tracta d'una primera activitat de sensibilització sobre el tema, podem concloure que els professors s'esforcen en imaginar activitats amb aspectes històrics, però la majoria no passa de la resposta única i, tal com hem comentat abans, només incideix de forma notòria en aspectes relacionats amb l'evolució dels coneixements científics, però escassament aborda d'altres aspectes també enriquidors com les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat al llarg de la història.

Vegem ara els resultats del QÜESTIONARI (P2) a la TAULA 4.2.3.



## TAULA 4.2.3

**QÜESTIONARI (P2) DE PROFESSORS :**

*¿Utilitzes de forma habitual la història de la ciència en les teues classes?  
¿Per què si o per què no?*

(Percentatge de respostes sobre  $N_{\text{PROFESSORS}} = 32$ )

RESPOSTA	Percentatge	s.d.
SÍ	34,4	8,4
NO	65,6	8,4

Font: Qüestionari de Professors (P2).

Tal com reflecteix la TAULA 4.2.3 la majoria de professors enquestats declara que no fa ús habitual de la història de la ciència (65,6 %), tot i ser una mostra reduïda ( $N=32$ ) i, potser, poc significativa. Malgrat tot, les raons que addueixen creiem que serien compartides per un conjunt més extens i representatiu del professorat de física i química en actiu.

Els que utilitzen la història argumenten que ho fan com a introducció al tema i de forma anecdòtica (9,4 %), per a motivar els alumnes (9,4 %) i per mostrar el procés de construcció de coneixements i evitar el dogmatisme (9,4 %).

Entre les raons majoritàries dels que no utilitzen la història destaquen l'absència del temari (31,1 %), l'escàs interès dels alumnes per seguir el fil conductor històric (15,6 %) i la manca de preparació del professorat (9,4 %).

Tot plegat s'hi constata l'escassa utilització que fa habitualment el professorat dels aspectes històrics i per tant es confirma la nostra hipòtesi sobre el paper que aquests aspectes representen en la pràctica per a la majoria de docents.

Els resultats del QÜESTIONARI (P3) es presenten a les taules 4.2.4 i 4.2.5.

TAULA 4.2.4

**QÜESTIONARI (P3) DE PROFESSORS :**

*Expressa en un escrit breu quin paper creus que pot jugar la història de la ciència en l'ensenyament de les ciències.*

(Percentatge de propostes sobre  $N_{TOTAL} = 286$ )

TIPUS DE PAPERS ASSENYALATS	Percentatge	s.d.
Comprensió del caràcter evolutiu de la ciència	18,9	2,3
Circumstàncies socials que han influït en la ciència	16,4	2,2
Motivació i augment de l'interès	10,8	1,8
Paral·lelisme entre aprenentatge i evolució de la ciència	7,7	1,6
Afavorir el canvi conceptual i el pensament crític	5,2	1,3
Font de recursos didàctics	3,5	1,1
Fil conductor per a organitzar els continguts	2,8	1,0
Valorar les preconcepcions dels alumnes Afavorir la interdisciplinarietat	1,7	0,8
Servir d'introducció a un tema Mostrar una imatge més real de la ciència	1,4	0,7
Altres sense classificar	28,3	2,7

Font: Qüestionari de Professors (P3).

Analitzem ara els resultats de la TAULA 4.2.4 que s'han tret d'una mostra de 94 professors en actiu als que se'ls va plantejar el qüestionari P3, sobre els papers que creuen que pot jugar la història de la ciència en l'ensenyament de les ciències. Ja que es tracta d'una qüestió plenament oberta hem aplegat a recollir fins a 286 propostes, cosa que fa una mitjana de 3 propostes per professor i dona una idea de la perspectiva positiva que la qüestió desperta en aquest grup significatiu d'ensenyants que segueixen cursos institucionals d'actualització, d'entrada motivats, doncs, cap als aspectes de renovació didàctica.

Els papers proposats són molt variats i hem aplegat a classificar fins al 71,7 % de les respostes. Hi destaquen la millor comprensió de l'evolució dels coneixements científics (18,9 %) i l'explicitació de les circumstàncies socials en què aquests s'han produït (16,4 %). Segueixen la major motivació i interès dels alumnes amb un 10,8 % i el paral·lelisme entre la història dels conceptes i el procés d'aprenentatge dels alumnes (7,7 %). També apareixen en percentatges menors la contribució al canvi conceptual i el pensament crític (5,2 %), la font de recursos didàctics diversos (3,5 %) i ser fil conductor per a organitzar els continguts (2,8 %). La taula mostra altres aspectes que ja no apleguen al 2 % i queden sense classificar el 28,3 % de propostes diverses, cadascuna amb percentatges quasibé testimonials, que inclouen: mostrar les dificultats per a acceptar les noves idees per la comunitat científica, recuperar científics que proposaren idees sense èxit, humanitzar la ciència, l'interès cultural i formatiu de la història de la ciència, i aspectes socials i polítics diversos.

La TAULA 4.2.5 mostra les freqüències de propostes fetes en el qüestionari P3, és a dir, el nombre de papers que assigna cada professor en la seua resposta.

<b>TAULA 4.2.5</b> <b>QÜESTIONARI (P3) DE PROFESSORS :</b> <i>Expressa en un escrit breu quin paper creus que pot jugar la història de la ciència en l'ensenyament de les ciències.</i> (Percentatge de propostes sobre $N_{\text{PROFESSORS}} = 94$ )		
<b>NOMBRE DE PAPERS PER PROFESSOR</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
CAP	0,0	0,0
UN	10,6	3,2
DOS	28,7	4,7
TRES	24,5	4,4
QUATRE	24,5	4,4
CINC	7,4	2,7
SIS	2,1	1,5
SET	2,1	1,5

Font: Qüestionari de Professors (P3).

La TAULA 4.2.5 revela que la majoria d'enquestats proposa entre un i quatre papers (en conjunt el 88,3 %) i no hi ha cap resposta que no considere cap paper (0,0 %). La resta en proposa cinc, sis i fins a set papers, però són franca minoria.

Com hem vist, la varietat de papers possibles atribuïts a la història contrasta amb el poc ús real que se'n fa i no deixa de sorprendre la minoria que esmenta valors potencialment tan formatius com alguns dels indicats anteriorment, que indubtablement formen part del paper mullat en què queden convertides moltes propostes de renovació pedagògica quan s'han de transportar a la pràctica docent quotidiana.

### **4.3. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS OBTINGUTS AMB ELS QÜESTIONARIS D'ALUMNES**

---

Per tal de contrastar la imatge deformada de la ciència en els alumnes i la seua valoració del paper de la Història de la Ciència hem passat els qüestionaris A, B, C i D a diferents mostres que tot seguit descriurem. En el conjunt d'aquesta part del treball han participat un total de 694 alumnes.

Els qüestionaris A i B s'han passat a 209 alumnes de 2n de BUP, a 134 alumnes de 3r de BUP i a 136 alumnes de COU de diferents instituts de batxillerat del País Valencià, durant dos cursos escolars. El conjunt de la mostra el formen, doncs, 479 alumnes.

El qüestionari C sobre aspectes sociològics i el qüestionari D per a avaluar les actituds dels alumnes i la seua valoració del paper de la Història de la Ciència s'han passat a una mostra diferent, ja que s'han incorporat al disseny experimental en una segona fase després dels dos anteriors. Aquesta nova mostra està formada per 86 alumnes de 2n de BUP, 67 alumnes de 3r de BUP i 62 alumnes de COU de diferents instituts, durant dos cursos escolars. El conjunt de la mostra l'integren 215 alumnes.

Per tal d'analitzar els resultats hem considerat més adient agrupar les respostes dels alumnes de 3r i COU, ja que s'assemblen prou en general i corresponen a un nivell optatiu on s'exigeix més que en 2n, nivell introductori i obligatori per a tots els alumnes. D'aquesta manera es pot avaluar si hi ha un cert grau d'evolució entre el primer contacte directe amb la Física i la Química, que es dona al nivell obligatori, i els nivells superiors on els alumnes han manifestat la seua decisió de cursar aquestes matèries. L'anàlisi es completa amb els percentatges de respostes de la mostra global.

### 4.3.1. Qüestionari d'alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència

En les taules numerades de la 4.3.1 a la 4.3.6 presentem successivament els percentatges de respostes, acompanyats de llurs desviacions estàndard, de la mostra d'alumnes (N = 479) a cadascun dels ítems que conté el primer qüestionari (A) dissenyat per tal de fer palesa la imatge implícita de la ciència que tenen els alumnes. Recordem que es tracta de preguntes de resposta tancada, on els alumnes han de manifestar el seu grau d'acord amb cada afirmació i valorar-lo amb un número del 0, màxim desacord, fins al 10, acord total, i que per a l'anàlisi dels resultats hem agrupat en tres nivells: desacord (0-3), dubtosos (4-6) i molt d'acord (7-10).

TAULA 4.3.1						
<b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A1 :</b>						
<i>El treball dels físics i els químics consisteix a descobrir les lleis ocultes en la natura.</i>						
(Percentatge de valoracions. N <sub>GLOBAL</sub> = 479)						
GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	64,6	(3,3)	53,3	(3,0)	58,2	(2,3)
<b>Dubtos (4-6)</b>	28,7	(3,1)	34,1	(2,9)	31,7	(2,1)
<b>En desacord (0-3)</b>	6,7	(1,7)	12,6	(2,0)	10,0	(1,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

La TAULA 4.3.1 mostra clarament que la majoria de respostes està d'acord amb l'enunciat de la frase i respon a les expectatives que en teníem. Encara que els percentatges parcials dels nivells són una mica diferents, no disten significativament del 58,2 % global que majoritàriament manifesta un grau d'acord elevat, amb valoracions superiors a 6, que contrasta amb l'escàs 10,0 % de respostes clarament contràries a l'afirmació. El percentatge de dubtosos és elevat però queda prou per sota del grup majoritari. Així, doncs, podem mantenir que la imatge de l'activitat científica entesa com a descobriment de la natura i no com a construcció de coneixements és majoritària entre l'alumnat enquestat i, si atenem als resultats per nivells, no experimenta una millora substantiva en passar a nivells superiors. Les respostes d'aquest ítem guarden suficient correlació amb les de l'ítem A5, que després detallarem, que conté una afirmació semblant referida a la naturalesa dels conceptes científics com les magnituds físiques.

TAULA 4.3.2

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A2 :**

*L'objectiu del treball científic és l'establiment de relacions matemàtiques (lleis) entre magnituds físiques.*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 479)

GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	42,6	(3,4)	44,1	(3,0)	43,4	(2,3)
<b>Dubtós (4-6)</b>	41,6	(3,4)	37,8	(3,0)	39,5	(2,2)
<b>En desacord (0-3)</b>	15,8	(2,5)	18,1	(2,3)	17,1	(1,7)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.*

La visió formalista i la preponderància que es dona al llenguatge matemàtic de la ciència, sovint mancada d'una justificació escaient, és clarament percebuda per la majoria de l'alumnat (43,4 %) que, segons la TAULA 4.3.2, es mostra d'acord amb l'afirmació de l'ítem A2. El nombre de dubtosos (39,5 %) és igualment important i no s'aprecien diferències entre nivells, però els que estan en desacord són minoria (17,1 %).

És un fet que el formalisme matemàtic és omnipresent en aquests nivells secundaris, encara que sol tenir en compte el nivell que suposadament s'ha d'exigir als alumnes en el domini del càlcul, l'àlgebra i la geometria. Per tant, aquestes respostes confirmen la nostra hipòtesi, i reforcen els resultats exposats en l'anàlisi dels textos (Ítem T6) on criticàvem l'enfocament formalista d'una part considerable dels llibres de text més usuals.

## TAULA 4.3.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A3 :**

*El concepte de força i les lleis de la dinàmica foren establides per Newton en la seua forma actual o no han experimentat canvis des que foren establides per Newton fins a l'actualitat.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{GLOBAL}} = 479$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	46,9	(3,5)	38,9	(3,0)	42,4	(2,3)
<b>Dubtós (4-6)</b>	32,5	(3,2)	34,1	(2,9)	33,4	(2,2)
<b>En desacord (0-3)</b>	20,6	(2,8)	27,0	(2,7)	24,2	(2,0)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.*

Els resultats de l'ítem A3, de clar contingut històric, tal com s'exposa a la TAULA 4.3.3, revelen una majoria (42,4 %) de respostes clarament d'acord amb l'enunciat que expressa un exemple de la visió de la ciència acabada, en un estadi definitiu, a despit d'introduir tergiversacions històriques. El fet de referir-se a un sol autor i ignorar d'altres científics que contribuïren a donar forma als diferents conceptes científics és molt freqüent en l'ensenyament habitual, que no aprofundeix en aquests detalls i passa superficialment per la història de les creacions científiques. No és estrany que aparega un important nombre de dubtosos (33,4 %) i un nombre elevat de respostes en desacord, màxim en el nivell superior (27,0 %), malgrat la insistència de la majoria de llibres en presentar un sol autor per a cada teoria i només d'algunes. La visió acabada de la ciència ja ha estat criticada en l'anàlisi dels textos (T5) on apareixia majoritàriament.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 4.3.4</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A4 :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Quan els resultats d'un experiment ben realitzat contradiuen una teoria científica, aquesta s'enfonsa i és abandonada.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 479)</p>						
GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	24,4	(3,0)	33,3	(2,9)	29,4	(2,1)
<b>Dubtós (4-6)</b>	16,3	(2,6)	22,6	(2,5)	19,8	(1,8)
<b>En desacord (0-3)</b>	59,3	(3,4)	44,1	(3,0)	50,7	(2,3)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

La TAULA 4.3.4 mostra els resultats de l'ítem A4 on la majoria de respostes (50,7 %) es mostra en desacord amb el falsacionisme de l'enunciat, encara augmentat en els alumnes de 2n de BUP. Globalment considerat aquest ítem no confirma la predicció de la nostra hipòtesi, cosa que podríem atribuir al fet que l'enunciat potser és una mica radical i molts alumnes han pensat que un experiment no és suficient per a abandonar una teoria o que, en tot cas, sempre es poden fer retocs abans de substituir-la definitivament. Tot i això, els percentatges de dubtosos són baixos i els percentatges d'acord no resulten menyspreables (29,4 %). A més, els percentatges d'acord són majors en el nivell superior, cosa que resulta contradictòria.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 4.3.5</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A5 :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Els conceptes o magnituds que s'utilitzen en Física i Química són descobriments de coses que ja existeixen a la natura, no invencions dels científics.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 479)</p>						
GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	50,2	(3,5)	48,9	(3,0)	49,5	(2,3)
<b>Dubtós (4-6)</b>	22,5	(2,9)	18,1	(2,3)	20,0	(1,8)
<b>En desacord (0-3)</b>	27,3	(3,1)	33,0	(2,9)	30,5	(2,1)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.



Els resultats de l'ítem A5, que mostra la TAULA 4.3.5, reforcen els que tenia l'ítem A1 sobre la visió del treball dels científics com a descobriment i no com a creació, que ací es concreta en les magnituds físiques o els conceptes bàsics. Una clara majoria de respostes (49,5 %) es declara d'acord amb l'enunciat, sense diferències entre nivells, encara que l'increment del percentatge de desacord del 27,3 % del nivell bàsic al 33,0 % del nivell superior sembla indicar un lleuger avanç en la percepció més correcta, que pot ser atribuït a l'increment del nombre de magnituds abstractes a mesura que progressen els estudis.

TAULA 4.3.6

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A6 :**  
*El desenvolupament de les ciències tot al llarg de la història ha estat un procés acumulatiu de més i més coneixements.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{GLOBAL}} = 479$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	87,6	(2,3)	86,7	(2,1)	87,1	(1,5)
<b>Dubtós (4-6)</b>	11,5	(2,2)	7,4	(1,6)	9,2	(1,3)
<b>En desacord (0-3)</b>	1,0	(0,7)	5,9	(1,4)	3,8	(0,9)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

Finalment la TAULA 4.3.6 presenta els resultats obtinguts amb l'ítem A6. Els percentatges revelen el paper preponderant donat al caràcter acumulatiu en l'evolució de la ciència. Una majoria destacada (87,1 %), sense diferències entre nivells, assenyalen que està d'acord amb aquesta visió i no es qüestiona l'aparició de grans crisis conceptuals, cosa que també mostrarà el proper qüestionari. Encara que siga cert que en determinades èpoques més brillants de la història de la ciència es produeix una acumulació creixent de coneixements, tanmateix els models científics mai no són definitius, es van produint canvis a distints nivells, com si fossen micro-revolucions (Toulmin 1977), fins que aplega un moment que cal revisar de forma dràstica els esquemes conceptuals. És el que alguns filòsofs de la ciència han anomenat crisis dels paradigmes conceptuals (Kuhn 1971), que són veritables revolucions científiques, com l'abandonament de la física preclàssica o aristotèlica i la substitució per la nova física newtoniana, igual com en el cas de la superació d'aquesta per la física moderna o quàntica.

### 4.3.2. Qüestionari d'alumnes (B) sobre el desenrotllament de la ciència i les contribucions dels científics

Per tal de millorar el significat d'algunes respostes del qüestionari anterior i indagar d'altres aspectes nous, passem a analitzar els resultats del qüestionari (B) que consta de respostes obertes als ítems B1 a B5, sobre el desenrotllament de la ciència i les contribucions dels científics. Aquest qüestionari s'ha passat a la mateixa mostra que l'anterior (N=479) i en presentem els resultats a les taules de la 4.4.1 a la 4.4.5.

TAULA 4.4.1 <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B1 :</b> <i>Indica breument algunes crisis o canvis profunds de coneixements i teories que s'han produït tot al llarg de la història en el desenrotllament de les ciències físico-químiques.</i> (Percentatge de valoracions. N <sub>GLOBAL</sub> = 479)						
RESPOSTA	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Esmenten alguna crisi	9,6	(2,0)	20,4	(2,5)	15,7	(1,7)
No n'esmenten cap	90,4	(2,0)	79,6	(2,5)	84,3	(1,7)

Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.

La TAULA 4.4.1 permet corroborar la visió acumulativa del creixement de la ciència que té la majoria d'alumnes i que quedava palesa amb els resultats de l'ítem A6 anteriorment analitzats. Ara, quan demanem als alumnes que expliciten les crisis que s'han produït al llarg de la història de les ciències físico-químiques, només un 15,7 % del conjunt de la mostra és capaç d'esmentar correctament alguna d'elles, encara que al nivell superior el percentatge creix un poc fins al 20,4 %, i dista més del 9,6 % del nivell bàsic, cosa d'altra banda comprensible.

Convé considerar breument el remarcable desconcert que genera aquesta qüestió, ja que una important quantitat d'enquestes la deixa en blanc i moltes respostes confonen les crisis en l'evolució dels conceptes amb d'altres crisis d'índole social, cosa que potser revela la incomprensió del significat de l'enunciat, a causa de l'absència del tractament d'aquest aspecte en l'ensenyament rebut, ja que les respostes correctes ens permeten acceptar que alguns alumnes, si més no, han entès adequadament a què feia referència l'ítem. També hem d'afegir que, en tractar-se d'una resposta oberta, hem estat generosos en la consideració de la seua correcció i hem acceptat com a vàlid

qualsevol referent, ni que fos indirecte, als canvis conceptuals com els nous models astronòmics heliocèntrics o l'al·lusió a una física especial per al món subatòmic.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 4.4.2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B2 :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Digues el nom d'almenys cinc científics o científiques importants i indica quina fou la seua principal contribució al desenrotllament de les ciències físico-químiques.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 479)</p>						
<b>NOMS I TREBALLS CORRECTES</b>	<b>2n BUP</b>	<b>s.d.</b>	<b>3r BUP/COU</b>	<b>s.d.</b>	<b>GLOBAL</b>	<b>s.d.</b>
<b>Cinc o més</b>	20,6	(2,8)	35,2	(2,9)	28,8	(2,1)
<b>Menys de cinc</b>	62,2	(3,4)	56,7	(3,0)	59,1	(2,2)
<b>Cap</b>	17,2	(2,6)	8,1	(1,7)	12,1	(1,5)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.*

La TAULA 4.4.2 presenta els resultats de l'ítem B2 que demanava cinc contribucions a la ciència i els seus autors o autores respectius. Una primera versió del qüestionari separava en dos ítems les referències a científics i a científiques, però hem considerat més adequat fondre ambdues qüestions en una, ja que l'escassetat de cites femenines es fa igualment palesa, encara que una pregunta directament al·lusiva a les dones científiques pogués fer reflexionar l'alumne per a buscar-ne almenys una.

Bé, doncs, malgrat la minsa exigència d'un mínim de cinc noms, la majoria de respostes no hi aplega, ja que el 59,1 % correspon a aquelles enquestes que n'esmenten menys de cinc correctes, que, recordem-ho, havien d'incloure no només el nom del personatge sinó també el treball pel que sol ser conegut. Hem de destacar també que un 35,2 % de respostes del nivell superior sí que ateny els cinc o més encerts i també és notori el 12,1 % de respostes que no són capaces de donar un sol nom i treball correctes.

L'anàlisi detallada de les respostes és força laboriosa, ja que es poden recollir les cites i les freqüències amb què són esmentats els diferents autors. D'antuvi no cal ni dir que la majoria d'esmentats són homes i corresponen als grans genis que també

citen els llibres de text de forma majoritària, tal com hem vist en el qüestionari (T). Són clarament destacades les cites de Newton, Galileu, Einstein, Curie i Lavoisier. En una part de la mostra (123 enquestes) que cobria tots els cursos investigats, hem constatat que el científic més destacat de l'elenc és Isaac Newton, que esmenten el 78,8 % dels alumnes de 2n de BUP, el 67,5 % dels alumnes de 3r de BUP i el 66,0 % dels alumnes de COU. Li segueix en importància Albert Einstein, que esmenten el 27,3 % dels alumnes de 2n de BUP, però arriba al 65,0 % dels alumnes de 3r de BUP i el 56,0 % dels alumnes de COU. El cas és que els científics esmentats són generalment coneguts per altres motius, bàsicament a causa de llur popularitat extra-acadèmica. A considerable distància dels anteriors solien citar-se científics vinculats als temes objecte d'estudi durant el curs en què foren enquestats els alumnes. Així els alumnes de 2n de BUP esmentaven en tercer lloc Galileu i després Pascal i Hooke, com a més remarcables. Els alumnes de 3r de BUP recordaven sobretot Bohr i després Rutherford i Planck. Els alumnes de COU, en canvi, esmentaven Bohr seguit de Heisenberg i de Watson i Crick.

L'única referència significativa a dones científiques era Marie Curie (e. g., citada amb treballs inclosos per un 84,8 % d'alumnes de 2n de BUP) i coneguda a través de la seua indubtable popularitat, ja que l'estudi en profunditat del nucli atòmic i els fenòmens radioactius es sol restringir als alumnes de COU, encara que generalment siga esmentada sempre que fa al cas. Algun alumne més informat, alumna potser, esmenta la biòloga Rosalind Franklin, que féu les primeres anàlisis de difracció de Raigs X de l'ADN i no arribà a gaudir del premi Nobel amb Watson i Crick a causa de la seua mort. Aquest aspecte revela, com era també previsible, que la ciència amb què arriben a contactar els nostres alumnes rarament passa del segle XIX, mentre que la incorporació de forma significativa de la dona al món de la investigació científica, com a les activitats de major protagonisme social, és un fenomen netament contemporani i, ai las!, la ciència del segle XX és també minoritària a les nostres aules (Gil et al. 1989).

La gran varietat d'autors esmentats no presenta novetats sorprenents i coincideix bastant amb els que podem trobar en qualsevol llibre de text, ampliada amb alguna referència a científics contemporanis famosos com Stephen Hawking. Però entre la llarga llista de noms, quasibé no apareix cap autor del país, exceptuant alguna referència a Ramón y Cajal i a Miguel Servet, que no són estrictament de l'àrea de les ciències físico-químiques, i a Severo Ochoa.

## TAULA 4.4.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B3 :**

*Indica qui són els autors o autores d'aquestes contribucions al desenvolupament de la ciència: a) llei dels gasos perfectes; b) inducció electromagnètica; c) aïllament de l'element radioactiu radi; d) primer model quàntic de l'àtom; e) model corpuscular clàssic de la llum.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{GLOBAL}} = 479$ )

AUTORS CITATS CORRECTAMENT	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Quatre o cinc</b>	0,0	(0,0)	7,8	(1,6)	4,4	(0,9)
<b>Menys de quatre</b>	55,0	(3,4)	69,6	(2,8)	63,3	(2,2)
<b>Cap</b>	45,0	(3,4)	22,6	(2,5)	32,4	(2,1)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenvolupament de la ciència i contribucions dels científics.*

La TAULA 4.4.3 mostra també la precarietat dels encerts a l'ítem B3, ja que s'hi demana l'autor o autora concrets d'alguns treballs i es considera un mínim de 4 encerts com a acceptable. Tanmateix, la majoria de respostes (63,3 %) es situa entre els que n'encerten menys de 4, que en gran part són un únic encert i apareix un sorprenent 32,4 % d'enquestes amb cap encert, quan s'hi han escollit cinc treballs científics de sobra coneguts. És més comprensible que el 45,0 % d'alumnes de 2n de BUP no tinga cap encert, atès que algunes enquestes es passaren a començament del curs i apareixen treballs que s'aborden en els programes de l'assignatura al llarg de diferents nivells.

La resposta més positiva correspon als que recorden que Marie Curie aïllà per primera vegada l'element radi, seguit dels que assenyalen Bohr com l'autor del primer model quàntic de l'àtom. La resposta menys encertada correspon a la inducció electromagnètica, pot ser pel tractament més superficial que es sol fer d'aquests temes, només en algun curs.

TAULA 4.4.4

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B4 :**

*Esmenta breument quines repercussions tingueren en la societat en el seu moment històric aquests desenrotllaments de les ciències físico-químiques: a) model heliocèntric de l'Univers; b) inducció electromagnètica; c) model nuclear de l'àtom; d) obtenció de nous metalls; e) síntesi de la urea.*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 479)

REPERCUSSIONS ESMENADES	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Quatre o cinc</b>	3,8	(1,3)	9,3	(1,8)	6,9	(1,2)
<b>Menys de quatre</b>	27,3	(3,1)	58,9	(3,0)	45,1	(2,3)
<b>Cap</b>	68,9	(3,2)	31,9	(2,8)	48,0	(2,3)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.*

La TAULA 4.4.4 resumeix els resultats de l'ítem B4, de clares referències socio-històriques, i ve a corroborar treballs anteriors (Solbes i Vilches 1992) sobre relacions ciència-tècnica-societat. La majoria de respostes (48,0 %) no és capaç de citar cap repercussió social de fets clau en l'evolució de la ciència precisament a causa de llurs conseqüències i nombroses aplicacions. Hem escollit aspectes teòrics per a palesar si els enquestats eren capaços d'associar aqueixes aportacions del pensament científic a aspectes pràctics, ja que citar directament invents o aplicacions pràctiques hauria permès respostes massa evidents.

Pensem en les controvèrsies socials del Renaixement causades per la divulgació a tot Europa del model copernicà, o les innombrables aplicacions derivades dels treballs de Faraday o del model nuclear de l'àtom, etc. Tot i això, un 45,1 % de respostes arriba a citar menys de quatre repercussions, però hi són majoria els que només responen una repercussió i destaquen els que deixen la resposta en blanc. Amb això queda confirmat el caràcter més aviat teòric de l'ensenyament habitual, deslligat de tot context social i que ignora les importants conseqüències que han tingut per a la humanitat les diverses aportacions del pensament científic de diferents èpoques històriques.

La major part dels que assenyalen repercussions socials ho fan del model heliocèntric, amb al·lusions, sobretot, al rebuig que generà el model davant les autoritats

eclesiàstiques i les persecucions de què fou objecte Galileu per la Inquisició. A banda, hi ha les referències a l'obtenció de metalls o les conseqüències del model nuclear de l'àtom, però de forma quasibé testimonial. La síntesi de la urea és pràcticament desconeguda per la totalitat de les respostes, pel caràcter sovint marginal que té la química orgànica en els temaris impartits de forma efectiva.

TAULA 4.4.5

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B5 :**

*Tracta de formular els problemes a partir dels quals s'originaren els conceptes o teories següents: a) teoria de la combustió de Lavoisier; b) experiència d'Oersted; c) identificació de substàncies radioactives; d) equivalència entre calor i treball; e) model atòmic de Bohr.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{GLOBAL}} = 479$ )

PROBLEMES FORMULATS	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Quatre o cinc</b>	0,0	(0,0)	0,0	(0,0)	0,0	(0,0)
<b>Menys de quatre</b>	3,3	(1,2)	21,1	(2,5)	13,4	(1,6)
<b>Cap</b>	96,7	(1,2)	78,9	(2,5)	86,6	(1,6)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.*

Finalment, la TAULA 4.4.5 ens dona els resultats de l'ítem B5 referits al reconeixement dels problemes que han originat diverses línies d'investigació físico-químiques. Aquests resultats són també eloqüents, ja que mostren una majoria aclaparadora (86,6 %) de respostes que no són capaces de formular ni tan sols breument quins problemes suscitaren l'aparició dels conceptes i teories proposats a l'ítem. Com es veu, cap enquesta ha pogut completar els 5 encerts, ni tan sols els 4 considerats acceptables, i entre els que n'enuncien algun coincideixen quasibé tots a esmentar un sol treball com a màxim. Aquests resultats eren previsibles atès el nul tractament que es fa a l'ensenyament habitual d'un enfocament fonamentat en presentar la ciència com un procés obert d'investigació que tracta d'abordar problemes més o menys complexos i, doncs, acaba per mostrar-s'hi una ciència ja elaborada i completa que no deixa cap possibilitat de caràcter obert o temptatiu. Les relacions entre calor i treball són les més al·ludides, entre les poques respostes que indiquen algun problema, seguit dels orígens del model de Bohr, amb la interpretació dels espectres atòmics. La resta de problemes són generalment ignorats.

### 4.3.3. Qüestionari d'alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència

Per a completar la informació sobre aspectes de sociologia i història de la ciència, que no havien aparegut en els qüestionaris anteriors, hem proposat el qüestionari (C) format pels ítems C1 a C7, que hem aplicat a una mostra diferent de la que havia contestat els qüestionaris (A) i (B). La mostra nova constava de 215 alumnes. Els resultats d'aquest qüestionari els presentem a les taules de la 4.5.1 a la 4.5.7.

TAULA 4.5.1 <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C1 :</b> <i>Esmenta dos models o teories diferents, que han generat moltes controvèrsies, que s'han usat al llarg de la història de la ciència per a explicar alguns dels següents fenòmens que conegues: a) la caiguda lliure dels cossos; b) el moviment planetari; c) la influència de les forces en el moviment; d) la transferència de calor entre els cossos; e) els fenòmens elèctrics; f) la combustió; g) la naturalesa de la llum; h) l'estructura dels àtoms; i) el caràcter àcido-bàsic; j) la naturalesa de les substàncies orgàniques...</i> (Percentatge de valoracions. N <sub>GLOBAL</sub> = 215)						
FENÒMENS AMB MODELS INDICATS	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Dos o més	10,5	(3,3)	8,5	(2,5)	9,3	(2,0)
Un fenomen	11,6	(3,5)	26,4	(3,9)	20,5	(2,8)
Cap	77,9	(4,5)	65,1	(4,2)	70,2	(3,1)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 4.5.1 mostra els resultats del primer ítem que confirmen clarament la nostra hipòtesi, ja que la majoria d'alumnes (70,2 % de tota la mostra) no assenyala cap model amb controvèrsies, tot i els suggeriments que se'ls proposen. Hi ha més respostes negatives entre els alumnes del nivell més baix. Entre els nivells més alts només és significatiu el percentatge d'alumnes que esmenten un sol cas de controvèrsia (26,4 % dels alumnes de 3r BUP/COU). Açò demostra la nostra suposició de l'escàs paper que s'atribueix al caràcter controvertit dels models científics en l'ensenyament habitual i com es reforça la imatge dogmàtica i definitiva de les teories que s'expliquen, on no hi ha cap lloc per al dubte o l'alternativa. En tot cas, els que responen, solen esmentar majoritàriament la controvèrsia entre els models geocèntric i heliocèntric del Sistema Solar i la resta de propostes apareix només de forma esporàdica.



TAULA 4.5.2

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C2 :**

*Cita dos exemples de com ha influït el suport econòmic a la ciència al llarg de la història i en l'actualitat.*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)

CASOS INDICATS	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Dos	8,1	(2,9)	2,3	(1,3)	4,7	(1,4)
Un cas	25,6	(4,7)	18,6	(3,4)	21,4	(2,8)
Cap	66,3	(5,1)	79,1	(3,6)	74,0	(3,0)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 4.5.2 mostra els resultats de l'ítem C2 sobre exemples de suport econòmic a la ciència. La majoria de respostes (74,0 % de tota la mostra) no és capaç de recordar cap cas i només un 25,6 % dels alumnes del nivell 2n de BUP esmenta un cas de suport a la ciència, referint-se de forma vaga a les necessitats d'invertir en investigació per tal que aquesta progressi. Són totalment absents les respostes referides a casos històrics com el mecenatge del Duc de Toscana a Galileu o la progressiva institucionalització del treball científic a partir del segle XVII i la creació de centres de foment explícit de la ciència tot al llarg dels segles XVIII i XIX a Europa.

TAULA 4.5.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C3 :**

*¿Creus que la ciència i els avanços científics són fruit més bé d'un treball col·lectiu o sobretot obra d'uns pocs científics? Argumenta-ho amb algun exemple.*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)

RESPOSTA	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Sí amb arguments	32,6	(5,1)	38,0	(4,3)	35,8	(3,3)
Sí	37,2	(5,2)	26,4	(3,9)	30,7	(3,1)
No	16,3	(4,0)	27,1	(3,9)	22,8	(2,9)
No amb arguments	14,0	(3,7)	8,5	(2,5)	10,7	(2,1)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

Els resultats de l'ítem C3, referits al caràcter col·lectiu del treball científic es mostren a la TAULA 4.5.3. Hi ha un percentatge elevat de respostes que s'hi mostren d'acord (66,5 % en total), però moltes d'elles no es veuen recolzades per cap argument clar (30,7 %) i les que donen alguna raó (35,8 %) no solen concretar-la en noms de científics que han contribuït a un mateix treball, més aviat es tracta d'una percepció apriorística, ja que al·ludeixen als avantatges que comporta el treball realitzat per molta gent, més que no pas el de caràcter individual. S'hi detecta una intuïció que no ha arribat a ésser desenvolupada, per manca d'un tractament més aprofundit d'aquest aspecte a l'ensenyament habitual.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 4.5.4</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C4 :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>¿Al llarg dels teus estudis se t'ha posat en contacte amb contribucions de científics espanyols? ¿Quins en recordes?</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)</p>						
<b>CIENTÍFICS ESPANYOLS</b>	<b>2n BUP</b>	<b>s.d.</b>	<b>3r BUP/COU</b>	<b>s.d.</b>	<b>GLOBAL</b>	<b>s.d.</b>
<b>Dos o més</b>	4,7	(2,3)	13,2	(3,0)	9,8	(2,0)
<b>Un científic</b>	11,6	(3,5)	18,6	(3,4)	15,8	(2,5)
<b>Cap</b>	83,7	(4,0)	68,2	(4,1)	74,4	(3,0)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.*

Aquest quart ítem (C4), els resultats del qual veiem a la TAULA 4.5.4, revela el desconeixement generalitzat de científics espanyols per part de la mostra enquesta. Del conjunt destaca un 74,4 % que no recorda cap nom. Entre els que n'esmenten un (15,8 %) predominen les referències a Ramón y Cajal, com ja passava en respostes a un ítem anterior de forma indirecta (B2), i de vegades a Isaac Peral o Miguel Servet, també esmentats pels que en diuen dos o més (9,8 %). Aquestes respostes confirmen la nostra hipòtesi sobre l'absència significativa de la ciència hispànica en les nostres aules, ja que les escasses referències són degudes a d'altres causes, com ara la popularitat d'alguns d'ells, i no solen ser de les àrees específiques de física i de química.

TAULA 4.5.5

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C5 :**

*¿Coneixes algun cas històric en què els avanços de la tècnica (per exemple, nous invents) hagen afavorit el desenrotllament dels coneixements científics?*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)

AVANÇOS INDICATS	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Dos o més</b>	11,6	(3,5)	27,1	(3,9)	20,9	(2,8)
<b>Un avanç</b>	26,7	(4,8)	27,1	(3,9)	27,0	(3,0)
<b>Cap</b>	61,6	(5,2)	45,7	(4,4)	52,1	(3,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 4.5.5 mostra els resultats del cinquè ítem (C5) que revelen un desconeixement generalitzat de les relacions entre els avanços de la tècnica i el progrés científic. Només un 20,9 % del total de respostes esmenta fins a dos exemples, que solen ser, majoritàriament, el telescopi, en astronomia, i el microscopi, en les ciències biològiques. El percentatge que només esmenta un cas (27,0 %) és un poc major, però tampoc no resulta afalagador. Tanmateix, la majoria d'enquestats (52,1 %) no és capaç de recordar cap exemple d'influència dels avanços tècnics en el coneixement científic, cosa que confirma la nostra hipòtesi sobre l'absència majoritària d'aquests tractaments en l'ensenyament de la física i la química i el caràcter més aviat teòric i allunyat de les repercussions socials i influències mútues entre la ciència i la tècnica. No hi ha diferències significatives entre nivells.

TAULA 4.5.6

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C6 :**

*¿Coneixes les facilitats que s'han donat al treball científic a Espanya al llarg de la història? Esmenta alguns casos si en coneixes.*

(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)

FACILITATS INDICADES	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Una o més facilitats</b>	1,2	(1,2)	7,0	(2,2)	4,7	(1,4)
<b>Cap</b>	98,8	(1,2)	93,0	(2,2)	95,3	(1,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

Per a reforçar l'escassa visió del paper de la ciència hispànica que mostrava l'ítem C4, els resultats de l'ítem C6, que es presenten a la TAULA 4.5.6, revelen el desconeixement pràcticament total (95,3 % de tota la mostra) del recolzament i facilitats donades per al desenvolupament de la ciència en aquest país, atès que l'ensenyament habitual no contempla la inclusió dels aspectes sociològics, en general, i menys encara de l'estudi de les diferents èpoques d'esplendor i desenvolupament normal de la ciència espanyola, com ara les aportacions del segle XVI, dels novadors i la Il·lustració o les generacions de començaments d'aquest segle. Tampoc no hi ha diferències entre nivells.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 4.5.7</b>  <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C7 :</b>  <i>¿Coneixes els entrebancs posats al treball científic a Espanya al llarg de la història?</i>  <i>Esmenta alguns casos si en coneixes.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)</p>						
ENTREBANCS INDICATS	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Un o més entrebancs	16,3	(4,0)	30,2	(4,0)	24,7	(2,9)
Cap	83,7	(4,0)	69,8	(4,0)	75,3	(2,9)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.*

La TAULA 4.5.7 mostra els resultats del setè ítem (C7) que planteja el tema dels entrebancs a la ciència hispànica, òbviament relacionat amb l'ítem anterior. Tot i no ser tan negatius com els d'aquell, hi destaca un 75,3 % del total de la mostra que ignora completament la resposta. Entre el 24,7 % de respostes positives predomina l'alusió al paper de l'Església a l'època de la Inquisició, cas possiblement més conegut pel tractament que se'n fa en les classes d'Història. En conjunt, els ítems C4, C6 i C7 coincideixen a confirmar la nostra hipòtesi sobre el desconeixement de l'activitat científica desenvolupada en l'entorn més pròxim a l'alumnat, cosa que reforça la imatge d'una ciència feta per estrangers i aliena a les nostres possibilitats.

L'anàlisi global dels qüestionaris (A), (B) i (C) ens permet constatar la imatge deformada de la ciència que tenen la majoria d'alumnes, cosa que està d'acord amb l'enunciat de la nostra hipòtesi. Vegem ara els resultats referits a les actituds i l'interès dels alumnes.

#### 4.3.4. Qüestionari d'alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència

L'exploració de les actituds dels alumnes davant la ciència i el seu ensenyament s'ha dut a terme, finalment, amb el qüestionari (D), format per tres qüestions (D1, D2 i D3) que ha estat aplicat a la mateixa mostra que el qüestionari (C) que estava formada per 215 alumnes. Els resultats obtinguts es presenten a les taules de la 4.6.1 a la 4.6.3 i tot seguit els comentem.

TAULA 4.6.1						
<b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D1 :</b>						
<i>Valora de 0 a 10 si l'ensenyament que has rebut des de l'EGB fins ací ha despertat el teu interès per les ciències i, en particular, per la física i la química.</i>						
(Percentatge de valoracions. N <sub>GLOBAL</sub> = 215)						
GRAU DE VALORACIÓ	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
<b>Alt (7-10)</b>	32,4	(5,0)	42,2	(4,3)	38,3	(3,3)
<b>Mitjà (4-6)</b>	58,1	(5,3)	52,7	(4,4)	54,9	(3,4)
<b>Baix (0-3)</b>	9,5	(3,2)	5,1	(1,9)	6,8	(1,7)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 4.6.1 mostra els resultats del primer ítem (D1) de caràcter tancat, on es demanava als alumnes una valoració del paper desenvolupat per l'ensenyament rebut fins ara, pel que fa a l'interès que ha suscitat en ells envers l'aprenentatge de les ciències físico-químiques. Tal com podem veure a la taula, s'hi mostra una clara divisió de parers, encara que hi ha una majoria (54,9 % del total) que atribueix valoracions de nivell mitjà (entre 4 i 6), seguida d'un considerable percentatge (38,3 %) que fa una valoració alta (7 o més) i el nivell més baix (3 o menys) no és gaire elevat (6,8 %). Podem comprovar que les valoracions són millors entre els alumnes dels nivells superiors (3r de BUP i COU), cosa explicable si tenim en compte que es tracta d'alumnes que han escollit voluntàriament l'assignatura i, per tant, són una mostra ja seleccionada. Les valoracions dels alumnes de nivell obligatori (2n de BUP) són una mica més baixes i la màxima aplega només al 32,4 %, mentre que creixen un poc les valoracions mitja (58,1 %) i baixa (9,5 %). Del conjunt podem dir que els resultats, pel que fa a l'actitud envers l'ensenyament rebut, no són tan dolents com en principi podríem esperar, però tampoc no es decanten de forma aclaparadora cap a l'acceptació

majoritària, ni tan sols en aquells alumnes dels nivells superiors que haurien d'estar més motivats cap a les ciències físico-químiques, ja que les han escollides de forma voluntària.

TAULA 4.6.2 <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D2 :</b> <i>¿Creus que la utilització de la història de la ciència en la classe de física i química contribuiria a millorar la teua valoració? Argumenta per què.</i> (Percentatge de valoracions. N <sub>GLOBAL</sub> = 215)						
RESPOSTA	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
SÍ	67,6	(5,0)	57,0	(4,4)	61,3	(3,3)
NO	32,4	(5,0)	43,0	(4,4)	38,7	(3,3)
NOMBRE D'ARGUMENTS:	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
CAP	10,8	(3,3)	4,5	(1,8)	7,0	(1,7)
UN	67,6	(5,0)	62,2	(4,3)	64,3	(3,3)
DOS	18,9	(4,2)	28,1	(4,0)	24,4	(2,9)
TRES	2,7	(1,7)	5,3	(2,0)	4,2	(1,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 4.6.2 mostra els resultats del segon ítem (D2), segons els quals una majoria d'alumnes (61,3 %) considera que la inclusió d'aspectes d'història de la ciència milloraria la seua valoració de l'ensenyament rebut, que és lleugerament major (67,6 %) en el nivell obligatori. Això pot significar que les expectatives de l'alumnat per a millorar la seua visió de les ciències físico-químiques podrien ser acomplertes amb la introducció dels aspectes històrics, però encara hi ha un percentatge important d'alumnes (38,7 % del total) que no considera important la inclusió de la història de la ciència, per diverses raons. També hem analitzat el nombre de raons o argumentacions aportades per cada resposta. Tal com podem veure a la segona part de la TAULA 4.6.2, la majoria de respostes estan argumentades com a mínim amb alguna raó (64,3 %) i el percentatge dels que n'aporten dues també és important (24,4 %). Els

que no donen cap argumentació clara són un 7,0 %. Aquestes dades revelen que les respostes donades a aquest ítem no semblen ser a l'atzar, ja que la majoria d'enquestats expressen motius clars per a justificar-les.

Resulta interessant analitzar els arguments concrets que assenyalen els alumnes en llurs respostes. Com que aquest càlcul s'ha fet sobre el total d'arguments assenyalsats, no hem inclòs els resultats en la taula. Direm primerament que els arguments favorables a la millora de valoració si s'inclou història de la ciència pugen a un 69,2 % en els alumnes de 2n de BUP, a un 53,8 % dels de 3r de BUP i a un 57,4 % dels de COU i la resta són arguments que consideren poc rellevant o desfavorable la inclusió d'aspectes històrics.

Els alumnes de 2n de BUP destaquen com a motius favorables que la història de la ciència contribuirà a augmentar el seu interès per les ciències físico-químiques (24,2 %), ajudarà a millorar la comprensió (14,3 %), disminuirà la part de fórmules i càlculs (6,6 %) i augmentarà la motivació (4,4 %). Les altres raons aportades són variades i no apareixen en percentatges remarcables. Els arguments desfavorables indiquen que la història no augmentarà la motivació (7,7 %), representarà més matèria per a l'examen (5,5 %), no els agrada la història (4,4 %) o consideren que serà poc útil (3,3 %).

Els alumnes de 3r de BUP creuen que farà la classe més interessant (12,8 %), ajudarà a entendre el procés de creació dels coneixements científics (10,3 %), millorarà la comprensió dels conceptes (9,0 %), serà més motivador (6,4 %) i contribuirà a augmentar la seua cultura (5,1 %). Per contra hi ha qui considera que la classe serà més avorrida (11,5 %), es perdrà temps (7,7 %), hi haurà massa matèria (6,4 %) o li interessien sobretot els resultats i no el procés històric (5,1 %).

Finalment els alumnes de COU aporten com a arguments favorables que la utilització de la història pot ajudar a entendre el procés de creació dels conceptes (11,8 %), augmentar l'interès (10,3 %) i millorar la comprensió (5,9 %). Com a desfavorables indiquen que els interessien més les conclusions (10,3 %), que serà més avorrit (7,4 %) i que sobretot els importa aprovar (5,9 %).

**TAULA 4.6.3**
**QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D3 :**  
*¿Quins aspectes d'història de la ciència t'agradaria conèixer?*

 (Percentatge de valoracions. N<sub>GLOBAL</sub> = 215)

TIPUS D'ASPECTES	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
Procés de creació	18,9	(4,2)	15,7	(3,2)	17,0	(2,6)
Biografies de científics	14,9	(3,8)	13,3	(3,0)	13,9	(2,4)
Relacions CTS en Història	1,4	(1,2)	8,0	(2,4)	5,3	(1,5)
Altres	13,5	(3,7)	22,3	(3,7)	18,8	(2,7)
Cap	27,0	(4,8)	27,9	(4,0)	27,6	(3,0)
No contesta	24,3	(4,6)	12,7	(2,9)	17,4	(2,6)
NOMBRE D'ASPECTES:	2n BUP	s.d.	3r BUP/COU	s.d.	GLOBAL	s.d.
CAP	51,4	(5,4)	40,6	(4,3)	44,9	(3,4)
UN	37,8	(5,2)	45,3	(4,4)	42,3	(3,4)
DOS	8,1	(2,9)	13,2	(3,0)	11,2	(2,1)
TRES	2,7	(1,7)	0,9	(0,8)	1,6	(0,9)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 4.6.3 mostra els resultats del tercer ítem (D3) que revelen el desconeixement general dels aspectes més pròpiament històrics. Així, els alumnes proposen aspectes molt genèrics o bé desvien les respostes cap a aspectes que no són pròpiament històrics. Remarquem primerament, l'elevat percentatge (27,6 % del total) que no assenyala cap aspecte històric, que unit al 17,4 % que no contesta res, dona una proporció important de respostes nul·les. Així algun aspecte que podríem considerar més rellevant, com ara conèixer el procés de creació i evolució dels coneixements científics, interessa un 17,0 % d'alumnes i conèixer les biografies de científics atrau un 13,9 %. Les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat (CTS) en la història inte-



ressen només un 5,3 %. La resta proposa aspectes difícils de catalogar que agrupem en l'apartat d'altres (18,8 %). No observem diferències importants entre nivells.

També hem analitzat el nombre de temes històrics que indica cada enquestat i, com es veu a la segona part de la TAULA 4.6.3, trobem que la majoria no en diu cap (44,9 %). Segueix el percentatge dels que només assenyalen un tema (42,3 %) i els que s'atreveixen a indicar-ne més d'un són minoria (11,2 % en diuen dos; 1,6 % en diuen tres).

En conjunt podem considerar que es verifica la nostra hipòtesi sobre l'actitud i interès dels alumnes envers la ciència i els aspectes de la seua història, que malgrat despertar d'antuvi una certa expectativa, alhora de concretar-ho en propostes són majoritàriament ignorats i escassament valorats com a instruments per a millorar la seua formació científica.

**Com a conclusió d'aquest capítol** afegirem que l'anàlisi global dels resultats creiem que demostra la verificació de la nostra hipòtesi, posat que els diferents qüestionaris aplicats i la varietat de situacions analitzades mostren que els aspectes de tipus històric es troben absents de la majoria de llibres de text i quan apareixen hi són tractats de forma superficial sense tenir un paper destacat.

Pel que fa al professorat hem pogut constatar el seu interès pels avantatges d'un enfocament històric, que al mateix temps es veu eclipsat per les nombroses dificultats que sembla implicar el seu ús efectiu a l'aula, si no es modifiquen alhora d'altres condicions que afecten la seua tasca docent, encara que resta oberta la seua predisposició a iniciar aquesta mena d'innovació a partir de propostes ben argumentades.

Els qüestionaris aplicats als alumnes creiem que revelen com l'ensenyament habitual, d'on els aspectes històrics són absents, els transmet una imatge esbiaixada de l'activitat científica, ja que la major part dels alumnes creu que la ciència consisteix a descobrir una realitat preexistent, ignora el paper fonamental del treball científic com a plantejament i resolució de problemes mitjançant la investigació d'hipòtesis i la creació de conceptes, ignora la manera com evolucionen els paradigmes conceptuals, tot assumint una visió dogmàtica, empirista, bàsicament formalista i acumulativa de la ciència i el seu creixement. Tenen una visió de la ciència descontextualitzada i n'ignoren les principals repercussions socials. Els resultats revelen l'actitud poc favorable envers la ciència de molts alumnes i l'escàs interès que mostren pel seu aprenentatge.

També podem constatar com persisteixen moltes d'aquestes deformacions tot al llarg dels diferents nivells sense variar de forma significativa, la qual cosa ens fa pensar que la pràctica docent habitual s'hauria de modificar en els enfocaments tradicionals cap a un tractament més adient d'aquells aspectes històrics que permeten millorar de forma significativa la imatge de la ciència que tenen els alumnes i contribueixen a acostar més els alumnes a la realitat i a l'indubtable interès del treball científic.

La segona part d'aquest treball la dedicarem a proposar i fonamentar les possibles solucions que obrin noves perspectives i a verificar la seua viabilitat per a millorar l'ensenyament aprenentatge de la ciència.

## **CAPÍTOL 5 : FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI**

### **5.1. ENUNCIAT DE LA SEGONA HIPÒTESI SOBRE LA INCORPORACIÓ DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA I LA MILLORA DEL SEU APRENENTATGE**

---

Atesa la visió general que revela la presència deficient de la història de les ciències en el seu ensenyament, tal com fins ací hem pogut verificar, creiem que és possible modificar l'activitat docent per tal de millorar la seua eficàcia amb un nou enfocament que hauria de partir dels elements positius que ens pot fornir la història i, en el marc d'un nou model didàctic, orientar-se cap a una major implicació dels alumnes en el procés d'ensenyament aprenentatge. Així, doncs, en la segona part de la nostra investigació proposarem i fonamentarem un nou enfocament i descriurem els instruments que ens han permès de dur a terme la verificació de la seua viabilitat didàctica.

L'ensenyament de les ciències s'ha orientat tradicionalment en un sentit propedeutic, preocupat únicament per la formació de bons professionals per a la tècnica i la ciència, per la qual cosa una nova proposta que modifiqui aquesta orientació hauria de contemplar la possibilitat de fer un ensenyament de les ciències pensant en la major part de la població escolar, sense que això signifiqui necessàriament oblidar el sector abans prioritari. La preocupació per oferir unes ciències per a tothom no ve d'ara ni és exclusiva del nostre entorn cultural més immediat. El món anglosaxó, que gaudeix d'una merescuda fama en la producció científica de primera línia, fa anys que es planteja aquest problema i en les múltiples propostes de renovació curricular que han aparegut els darrers anys als EUA (*Project 2061* 1989, *The Liberal Art of Science* 1990), el Regne Unit (*Science in the National Curriculum* 1988, 1991) o Canadà, es detecta la gran preocupació dels planificadors per l'alarmant deserció massiva i prematura dels alumnes de les classes de ciències. Un 70 % dels alumnes als EUA abandonen les ciències tan aviat com poden, segons recull M. R. Matthews en un exhaustiu i ben documentat llibre (1994b). La preocupació es fa extensiva a la necessitat de fer accessible la ciència al gran públic per la via de prioritzar un enfocament liberal i no acadèmicista en l'ensenyament de les ciències i aconseguir la "scientific literacy" o alfabetització científica (*A Nation at Risk* 1983, *Science for All Americans* 1989).

En aquest context el paper de la història, i també de la filosofia i la sociologia de la ciència, i en general dels estudis sobre la ciència, emergeix com una de les solucions més adients per a suavitzar la duresa dels currículums clàssics de ciències, sense que això impliqui necessàriament rebaixar la seriositat i la importància formativa dels nous continguts proposats a partir d'un enfocament humanista i contextualitzat de l'educació científica, en consonància amb el que d'altres propostes semblants ja han aconseguit, com ara amb el tractament didàctic de les interaccions entre la ciència, la tècnica i la societat (Solomon 1993, Vilches 1993, Yager 1993).

Per això pensem que és possible introduir alguns aspectes històrics en l'ensenyament de les ciències amb la finalitat que els alumnes compreguen millor la manera com es construeixen i es desenvolupen els coneixements científics, per tal de produir actituds positives envers la ciència i la seua repercussió social i, en definitiva, per obtenir un aprenentatge de les ciències més enriquidor que les integre com a part indissoluble del saber humà de caràcter general.

Concretament, la nostra segona hipòtesi proposa que **és possible utilitzar aspectes concrets de la història les ciències físico-químiques en l'ensenyament d'aquestes ciències en els nivells secundaris, especialment en BUP i COU, de manera que es plantegen els orígens històrics de les principals línies d'investigació, es mostre el procés de creació i desenvolupament dels principals conceptes i teories com a fruit d'un treball col·lectiu i d'una construcció humana, i es presente la complexitat de les relacions ciència-tècnica-societat tot al llarg de la història, amb les implicacions socials de les contribucions més destacades.**

La segona part de la hipòtesi és que **aquest ús ponderat de la història de la ciència millorarà la comprensió dels alumnes sobre la naturalesa dels coneixements científics i els complexos processos a través dels quals es construeix i evoluciona la ciència i, consegüentment, els alumnes s'implicaran més activament en el procés d'ensenyament aprenentatge de les ciències físico-químiques i, en general, adoptaran una actitud més positiva envers la ciència i el seu paper en el context de la cultura general de la humanitat.**

## **5.2. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DE LA SEGONA HIPÒTESI**

---

Com a línia d'argumentació d'aquesta segona hipòtesi ens proposem d'analitzar d'on poden venir les solucions al problema que ens hem plantejat. Aventurem que una nova imatge més positiva de la ciència i un aprenentatge vertaderament significatiu i gratificant per als alumnes només poden ser conseqüència d'un nou model d'ensenyament.

ment de les ciències on la història de la ciència siga utilitzada d'una forma enriquidora per tal que pugui modificar el seu aprenentatge.

Diversos autors (Cohen 1950/1993; Holton 1952; Holton i Brush 1976; Marco 1982, 1992, 1996; Kamsar 1987; Kauffman 1987, 1989; Caamaño 1988, 1996; Hodson 1988, 1994; Izquierdo 1988, 1992, 1994, 1996; Jenkins 1990, 1994; Matthews 1990, 1991, 1994; Nielsen i Thomsen 1990; Brush 1991; Cushing 1991; Fillon 1991; Solomon 1991; Buchdahl 1993; Gil 1993; Martinand 1993; Furió 1994b) han assenyalat els nombrosos avantatges pedagògics que pot comportar la presència de la història de la física i de la química en l'ensenyament d'aquestes ciències i han aportat molts arguments en la seua defensa, tal com mostrarem tot al llarg d'aquest capítol. A més, les propostes d'utilització de les contribucions de la història i la filosofia de la ciència també s'han estès a l'ensenyament de les altres ciències naturals com la biologia (Bizzo 1993) i la geologia (Praia 1995).

Entre els aspectes que recolzen un tractament històric hi ha la millora de la comprensió dels conceptes i mètodes de la ciència i la connexió entre el desenvolupament del pensament individual i l'evolució de les idees científiques (Matthews 1994b). Però també s'hi addueix el valor intrínsec del coneixement històric com a contribució a la formació cultural. S'argumenta que la història és necessària per a comprendre la naturalesa de la ciència i ajuda a contrarestar el científisme i el dogmatisme que mostren la majoria de classes de ciències i llibres de text. També es fa esment al valor humanitzador dels continguts científics i al paper positiu de la seua contextualització a fi de mostrar les relacions entre les diverses fites del pensament humà (Matthews 1994b). Sense menystenir les contribucions de caràcter extern, volem insistir ara en la importància de la millora en la comprensió de la naturalesa del coneixement científic. En paraules de James T. Cushing referides a la Física, que podem estendre a d'altres ciències: "Un estudi raonablement fidel i filosòficament sensible d'episodis passats de la Història de la Física dóna a l'alumne certa visió i apreciació de la dificultat i de la manca de certesa absoluta que acompanya la construcció del coneixement científic" (Cushing 1991).

La percepció global que l'ús dels aspectes històrics pot ser beneficiós per a l'ensenyament de les ciències requereix l'establiment de les possibles connexions d'aquesta orientació amb el paradigma didàctic actualment emergent (Furió 1994b). Per això, creiem que la nostra línia de treball s'hauria de situar com a síntesi entre diverses tendències que els darrers anys han conduït la investigació didàctica en ciències experimentals i han mostrat la seua eficàcia en la millora del procés d'ensenyament aprenentatge.

### **5.2.1. El nou model d'ensenyament aprenentatge de les ciències basat en el canvi conceptual, metodològic i actitudinal**

Per una banda, les tesis constructivistes sobre els processos d'ensenyament aprenentatge (Posner et al. 1982, Resnick 1983, Driver 1986, Novak 1988, Hodson 1988, Wheatley 1991) han aportat una renovació de plantejaments centrada en aspectes interns de la ciència com ara la introducció correcta de conceptes per tal de vèncer les idees prèvies dels alumnes i promoure el canvi conceptual (Viennot 1976, Hewson 1981, Gil 1983, Driver 1986, Solbes 1986, Carrascosa 1987, Nakhleh 1992) o en aspectes metodològics com la resolució de problemes de llapis i paper (Gil i Martínez-Torregrosa 1983, Garret 1987) i la realització dels treballs de laboratori (Gené 1986, Gil i Payá 1988, Hodson 1990, González 1994) a fi de mostrar d'una manera més eficaç la forma com es construeix la ciència.

El constructivisme concep l'aprenentatge com un procés de construcció de coneixements significatius per a l'estudiant que és el protagonista del seu aprenentatge. Això implica establir relacions entre els diferents conceptes (Resnick 1983). Les idees que aquest ja coneix influeixen en el procés, per la qual cosa si volem que es produeixi un aprenentatge vertaderament significatiu hem d'aconseguir que es produeixi un canvi conceptual (Posner et al. 1982, Bodner 1986), cosa que guarda certa correspondència amb el procés històric de construcció dels coneixements científics ja que s'assemblaria als canvis de paradigma científic (Kuhn 1971). Les estratègies basades en el canvi conceptual impliquen l'explicitació prèvia de les idees dels alumnes, el seu qüestionament a través d'activitats que plantegen conflictes cognitius i la incorporació de les noves idees que s'han de reforçar fins que mostren la seua validesa en diferents situacions (Gil 1993).

Tot i els esforços fets en aplicar aquestes estratègies a l'ensenyament de les ciències, els resultats no sempre són satisfactoris i, tal com ja hem assenyalat en la primera part del treball, nombroses idees prèvies i preconceptes dels alumnes exhibeixen una especial resistència a ser substituïts per les noves teories científiques (Hewson i Hewson 1984, McDermott 1984, Driver 1986), tal com s'esdevingué històricament en molts casos (Saltiel i Viennot 1985, Matthews 1990, Steinberg et al. 1990, Padeloup i Laugier 1994). Aquesta semblança històrica s'explica per la manera d'abordar els problemes, sobretot amb una metodologia basada en la superficialitat (Carrascosa i Gil 1985) que no es qüestiona les evidències de sentit comú, ni genera dubtes sobre la incoherència de les diferents situacions considerades. La superació històrica de l'anomenat paradigma preclàssic va ser possible, en part, pel canvi metodològic que implicà un treball més creatiu basat en la formulació i verificació d'hipòtesis mitjançant

l'experimentació i la constatació de la coherència interna de les noves idees formulades. Conseqüentment, un ensenyament orientat a superar els esquemes previs dels alumnes havia de contemplar també el canvi metodològic o epistemològic com a objectiu didàctic (Gil i Carrascosa 1985, Hasweh 1986, Duschl i Gitomer 1991, Désautels et al. 1993).

Tanmateix, la limitació de les estratègies d'aprenentatge a l'exploració de les idees dels alumnes i el seu qüestionament representa una certa distorsió de la vertadera tasca que caracteritza el treball científic. Aquest s'orienta, més aviat, a la resolució de situacions problemàtiques obertes, per això, una orientació constructivista de l'ensenyament hauria d'associar de forma explícita la construcció de coneixements a la resolució de problemes (Gil 1993). En aquest context, el tractament de les idees prèvies dels alumnes consisteix a incorporar-les a manera d'hipòtesis prèvies que exigeixen un treball d'aprofundiment a fi d'establir els seus límits de validesa i no mereixen la simple desqualificació del professor, ja que, en tot cas, serà el plantejament de noves hipòtesis i la contrastació de la seua viabilitat i eficàcia en la resolució de noves situacions el que els conferirà un estatus nou de coneixement que l'alumne pugua fer seu. Aquesta nova proposta implica, doncs, concebre les situacions d'aprenentatge com a tractament de situacions problemàtiques obertes que els alumnes puguin considerar d'interès (Gil i Martínez-Torregrosa 1983, Driver i Oldham 1986, Gil et al. 1991, Wheatley 1991, Gil 1993, Furió 1994b), la resolució de les quals es pot dur a terme a partir d'un estudi qualitatiu que permeta definir-les adequadament i orientar el tractament científic del problema a través de l'emissió d'hipòtesis i el disseny d'estratègies per a la seua verificació, de manera que s'hi puguin contrastar diferents concepcions alternatives (Gil 1993). A la fi del procés els alumnes han de ser capaços d'utilitzar els nous coneixements en diferents situacions i afavorir les activitats de síntesi, l'elaboració de productes i la concepció de nous problemes (Gil 1993, Saltiel 1994).

Per un altre cantó, el model constructivista d'aprenentatge com a canvi conceptual i metodològic s'ha enriquit amb l'aparició de propostes per al tractament de les relacions Ciència-Tècnica-Societat (CTS) i els aspectes externs que contemplen les repercussions de la ciència i el seu aprenentatge en l'entorn social i ambiental dels alumnes a fi de propiciar també un canvi actitudinal (Aikenhead 1985, Yager i Penick 1986, Solbes i Vilches 1989, Solomon 1993, Vilches 1993, Yager 1993). Aquesta línia ha generat en diversos països nombroses propostes d'aplicació (*SATIS*, *PLON*, *SISCON*, *SALTERS*, *Chemistry in Context...*) que suggereixen d'orientar els programes d'ensenyament de manera que contemplen els centres d'interès més pròxims a l'entorn dels alumnes i els preparen com a futurs ciutadans d'una societat que cada

vegada exigeix una major implicació en la presa de decisions que afecten la seua vida i tenen relació amb l'activitat científica i tecnològica (Hodson 1994).

La història de la ciència, de forma específica, pot jugar un paper integrador ja que és el punt de confluència de dos aspectes fonamentals assenyalats pels nous models emergents d'ensenyament aprenentatge per investigació que busquen provocar el canvi conceptual i metodològic i relacionen els coneixements científics amb els centres d'interès socio-ambientals a fi de produir també un canvi actitudinal. D'una banda, la història de la ciència integra aspectes interns referits a la manera com s'han construït i evolucionat els conceptes científics que connecten amb el constructivisme com a paradigma didàctic capaç de modificar l'ensenyament aprenentatge, com nombroses línies d'investigació han demostrat els anys recents, segons hem vist anteriorment. Però, a més, hi ha una història externa que permet d'integrar les relacions CTS, a través de la història social de la ciència, en un tractament coherent que enriqueix aquesta aportació també recolzada per nombrosos treballs d'investigació i projectes d'aplicació ja indicats abans.

Pel seu caràcter comprensiu, podem dir, en resum, que la Història de la Ciència permetria **d'aportar elements de confluència entre les qüestions internes que poden afectar les dificultats en la construcció i l'evolució dels conceptes científics i els aspectes externs com la influència mútua entre la ciència i la societat.** Aquesta confluència entre les diferents línies pedagògiques s'hauria de fer de manera coherent i hauria de contribuir a superar les greus mancances que fins ara s'han pogut detectar produïdes pel seu ús poc escaient, ja que, d'una forma o altra, la història de la ciència ha estat sempre present en l'ensenyament de les ciències.

### **5.2.2. L'ús de la Història de la Ciència abans del nou model d'ensenyament i aprenentatge de les ciències**

La història de la ciència ha estat present ja fa temps, abans que el constructivisme es fes un lloc entre les idees sobre com ensenyar les ciències. Per això des dels orígens d'aquesta presència podem trobar diferents enfocaments didàctics que, òbviament, no podien estar influenciats encara pels corrents més innovadors apareguts les darreres dècades.

Entre els usos més tradicionals podem recordar el recurs fàcil a l'anècdota, la tendència del nacionalisme xovinista que exalta els propis científics i ignora els altres, orientada pel patró de les "grans figures" que atorga a uns pocs el mèrit d'un col·lectiu més ampli i complex, l'enfocament axiomàtic que ignora la gènesi dels conceptes i les



teories, etc. Al mateix temps, es percep que el desenvolupament de la ciència al llarg de la història és un procés extraordinàriament complex i consegüentment es prefereix ignorar-lo o reduir-lo a les anècdotes i a les figures més destacades.

Però, com hem vist en un capítol anterior, a mesura que la Història de la Ciència va adquirint un nou estatus acadèmic, sobretot a partir dels anys 60, apareixen noves propostes, encara preconstructivistes, que es caracteritzen per un enfocament de caire internalista que perseguia objectius com: a) familiaritzar els alumnes amb els problemes abordats pels investigadors, les dificultats amb què havien topat i, globalment, la metodologia de treball utilitzada; b) contextualitzar l'activitat científica i les seues implicacions filosòfiques, econòmiques i socials; c) fer comprendre els conceptes bàsics i la naturalesa de la ciència, la dicotomia ciència pública enfront de ciència privada, el creixement de la ciència, etc. (Holton 1952); d) presentar la ciència com una experiència, com una aventura completa i excitant; e) fer comprendre a l'alumne, com a ciutadà responsable, els criteris de validesa del pensament científic i les condicions que col·laboren en el desenrotllament fructífer de la ciència, sense una visió crítica de les relacions ciència-tècnica-societat.

Consegüentment, la metodologia que proposaven per a introduir aspectes històrics constava bàsicament d'aquests elements: 1) l'estudi de "casos històrics" per tal que els alumnes adquirissin conceptes sobre la naturalesa de la ciència a través de l'anàlisi d'un procés clau en la història de la ciència i les implicacions de tipus filosòfic, sociològic i econòmic (Conant 1957); 2) l'estudi de treballs originals que incloïen la descripció de situacions problemàtiques amb què s'han enfrontat els investigadors i la presentació de dades històriques difícils d'obtenir pels alumnes al laboratori (Schwab 1962); 3) la rèplica d'alguns experiments senzills, com la calcinació del mercuri feta per Lavoisier, l'obtenció de la llei de Boyle, els que es troben als textos de Galileu, etc., com feia el *Project Physics Course* de Harvard (Rutherford et al. 1970).

Tanmateix aquestes propostes es centren sobretot en els aspectes interns de la ciència i no consideren preferents els aspectes externs o més pròpiament socials, amb la qual cosa no continuen la línia de John D. Bernal, que té una fita històrica en la seua coneguda *Història social de la ciència* (1a. ed. en anglès 1954-1964, 1a. en castellà 1967 i també s'ha editat en català). Aquesta obra considera l'evolució de les ciències com a part indissociable del context global de l'evolució de la humanitat i remarca la importància dels factors socials per a comprendre el paper de la ciència en la història.

No obstant això, es percep una manca de relació amb l'evolució general de les ciències educatives, que fins a l'aparició del consens al voltant de les teories constructivistes de l'ensenyament aprenentatge no podrà reconciliar diverses propostes didàctiques de renovació de l'ensenyament de les ciències. A més, a aquesta nova concepció de l'ensenyament de les ciències li correspondrà una visió diferent de la naturalesa de la ciència i, sobretot, de la seua història. Per això, abans d'aprofundir en els detalls que poden il·lustrar un nou paper per a la Història de la Ciència, convindria clarificar de quina història parlem, atès que és possible reconèixer diferents facetes d'allò que globalment s'anomena història.

### 5.2.3. Una nova visió de la Història de la Ciència

Sovint hem al·legat que hi ha una història interna que seria la que presta atenció a l'evolució dels coneixements científics i es centra en els propis conceptes i la seua coherència interna. Aqueixa visió interna incorpora també els protagonistes de l'activitat científica en forma de biografies i anècdotes. Però no podem oblidar que la història s'entén de molt diverses maneres segons l'època i les escoles de pensament historiogràfic i és evident que avui dia té molt poc d'interès un enfocament històric centrat en el recurs fàcil a l'anècdota o al recull hagiogràfic dels científics presentats als alumnes a manera de "vides exemplars". La història tradicional ha tingut massa sovint una preocupació excessiva pel desenvolupament lineal centrat en la variable temporal com a guia preferent, de manera que més que una història ha estat fonamentalment una cronologia dels fets recollits per les fonts a què els historiadors han tingut accés, amb una escassa anàlisi contextual.

Així, doncs, hi ha la història *interna* de la ciència, la història de l'evolució dels conceptes i teories, la història biogràfica, la història anecdòtica, però també hi ha una història *externa*, centrada en les repercussions socials mútues de la ciència i la col·lectivitat, així com hi ha una història marcada pels esdeveniments polítics que interfereixen en la vida de les societats i els individus, els científics també.

Nombroses aportacions evidencien que la "vertadera" història, la de la ciència si més no, és una xarxa molt més complexa (López Piñero 1979, Serres 1991, Silverman 1992) on les cruïlles i divergències van més enllà del relat cronològic i participen de moltes variables incontrolables que només es poden intuir per mitjà d'un tractament multidisciplinari que aborde els problemes amb perspectives diverses.

Aquesta visió nova parteix del fet de considerar la història de les ciències com una disciplina original (Serres 1991) que no es centra en el relat lineal dels "fets" sinó

que contempla la complexitat de relacions entre la ciència, la tècnica i la societat tot al llarg del temps (López Piñero 1979) i es situa com a pont entre les dues cultures tradicionalment allunyades (Snow 1959, citat per Jenkins 1990). Per a López Piñero (1979) allò que vertaderament té interès és considerar la "història total" on les orientacions internalistes i externalistes, més que competir entre si, són complementàries i s'integren com a dues formes d'analitzar la realitat històrica. L'anàlisi que fa Michel Serres en el pròleg del llibre de caràcter col·lectiu *Historia de las ciencias* (1991) mostra la complexitat de relacions entre la creació científica i les societats en què es produeix i utilitza la metàfora de la cruïlla de camins i successives bifurcacions com aproximació a la descripció del procés de construcció de la ciència, la qual cosa es corrobora amb la varietat d'autors que amb llurs diferents punts de partida destrien distintes visions de l'evolució del coneixement científic.

Un enfocament històric renovellat permet també defensar aferrissadament la concepció humanista de la ciència (Schibeci 1986, Cushing 1991, Silverman 1992) i abandonar l'obsoleta consideració de la ciència materialista enfront de les ciències de l'esperit o humanismes (Serres 1991). Com alguns autors han fet palès (Benoit 1991, en Serres) l'estatus de ciència ha variat tot al llarg de la història i no és estrany que en una societat com la medieval Tomàs d'Aquino situés la teologia al capdamunt del saber intel·lectual oficial i universitari (Barona 1994), mentre activitats com el càlcul, la geometria i l'experimentació, que avui considerem científiques, llavors foren tingudes per arts o habilitats d'un caire òbviament més profà, sense assolir el rang de sabers reconeguts i universitaris. Així, si la ciència tal com ara la concebem és una forma d'exploració de la realitat que s'ha anat guanyant el prestigi sobretot d'ençà dels segles XVI i XVII, mentre que d'altres sabers com la teologia l'han perdut, caldrà preguntar-se amb Benoit (1991) "¿a través de quins criteris epistemològics, però també polítics, socials i institucionals, una ciència es pot considerar com a tal?".

Per això, crida l'atenció l'interès creixent de les anomenades ciències socials o humanes, com la sociologia, la psicologia, la lingüística o la crítica literària, en ser considerades generalment com a disciplines científicament homologades, a l'hora que es generalitza l'ús del qualificatiu d'experimentals per a identificar les ciències "tradicionals" que s'ocupen del món material i de la naturalesa en conjunt. Potser fóra bo de començar a reivindicar, a l'inrevés, el caràcter humanista de la ciència (Kamsar 1987, Cushing 1991, Silverman 1992, Izquierdo 1996), que no és sinó un producte de la ment humana impulsada pel desig ancestral i el neguit per respondre's preguntes al voltant dels fets que la inquieten, i alhora el caràcter de creació col·lectiva de l'esperit humà que es manifesta en la recerca d'una explicació racional del món i en la seua

possible transformació tant com en la seua interpretació plàstica o en les diferents formes d'expressió de la sensibilitat, sense pretendre anar més enllà d'on la constreñen les pròpies limitacions.

La concepció de la història de la ciència com a disciplina autònoma que permet mostrar la complexitat de l'evolució dels coneixements i les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat en els diferents moments històrics pot ajudar a construir aqueix pont entre les "dues cultures" (Nielsen i Thomsen 1990) tradicionalment enfrontades (Snow 1959), de manera que el saber científic pugui ser apreciat en tota la seua riquesa i tingut per fonamental en la formació bàsica de tota persona, independentment de l'activitat professional a què s'haja de dedicar. En definitiva, que l'analfabetisme científic deixi de ser un obstacle per tal que la ciència i la cultura científica formen part de la cultura general de la humanitat (Jenkins 1990, Silverman 1992, Matthews 1994b).

Amb una visió més plural del què hom entén per Història de la Ciència podem disposar-nos a explorar algunes aportacions que pot fer aquesta disciplina a l'enriquiment de les ciències que es dediquen al problema de per què, com i, sobretot, per a què ensenyem ciències als nostres conciutadans, començant pels més joves.

#### **5.2.4. El paper de la Història de la Ciència en el nou model d'ensenyament i aprenentatge de les ciències**

Anteriorment hem descrit de forma concisa els trets bàsics que caracteritzaven el nou model d'ensenyament de les ciències basat en la psicologia constructivista. Els models de canvi conceptual (Posner et al. 1982, Driver 1988, Novak 1988, etc.) integrats en el marc del constructivisme han suggerit d'introduir alguns aspectes de filosofia i història de les ciències en l'ensenyament de les ciències. S'ha establert un paral·lelisme entre el canvi conceptual (Posner et al. 1982) i el canvi de paradigma que segons Kuhn (1971) s'esdevé en l'evolució històrica dels coneixements científics que serien comparables, de manera que l'ensenyament s'hauria d'organitzar tendint a produir aquests canvis conceptuals de manera "ajustada" als canvis de paradigma (Gil et al. 1989, Schecker 1992, Gil i Solbes 1993).

Un dels aspectes que s'ha suggerit consisteix a aprofitar la semblança entre les preconcepcions dels alumnes i les diferents idees vigents al llarg de la història (Gil i Carrascosa 1985, Saltiel i Viennot 1985, Hashweh 1986, Furió et al. 1987, Sequeira i Leite 1991), tot i la dificultat d'aïllar els coneixements del context social en què es produeixen i l'evident impossibilitat de reconstruir a l'aula tot el complex procés his-

tòric. Més aviat resulta factible considerar en quina mesura es poden superar allò que són obstacles epistemològics per a la introducció de nous coneixements i aprofitar l'experiència que ens ensenya la història per a planificar els continguts fonamentals de la disciplina en funció de conceptes estructurants (Gagliardi i Giordan 1986) i elaborar estratègies d'aprenentatge orientades a vèncer aqueixos obstacles.

Per això, una aportació coherent amb el model constructivista implicaria extraure informació sobre les dificultats dels estudiants a partir de les resistències que s'han manifestat tot al llarg de la història de la ciència (Saltiel i Viennot 1985, Driver et al. 1989). També es podrien extraure de la història els problemes més significatius que originaren la construcció dels principals conceptes i teories científiques (Otero 1985, Gil et al. 1991) i posar els alumnes en situació d'abordar-los, tot plantejant situacions d'aprenentatge que els permeten, en certa mesura, reconstruir els coneixements científics (Solaz i Sanjosé 1992), per mitjà d'estratègies que contemplen el canvi metodològic (Gil 1993) i aborden el procés d'aprenentatge com a investigació de situacions obertes en què els alumnes treballen com a investigadors novells sota la guia de l'expert que seria el professor, dedicat a organitzar les estratègies d'aprenentatge més adients. En paraules de C. Furió : "Les contribucions de la Història i Epistemologia de les Ciències a l'Ensenyament ens permetran de superar el reduccionisme dels models de canvi conceptual centrats exclusivament en els continguts conceptuals i recuperar com a objectiu la familiarització dels i de les alumnes amb les formes de raonament científic" (Furió 1994b).

El model constructivista s'enriquí amb l'aparició els anys 80 d'una nova línia de tradició diferent que incloïa les interaccions entre la ciència, la tècnica i la societat (Aikenhead 1985, Yager i Penick 1986) i va significar un punt d'inflexió, ja que aquests autors proposaven l'estudi de casos basats en problemes reals de l'entorn més immediat de l'alumnat, com ara els problemes mediambientals, per tal d'acostar els i les alumnes a la realitat de la investigació científica i evitar la imatge deformada que transmet l'ensenyament tradicional. Les seues principals aportacions s'orientarien a millorar les actituds dels alumnes envers l'aprenentatge de les ciències.

Fruit de l'anàlisi de la situació, de la consciència de la complexitat de la història de la ciència, que impedeix de presentar la història de tots els problemes, els viaranys que menaren a la seua solució, etc. pertoca ara de clarificar quins papers pot jugar la història de la ciència en el seu ensenyament, la seua coherència amb un model d'ensenyament aprenentatge per investigació i les seues relacions amb d'altres línies d'investigació pròximes, ja esmentades, com les interaccions ciència-tècnica-societat.

**Açò és d'una importància cabdal per a la didàctica de les ciències, posat que aquesta disciplina ja ha integrat aspectes d'epistemologia de la ciència o de psicologia de l'aprenentatge i malgrat això, només recentment està començant a integrar aspectes d'història o de sociologia de les ciències.** Una bona prova n'és el fet que hi haja prou amb consultar treballs de didàctica per a estar al corrent d'aspectes d'epistemologia o d'aprenentatge, però no s'esdevé igual amb aspectes d'història o de ciència-tècnica-societat, ja que aquests encara hi són absents en un tractament generalitzat.

La incorporació de la Història de la Ciència i el tractament de les interaccions Ciència-Tècnica-Societat són dos camps d'investigació que comparteixen una ampla zona d'intersecció: el que hom sol anomenar la història social de la ciència, o dit amb d'altres paraules, les relacions CTS tot al llarg de la història. Per això també és necessari integrar les aportacions d'ambdues línies d'investigació en els materials didàctics (Solbes 1993, Caamaño 1996) si volem evitar una imatge de la ciència i dels científics en els alumnes, i en la societat en general, tan deformada com la que s'ha caracteritzat anteriorment en aquest i en molts d'altres treballs d'investigació (Solbes i Vilches 1989, Gil 1993, Cáceres i Ribas 1996). Això és convergent amb la idea que el primer requisit per a ensenyar bé és conèixer pregonament la matèria a ensenyar, cosa que significa no només conèixer els continguts, sinó també aspectes metodològics, de la història de la ciència, de les interaccions CTS i dels desenvolupaments científics recents (Gil et al. 1991, Furió 1994a).

El paper que juguen les relacions CTS en l'ensenyament de les ciències ha estat mostrat amb escreix en nombrosos treballs, a alguns dels quals ja ens hem referit. A més a més, encara que gran part dels projectes i investigacions amb un enfocament CTS ha sorgit al marge del constructivisme, és possible posar-los en pràctica de forma coherent amb el model d'ensenyament aprenentatge per investigació (Solbes i Vilches 1989 i 1992).

Ara bé, posats a defensar un paper coherent per a integrar les aportacions de la història de les ciències a l'ensenyament de les ciències, hem d'aclarir tot seguit que no es tracta pas de contar la història dels problemes abordats, cosa que potser s'escauria més en un altre context, perquè el desenvolupament històric de la ciència és un procés extraordinàriament complex. Més aviat es tracta d'utilitzar aspectes d'Història de la Física i de la Química per tal d'enriquir la imatge de la ciència de l'alumnat, tot fent-la més completa i humana, i desenvolupar-hi una actitud positiva. Més concretament, el paper que atribuïm a la història hauria de permetre:

1) **Ser crítics amb la imatge tòpica de la ciència** i, en concret, amb les tergiversacions i interpretacions històriques que apareixen i es difonen en els textos (Cohen 1950/1993, Brush 1991, Cushing 1991) i contribueixen a aquesta imatge científista, acabada, formalista, dogmàtica, empirista, deshumanitzada i descontextualitzada de la ciència (Matthews 1990, 1991 i 1994b).

2) **Extraure de la història informació sobre les dificultats dels estudiants a partir de les resistències i obstacles que es manifesten tot al llarg de la història de la ciència** (Saltiel i Viennot 1985, Driver et al. 1989, Matthews 1991), encara que, en línies generals, la idea del paral·lelisme entre les preconcepcions dels alumnes i les concepcions vigents en diferents èpoques històriques (McDermott 1984, Carrascosa i Gil 1985, Hashweh 1986) ha estat sovint qüestionada ja que no es dona una correspondència completa i s'hi solen barrejar idees antigues i noves (Sequeira i Leite 1991, Nakhleh 1992, Gaudillière 1994, Pasdeloup i Laugier 1994).

3) **Afavorir la selecció de continguts fonamentals de la disciplina** en funció dels conceptes estructurants per tal d'introduir els nous coneixements i superar els obstacles epistemològics (Gagliardi i Giordan 1986), malgrat la dificultat de traduir aquests aspectes en forma de fil conductor i la impossibilitat d'explicitar-los en determinades activitats.

4) **Extraure de la història els problemes significatius** (Gil et al. 1991) i **posar l'alumne en situació d'abordar-los**, tot plantejant situacions d'aprenentatge que permeten els alumnes, en certa mesura, reconstruir els coneixements científics (Solaz i Sanjosé 1992). Amb això es tracta d'obviar l'errori plantejament empirista que introdueix els experiments sense tenir en compte, entre d'altres aspectes, quin problema històric els va motivar i quines hipòtesis s'hi proposaren successivament com a respostes o interpretacions del problema.

5) **Mostrar el caràcter hipotètic, temptatiu de la ciència** i explicitar, alhora, les limitacions de les teories i els problemes pendents de solució. Així, doncs, mostrar que les seues propostes són fal·libles, provisionals, sorgides de forma competitiva per confrontacions amb d'altres propostes potser també vàlides, és a dir, no és en absolut un reflex fidel d'una realitat objectiva, ni l'experiència és inqüestionable. D'aquesta manera es presenta als alumnes l'aventura de la creació científica i s'eviten les visions dogmàtiques (Gil 1993, Griffith i Benson 1994).

6) **Mostrar l'existència de grans crisis en el desenvolupament de la física i la química** (del paradigma aristotèlic-escolàstic a la física clàssica i d'aquesta a la

moderna) **i àdhuc de controvèrsies i canvis a l'interior d'un mateix paradigma** (com ara del flogist a la teoria de la combustió de Lavoisier, del calòric a la teoria cinètica de la calor, de la naturalesa corpuscular de la llum a l'ondulatòria i d'aquestes al nou model dual, de l'acció a distància a la teoria de camps, etc.) (Silverman 1992, Álvarez 1996) Es tracta d'introduir només algunes idees no vigents, no només per mostrar el caràcter temptatiu de la ciència, sinó per la seua semblança amb les preconcepcions dels alumnes, o bé pel fet de constituir obstacles epistemològics importants. Això pot afavorir els canvis conceptuals dels alumnes i ajustar-los als grans canvis de conceptes, models i teories en la ciència (Posner et al. 1982). No obstant això, és convenient aclarir en quina mesura és acumulativa la ciència, posat que, d'una banda, la major part de les teories científiques acceptades no s'han ensorrat de colp i volta, ans al contrari s'han anat desenvolupant, refinant i s'han generalitzat, i d'altra banda, la contribució de cada científic està basada en el treball de molts altres, car no es pot oblidar la naturalesa col·lectiva del treball científic.

7) **Presentar la ciència com una construcció humana i, per tant, social, col·lectiva**, fruit de l'activitat de moltes persones, per tal d'evitar la idea d'una ciència feta bàsicament per genis, la majoria d'ells homes perquè les dones han estat ignorades en no considerar més que el protagonisme que la societat els ha atribuït tradicionalment (Koblitz 1987, Outram 1987). En resum, mostrar una visió més humanitzada de la ciència (Schibeci 1986, Kamsar 1987, Cushing 1991, Matthews 1991 i 1994b, Silverman 1992, Caamaño 1996, Izquierdo 1996).

8) **Presentar les contribucions a la ciència realitzades al nostre país i també els obstacles de tota mena que al llarg de la història se li han plantejat**, tot establint les nombroses causes externes que poden haver influït en una trajectòria tan irregular i, aparentment, poc important en determinades èpoques històriques (López Piñero 1979, 1982; López Piñero et al. 1983; López Piñero i Navarro 1995). Així podem entendre també el paper de la nostra ciència en l'actualitat i, doncs, les perspectives més o menys favorables al seu desenvolupament (Rañada 1995).

9) **Mostrar les interaccions CTS no només en el present, sinó tot al llarg de la història**, cosa que facilitarà la comprensió de la seua evolució, ja que s'ha passat de la persecució ideològica i religiosa a què fou sotmesa la ciència (Galileu, Darwin, etc.) a la constitució de la ciència com a un dels elements de la ideologia dominant (des de l'optimisme científic del segle XIX a l'actual estatus de reverència i pragmatisme utilitarista). També s'ha passat d'una tècnica que precedia la ciència (e. g., la construcció de mecanismes o de màquines tèrmiques va precedir el seu estudi teòric per mitjà de la mecànica o la termodinàmica) a una ciència que ha esdevingut l'origen



de múltiples aplicacions tècniques i, fins i tot, de branques de la producció (l'elèctrica i la química al segle XIX, l'electrònica actualment).

10) **Contribuir a millorar les actituds de l'alumnat cap a la ciència** (Izquierdo 1994) i, per tant, incidir de forma positiva en el seu procés d'aprenentatge d'aquesta, igual com millorar el clima de l'aula (Lederman i Druger 1985, Lederman 1986), aspecte que permetrà desenvolupar la tasca docent en condicions més favorables per a l'aprenentatge significatiu i augmentarà la capacitat de motivació que el professorat pot arribar a desenvolupar.

Podem afirmar, doncs, que existeixen abundoses raons de caràcter epistemològic i didàctic que justifiquen la importància del tractament dels aspectes històrics i que, a més, es mostren coherents amb les aportacions del nou model constructivista d'ensenyament i aprenentatge de les ciències. Considerarem tot seguit amb quines eines i criteris d'ús podem endegar una proposta per a posar en pràctica un enfocament històric.

#### **5.2.5. La vigència dels programes d'activitats com a eina didàctica**

L'elaboració de guies de treball per a l'aula ha estat una de les propostes metodològiques que s'han desenvolupat a fi de dur a terme un ensenyament aprenentatge d'orientació constructivista que tinga en compte el caràcter actiu del procés i la necessària implicació de l'alumnat (Bodner 1986, Driver i Oldham 1986) com a responsable del seu avanç i alhora no el deixi abandonat a una recerca sense objectius. Aquestes guies solen consistir en un seguit d'activitats dissenyades de forma escaient per a la construcció de coneixements significatius per part dels alumnes, habitualment treballant en petits grups sota la supervisió i orientació del professor i posant en comú amb tota la classe llurs produccions i en contrast amb la "ciència oficial" que representarien el professor, en el seu paper d'expert, i els llibres, en tant que fonts autoritzades que aporten el consens a què ha arribat la comunitat científica fins ara. L'indispensable fil conductor que guie l'avanç dels alumnes cap a la consecució d'uns fins didàctics prèviament acordats és l'eix que vertebrava la seqüència d'activitats.

Els programes-guia d'activitats són una forma concreta de proposar aquestes guies de treball per a l'aula que compta amb una certa tradició en el nostre país (Furió i Gil 1978). El seu ús adequat implica tenir en compte que es tracta de propostes provisionals, que només poden ser eficaces en la mesura que s'utilitzen com a part d'un procés obert d'investigació per part del professor (Gil et al. 1991, Furió 1994a, Lijnse 1994), on es poden i es deuen produir les modificacions adients per tal que,

sense perdre el fil conductor, es puga adaptar a les necessitats i el nivell de treball de cada grup concret d'alumnes.

La viabilitat d'aquest mètode didàctic es pot il·lustrar per mitjà de diverses propostes d'aplicació elaborades per als diferents nivells educatius per professors membres del Seminari de Física i Química de la Universitat de València (Furió et al. 1979, Gil et al. 1979, Calatayud et al. 1980a, 1980b, 1988, 1990, 1991). Entre els que mostren una orientació més històrica podem esmentar els materials del Grup Recerca Faraday (1982, 1988a i 1988b), les edicions més recents de l'esmentat Seminari de la Universitat de València (Calatayud et al. 1990, 1991) i els nous materials dissenyats per a la Reforma Educativa (Hernández et al. 1992, Payá et al. 1992, Calatayud et al. 1995, Solbes i Tarín 1996). Per això només direm que és una proposta útil per a dur a terme qualsevol mena d'investigació didàctica que cerque produir canvis significatius en l'estructura i funcionament de la classe tradicional i, sobretot, que desitge produir materials curriculars innovadors. Per això havíem de fer-hi referència, per tal com els programes-guia, tot i les limitacions pròpies de tot instrument didàctic, mantenen la seua vigència per a orientar qualsevol canvi metodològic a l'aula, encara que siguen una opció tan vàlida com qualsevol altra que es sotmeta al contrast experimental a partir de la coherència teòrica.

La manera més adequada per a dissenyar aquests programes es pot trobar més desenrotllada en diferents treballs (Furió i Gil 1978, Driver 1986, Calatayud et al. 1990, Gil 1991, Payá 1991, Vilches 1993). Només insistirem en què si volem que s'orienten a un aprenentatge per investigació, si seguim les indicacions de D. Gil (1991), els programes-guia haurien de recollir les activitats de forma que, en una primera etapa d'iniciació, possibiliten l'explicitació de l'interès preliminar per la tasca a desenvolupar, que tinguem en compte les idees, la visió del món, les destreses i les actituds dels alumnes i que consideren els prerequisits que aquests poden necessitar de revisar abans d'endinsar-se en l'estudi del tema. En una segona fase de desenvolupament, convé plantejar situacions problemàtiques, la solució de les quals haurà de passar per una fase qualitativa abans de ser formulades de forma precisa, plantejar estratègies de resolució i dissenys experimentals per a contrastar les hipòtesis formulades, analitzar els resultats obtinguts i insistir en la coherència de les idees desenvolupades per mitjà de l'aplicació reiterada a diferents situacions on es mostre el seu potencial. La darrera fase de recapitulació implicarà el plantejament d'activitats de síntesi, esquemes, elaboració de productes o plantejament de nous problemes, a fi de donar una visió oberta del treball científic. En tot aquest context, el tractament de les interaccions CTS o la incorporació d'aspectes històrics trobarà el seu lloc en les diferents activitats proposa-

des per tal d'adequar els temes a aquesta orientació específica. El tractament de les interaccions ciència-tècnica-societat en aquests programes d'activitats ha estat abordat amb profunditat pel treball d'A. Vilches (1993) on l'autora proposa diverses recomanacions de caire metodològic per a incorporar de forma eficaç aqueix enfocament.

Per la naturalesa de la nostra investigació només afegirem que caldria enriquir els programes-guia elaborats o modificats a partir de propostes ja existents, amb un element més adequat al propòsit d'incorporar-hi els aspectes d'història de la ciència. Ens referim a la introducció de textos més o menys extensos com a suport per a la realització d'algunes activitats didàctiques de caràcter històric, per això dedicarem uns paràgrafs a justificar la importància i l'eficàcia d'aquest element.

La **utilització de les fonts originals del treball científic** ha estat reivindicada i posada en pràctica per diversos autors (Cohen 1950/1993; Marco 1982, 1984, 1992, 1996; Kauffman 1989; Lühl 1992; Silverman 1992; Galdabini i Rossi 1993) tot i reconèixer les dificultats d'accés a aquestes fonts i les limitacions que implica el seu ús per als alumnes. Entre els materials que incorporen de forma exhaustiva l'estudi de textos històrics hi ha els dossiers de Berta Marco (1982 i 1984) elaborats a l' *Instituto de Estudios Pedagógicos Somosaguas* i en part publicats pel MEC (1992). La finalitat dels textos originals rauria en presentar els fets amb un cert rigor històric i utilitzar-los en un context que permeta aprofitar la seua riquesa. A tal efecte es poden recomanar una sèrie de suggeriments com els que recull B. Marco (1996) que ajuden a seleccionar els textos més escaients per al seu ús didàctic i aplicar-los de forma eficaç. Destaquem pel seu interès algunes d'aquestes recomanacions com ara: evidenciar el panorama del coneixement científic compartit sobre la matèria del text en el seu moment, traçar una línia temporal per fixar la base sobre la que es construeixen les noves idees, considerar els aspectes biogràfics de l'autor i la seua evolució com a científic, considerar el marc social i la riquesa cultural del moment i, finalment, considerar els aspectes epistemològics i l'anàlisi temàtica que esbrine quines són les opcions per les que es decanta l'autor.

Pel que fa a l'aspecte formal, l'ús dels textos originals no es pot deslligar d'una certa manipulació que hauria de respectar sempre l'esperit de l'autor. La transposició didàctica dels textos originals hauria d'implicar només la selecció dels fragments més adequats als objectius perseguits i una lleugera adaptació que podria afectar aspectes secundaris, com els sistemes d'unitats en desús avui en dia, però que ha de respectar el llenguatge original de l'autor (Cohen 1950/1993) amb el significat que aquest li atribueix, que sovint és molt més clarificador que l'utilitzat formalment (Galdabini i Rossi 1993), posat que molts textos clàssics solen ser informes on els autors tracten de fer

entendre les seues noves idees. Aquesta qüestió és molt important, ja que el vocabulari sol estar subjecte a la manipulació del lector que tendeix a conservar un únic significat a cada paraula, tret del context històric, amb la qual cosa es pot perdre gran part del contingut del text original. Siga com siga, indubtablement cal fer una adaptació didàctica que, sense trair l'esperit del text original, permeta l'alumne endinsar-se en el pensament de l'autor. La utilització de textos també obliga l'alumne a fer un esforç de lectura comprensiva que s'hauria de facilitar per mitjà d'algunes propostes en forma de qüestions al voltant dels aspectes que apareixen en el text o que la seua lectura permet de suggerir, tasca en la què s'hauria d'implicar directament el professorat.

Finalment, una consideració força important, l'accessibilitat de les fonts històriques. Cal acudir a la bibliografia, certament dispersa, en espera que algun dia hom es decideixa a fer més i millors edicions dels textos més clàssics en les llengües de major difusió. A manera d'orientació per al professorat, a la fi de l'ANNEX III, hem indicat alguns llibres que contenen abundosa informació de caràcter històric i textos originals.

### **5.2.6. Criteris per al disseny d'un currículum amb un enfocament que incorpore aspectes d'Història de la Ciència**

Una vegada discutits els arguments i havent-nos decidit a fer servir la història de la ciència com a vehicle per a ensenyar física i química als nostres estudiants, caldrà establir unes pautes concretes per tal de garantir l'eficàcia d'aquesta proposta. Per això hem volgut fer una aproximació al que podria ser una tipologia més o menys completa de les possibles activitats amb una orientació històrica i algunes recomanacions per al seu ús directe a l'aula.

En els diversos projectes de materials curriculars que han incorporat propostes innovadores, com ara el tractament de les interaccions CTS, podem contemplar diferents solucions possibles que ens poden servir d'orientació (Caamaño 1996). Així el projecte SATIS (ASE 1986) combina temes tradicionals amb activitats que aborden els aspectes CTS, mentre que d'altres organitzen els temes en funció dels nuclis d'interès, com ara l'atmosfera, els medicaments, els combustibles, etc. en el projecte de química SALTERS (Burton et al. 1994) o els ponts, en el *Physics Curriculum Development Project* (PLON) holandès.

En la nostra opció la tasca central consistiria a elaborar un dossier el més ampli i variat possible d'on poder triar una selecció de les activitats que considerem més escaients al contingut concret de cada tema i a cada nivell educatiu, de manera que les activitats d'història es puguin integrar en el fil conductor amb què s'ha disse-

nyat el tema. També és possible utilitzar els aspectes històrics com a fil conductor que guie el tema, centrat al voltant de l'evolució històrica d'un determinat concepte o de la resolució de controvèrsies científiques. En aquest cas, les activitats de caràcter històric predominen sobre les activitats d'altre tipus que també s'incorporen adequadament tot al llarg del tema.

Ateses les finalitats que hem atribuït a l'ús de la història en un epígraf anterior i segons els canvis que volem que s'operen en la imatge de la ciència i l'actitud dels alumnes, l'elaboració de les activitats es regirà pels criteris següents:

- a.** El conjunt de tipus hauria d'estar format per activitats que: 1) critiquen la imatge tòpica de la ciència i els científics; 2) utilitzen els paral·lelismes amb les dificultats històriques per a vèncer les resistències als canvis conceptuals; 3) plantegen problemes significatius que històricament han donat origen a treballs rellevants; 4) proposen replicar experiències històriques de forma contextualitzada; 5) desmitifiquen el paper de l'atzar en els "descobriments" científics; 6) expliciten les crisis més importants de paradigma; 7) expliciten les controvèrsies, els canvis interns i l'evolució dins d'un mateix paradigma; 8) relativitzen el paper del formalisme matemàtic, segons el nivell; 9) mostren el caràcter col·lectiu del treball científic; 10) mostren les implicacions i repercussions socials de la ciència; 11) mostren les contribucions científiques i tècniques d'aquest país; 12) mostren el paper de la dona en l'activitat científica.
- b.** Pel que fa als continguts temàtics de les activitats: 1) caldria cobrir els temes principals de física i química que apareixen en els nivells de l'ensenyament secundari (15-18 anys), com ara: cinemàtica, dinàmica, gravitació, energia, treball i calor, òptica, electromagnetisme, física moderna, construcció de la teoria atòmica, taula periòdica, àtoms i enllaços, reaccions químiques, química orgànica; 2) encara que una mateixa activitat continga diferents aspectes, cada tipus indicat hauria d'aparèixer de forma destacada, com a mínim, en una activitat; 3) caldria proposar un tema complet on s'utilitze de forma preferent, i formant part del fil conductor, la major part possible dels diferents aspectes tipològics.
- c.** Pel que fa a les característiques concretes de les activitats hem de tenir en compte que els aspectes històrics permeten l'ús d'una gran varietat de materials que van des de biografies contextualitzades de científics, acompanyades de qüestions per a la reflexió dels alumnes, fins a l'exploració de textos originals, tal com ja hem indicat. També es possible elaborar esquemes amb un fil conductor històric al voltant d'un concepte, o recollir informació dispersa sobre deter-

minats moments històrics per a plantejar als alumnes les relacions entre la ciència i la societat en la història. L'ús de mitjans audiovisuals, programes educatius, documentals i pel·lícules, permet d'explorar de manera més atractiva per als alumnes alguns aspectes biogràfics o disposar de documentació habitualment poc assequible. Algunes activitats poden estimular la recerca bibliogràfica i l'elaboració d'esquemes i síntesis i d'altres poden ajudar a plantejar debats interessants en la classe que introdueixen una dinàmica afavoridora de la participació i el treball a l'aula que modifiqui la receptivitat passiva més habitual dels alumnes.

- d.** A més dels criteris de tipificació, a l'hora d'establir una selecció d'activitats convé també fixar uns criteris per a la utilització a l'aula, com ara: 1) s'haurien de fer, com a mínim, una o dues activitats en cada tema durant un curs de manera que cobresquen els diferents aspectes; 2) convé integrar les activitats amb normalitat dins del fil conductor del tema, sense que destaquen com a cosa anecdòtica o atribuir-los un paper complementari; 3) les activitats s'han de fer de forma que els alumnes s'impliquen en la proposta i participen de forma activa; 4) el professor orientarà la realització de l'activitat i facilitarà l'elaboració de conclusions; 5) les activitats proposades per al treball individual fora de l'aula, caldrà controlar-les i valorar de forma adequada la seua realització; 6) és convenient transmetre als alumnes la utilitat de la realització d'aquestes activitats i la forma en què seran tingudes en compte pel professor a l'hora de l'avaluació.

Aquests criteris són els que hem considerat més adients per a tenir-los en compte a l'hora de dur a terme la investigació de la nostra segona hipòtesi, tal com detallarem i exemplificarem en els propers capítols. Entre d'altres suggeriments possibles per a introduir aspectes d'història de la ciència hi ha, com ara, el treball interdisciplinari o, fent servir un llenguatge més actualitzat, el tractament de temes transversals, però és obvi que això comporta una major complexitat en la investigació pel fet que implica altres àrees curriculars amb les quals potser no es compartesquen suficients elements epistemològics i metodològics.

## **CAPÍTOL 6 :** **DISSENY EXPERIMENTAL PER A** **CONTRASTAR LA SEGONA HIPÒTESI**

### **6.1. OPERATIVITZACIÓ DE LA SEGONA HIPÒTESI**

---

Per tal de verificar la nostra segona hipòtesi, que hem fonamentat al capítol anterior, tot seguit procedirem a operativitzar-la a través de les conseqüències que se'n deriven i que són susceptibles de ser contrastades experimentalment.

Segons aquesta segona hipòtesi creiem que **és possible introduir aspectes d'història de la ciència en l'ensenyament de la física i la química, per tal d'aconseguir que els alumnes compreguen millor la manera com es construeix i es desenvolupa la ciència i quines repercussions socials tenen aquests coneixements. En conseqüència pensem que això produirà una actitud positiva envers els coneixements científics que millorarà l'ambient de l'aula i l'interès dels alumnes per participar en el procés d'ensenyament aprenentatge que el farà més enriquidor, de manera que integre aquestes ciències com a part indestriable del saber humà de caràcter general. Igualment esperem que aquest tractament rebrà una valoració positiva per part del professorat.**

La contrastació d'aquesta segona hipòtesi consistirà, doncs, en el disseny i aplicació a l'ensenyament de materials curriculars elaborats a partir dels criteris defensats fins ací, de manera que incloguen diferents activitats d'història de la ciència. Aquests materials s'han experimentat tot al llarg de diferents cursos en distints instituts del País Valencià amb alumnes dels nivells de 2n i 3r de BUP i de COU. Per tal de millorar la validesa dels resultats dels grups experimentals, hem considerat adient que, a més de l'autor mateix d'aquesta investigació, hi intervinguessen diversos professors i professores que feien servir els mateixos materials i metodologia amb diferents grups d'alumnes. Hi han participat quatre professors més.

Una vegada utilitzats els materials tot al llarg d'un curs escolar, es tracta de comparar els resultats obtinguts per aquests grups d'alumnes experimentals i els resultats ja exposats a la primera part del treball que fan de grups de control i que, òbviament, han seguit un ensenyament sense la utilització d'aquests materials.

En el conjunt d'aquesta segona part de la investigació s'hi han implicat 233 alumnes experimentals, a banda dels de control, i 83 professors en actiu que han participat en diferents cursos de formació.

A fi de concretar els aspectes susceptibles de ser modificats per la utilització dels nous materials aclarirem que, al capdavant, l'ús de la història de la ciència permetrà als alumnes tenir una nova imatge de la ciència i dels científics més pròxima a la realitat, la qual cosa implicarà:

a) Considerar la ciència com una construcció sistemàtica de coneixements elaborada tot al llarg de la història i no com un conjunt de descobriments més o menys fortuïts de realitats preexistents.

b) Reconèixer els problemes significatius que hi ha a la base de la construcció dels conceptes més importants i de les principals teories científiques i que, en diferents moments històrics, han obert les línies d'investigació més productives.

c) Atribuir als experiments científics un valor apropiat com una etapa més en el procés de resolució d'un problema, relativitzar els resultats dins dels seus límits de validesa i no assignar-los irreflexivament el paper d'experiències crucials.

d) Atorgar al formalisme matemàtic el seu valor instrumental útil i necessari per a l'aprofundiment en la descripció, operativització i desenrotllament de les hipòtesis elaborades prèviament de forma qualitativa.

e) Reconèixer l'existència de crisis importants en l'evolució històrica dels coneixements científics, tant en l'àmbit general dels principals paradigmes com a l'interior mateix d'aquests i relativitzar el caràcter acumulatiu dels coneixements científics. Reconèixer, en fi, que l'evolució dels coneixements científics al llarg de la història no és un procés lineal i que s'hi han produït crisis importants en els anomenats paradigmes científics, igual com les idees dins d'un mateix paradigma no sempre han estat immutables i s'han generat controvèrsies que han produït modificacions significatives.

f) Reconèixer el caràcter col·lectiu del treball dels científics, on és constant l'intercanvi d'idees, atesa la seua provisionalitat, i el contrast d'opinions fermament fonamentades en treballs d'orígens diversos, els resultats dels quals convergeixen i es mostren coherents.



g) Reconèixer algunes implicacions socials de les principals aportacions del pensament científic al desenvolupament general de la humanitat i la força d'aquest per a transformar la nostra percepció del món i, en definitiva, tenir una visió més humanitzada de la ciència.

h) Valorar adequadament les contribucions dels científics del nostre país que han aportat a la ciència els fruits del seu treball seriós i amb el rigor adequat, malgrat ser generalment desconeguts, per raons diverses de caràcter històric.

i) Valorar adequadament les contribucions de les dones científiques, habitualment ignorades per una visió de la ciència massa sovint centrada en determinades èpoques i en certs tòpics masculins.

Exposem tot seguit les conseqüències operatives que es deriven d'aquesta segona hipòtesi que poden ser contrastades experimentalment:

**1.** És possible dissenyar materials curriculars amb un enfocament històric i fer-ne ús a les classes de física i de química de nivell secundari de manera que continuen diversos aspectes que mostren una imatge de les ciències físico-químiques més pròxima a la realitat i més d'acord amb la seua evolució històrica.

A tall d'exemple, a l'epígraf 6.3 d'aquest mateix capítol, mostrarem una unitat didàctica de química per al batxillerat elaborada a partir dels criteris assenyalats anteriorment i a l'ANNEX II presentarem una selecció d'exemples d'activitats amb contingut històric per a diferents temes que es poden incorporar als materials de física i química d'ús més generalitzat.

**2.** La utilització en les classes de física i química dels materials elaborats produirà canvis en els alumnes experimentals. Com a conseqüència de tot això, és possible que les alumnes i els alumnes tinguin una visió més encertada de com es construeixen els coneixements científics, de les seues repercussions socials i milloren llur actitud envers l'estudi de la ciència. Més concretament els canvis que pensem que es poden produir en els alumnes serien:

- a. Conèixer millor aspectes d'història de la ciència, abans generalment ignorats, i, consegüentment, mostrar una imatge de la ciència més completa i contextualitzada.
- b. Valorar adequadament aspectes interns del treball científic com: els problemes abordats, el paper de l'atzar, la importància dels experi-

ments, el formalisme matemàtic i l'evolució dels coneixements (crisis de paradigma, controvèrsies i canvis interns).

- c. Valorar adequadament aspectes externs com: el caràcter col·lectiu del treball científic, les implicacions socials de la ciència, l'activitat científica realitzada a Espanya i el paper de les dones científiques.
- d. Presentar una imatge menys tòpica de la ciència i els científics.
- e. Mostrar més interès cap a l'estudi de la física i la química.
- f. Millorar el clima de l'aula i la participació en el procés d'ensenyament aprenentatge.
- g. Valorar positivament la utilització d'aspectes d'història de la ciència en les classes de física i química com a forma d'ajudar a augmentar el seu interès cap l'estudi d'aquestes matèries.

3. En el professorat possiblement augmentarà l'interès per la utilització d'aquests aspectes en la seua pràctica docent, una volta presentats i discutits durant la realització d'un curs de formació sobre la utilització de la història de la ciència en l'ensenyament, de manera que puguen reflexionar sobre la seua absència habitual i apleguen a ser conscients del paper que pot jugar aquest nou enfocament.

4. Els professors en actiu, que hagen treballat amb aquestes activitats i que hagen participat en l'elaboració dels materials, valoraran positivament la seua introducció en la classe de física i química com una forma de millorar el seu ensenyament aprenentatge.

Tot seguit detallarem els instruments que hem fet servir a l'hora de contrastar totes aquestes conseqüències de la segona hipòtesi.

## **6.2. DISSENY EXPERIMENTAL PER A CONTRASTAR LA SEGONA HIPÒTESI**

---

Tal com hem esquematitzat a l'apartat anterior, les línies generals del disseny que aplicarem per a contrastar aquesta segona hipòtesi consisteixen en l'elaboració de materials curriculars per a l'ús en la classe de física i química dels nivells objecte de la nostra investigació i la contrastació dels canvis significatius operats en les mostres d'alumnes experimentals, per mitjà dels qüestionaris ja utilitzats amb els alumnes en la primera part del treball, que serviran de mostres de control. Per tal d'enriquir la constatació dels canvis actitudinals i recollir el clima de treball dels alumnes, afegirem alguns instruments d'observació directa a l'aula.

Igualment sol·licitarem als professors i professores que han col·laborat activament en l'assaig d'aquests materials a l'aula amb llurs alumnes, així com el professorat que ha participat en seminaris i cursos de formació permanent on se'ls ha descrit i s'ha pogut assajar aquesta proposta a petita escala, la seua valoració i la seua opinió sobre l'interès didàctic i la viabilitat dels materials, per mitjà d'un qüestionari de valoració que més endavant detallarem. Vegem, doncs, per parts, com s'ha dut a terme el disseny i l'aplicació de la nostra proposta.

### **6.2.1. Elaboració de materials que permeten la introducció d'activitats d'Història de la Ciència en les classes de física i química**

Els darrers anys són diversos els grups de treball i investigació de professors que s'han dedicat a elaborar reculls d'activitats i propostes de programes guia per a la classe de física i química amb una orientació constructivista i una metodologia activa en la línia que hem proposat en la fonamentació d'aquesta tesi. Aquests reculls han estat el punt de partida per a cercar activitats amb un contingut històric, tot i que l'escassetesa d'aquestes ens ha menat a elaborar-ne de noves més escaients als propòsits del nostre treball concret.

Les fonts on hem acudit a consultar algunes activitats són diverses publicacions originades en el Seminari Permanent de Física i Química del CEP de València (Calatayud et al. 1979, 1990 i 1991), materials experimentals de Reforma dels nivells d'ESO (Hernández et al. 1992), materials del Grup Faraday (1988b) i materials elaborats amb aquests criteris per als dos cursos del nou batxillerat (Calatayud et al. 1995, Solbes i Tarín 1996).

La necessitat d'orientar més adequadament les activitats a la nostra proposta ha fet que moltes de les activitats hagen estat elaborades per l'autor mateix a partir de diferents fonts bibliogràfiques. Algunes activitats també han estat elaborades com a part del treball que duu a terme el Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química del CEP d'Alzira-La Ribera, del qual formem part, que no han estat publicades.

A l'ANNEX II presentem una mostra variada d'activitats amb un contingut i orientació històrics que tracta de cobrir els temes més importants dels programes de BUP i COU i que, per tant, poden utilitzar-se en els diferents nivells tot al llarg dels temes adients. Moltes d'aquestes activitats han estat usades durant la investigació amb els alumnes experimentals. Però la inclusió d'activitats de tipus històric no s'ha de limitar necessàriament a unes poques activitats esporàdiques, sinó que és possible realitzar un tema complet que faça servir el fil conductor històric per a la introducció ade-

quadra d'un determinat concepte científic. Per això a l'epígraf següent (6.3) detallarem a tall d'exemple un tema complet de química orientat a alumnes de 16-17 anys que s'ha elaborat sota aquesta perspectiva històrica.

Per a dissipar la preocupació detectada en molts professors pel que fa al possible endarreriment en el temari que implicaria augmentar-ne els continguts amb aspectes històrics, volem aclarir que no es tracta d'això, sinó més aviat de reorientar els continguts que s'han d'impartir tot fent servir el fil conductor històric o com a mínim tenir-lo present en la introducció de determinats aspectes del tema que igualment s'han d'impartir, de manera que no és precís incrementar els continguts dels programes habituals, ja força carregats. Així, entre els criteris que orienten la proposta d'un programa guia concret incloem els aspectes del procés de construcció dels coneixements i plantejarem els problemes a investigar, les possibles idees prèvies dels alumnes i l'existència d'algun paral·lelisme amb idees vigents en diferents èpoques, la introducció de conceptes i les dificultats i barreres epistemològiques que s'han hagut de vèncer fins arribar a establir-se, la resolució de problemes i els treballs pràctics, però també les possibles controvèrsies que al llarg de la història s'han generat i utilitzem textos referits als autors o autores de les diferents contribucions científiques, de manera que el major nombre d'activitats possible estiga impregnat d'aquesta orientació històrica.

### **6.2.2. Disseny per a contrastar si entre els alumnes dels grups experimentals es produeix una imatge més correcta de les ciències físico-químiques i un augment de l'interès cap a elles**

En la primera part d'aquest treball ha quedat establert l'escàs paper que té la història de la ciència en l'ensenyament habitual i com influeix això en la percepció que tenen els alumnes de la naturalesa de la ciència. Per tant ara tractarem de verificar que és possible contribuir a modificar la imatge de la ciència que tenen els alumnes després de fer servir a les classes de física i química els nous materials que tenen en compte aquests aspectes dins d'una metodologia activa.

La verificació experimental de les conseqüències que es deriven de la nostra hipòtesi es farà per comparació dels resultats dels alumnes que han treballat aquests materials a l'aula (grups experimentals) amb els resultats dels alumnes que han seguit un ensenyament més tradicional assenyalats a la primera part del treball (grups control) sense pràcticament cap enfocament de tipus històric.

La comprovació dels canvis produïts en els alumnes dels grups experimentals la duem a terme amb els qüestionaris A, B, C i D, ja utilitzats en la primera part del treball. Així el qüestionari A revelarà si s'han produït canvis significatius en la percep-

ció de la naturalesa de la ciència i el treball dels científics per part dels alumnes que han seguit un tractament amb activitats i materials de contingut històric, per tal com s'hi han tingut en compte els diferents ítems a l'hora d'elaborar els materials. Amb el qüestionari B volem verificar si la forma de creixement de la ciència i els aspectes com les repercussions socials dels treballs científics i els problemes que els originaren han estat percebuts adequadament pels alumnes. Igualment aquest qüestionari mostrarà fins a quin punt han millorat els seus coneixements sobre diferents científics i llurs contribucions a la ciència. El qüestionari C palesarà el grau de percepció que tenen els alumnes d'aquells aspectes més sociològics de l'evolució de la ciència i les contribucions científiques del nostre país.

Tanmateix, els canvis operats no seran només de tipus conceptual i considerem que també s'hauran produït modificacions de tipus actitudinal de manera que els alumnes mostraran un major interès per les ciències físico-químiques i el seu aprenentatge. Per això el qüestionari D contribuirà a palesar aquest canvi actitudinal. Per tal de no veure's influït per les respostes de la resta de qüestionaris, hem proposat aquest qüestionari en primer lloc i tot seguit s'ha passat la resta dels qüestionaris en ordre alfabètic. Les condicions en què s'ha proposat la resolució dels qüestionaris han estat semblants a les exposades en la primera part del treball, amb el ben entès que als alumnes experimentals se'ls ha proposat la resolució conjunta dels quatre qüestionaris en una sessió amb el temps suficient per a contestar amb tranquil·litat i s'ha fet als diferents grups en un període del curs escolar semblant, cap a la meitat del darrer trimestre del curs escolar, una volta passat el temps suficient des de la realització de les diverses activitats proposades als materials assajats.

La valoració de les respostes es durà a terme de la mateixa manera que s'ha exposat en la primera part del treball on ja s'han indicat els criteris emprats per a cada ítem dels diferents qüestionaris.

Per tal de comprovar millor els aspectes de la hipòtesi referits a les actituds dels alumnes i l'ambient de treball i clima de l'aula, hem volgut realitzar l'observació directa d'una seqüència de classes en què s'han realitzat activitats d'història de la ciència. L'instrument d'observació dissenyat consisteix en una FITXA D'OBSERVACIÓ on anotar o transcriure els diferents aspectes que poden ser significatius a l'hora de contrastar l'ambient de la classe i el nivell de participació dels diferents alumnes si comparàvem una classe habitual amb una altra en què s'han utilitzat els materials experimentals.

La fitxa d'observació consta d'aquests elements:

<b>FITXA D'OBSERVACIÓ DE L'AULA</b>	
Data:	Grup:
Assignatura:	
Nombre d'alumnes:	Nombre d'assistents:
Hora de començament de la classe (Prevista/Real) : /	
Hora d'acabament de la classe (Prevista/Real) : /	
Activitat realitzada:	
Distribució dels alumnes a l'aula:	
¿Aquesta distribució es manté sempre?	
Nivell de relació amb el/la professor/a:	
Ambient de la classe:	
Alumnes que participen:	
<u>ALUMNE:</u>	<u>FREQÜÈNCIA:</u> <u>TIPUS D'INTERVENCIÓ(*):</u>
<p>(*) A) dins del grup; B) fora del grup; C) dubtes relacionats amb el tema; D) aportació de dades; E) sense relació amb el tema; F) d'altres...</p>	
¿Prenen apunts?	
¿El/la professor/a dóna temps per a la participació dels alumnes?	

¿S'aclareixen suficientment les qüestions que apareixen?
¿Es detecta algun concepte que els resulte més difícil de comprendre?
OBSERVACIONS:

La valoració dels resultats detectats amb la fitxa d'observació s'ha fet per comparació de les anotacions enregistrades en aquelles sessions on s'ha fet alguna activitat de tipus històric i aquelles que seguien una dinàmica més habitual dirigida bàsicament pel professor. Així es vol palesar, sobretot, el nivell, freqüència i tipus d'intervencions dels alumnes. També és interessant constatar l'ambient general de treball a l'aula, la distribució dels alumnes i el grau d'implicació en les tasques que proposa l'activitat dirigida pel professor. Tot i això, l'observació d'una sessió de classe pot ser valorada de moltes maneres diferents, segons els objectius que persegueix l'observació, per això hem procurat destacar aquells aspectes més directament relacionats amb el grau d'implicació dels alumnes en la proposta de treball, així com la riquesa de llurs contribucions de caràcter espontani o bé fetes després d'un treball previ de recerca tal com suggereixen algunes activitats.

### **6.2.3. Disseny experimental per a contrastar la valoració positiva del professorat de la introducció d'aspectes d'Història de la Ciència en les classes**

En la primera part del treball hem pogut palesar la imatge que tenen els professors sobre el paper que pot jugar la història de la ciència en llurs classes de física i química, ja que consideren que pot ser interessant però alhora troben nombroses dificultats per a la seua aplicació. Això pot ser degut al fet que ignoren, en general, quins aspectes d'història de la ciència serien útils per a la classe de secundària o bé tenen una visió deformada del paper que pot jugar la història de la ciència.

Atesa aquesta situació ens hem plantejat de quina manera podríem transmetre al professorat en actiu les nostres preocupacions sobre l'absència d'una consideració adequada de la història de la ciència a l'ensenyament i la importància que aquesta podia tenir per tal de millorar les actituds dels alumnes i el seu interès per l'aprenentatge de la física i la química, de manera que pogueren adonar-se clarament dels avantatges d'aquesta proposta didàctica i estigueren disposats a posar-la en pràctica, tot incorpo-

rant aquests materials o d'altres de semblants a llurs classes, fins i tot amb una consideració concreta del temps que estarien disposats a utilitzar.

A partir de l'experiència prèvia de nombroses investigacions didàctiques semblants a la nostra hem considerat com a més adient l'elaboració d'un mòdul d'unes 8 hores de duració dirigit al professorat en actiu com a proposta de formació permanent, que es centrava en el paper de la història de la ciència en l'ensenyament de la física i la química. Els materials concrets que s'han utilitzat en aquest mòdul es detallen a l'ANNEX III. En resum s'hi plantejava la possibilitat d'utilitzar la història de la ciència a l'aula, la constatació de l'ús deformat que habitualment mostren els llibres de text i l'efecte que aquest té en la imatge de la ciència que es transmet als alumnes. Tot seguit es proposava la discussió de les possibles solucions amb la presentació, realització i comentari d'una breu selecció d'activitats d'història de la ciència ja experimentades amb alumnes.

Només després de conèixer una proposta detallada com la que comentem i d'haver sotmès a consideració la seua viabilitat, atès el caràcter obert i creatiu d'aquesta, pensem que el professorat està en condicions de modificar la seua visió tòpica del paper de la història i prendre consciència de la possibilitat de millorar els propis coneixements d'aquesta matèria, com a forma de perfeccionament professional. Tot i les limitacions que puguen trobar, pensem que després de discutir els diferents aspectes que se'ls proposa en el mòdul, poden entendre millor la importància de transmetre una imatge de la ciència menys distorsionada, que presente tota la riquesa del treball col·lectiu i les nombroses repercussions socials de la ciència, normalment absents de la pràctica docent, de manera que es faça més pròxima a l'alumne i s'hi destaque la faceta humana de la ciència en contra de la imatge neutral i deshumanitzada que mostra l'ensenyament tradicional d'orientació academicista.

Amb aquests supòsits pensem que després de realitzar les activitats del mòdul consideraran seriosament la possibilitat d'incorporar a la seua tasca docent concreta aquesta orientació històrica i exposaran la seua opinió sobre algunes activitats mostrades (tretes de l'ANNEX II), els aspectes més i menys satisfactoris que hi troben, així com el temps que pensen dedicar-hi. En acabar el mòdul, creiem que la majoria del professorat valorarà positivament el paper de la història de la ciència i estarà disposat a incorporar aquesta mena d'activitats a llurs classes amb una dedicació de més d'un 10 % del temps disponible tot l'any.

Per tal de constatar les nostres suposicions hem elaborat el QÜESTIONARI (E) que hem passat als professors una vegada finalitzat el mòdul formatiu sobre el



paper de la història de la ciència en l'ensenyament. Aquest qüestionari s'ha passat a un total de 83 professors que han assistit a diverses sessions d'aquest mòdul, que juntament amb d'altres mòduls formaven part de cursos de formació permanent. En el qüestionari se'ls demana la seua opinió, la seua valoració dels materials, els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que hi han trobat i la viabilitat en les aules.

**QÜESTIONARI (E) DE PROFESSORS  
PER A VALORAR LA PROPOSTA D'UTILITZACIÓ DE LA  
HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA**

- E1. Indica breument si consideres que s'han d'incloure aquest tipus d'activitats en l'ensenyament habitual i explica per què si o per què no.*
- E2. Indica quant de temps dedicaries a aquestes activitats i argumenta la teua proposta concreta.*
- E3. Explica si estaries disposat/da a fer-ne ús el proper curs i en quines condicions creus que ho podries fer.*
- E4. Assenyala els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.*

---

### **6.3. PRESENTACIÓ D'UN PROGRAMA D'ACTIVITATS**

---

Per tal de mostrar la possibilitat d'utilitzar el fil conductor històric com a base per a desenvolupar un tema al voltant de l'establiment d'un concepte fonamental hem elaborat un tema de química dirigit a alumnes de 16 i 17 anys. El tema es centra en el procés de creació del concepte d'element químic a partir dels orígens històrics, amb especial interès en les fites principals fins arribar a la sistematització del concepte materialitzada en el Sistema Periòdic, com a síntesi de les principals relacions entre les propietats físiques i químiques dels elements. S'hi inclouen també els comentaris per al professor i les referències de les fonts bibliogràfiques que s'han utilitzat en l'elaboració d'algunes activitats.

## LA CONSTRUCCIÓ DEL CONCEPTE D'ELEMENT QUÍMIC I LA TAULA PERIÒDICA

Un dels conceptes bàsics de la química és l'element. El procés de construcció d'aquest concepte comportà un seguit de passos importants per al desenvolupament d'aquesta ciència a partir dels segles XVII i XVIII. Tanmateix no fou possible establir-lo clarament fins a mitjans del segle XIX, mentre s'obria pas lentament i enmig de grans controvèrsies la nova teoria atòmico-molecular de la matèria. Científics com Robert Boyle, Antoine Lavoisier, Joseph Priestley, John Dalton i Amedeo Avogadro, entre d'altres, com ara Dmitri Mendelejev, contribuïren amb llurs aportacions a clarificar les diferències entre cos simple i element i fixaren les bases de la química moderna. Però tal com veurem, la recerca dels elements s'inicià ja, inconscientment, en els obscurs, però no menys interessants, anys dels alquimistes. Per això desenrotllarem aquest tema amb l'índex següent:

1. Els elements abans de la química moderna
2. L'aparició massiva de nous elements
3. El nou concepte d'element a partir de Dalton
4. La taula periòdica de Mendelejev

### 1. ELS ELEMENTS ABANS DE LA QUÍMICA MODERNA

La paraula "element" s'utilitzà en l'Antiguitat com a concepte unificador per tal d'explicar les propietats i el comportament de tota la matèria.

En la Grècia antiga, a l'època del filòsof Aristòtil (s. IV a.C.), s'establí la teoria dels quatre elements: terra, aigua, aire i foc, que impregnaven totes les substàncies materials i permetien entendre llurs propietats. A banda hi havia un cinquè element més sublim, l'èter, que formaria la matèria celeste, perfecta i immutable.

Durant segles aquestes idees quasibé no sofriren canvis, fins que, a l'Edat Mitjana, l'activitat que duïen a terme els anomenats **alquimistes**, plantejà d'afegir el sofre, el mercuri i la sal com a elements per tal d'explicar els misteriosos canvis de propietats que experimentaven les substàncies quan sofrien el que ara coneixem com a reaccions químiques.

**A.1** *Llegiu el text i expliqueu quin era l'objectiu principal de l'alquimista:*

*El canvi químic produït per l'home sorgeix en els primers temps de la seua aparició amb la descoberta del foc. Les primeres transformacions químiques tenien com a objectiu fonamental la subsistència.*

*Molt més tard es cercaren transformacions amb d'altres finalitats, especialment a l'Edat Mitjana quan apareixen uns personatges dedicats a la transformació de materials que se'ls va anomenar alquimistes i van estar envoltats de grans polèmiques, fins al punt que arribaren a estar prohibits. El Papa Joan XXII (1316-1334) digué contra els alquimistes: "Quan no troben la veritat la inventen, s'atribueixen un poder que no tenen, amaguen la seua mentida mitjançant discursos i, finalment, gràcies a acords enganyosos, fan passar per or o argent allò que no ho és."*

*La defensa de la professió de l'alquimista apareix en el tractat intitulat "De Alchymia" escrit sota el nom fals d'Albert el Gran, i deia: "L'alquimista haurà de ser discret i silenciós; no revelarà a ningú el resultat de les seues operacions. Ocuparà, allunyat de les persones, una casa particular on tindrà dues o tres habitacions destinades exclusivament a les seues operacions. Serà pacient, constant i perseverant; bastant ric per a realitzar la despesa que exigeixen les seues operacions. Al capdavall, evitarà especialment tota relació amb els prínceps i senyors".... "Si tens la desgràcia d'estar entre prínceps i reis et preguntaran sense descans: Mestre ¿com va l'obra? ¿quan veurem cosa bona? Plens d'impaciència et diran estafador i brivall. Si no aplegues a un resultat positiu sentiràs l'efecte de tota la seua còlera. I si tens èxit, et mantindran captiu i et faran treballar per al seu profit." (Tret d'Hernández et al. Materia y electricidad. 3º ESO. 1992)*

**COMENTARIS A.1**

*L'activitat permet comentar el paper de la química en aqueixa època de la història. Tradicionalment en molts manuals s'ha menyspreat aquest paper tot al·legant que foren anys de foscor. Emperò, des del punt de vista químic, malgrat que evidentment no fou una època molt brillant, si que hi hagué fites importants ja que foren molts els que tractaven de cercar nous elements o de transformar-ne d'altres. És interessant fer referència a la recerca de la pedra filosofal i el que això va significar. El coneixement adquirit pels alquimistes es basava essencialment en anar "provant" experimentalment i anotant els*

*resultats que trobaven. Cal, doncs, remarcar que aquest empirisme mancat d'una sòlida base teòrica en què fonamentar-se resultà molt poc eficaç, amb la qual cosa s'evidencia que la imatge empirista tan sovint transmesa per l'ensenyament habitual resulta, si més no, arcaïtzant, ja que la ciència moderna, que nasqué uns segles més tard, abandonà gradualment l'empirisme i s'anà assentant sobre noves idees i conceptes que, com el d'element, costaren prou més de perfilar i, només quan es definiren amb més propietat, encetaren una recerca fructífera que avançà cap a la comprensió de la complexa estructura de la matèria.*

*El tema dels alquimistes és molt més profitós i es pot utilitzar per a intentar entendre el paper d'aquests científics, si els podem anomenar així, en una època dominada a Europa per l'obscurantisme però en tots els àmbits de la vida, diguem-ne, intel·lectual. Per això, resulta ben curiós el paper tòpic atribuït a aquesta barreja de mags, astròlegs i cercadors d'enigmes potser químics, no sempre ben entès i que a més abraça un període massa ampli (pràcticament tota l'època antiga i medieval) i, per tant, un col·lectiu de persones molt variat. Els alquimistes heretaren una tradició de procedència àrab i foren, sobretot, grans experimentadors que dissenyaren una munió d'aparells i tècniques de laboratori que encara avui utilitzem. Com ara el conegut procediment d'escalfar una substància amb un bany d'aigua, sembla que s'anomena "bany maria" referint-se a una alquimista del segle I anomenada Maria la Jueva (Herzenberg et al. 1991, Muñoz-Páez 1996).*

El concepte d'element començà a adquirir un nou significat, més pròxim al que tenen els conceptes en la ciència moderna, a partir del segle XVII i sorgí obrint-se pas entre les crítiques que féu Robert Boyle al llenguatge críptic i poc científic dels alquimistes.

**A.2** *Llegiu i comenteu aquest text del famós llibre de Robert Boyle "The Sceptical Chemist" (1661) on l'autor proposa una manera de definir el concepte d'element:*

**EL QUÍMIC ESCÈPTIC, per ROBERT BOYLE (1661)**

*Ja vaig dir que hi ha una gran diferència entre ser capaç d'efectuar experiments i ser capaç d'interpretar-los filosòficament. Els químics, i estic en discussió amb ells, s'han pres la llibertat d'emprar noms a plaer seu i s'han autolimitat amb les seues descripcions, tot creient que són com són, en llurs principis. Així, encara que podrien*

*haver designat lliurement qualsevol cosa que els apareguera a les seues anàlisis, bé siga sofre, o mercuri, o gas, o el que volgueren, si em diuen, com ara, que el sofre és un cos primigeni i simple, inflamable i olorós, etc., m'han de permetre que no els crega pas quan em diguen que un cos que és un compost o que no és inflamable és també sofre i es pot pensar que juguen amb les paraules quan ensenyen que l'or i alguns altres minerals abunden en aqueix sofre incombustible, cosa que és una expressió tan adient com parlar d'una nit en la que brilla el sol o de gel fluid. Per a impedir equivocacions li he de participar quina cosa entenc jo ara per elements, de la mateixa manera que ho entenen aquells químics que s'expressen amb claredat en llurs principis: són certs cossos primitius i senzills, o perfectament sense mescla, que no estan constituïts per cap altre cos i que són els ingredients dels que estan compostos de manera immediata tots aquells cossos anomenats mescles perfectes, les quals, en darrer terme, es resolen en ells.*

*(Fragment pres de "Química General", Bailar, Moeller, Kleinberg, Guss, Castellion i Metz, p. 42. Ed. Vicens-Vives, 1983, Barcelona)*

- Q1. *¿Creieu, com diu Boyle, que una cosa és ser capaç de fer experiments i una altra poder-los interpretar correctament? O dit d'una altra manera, ¿quin paper tenen els experiments en el treball dels científics?*
- Q2. *Comenteu on rau la dificultat per a definir el concepte d'element, segons Boyle, i la crítica que fa a la incoherència d'aquest concepte tal com l'entenien els químics contemporanis que, per l'època, encara podem considerar com a alquimistes.*

### **COMENTARIS A.2**

*L'activitat pretén iniciar una discussió sobre la manera com anà consolidant-se una nova idea d'element químic. El conegut llibre de Robert Boyle (1627-1691) és una referència habitual en l'obertura definitiva de nous mètodes d'investigació i sovint s'invoca com a representant en el món de la química dels primers passos d'aplicació del nou mètode deductiu que Galileu havia encetat en la física. El text vol ser un debat amb els alquimistes i un atac a les seues incoherències reflectides en la manera com utilitzaven la idea d'element i en el seu llenguatge críptic i inconsistent. Convé matisar que els alquimistes són anomenats per Boyle químics, però aquesta paraula no té encara el seu significat modern. Cal no perdre de vista el nom del llibre "El*

*químic escèptic", adjectiu amb què vol marcar la diferència amb els químics, diguem-ne, tradicionals que serien els alquimistes. Segons sembla ambdues paraules tindrien una mateixa arrel i durant un temps s'utilitzaren sense els matisos que avui en dia els atorguem. En qualsevol cas, no té menyspreu la crítica a l'empirisme alquimista que fa Boyle, per això la primera qüestió pretén plantejar als alumnes el paper dels experiments en el treball científic. Sense definir els problemes ni tenir hipòtesis que verificar o refutar, les experiències no duen enlloc.*

*La dificultat en entendre el concepte d'element és una bona oportunitat per aclarir que, com tots els altres, aquest concepte és una creació de la ciència, que costà molt de temps de perfilar amb claredat. Els alquimistes feien servir una hipòtesi d'element diferent a l'actual que s'originava en els quatre elements aristotèlics (aire, aigua, terra i foc), als que afegien el mercuri, la sal i el sofre (Mierzecki 1991). Tanmateix el seu llenguatge confús els traïa en considerar també com a sofre alguns dels seus compostos que avui anomenem sulfurs i sulfats. L'ambigüitat del llenguatge i la poca precisió en la definició d'element els impedia de clarificar la idea de substància química simple, diferenciada de la composta. En les paraules de Boyle s'entreveu la nova idea subjacent d'element com a darrer terme de l'anàlisi química, en què aprofundiran molts altres químics de les següents generacions com ara Guyton de Morveau, Macquer o Lavoisier, per això la nova concepció d'element trigarà encara temps en obrir-se camí i la tradició dels quatre elements aristotèlics es manté fins el segle XVIII. Només l'aplicació dels nous raonaments hipotètico-deductius que superen l'empirisme alquimista, permetran traçar un camí que culminarà amb la definició moderna d'element, basada en la teoria atòmica.*

- A.3** *Un altre científic que contribuï a clarificar el nou concepte d'element fou el francès Antoine Laurent de Lavoisier, que coneixem sobretot pels seus treballs sobre la combustió i la conservació de la massa en les reaccions químiques. Llegiu el text següent, tret del seu "Tractat Elemental de Química" (1789), on proposa una definició pràctica d'element:*

*Tot el que es pot dir sobre el nombre i naturalesa dels elements es redueix, segons la meua opinió, a pures discussions metafísiques: només s'intenta resoldre problemes indeterminats susceptibles d'infinites solucions, cap de les quals, probablement, no serà d'acord amb la natura. Per tant, em conformaré tot dient que si amb el nom d'e-*

*lements volem designar les molècules simples i indivisibles que componen els cossos és probable que les ignorem. Si, per contra, unim el nom d'elements o principis dels cossos a la idea del darrer terme a què hom aplega per via analítica, llavors totes les substàncies que fins ara no hem pogut descompondre per qualsevol mitjà seran per a nosaltres sengles elements; amb això no volem pas assegurar que els cossos que considerem com a simples no estiguen compostos per dos o més principis, sinó que, ja que mai hem aconseguit separar-los o, millor encara, com que ens manquen els mitjans per a fer-ho, els hem de considerar cossos simples i no pas compostos fins que l'experiència i l'observació no proven el contrari.*

- Q1. *Comenteu la definició d'element proposada per Lavoisier i compareu-la amb la de Boyle.*
- Q2. *Indiqueu les limitacions que té aquesta definició que podríem anomenar empírica.*
- Q3. *Busqueu informació sobre les substàncies que a l'època de Lavoisier eren considerades com a simples i destaqueu-ne les que avui ja no es consideren com a tals.*

### **COMENTARIS A.3**

*Aquesta activitat pretén relacionar el concepte empíric de Lavoisier amb el que proposà Boyle, per tal de mostrar les coincidències entre ambdues definicions que es poden resumir dient que l'element es considera el darrer terme de l'anàlisi química. Aquesta definició és eminentment provisional, tal com assenyala Lavoisier i com posarà en evidència l'activitat següent sobre el procés d'establiment de noves tècniques d'anàlisi química que modificaren el nombre i la qualitat dels elements, tot descartant algunes substàncies com l'aire i l'aigua tingudes per elements en l'Antiguitat.*

## **2. L'APARICIÓ MASSIVA DE NOUS ELEMENTS**

Les controvèrsies sobre el nombre i la naturalesa dels elements perderen tot el sentit a partir dels segles XVII i XVIII, i no sols no es resolgueren sinó que s'agreujaren, quan començà a créixer de forma gradual el nombre de substàncies simples obtingudes gràcies al desenvolupament pels químics de noves tècniques per a identificar i separar les substàncies.

**A.4** *Visió i comentari del vídeo "Descobrint elements". Qüestions per al comentari:*

- a) *Esmenteu algunes tècniques que serviren en diferents moments històrics per a aïllar i identificar nous elements.*
- b) *Comenteu per què metalls com l'or, l'argent o el ferro, ja eren coneguts a l'Antiguitat encara que no es consideraven elements.*
- c) *Busqueu informació sobre els "quatre elements" aristotèlics i aclariu per què actualment no els considerem elements.*
- d) *Indiqueu quins elements més coneguts foren aïllats en l'Era Pneumàtica i amb quines tècniques.*
- e) *Expliqueu per què l'anàlisi espectral permeté descobrir nous elements.*
- f) *Busqueu informació sobre la tècnica de líquefacció de l'aire.*

**COMENTARIS A.4**

---

*L'activitat es centra en la introducció del concepte d'element a partir de la reflexió sobre la manera com s'ha anat incrementant el nombre de substàncies simples que avui ja considerem elements. El procés és llarg i complex, però aquest capítol de la sèrie "Universitat Oberta" produïda per la BBC, presenta un interessant fil conductor on es mostra com a hipòtesi de treball el fet que l'increment significatiu d'elements coneguts és paral·lel a l'aplicació de noves tècniques d'anàlisi química. Aquesta idea es reflecteix en la gràfica de l'activitat següent, que apareix al principi i al final del vídeo.*

*Les qüestions proposades serveixen de guia per al comentari del vídeo, durant la visió del qual es pot suggerir als alumnes que prenguen alguna nota sobre aspectes que després s'ampliaran o anoten els seus dubtes per tal d'aclarir-los posteriorment.*

*Les tècniques bàsiques que esmenta l'autor del guió van des de la metal·lúrgia dels primitius que fonien minerals per obtenir coure, ferro, estany i bronze, a les modernes tecnologies de les reaccions nuclears. En el camí apareix el laboratori de l'era pneumàtica, on el disseny dels aparells per a manipular gasos permeté treballar amb l'enigma de la composició de l'aire i l'obtenció dels elements lleugers com l'oxigen, l'hidrogen o els halògens com el clor, el fluor o el iode. Successivament apareixen noves tècniques, que tot al llarg del segle XIX consoliden el creixement de la química, com ara l'electròlisi, l'anàlisi gravimètrica i l'espectroscòpia que aniran ampliant significativament el nombre d'elements. Una altra fita tecnològica serà la possibili-*



*tat de liquar l'aire i destil·lar-lo, cosa que permetrà aïllar els gasos inerts, ja de ple en el segle XIX.*

*Els elements coneguts a l'Antiguitat eren, òbviament, els metalls nadius (or, plata, coure) o els que tenen una metal·lúrgia molt antiga (ferro, estany, plom, mercuri) i els no metalls que com el sofre o el carbó es troben fàcilment en estat lliure i convé insistir que, malgrat existir aquestes substàncies, no eren tingudes per elements, ja que el concepte actual d'element sorgirà amb la química moderna.*

*El suggeriment de cercar informació sobre la teoria dels quatre elements aristotèlics, ja esmentada a l'inici del tema, pretén que l'alumne conega un poc més aquesta antiga hipòtesi que impregnà el pensament alquimista i obstaculitzà l'avanç del coneixement químic fins ben entrat el segle XVIII. Se'n pot trobar informació al llibre de Holton i Brush (1976).*

*La resta de qüestions té una fàcil resposta en el vídeo i en el context dels coneixements previs que suposem que tenen els alumnes en arribar a aquest nivell d'estudi de la química. La líquefacció de l'aire és una tècnica del segle passat i encara provoca una certa sorpresa en molts alumnes, pel fet de considerar l'aire només com un gas i oblidar que el gasós és un estat més de la matèria que depèn de la pressió i la temperatura. Aquesta qüestió permet, doncs, familiaritzar l'alumne amb una tècnica que té moltes aplicacions avui dia.*

- A.5** *A partir de les dades de la taula adjunta sobre la descoberta dels diferents elements amb especificació de l'any i el nom i la nacionalitat dels autors a qui s'atribueix la trobada, construiu una gràfica del nombre d'elements coneguts en les diferents èpoques històriques. Segons les dades disponibles discuteix prèviament la millor manera de representar aquesta gràfica, que serà semblant a la presentada en el vídeo de l'activitat anterior.*

Element	Data de la descoberta	Nom i nacionalitat dels descobridors
Au, Ag, Cu,	-	-
Fe, Pb, Sn,	-	-
Hg, S, C	-	-
Arsènic	≈1250	Albert el Gran (Alemanya)
Fòsfor	1669	Henning Brand (Alemanya)
Antimoni	1700	-
Cobalt	1735	Georg Brandt (Suècia)
Platí	1735	Antonio de Ulloa (Espanya)
Zinc	1746	Andreas Sigmund Marggraff (Alemanya)
Níquel	1751	Axel Fredrik Cronstedt (Suècia)
Bismut	1753	Johann H. Pott (Alemanya) i Torbern O. Bergman (Suècia)
Hidrogen	1766	Henry Cavendish (Regne Unit)
Nitrogen	1772	Daniel Rutherford (Escòcia)
Clor	1774	Karl Wilhelm Scheele (Suècia)
Manganès	1774	Johan Gottlieb Gahn (Suècia)
Oxigen	1774	Joseph Priestley (Regne Unit)
Molibdè	1781	Peter Jacob Hjelm (Suècia)
Tel·luri	1782	Franz Joseph Müller von Reichenstein (Hongria)
Tungstè	1783	Fausto i Juan José de Elhuyar (Espanya)
Titani	1791	William Gregor (Regne Unit)
Crom	1797	Louis Nicolas Vauquelin (França)
Niobi	1801	Charles Hatchett (Regne Unit)
Tàntal	1802	Anders Gustaf Ekeberg (Suècia)
Ceri	1803	Jöns Jakob Berzelius (Suècia)
Iridi	1803	Smithson Tennant (Regne Unit)
Osmi	1803	Smithson Tennant (Regne Unit)
Pal·ladi	1803	William Hyde Wollaston (Regne Unit)
Rodi	1803	William Hyde Wollaston (Regne Unit)
Potassi	1807	Humphry Davy (Regne Unit)
Sodi	1807	Humphry Davy (Regne Unit)
Bari	1808	Humphry Davy (Regne Unit)
Magnesi	1808	Humphry Davy (Regne Unit)
Estronci	1808	Humphry Davy (Regne Unit)
Bor	1808	H. Davy (R.U.) i L. J. Thénard i J. L. Gay-Lussac (França)
Calci	1808	Humphry Davy (Regne Unit)
Iode	1811	Bernard Courtois (França)
Cadmi	1817	Friedrich Strohmeyer (Alemanya)
Liti	1817	Johan August Arfvedson (Suècia)
Seleni	1818	Jöns Jakob Berzelius (Suècia)
Silici	1824	Jöns Jakob Berzelius (Suècia)
Zirconi	1824	Jöns Jakob Berzelius (Suècia)
Brom	1826	Antoine Jérôme Balard (França)
Alumini	1827	Friedrich Wöhler (Alemanya)
Tori	1828	Jöns Jakob Berzelius (Suècia)
Beril·li	1828	Friedrich Wöhler (Alemanya)
Vanadi	1830	Nils Gabriel Sefström (Suècia)
		<i>(L'espanyol Andrés del Río n'havia trobat a Mèxic l'any 1801)</i>
Lantà	1839	Carl Gustav Mosander (Suècia)
Urani	1841	Eugène Peligot (França)
Erbi	1843	Carl Gustav Mosander (Suècia)
Terbi	1843	Carl Gustav Mosander (Suècia)
Itri	1843	Carl Gustav Mosander (Suècia)
Ruteni	1844	Karl Karlovich Klaus (Rússia)
Cesi	1860	Robert W. Bunsen i Gustav R. Kirchhoff (Alemanya)
Rubidi	1861	Robert W. Bunsen i Gustav R. Kirchhoff (Alemanya)
Tal·li	1861	William Crookes (Regne Unit)
Indi	1863	Ferdinand Reich i Hieronymus Theodor Richter (Alemanya)
Heli	1868	Joseph Norman Lockyer (Regne Unit)

Gal·li	1875	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (França)
Itèrbi	1878	Jean Charles Galissard de Marignac (França)
Samari	1879	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (França)
Escandi	1879	Lars Fredrik Nilson (Suècia)
Holmi	1879	Per Teodor Cleve (Suècia)
Tuli	1879	Per Teodor Cleve (Suècia)
Gadolini	1880	Jean Charles Galissard de Marignac (França)
Neodimi	1885	Karl Auer von Welsbach (Àustria)
Praseodimi	1885	Karl Auer von Welsbach (Àustria)
Disprosi	1886	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (França)
Fluor	1886	Ferdinand Frédéric Henri Moissan (França)
Germani	1886	Clemens Alexander Winkler (Alemanya)
Argó	1894	John William Strutt Rayleigh i William Ramsay (Regne Unit)
Europi	1896	Eugène Anatole Damarçay (França)
Criptó	1898	William Ramsay (Regne Unit)
Neó	1898	William Ramsay i Morris William Travers (Regne Unit)
Poloni	1898	Marie Curie (Polònia-França)
Radi	1898	Marie i Pierre Curie (França)
Xenó	1898	William Ramsay i Morris William Travers (Regne Unit)
Actini	1899	André Louis Debierne (França)
Radó	1900	Friedrich Ernst Dorn (Alemanya)
Luteci	1907	Georges Urbain (França)
Protactini	1917	Otto Hahn (Alemanya)
Hafni	1923	Dirk Coster (Holanda) i Georg von Hevesy (Hongria)
Reni	1925	Walter Karl Noddak i Ida Eva Tacke (Alemanya)
Tecneci	1937	C. Perrier, E. Segrè i B. N. Cacciapouti (Itàlia)
Franci	1939	Margarita Perey (França)
Àstat	1940	Dale Raymond Corson i col·laboradors (EUA)
Neptuni	1940	Edwin Mattison McMillan i Philip Hauge Abelson (EUA)
Plutoni	1940	Glenn Theodore Seaborg (EUA)
Curi	1944	G. T. Seaborg, R. A. James i A. Ghiorso (EUA)
Americi	1944	Glenn Theodore Seaborg (EUA)
Prometi	1947	J. A. Marinsky, L. E. Glendenin i C. G. Coryell (EUA)
Berkeli	1949	G. T. Seaborg i Thomson (EUA)
Californi	1950	G. T. Seaborg, A. Ghiorso, Thomson i Street (EUA)
Einsteni	1953	Albert Ghiorso (EUA)
Fermi	1953	Albert Ghiorso (EUA)
Mendelevi	1955	Albert Ghiorso (EUA)
Nobeli	1958	G. T. Seaborg i A. Ghiorso (EUA)
Laurenci	1961	A. Ghiorso, T. Sikkeland, A. E. Larsh i A. R. Latimer (EUA)
Kurtxatovi	1964	Gregorii Nikolaevitx Flerov (URSS)
Hahni	1970	Equip de Seaborg (EUA) i equip de Flerov (URSS)
106	1974	Equip de Seaborg (EUA) i equip de Flerov (URSS)
107	1981	Peter Armbruster i col·laboradors (Alemanya)
109	1982	Peter Armbruster i col·laboradors (Alemanya)
108	1984	Peter Armbruster i col·laboradors (Alemanya)
110	1988	Gregorii Nikolaevitx Flerov i col·laboradors (URSS)

Tret de Fernández, M.R. i Fidalgo, J.A. "Química General". Ed. Everest. León. 1989.

**A.6** A partir de la gràfica de l'activitat anterior, on apareix el nombre d'elements coneguts a cada època històrica, comenteu els aspectes següents:

- ¿De quina forma ha anat creixent el nombre d'elements coneguts?
- ¿Per què durant l'Edat Mitjana -l'època dels alquimistes- només es descobrí un element?

- c) *¿En quina època històrica comença a créixer de forma sensible el nombre d'elements coneguts? ¿Quina penseu que en pot ser la causa?*
- d) *Raoneu si es pot establir alguna relació entre l'aparició de noves tècniques d'anàlisi química i el creixement més brusc en el nombre d'elements coneguts. Poseu-ne algun exemple concret.*

### **COMENTARIS A.5 i A.6**

*A l'activitat A.5 proposem d'elaborar la gràfica que es pot veure en el vídeo de l'activitat A.4, a partir de les dades que apareixen a la taula. A la pàgina següent mostrem una còpia de la gràfica feta per un alumne.*

*En la gràfica es pot veure de quina manera ha anat creixent al llarg del temps el nombre d'elements coneguts. Després de segles en què només eren coneguts els elements de fàcil obtenció, el creixement global és quasibé exponencial. Si ens acostem amb detall als diferents períodes històrics veurem com l'increment del nombre d'elements coneguts té algunes zones d'inflexió que solen correspondre a grans trets amb la generalització de l'ús de noves tècniques analítiques. Les diferents qüestions proposades pretenen parar esment en tots aquests detalls.*

*Dels nou elements coneguts pels primitius, encara que per manca d'establiment del concepte actual d'element no hi foren reconeguts, durant l'època alquimista només augmenta el nombre amb l'obtenció de l'arsenic atribuïda a Albert el Gran (»1250) i a l'escala traçada a la gràfica només entrem amb el fòsfor obtingut per Brand el 1669. L'explicació és evident: fins a l'establiment d'una nova manera de treballar, diferent de l'empirisme alquimista, no es va poder modificar el concepte antic d'element, en el qual s'inclouïen substàncies com l'aigua, l'aire i la terra que avui no podem admetre com a elements i fins i tot el foc, que no és tampoc una substància en el sentit de la química actual. La hipòtesi aristotèlica va impedir, òbviamment, la possibilitat d'iniciar la línia d'investigació que a poc a poc aniria clarificant què entenem per substància química simple i, a partir d'ací, quina cosa és un element. En la mesura que aquestes noves idees van obrint-se pas, amb contribucions múltiples, com les de Boyle, Guyton de Morveau, Macquer, Lavoisier, Dalton, etc., es produirà un creixement espectacular en cerca dels elements que abans no es podien ni imaginar. Aquesta reflexió pot contribuir a clarificar el paper dels conceptes com a creacions del pensament científic i no com a descobriment de realitats preexistents, que la visió empirista pot fer creure, ja que en tal cas caldria preguntar-se per què durant segles d'experimentació*



*alquimista només fou possible "descobrir" un element i, en qualsevol cas, no fou considerat com a tal, ja que per als alquimistes un element era una altra cosa.*

*La relació directa entre algunes tècniques i el creixement dels elements aïllats, més que no descoberts, és evident en el cas de la facilitat per a manipular gasos, una vegada es té present el seu caràcter material i no espiritual com abans, que durant l'era pneumàtica serà tema d'investigació preferent. L'aparició de l'electròlisi a començament del segle XIX permet aïllar els elements alcalins que desplacen els seus òxids o calçs de la llista d'elements presentada per Lavoisier al seu "Tractat". També és especialment significatiu l'ús de l'espectroscòpia com a tècnica que suggereix un mètode inequívoc de reconèixer elements i, doncs, la possibilitat d'aventurar-se a cercar-ne més: el cesi, l'indi i l'heli, són elements identificats per aquesta nova tècnica. És també conegut el paper de la tècnica de líquació i destil·lació de l'aire per tal d'aconseguir l'aïllament dels components elementals d'aquest "antic element", que confirma la composició majoritària de nitrogen i oxigen, però fa aparèixer en escena els nous gasos inerts. Finalment, la comprensió de l'estructura nuclear dels àtoms permet donar el pas definitiu, només somniat pels alquimistes, de la "transmutació" i la fabricació d'elements inexistents en el món natural, una vegada establert clarament a quina cosa anomenem element en el segle XX. El primer element artificial s'obté el 1937 i s'anomena per això tecneci, és a dir, producte de la nova tecnologia nuclear.*

- A.7** *A partir de la llista d'elements amb noms, dates i descobridors, presentada a l'activitat A.5, comenteu aquests aspectes:*
- a) *Compareu el nombre d'elements descoberts en els diferents països i destaqueu les aportacions dels científics espanyols.*
  - b) *Entre els noms dels elements n'apareixen de distints tipus. Esmen-teu-ne tres o quatre dels següents: 1) dedicats a països o ciutats; 2) dedicats a científics i científiques; 3) noms mitològics; 4) noms descriptius. (Podeu demanar ajuda al professor per tal d'aclarir el significat d'alguns noms).*
  - c) *Alguns noms d'elements han estat motiu de polèmica per la prioritat del descobriment. Busqueu informació sobre els elements 104 i 105, en algun llibre que tracte de la recerca dels elements, com ara "La búsqueda de los elementos" d'Asimov (Plaza & Janés) o "Els elements que componen els cosmos" de F. Nicolau (Claret).*

**COMENTARIS A.7**

*Aquesta activitat pretén aprofitar la riquesa de la informació que subministra la història de la descoberta dels elements i el que pot aportar a una millor comprensió de les complexes relacions CTS en la història. Així, comparar el nombre d'elements descoberts en els diferents països pot aprofitar per a comprendre que, si bé el creixement d'elements anirà paral·lel al desenvolupament de la ciència moderna a Europa a partir del segle XVII, les contribucions són variades i procedeixen de diversos països, encara que durant determinades èpoques destaquen les contribucions d'alguns països. També podem referir-nos a l'aportació de la ciència hispànica durant l'època d'esplendor de la Il·lustració, tema en el que aprofundirem a l'activitat següent amb un quadre resum que fa esment a la generació de científics que féu possible aquesta important contribució a la química, en contra de la imatge tan estesa de l'escàs paper que tradicionalment s'atribueix en aquest país a l'activitat científica.*

*En qualsevol cas és un bon exemple de la labor col·lectiva del treball científic reflectida en la varietat de noms, encara que alguns puguen destacar per motius diversos. També és interessant repassar el nomenclàtor dels elements i seleccionar-ne alguns per veure com reflecteixen diferents aspectes vinculats a les circumstàncies del seu descobriment o a les propietats més característiques que manifesten. Hi ha noms d'elements dedicats als països o ciutats de procedència de qui s'atribuí la troballa: germani, franci, poloni, luteci (antic nom de París), tuli, iterbi,...; noms dedicats a diferents científics: curi, einsteni, mendelevi,...; noms procedents de la mitologia: titani, seleni, tàntal, niobi,...; noms descriptius: clor, iode, brom, bari,... La consulta d'una llista amb referències sobre l'origen de tots els noms pot ser útil per a completar la informació al voltant d'aquest aspecte gens anecdòtic de la manera com s'ha establert el nom definitiu dels elements. També pot ser interessant comentar els noms que han estat motiu de polèmica. Hi ha hagut diversos canvis a causa de la competència en la prioritat del descobriment: l'actual hafni (Z=72) s'anomenà successivament oceani, celti i dani, tot al llarg de les vicissituds per arribar a confirmar la seua identitat i sembla que el nom de hafni (del nom antic de Copenhaguen) s'imposà per un error d'impressió quan ja s'havia decidit canviar-lo pel de dani (en honor de Dinamarca) (Marco 1984). Més recentment hi preval encara la polèmica dels elements transurànids: 104, 105 i successius.*

*Sobre el procés de descobriment dels elements es pot trobar més informació en els llibres: "La búsqueda de los elementos" d'Isaac Asimov, publicat per Plaza & Janés, i en "Els elements que componen el cosmos" de F. Nicolau, publicat per Editorial Claret de Barcelona.*

**A.8** *Llegiu el quadre següent i contesteu les qüestions proposades.*

### **LA CIÈNCIA ESPANYOLA EN LA IL·LUSTRACIÓ. DESCOBERTA D'ELEMENTS DEL SISTEMA PERIÒDIC**

*L'esforç realitzat en la Il·lustració per tal d'incorporar Espanya al ritme d'Europa i les condicions socio-econòmiques favorables de l'època, van promocionar l'activitat científica i tecnològica a Espanya i van desenvolupar la trajectòria oberta pel moviment novator. Aquesta promoció assolí el seu moment culminant durant el regnat de Carles III i va consistir en lluitar contra l'aïllament, amb la contractació de científics estrangers (Proust i Chabaneau) i amb la concessió de beques per a l'estranger i el finançament d'institucions (observatoris astronòmics, jardins botànics, etc.) i de viatges científics.*

*Les contribucions majors es van produir en el camp de la Química. Hi destaquen:*

*Fausto de Elhuyar (1755-1833), professor del Seminari Patriòtic de Vergara, on va descobrir juntament amb el seu germà Juan José el wolfram o tungstè. L'any 1788 se n'anà a Mèxic on va crear l'escola de Mines.*

*Andrés del Río (1764-1849), que va treballar durant quasi 50 anys a Mèxic, on va descobrir en un mineral mexicà el vanadi l'any 1801.*

*Antonio de Ulloa (1716-95), guàrdia marina, va participar amb Jordi Joan i d'altres científics francesos a l'expedició al Perú per tal de mesurar l'arc del meridià terrestre, d'on va portar mostres de platí amb la qual cosa contribuí a la descoberta d'aquest element.*

*Joseph-Louis Proust (1754-1826), d'origen francès, va treballar la major part de la seua vida a Espanya (des del 1777 al 1807), on dugué a terme la majoria de descobriments, més concretament, la llei de les proporcions constants.*

*En Física destaca Jordi Joan i Santacília (1713-73), fill de Novel·la, que en tornar del viatge científic al Perú publicà les*



"Observaciones astronómicas y físicas" (1748), on utilitza el càlcul infinitesimal i l'astronomia i física posteriors a Newton. En 1752 va ser nomenat director de l'Acadèmia de guàrdies marines de Cadis, on va fundar l'observatori astronòmic més important d'Espanya. Va ser un dels científics més destacats de l'Espanya del XVIII, membre de les societats científiques europees més prestigioses, com la Royal Society de Londres i les Reials Acadèmies de Berlín i París.

Però l'activitat científica espanyola torna a sofrir un col·lapse durant la Guerra del Francès i el regnat de Ferran VII. Les causes de la desfeta foren un país econòmicament arruïnat i unes classes dirigents dividides en conservadors, que consideraven un greu error l'esforç d'europèitització del segle XVIII, i els lliberals. En 1814, després de la restauració de Ferran VII, i en 1823, en acabar el trienni lliberal, es produeixen períodes de repressió, que obliguen a l'exili de molts lliberals. Per defensar aquestes idees va sofrir postergació, persecució i desterrament el 90 % dels nostres científics de talla europea. Els observatoris i d'altres institucions desaparegueren o vegetaren.

- Q1. *Expresseu la vostra opinió sobre les contribucions científiques fetes a Espanya durant la Il·lustració i compareu-les amb les contribucions fetes des d'altres àmbits de la cultura com l'art o la literatura.*
- Q2. *En el text anterior hem pogut veure un col·lapse de la ciència espanyola després d'una època d'esplendor. ¿Coneixeu algun altre cas semblant d'una època anterior? ¿Quines en poden ser les causes?*

### **COMENTARIS A.8**

*Aquesta activitat, tret del llibre de Calatayud et al. (1995), té com a objectiu fer una reflexió col·lectiva sobre un tema sovint ignorat com és la riquesa de les contribucions científiques espanyoles durant la Il·lustració. S'hi aprecien les aportacions dels científics que descobriren elements i als que ja haurem fet referència en activitats anteriors. Ara podem constatar que el fruit del treball científic és sovint conseqüència de les condicions socio-històriques que s'hi donen. Per això proposem de comparar la indiscutible vàlua de les contribucions científiques de l'època, que s'equiparen a la riquesa d'altres manifestacions culturals com l'art o la literatura i, de la mateixa manera, admeten comparació amb els seus coetanis europeus.*

*La situació política canvià, però, a començaments del segle XIX i, una vegada més, l'endarreriment científic fou la conseqüència inevitable. Per tal de*

*reflexionar-hi proposem la segona qüestió sobre una situació semblant viscuda dos segles abans quan la Revolució Científica del segle XVII no pogué agafar embranzida al nostre país, tot i les condicions favorables en què es trobava la ciència hispànica durant el segle XVI (López Piñero 1982). Si els alumnes han treballat aquest aspecte en d'altres temes, ara el podran recordar, en cas contrari s'hi pot fer esment per part del professor.*

- A.9** *Sobre un esquema buit del Sistema Periòdic ompliu les caselles amb informació "visual" dels elements als que tenim accés o podem obtenir fàcilment al laboratori.*

#### **COMENTARIS A.9**

---

*Aquesta activitat persegueix la familiarització amb les substàncies químiques simples que resulten accessibles al laboratori o a la vida quotidiana, per això proposem als alumnes de recollir la màxima informació directa que puguen trobar sobre aquells elements que tenen més a l'abast de manera que puguen ser conscients de l'abundor d'elements que ja coneixen i d'algunes de llurs propietats macroscòpiques més remarcables com ara l'estat físic en condicions ambientals, el color, l'aspecte o les propietats tòxiques i perills de manipulació. Per a fer-la es reparteix una taula periòdica buida, format DIN A3.*

### **3. EL NOU CONCEPTE D'ELEMENT A PARTIR DE DALTON**

---

Per tal d'arribar a establir el nou concepte d'element de la química moderna fou necessari desenvolupar la teoria atòmica de la matèria. Un dels que hi contribuí fou el químic anglès **John Dalton** (1766-1844) que anomenà les partícules últimes que formen la matèria amb el mot **àtoms** (en grec, indivisibles) que d'altres ja havien utilitzat de forma genèrica. Tanmateix el concepte d'àtom de Dalton no correspon exactament a l'actual i es confonia amb el de molècula. Per això abans de considerar què era un element en la seua teoria atòmica, aclarirem què eren els àtoms segons Dalton.

- A.10** *Llegiu i comenteu breument aquest fragment d'un treball presentat per John Dalton l'any 1810 a la Royal Institution de Londres:*

*He escollit la paraula àtom per a significar aquestes últimes partícules, preferentment a partícula, molècula o qualsevol altre mot diminutiu, perquè considere que és molt més expressiva; conté en ella mateixa la noció d'indivisible, cosa que els altres termes no fan. Es pot dir que estenc l'aplicació molt més enllà, quan parle d'àtoms compostos; com ara, anomene l'última partícula d'àcid carbònic un*

àtom compost. Així, tot i que aquest àtom es pot dividir, a causa d'aquesta divisió deixa de ser àcid carbònic i esdevé carbó i oxigen. Per tant crec que no hi ha inconsistència en parlar d'àtoms compostos i que el significat que jo els done no es pot malentendre.

(Citat per Mierzecki en "The Historical Development of Chemical Concepts". Kluwer. Dordrecht. 1991)

Q1. A partir de l'explicació que fa Dalton del seu concepte d'àtom i d'àtom compost, aclariu com s'anomenen aquests termes en el llenguatge químic actual.

**A.11** Llegiu i comenteu el següent text de Dalton, on exposa una part de les seues hipòtesis atòmiques:

És força important aclarir si les partícules últimes d'un cos, com ara l'aigua, són totes iguals, és a dir, tenen la mateixa figura, pes, etc. Pel que sabem, no hi ha cap raó per a creure que hi haja diferències en aquests aspectes: si aqueixa identitat es dóna a l'aigua, també existirà en els elements que constitueixen l'aigua, és a dir, l'hidrogen i l'oxigen. Ara, difícilment podem concebre com podrien ser idèntics els agregats de partícules diferents. Si alguna de les partícules de l'aigua fóra més pesant que les altres, si alguna volta, fóra quan fóra, una fracció del líquid estiguera constituïda principalment per aquestes partícules més pesants, caldria suposar que això influiria en la gravetat específica de la massa, cosa que ignorem. Respecte de les altres substàncies podríem fer observacions semblants. Per tant, podem concloure que les partícules últimes de tots els cossos homogenis són perfectament semblants en pes, figura, etc. Altrament dit, qualsevol partícula d'aigua és semblant a la resta de partícules d'aigua, qualsevol partícula d'hidrogen és semblant a la resta de partícules d'hidrogen i així successivament.

(Tret de Dalton, J., "A New System of Chemical Philosophy" (1808), citat per Laín Entralgo i López Piñero en "Panorama Histórico de la Ciencia Moderna". Ed. Guadarrama. 1963)

Q1. Tracteu de formular una definició d'element basada en les hipòtesis atòmiques de Dalton, a partir de la informació que conté el text.

Q2. Exposeu les limitacions que té la definició d'element basada en les idees de Dalton.

**COMENTARIS A.10 i A.11**

*Abans d'aprofundir en el nou concepte d'element, implícit en les hipòtesis atòmiques de Dalton, proposem l'activitat A.10 per aclarir el llenguatge antic que fou motiu de nombroses controvèrsies. Ací veurem com Dalton mateix hagué d'aclarir el significat ambigu de la seua terminologia i diferenciar àtoms simples d'àtoms compostos. En realitat la definició d'àtom de Dalton es correspon més clarament amb la nostra definició de molècula, com a partícula última que permet d'explicar les propietats de la substància, però cal diferenciar entre molècules compostes per àtoms de diferents elements, que corresponen a substàncies compostes, com l'anomenat a l'època de Dalton àcid carbònic (el nostre diòxid de carboni) i molècules simples que, anomenades àtoms simples per Dalton, serien les dels elements.*

*Pel que fa al concepte d'element, l'aportació de Dalton ix de conjugar ambdues idees: la de substància pura formada per àtoms iguals, segons Dalton, i la d'àtom simple. Així, els elements resulten ser les substàncies pures formades per àtoms simples amb les mateixes propietats de pes, figura, etc. i s'adiuen més amb el concepte de cossos simples. Una altra manera de definir un element en termes daltonians seria dir que està format per àtoms d'una sola classe. Com més endavant veurem, calia un pas més per alliberar-se del caràcter empíric, ja que els elements no són exactament cossos simples, tal com farà veure Mendelejev. A banda d'aquesta limitació, la igualtat de propietats, sobretot pel que fa al pes, no és suficient per a definir els elements, una vegada es descobreixen els isòtops, però aquesta serà la darrera barrera que ha de caure per arribar al concepte actual d'element.*

**4. LA TAULA PERIÒDICA DE MENDELEJEV**

La darrera etapa que menà al concepte actual d'element fou l'establiment de relacions entre les propietats físiques i químiques, sobretot a partir de la seqüència creixent de les masses atòmiques. Però això exigia aclarir prèviament la forma correcta de calcular-les.

L'any 1860 tingué lloc a la ciutat alemanya de Karlsruhe el primer gran congrés internacional de químics de la història, que serví per a resoldre les controvèrsies al voltant de l'establiment de les masses atòmiques i, encara que no s'hi arribà a un acord de forma oficial, s'inicià el procés per aclarir els conceptes bàsics d'àtom i de molècula, que durant anys s'havien utilitzat de forma ambigua per molts químics. Un dels que hi va participar fou el químic rus Dmitri Mendelejev.

**A.12** *Llegiu i comenteu aquesta biografia de Mendelejev:*

**DMITRI MENDELEJEV I LA TAULA D'ELEMENTS**

*El químic rus DMITRI IVANOVITX MENDELEJEV nasqué l'any 1834 a Tobolsk (Sibèria) i morí l'any 1907 a Sant Petersburg. Després de salvar nombroses penúries, aplegà a doctorar-se en química a la ciutat dels tsars l'any 1856 i amplià estudis a París i Alemanya. De retorn al seu país exercí de professor de química general a la universitat de Sant Petersburg i fou director de l'oficina de pesos i mesures. La necessitat de sistematitzar els coneixements de química l'obligà a redactar un manual per a les seues classes que seria l'origen dels seus treballs sobre la llei periòdica i la classificació dels elements químics. L'any 1860 participà en el primer gran congrés internacional de química, a la ciutat alemanya de Karlsruhe, on es trobaren les diferents tendències de l'època enfrontades per les discrepàncies sobre la llei d'Avogadro i el problema de la determinació correcta de les masses atòmiques. En aquest congrés s'aclarí d'una vegada la diferència, que avui encara mantenim, entre àtoms i molècules i la defensa que féu Cannizzaro del concepte de massa atòmica impressionà el químic rus. L'aportació més notable de Mendelejev, que li permeté arribar a la taula dels elements, fou precisament la distinció entre element, associat als àtoms i a llurs masses, i cos simple, associat a les molècules i la massa molecular.*

*Quan Mendelejev inicià els seus treballs es coneixien una seixantena d'elements, però el nombre d'aquests continuaria creixent durant tot el segle. L'aparent caos en què es trobaven els coneixements de química descriptiva, que cada vegada augmentaven amb més i*

més elements, dificultava la seua exposició ordenada. L'any 1869 publicà un primer full destinat als seus col·legues que millorà notablement en una edició més acurada el 1871. La fixació més exacta de les masses atòmiques i les propietats físico-químiques dels elements i la seua ordenació segons les masses creixents, li permeté emetre hipòtesis sobre nous elements desconeguts, l'aïllament dels quals li donaria una fama notable.

Gaudí d'un gran prestigi i preconitzà el desenvolupament de la indústria química al seu país, creà estacions d'investigació agrícola i féu treballs aplicats sobre el petroli de Bakú. Va ser un demòcrata convençut i la mort el lliurà de viure per pocs anys l'episodi històric de la Revolució d'Octubre de 1917.

- Q1. Els intents de classificació dels elements són anteriors o simultanis als que va fer Mendelejev. Busqueu informació al respecte sobre els treballs de Newlands, Chancourtois i Lothar Meyer i compareu-los amb els del químic rus.
- Q2. Busqueu informació sobre les prediccions concretes de propietats de nous elements que va fer Mendelejev i la confirmació a través del seu aïllament. ¿De quins elements es tracta?

**A.13** Comenteu aquests dos textos escrits per Mendelejev:

"Igual que fins a Laurent i Gerhart, s'utilitzaven indistintament els mots "molècula", "àtom", "equivalent", actualment es confonen sovint les expressions "cos simple" i "element". No obsta que cadascuna d'elles tinga un significat molt distint i que siga important precisar-ho a fi d'evitar confusions en els termes de la filosofia química. Un cos simple és quelcom de material, metall o metal·loide, dotat de propietats físiques i capaç d'intervenir en reaccions químiques. A l'expressió "cos simple" li correspon la idea de "molècula". [...] Tanmateix, cal reservar el nom d'element per a caracteritzar les partícules materials que formen els cossos simples i compostos, i que determinen la forma com es comporten des del punt de vista físic i químic. El mot "element" evoca la idea d'àtom". (1871)

"Les propietats dels cossos simples i compostos depenen d'una funció periòdica dels pesos atòmics dels elements, per l'única raó que

*aquestes propietats són en si mateixes les propietats dels elements dels quals deriven aquests cossos". (1896)*

*(Citats per Bensaude-Vincent en "Historia de las ciencias" de M. Serres. Cátedra. Madrid. 1991)*

- Q1. *Expliqueu per mitjà d'algun exemple, què vol dir Mendelejev quan associa la idea de "cos simple" a la de "molècula" i "element" a "àtom".*
- Q2. *¿Tots els cossos simples estan formats per molècules tal com avui dia s'entén? Preciseu el significat i les limitacions d'aquesta associació. ¿Coneixeu cossos simples diferents que estiguen formats pel mateix element? ¿Com s'anomenen aqueixes substàncies?*

### **COMENTARIS A.12 i A.13**

*Aquestes activitats són una introducció abans de presentar la taula periòdica, per això es proposa una breu biografia de Mendelejev amb el propòsit de mostrar l'origen dels seus treballs i la seua participació al famós congrés de Karlsruhe, on els químics de l'època començaren a posar-se d'acord amb la terminologia que feien servir i que tant entrebancava llurs discussions i controvèrsies. El congrés no arribà a un pronunciament oficial sobre la nova terminologia però facilità molt el camí. Recordem que hi persistien les polèmiques entre els atomistes, partidaris de Dalton, i els equivalentistes. També hi participà Cannizzaro que recuperà els treballs d'Avogadro basats en les lleis volumètriques dels gasos menystingudes per Dalton. Mendelejev hi trobà un punt d'inspiració per a continuar els seus treballs sobre els pesos atòmics dels elements i, tal com veiem al primer text de l'activitat A.13, començà a discernir clarament la diferència entre cos simple, com a substància química, i el nou concepte d'element, més abstracte, que li serviria implícitament per a elaborar la seua taula a partir dels pesos atòmics, atribuïts als elements, i no els pesos moleculars, diferents en alguns cossos simples que, segons Avogadro, podien ser de constitució poliatòmica, tot i ser simples, és a dir, formats per més d'un àtom d'un sol element.*

*Per als antecedents de classificacions periòdiques, com els casos de Newlands, Chancourtois o Meyer, remetem els alumnes que s'informen pel seu compte, ja que no volem insistir en la història detallada de com s'arribà a la taula periòdica actual, sinó que preferim destriar la informació que considerem més adient al problema que ens interessa: la construcció del concepte d'element. També deixem de banda els detalls referits a les prediccions de Mendelejev, que es poden trobar en molts llibres de química.*

*Les aportacions de Mendelejev s'exposen prou bé en els treballs de Bernadette Bensaude-Vincent (1984, 1991b), d'on hem extret el text de l'article de 1871, on Mendelejev s'esmerça en aclarir la distinció entre cos simple i element, que serà la clau de les seues aportacions, i del llibre de 1896 on explicita la seua llei periòdica. Creiem que cal insistir en aqueixa distinció, poques voltes aclarida en la major part de llibres de text, entre cos simple i element, atès que es tracta d'una confusió amb repercussions didàctiques importants. Recordem l'embolic que es solen fer els alumnes quan comencen a treballar amb les masses atòmiques d'elements com l'oxigen i no saben quan han d'utilitzar la massa atòmica i quan la massa molecular del dioxigen. Per això proposem la qüestió 2, de l'activitat A.13, a fi de reflexionar sobre aquest aspecte. Si posem exemples de diferents cossos simples que pertanyen al mateix element, podrem iniciar el camí de clarificar aquestes idees. Efectivament, l'element oxigen és una cosa, i les substàncies químiques com l'oxigen molecular o dioxigen, i l'ozó o trioxigen, són cossos simples diferents, tot i que estan constituïts per àtoms del mateix element. És el que s'anomenen estats al·lotròpics d'un mateix element, que no són sinó substàncies químiques força distintes en molts casos. També fem esment a les limitacions actuals del paral·lelisme establert per Mendelejev entre cos simple i molècula, atès que avui dia sabem que no totes les substàncies químiques estan formades per molècules i per això sovint hem de precisar el llenguatge, com quan es parla de massa molecular referint-se a substàncies iòniques. És obvi que aquestes qüestions s'aclariran tot al llarg dels cursos de química, però volem insistir en la importància de no generar confusions de bon començament.*

**A.14** *Visió i comentari del vídeo "Elements organitzats. La taula periòdica".*

*Qüestions per al comentari:*

- a) *Esmenteu algunes propietats generals que comparteixen els elements de les famílies següents: metalls alcalins, elements halògens i gasos nobles.*
- b) *Compareu les fórmules dels òxids dels elements del 3r període.*
- c) *En la primera versió de la taula periòdica de Mendelejev, el grup I calia desdoblal-lo en dos subgrups, aclariu per què.*

Les darreres aportacions per a establir el concepte d'element tal com avui dia l'entendem les devem al físic anglès **Henry Gwyn Moseley** (1887-1915). Moseley fou una de les víctimes desafortunades de la I Guerra Mundial, que segà la seua brillant carrera científica en plena joventut durant la batalla de Gal·lípoli (Turquia). El seu cas serví d'alerta per tal que el govern britànic dictara normes per a apartar els científics



de les tasques més arriscades del front, per por que la guerra deixés el país sense la major part dels seus millors especialistes. La seua fama té origen en els nombrosos treballs que dugué a terme en la seua curta però fructífera carrera. Hi destaquen els que el menaren a establir la nova llei periòdica a partir del disseny d'un mètode per a determinar el nombre atòmic de cada element, basat en els espectres de raigs X.

**A.15** *Compareu la llei periòdica tal com la va enunciar Mendelejev amb la que proposà Moseley.*

**A.16** *Tracteu d'establir quin és el nou concepte d'element segons la llei de Moseley i raoneu quina aportació fonamental fa aquesta llei.*

**A.17** *Els isòtops s'anomenen així perquè aquest mot significa, en grec, "el que ocupa el mateix lloc". Es tracta d'àtoms d'un mateix element que tenen diferent massa atòmica. Raoneu per què se'ls ha donat aqueix nom i de quina manera contribueixen a confirmar la llei periòdica.*

**A.18** *Descripció pel professor de la taula periòdica moderna.*

#### **COMENTARIS A.14 a A.18**

---

*La descripció del procés de classificació dels elements, que es pot fer de moltes maneres, està prou ben descrita en el capítol de la "Open University" que proposem a l'activitat A.14 i que, a més, és continuació del que hem utilitzat a l'activitat A.4. Les qüestions proposades per al comentari insisteixen en algunes idees que apareixen sobre els criteris que confirmaven l'ordre enmig d'un caos aparent de propietats.*

*La breu referència a les modificacions introduïdes en la taula original de Mendelejev pretén aclarir per què la taula periòdica moderna presenta alguns avantatges sobre aquella, però sobretot volem insistir en la diferència bàsica entre la llei periòdica tal com la va formular Mendelejev (A.13), en funció de les masses atòmiques (amb algunes excepcions llavors inexplicables), i la nova llei periòdica de Moseley, basada en la propietat que identifica els elements: el nombre atòmic.*

*D'aquesta manera, a tall de conclusió, haurem aplegat al concepte d'element actual, que podem definir com un conjunt d'àtoms que tenen el mateix nombre atòmic o càrrega nuclear. De fet els elements existeixen en tant que idees que ens aprofiten per tal de classificar els àtoms, que també podem ordenar com a espècies nuclears pures o núclids, dels quals són isòtops els que pertanyen a un mateix conjunt o element format pels àtoms amb un mateix nombre*

*de protons en el nucli. L'existència dels isòtops explica per què no podem atribuir als elements la massa atòmica com a propietat característica, ja que de fet la massa atòmica és un valor calculat sobre el conjunt d'àtoms d'un element en una mostra natural que conté certa composició isotòpica. Això explica algunes irregularitats de la llei de Mendelejev, però confirma plenament la llei de Moseley, ja que en un mateix lloc de la taula incloem àtoms de masses diferents. De fet la taula periòdica no és una taula d'isòtops, sinó que s'explica per la periodicitat en l'estructura electrònica dels àtoms.*

*La vinculació del concepte d'element de forma unívoca al nombre atòmic, un nombre enter, permeté elaborar per primera vegada un esquema buit de la taula periòdica i predir sense dubte quins llocs mancaven, és a dir, quins elements hauríem de poder trobar encara, ja que el nombre atòmic en fixava l'ordre. A l'època de Moseley es coneixien elements entre l'1 i el 92, però encara hi havia uns quants buits per omplir i s'obria la possibilitat de superar el 92 amb els transurànids que s'obtidrien anys després.*

*L'activitat sobre la taula periòdica en la seua forma moderna serveix per a aclarir les limitacions que tenia la primera taula de Mendelejev i a manera d'introducció d'un proper tema que implicaria el pas següent: la interpretació de la llei periòdica a partir de les estructures electròniques dels àtoms.*

**A.19** *Llegiu i comenteu aquest text sobre l'obtenció dels nous elements artificials a partir de la descoberta dels fenòmens radioactius:*

### **LA RADIOACTIVITAT I ELS NOUS ELEMENTS**

*La descoberta dels raigs X el 1896 per Konrad Röntgen (1845-1923) promogué en diversos països la investigació del nou fenomen. Aquesta recerca menà el físic Henri Becquerel (1852-1908) a treballar amb sals d'urani i trobà uns raigs nous que anomenà els raigs d'urani. L'urani i els seus compostos emeten raigs invisibles de forma espontània, sense cap causa externa. No cal il·luminar-los ni escalfar-los, ni s'han de sotmetre a descàrregues elèctriques per tal que emeten raigs. L'emissió d'aquests raigs no s'atura i les substàncies que els emeten romanen invariables.*

*L'estudi d'aquest fenomen, que avui dia anomenem radioactivitat, fou el tema de la tesi de la polonesa Marie Curie (1867-1934) amb l'ajut del seu marit, el físic francès Pierre Curie (1859-1906). La seua investigació els portà a descobrir en el mineral pechblendà dos nous elements: el poloni el 1898 i el radi el 1903. La quantitat d'e-*

nergia que emetia un petit cristall de radi era tan gran que els investigadors de tot el món s'interessaren de seguida per la radioactivitat.

Es trobà que el radi emet tres classes de raigs invisibles: **a**, **b**, **g**. Els raigs gamma (**g**) són com els raigs Röntgen o raigs X, només se'n diferencien en la longitud d'ona, però els raigs alfa (**a**) i beta (**b**) consisteixen en partícules de matèria carregades d'electricitat, per això el radi es destrueix amb el temps i acaba transformant-se en plom i heli, dos elements nous i diferents de l'original. Per fi s'aconseguí allò que durant segles només s'havia somniat ingènuament: un element es pot transformar en un altre.

L'any 1934, poc abans de morir Marie Curie, la seua filla Irene Curie trobà la radioactivitat artificial, que donaria pas a la descoberta de nous elements. Ernest Rutherford (1871-1937) dugué a terme la primera transmutació artificial amb el bombardeig d'àtoms de nitrogen amb partícules alfa i obtingué oxigen, amb la qual cosa demostrà que aquest canvi es pot produir afegint o llevant partícules del nucli d'un element.

El 1937 el físic Segrè i el químic Perrier troben l'element 43, el tecneci, que omplia un dels buits de la taula de Mendelejev, l'anomenat eka-manganès. Ho aconseguiren amb el bombardeig del molibdè amb deuterons ( $^2\text{H}$ ) accelerats en un ciclotró. Amb això s'encetava l'era dels elements artificials.

Cada element té en el nucli un nombre característic de protons i un nombre variable de neutrons. Al voltant del nucli giren tants electrons com protons conté. El nombre de protons, anomenat nombre atòmic, determina les propietats de l'element. Per a obtenir elements més pesants calia afegir protons al nucli d'un element. El descobriment del neutró permeté la seua utilització per a bombardejar urani i obtenir així el primer element transurànid: el neptuni, descobert per McMillan el 1940. Aquest descobriment fou seguit d'altres: plutoni, americi i curi, prometi, àstat i franci.

Des d'aleshores la taula de Mendelejev s'ha anat allargant, l'any 1961 es coneixia fins l'element 103, laurenci, i avui dia s'ha aplegat al 110. Els darrers elements (107, 109 i 108) foren sintetitzats, en l'ordre indicat, al centre alemany de Darmstadt, que disposa de l'UNILAC, l'accelerador de partícules més potent construït fins ara.

*L'element 110 va ser sintetitzat l'estiu del 1987, 50 anys després de la troballa del primer element artificial, per un grup internacional de científics (format per soviètics, francesos, alemanys orientals i romanesos) després de dos anys de treball a l'Institut Soviètic d'Investigació Nuclear de Dubne, a prop de Moscou, en bombardejar isòtops de tori i urani amb nuclis accelerats de calci i argó. Segons els informes del físic soviètic Gregorii Flerov, director de l'equip, aquesta síntesi confirma la teoria de l'existència d'una illa d'elements superpesants que va fins a l'element 114 i obre una nova etapa d'investigació i recerca d'aquests nous elements.*

*(Tret del Grup Recerca Faraday. "Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric". Ed. Teide. Barcelona. 1988)*

- Q1. Resumi en un esquema les fites més importants dutes a terme des del descobriment dels fenòmens radioactius fins a l'obtenció dels darrers elements transurànids.*
- Q2. Les noves tecnologies d'obtenció d'elements han permès la realització del vell somni alquimista de la transmutació. Raoneu per què no resulta útil aquesta tècnica per a disposar de metalls preuats com ara l'or.*

**A.20** *Elaboreu un esquema, a tall de resum, on aparega l'evolució del concepte d'element amb les diferents aportacions fetes en la història.*

#### **COMENTARIS A.19 i A.20**

*Aquestes activitats poden servir de recapitulació final per a mostrar com s'ha resolt actualment el problema dels elements i quines vies noves ha obert aquesta fructífera línia d'investigació, que paradoxalment ha vingut a fer realitat el somni ingenu dels alquimistes que cercaven la transmutació dels metalls, tot i que aquesta troballa siga poc pràctica, atès que l'or que es pot obtenir d'aquesta manera sol ser un isòtop radioactiu i, a més, el procés resulta poc rentable per les despeses que implica la nova tecnologia nuclear. Tot i això, aquesta pot ser una reflexió interessant per tal de palesar la manera com evoluciona la ciència i com les noves troballes generen nous problemes i avui dia el problema d'esbrinar què és un element ha dut a plantejar-se el nou problema de com obtenir nous elements.*

## **CAPÍTOL 7 : PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS DE LA SEGONA HIPÒTESI**

En aquest capítol presentarem els resultats que hem obtingut en aplicar els qüestionaris per a alumnes i per a professors, a fi de contrastar la segona hipòtesi, segons el disseny descrit en el capítol sisè. L'anàlisi dels resultats i la contrastació de les diferències significatives que presenten les respostes dels alumnes dels grups experimentals amb els resultats dels grups de control, exposats en el capítol quart, ens permetran de validar la nostra hipòtesi que, com recordarem, fa referència a la possibilitat de millorar l'ensenyament de les ciències amb la introducció d'activitats de contingut històric que contribueix a formar una imatge més correcta de la ciència i millora l'actitud dels alumnes cap al seu aprenentatge. Entre els grups de control, de la primera part, que incloïen 694 alumnes, i els grups experimentals que inclouen 233 alumnes, en conjunt han participat en aquesta investigació 927 alumnes.

També constatarem la valoració positiva que fa el professorat una vegada ha reflexionat sobre el paper que pot tenir l'ús de la Història de la Ciència en l'ensenyament de la física i la química i ha conegut algunes activitats de contingut històric i les condicions de la seua aplicació a l'aula. El conjunt consta de 83 professors i professores que hi ha participat en diferents cursos de formació.

### **7.1. RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ QUE ELS GRUPS EXPERIMENTALS MOSTREN UNA IMATGE DE LA CIÈNCIA MÉS CORRECTA**

---

Aquesta segona part de la investigació, on han participat un total de 233 alumnes de diferents instituts del País Valencià, s'ha dut a terme tot al llarg dels cursos 1993/94, 1994/95 i 1995/96, durant els quals cinc professores i professors, entre ells l'autor mateix, han treballat amb grups d'alumnes de 2n i 3r de BUP i de COU en les matèries de Física i Química incorporant a llurs classes un enfocament històric. S'hi han fet servir, com ja hem indicat, materials consistents en programes d'activitats que es completaven amb determinades activitats de contingut i orientació històrics (presentades a l'ANNEX II), seleccionades segons els temes i els nivells impartits i, en alguns casos, consistien en un tema complet amb un fil conductor històric.

En acabar el curs hem proposat als alumnes dels grups experimentals la resolució dels qüestionaris que ja havíem sol·licitat als alumnes de control, en les mateixes condicions que aquests. Es tracta dels qüestionaris A, B, C i D. L'objectiu és constatar si la tasca duta a terme amb els alumnes dels grups experimentals ha servit per a millorar la imatge de la ciència i l'actitud que aquests tenen envers el seu aprenentatge.

Recordem que el QÜESTIONARI (A) tractava de palesar la imatge implícita de la ciència que tenen els alumnes per mitjà de la indicació del seu grau d'acord amb determinades expressions que revelen una imatge incorrecta. Els resultats dels grups experimentals tractats per l'autor de la investigació i els de la resta de professors que hi han col·laborat, fent un treball semblant amb llurs alumnes, presenten algunes diferències, per la qual cosa els mostrarem de forma separada. L'establiment de diferències significatives entre els distints grups experimentals i els de control la durem a terme per mitjà del càlcul de la "t" de Student aplicada a les diferents parelles de mostres que volem comparar.

El QÜESTIONARI (B), de caràcter obert, pretenia mostrar de forma més explícita determinats aspectes de la imatge de la ciència que tenen els alumnes, concretament aspectes relacionats amb els científics, llurs treballs, els problemes que els originaren i algunes repercussions socials. En aquest cas els grups experimentals de l'autor i els de la resta de professors no presenten diferències significatives entre si, possiblement perquè es tracta de qüestions més genèriques, no relacionades directament amb les activitats concretes tractades a l'aula. Així, doncs, considerarem tots els grups experimentals com una sola mostra i esbrinarem les diferències que mostren amb els grups de control, també per mitjà de la prova de la "t" de Student.

El QÜESTIONARI (C), també de caràcter obert, contenia preguntes més directament relacionades amb aspectes socials de la ciència i sobre la ciència hispànica. En aquest cas tornem a trobar diferències significatives entre els dos grups experimentals que ja hem distingit, d'una banda els grups tractats per l'autor i de l'altra els grups dels professors col·laboradors. En els primers grups tal volta s'ha posat més èmfasi en determinats aspectes que conté el qüestionari, pel fet d'ésser l'autor més directament implicat en la investigació, la qual cosa permetria explicar aquestes diferències. Compararem, doncs, les diferents parelles de mostres amb la prova de la "t" de Student.

Finalment el QÜESTIONARI (D) pretenia mostrar les actituds dels alumnes i les contribucions dels aspectes històrics per tal de millorar llur interès per l'aprenentatge de les ciències físico-químiques. El caràcter més genèric i obert de les qüestions que s'hi proposen explica que tampoc ací no hàgem trobat diferències significatives

entre els dos grups experimentals abans assenyalats, en coincidència amb d'altres treballs d'investigació sobre actituds i interès dels alumnes (Vilches 1993). Per tant, com en el cas del qüestionari (B), aplicarem la prova de la "t" de Student per a palesar les diferències significatives entre els alumnes dels grups de control i els dels grups experimentals, que considerarem una sola mostra.

Encara que comentarem els resultats obtinguts en cadascun dels ítems que conformen els diferents qüestionaris, farem una valoració global de cada qüestionari, atès que només així podrem percebre si s'ha produït una millora en la imatge de la ciència i les actituds dels alumnes, que és el que al capdavall volíem reflectir en la nostra hipòtesi.

Completarem l'anàlisi amb els comentaris de la informació obtinguda durant l'observació de quatre sessions de treball amb dos grups d'alumnes per mitjà de la FITXA D'OBSERVACIÓ presentada al capítol anterior.

#### **7.1.1. Resultats del Qüestionari (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència obtinguts amb els grups experimentals**

Aquest qüestionari s'ha aplicat a dues mostres d'alumnes de Batxillerat i COU de diferents instituts després d'un curs en què havien realitzat diverses activitats amb un enfocament històric en distints temes del programa. La primera mostra, que anomenarem GRUP EXPERIMENTAL 1, la formen 117 alumnes que han estat tractats pels professors col·laboradors en la investigació. La segona mostra, anomenada GRUP EXPERIMENTAL 2, la formen 116 alumnes tractats per l'autor mateix. Presentem els resultats comparats i incloem els dels alumnes de control (N=479) per tal d'observar-ne les diferències.

Cal fer constar la dificultat d'interpretar amb detall aquests resultats, atès que es tracta de respostes tancades en què els alumnes no han pogut expressar per escrit cap argumentació que corrobore la seua valoració, per això considerarem més significatiu el resultat global del qüestionari on analitzarem com s'ha modificat la franja d'alumnes que manifestava el grau d'acord de manera més definida.

Analitzarem primerament els resultats parcials de cada qüestió, que es presenten a les taules de la 7.1.1 a la 7.1.6. Per tal de mostrar si hi ha hagut canvis significatius en la imatge implícita de la ciència presentarem, en una darrera taula 7.1.7, l'anàlisi global del qüestionari que completarem amb una gràfica a fi de tenir una visió de conjunt més clara.

TAULA 7.1.1

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A1 :**
*El treball dels físics i els químics consisteix a descobrir les lleis ocultes en la natura.*

 (Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	64,6 (3,3)	41,7 (10,1)	44,2 (7,6)	53,3 (3,0)	36,6 (5,0)	31,5 (5,4)	58,2 (2,3)	37,6 (4,5)	36,2 (4,5)
<b>Dubtós (4-6)</b>	28,7 (3,1)	45,8 (10,2)	53,5 (7,6)	34,1 (2,9)	43,0 (5,1)	42,5 (5,8)	31,7 (2,1)	43,6 (4,6)	46,6 (4,6)
<b>En desacord (0-3)</b>	6,7 (1,7)	12,5 (6,8)	2,3 (2,3)	12,6 (2,0)	20,4 (4,2)	26,0 (5,1)	10,0 (1,4)	18,8 (3,6)	17,2 (3,5)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

La TAULA 7.1.1 mostra els resultats de l'ítem A1 on es tractava de percebre si els alumnes consideren erròniament que l'activitat científica és més aviat un procés de descobriment que no de creació. Si analitzem els percentatges que corresponen al màxim grau d'acord amb aquesta percepció incorrecta, podem constatar que els alumnes dels grups experimentals mostren uns percentatges d'acord inferiors als de control. Les diferències amb el grup de control són significatives ( $\alpha < 0,001$ ) per a ambdós grups experimentals, que en aquest ítem no mostren diferències entre ells. Podem constatar que els percentatges globals dels qui es mostren del tot en desacord han augmentat lleugerament, encara que també s'ha incrementat el percentatge de dubtosos, però hem de tenir en compte que aquests inclouen una franja de valoracions del 4 al 6, per tant ja eren nombrosos entre els alumnes de control. Entre nivells podem observar alguna diferència. Els alumnes de 3r i COU mostren diferències més clares i els alumnes experimentals que són en desacord creixen de forma significativa, mentre que els alumnes de 2n tenen un comportament un poc més indefinit, ja que creixen, sobretot, els percentatges de dubtosos, i en el grup experimental 2 fins disminueixen els que hi són en desacord respecte dels de control.



TAULA 7.1.2

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A2 :**

*L'objectiu del treball científic és l'establiment de relacions matemàtiques (lleis) entre magnituds físiques.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	42,6 (3,4)	8,3 (5,6)	23,3 (6,4)	44,1 (3,0)	31,2 (4,8)	24,7 (5,0)	43,4 (2,3)	26,5 (4,1)	24,1 (4,0)
<b>Dubtós (4-6)</b>	41,6 (3,4)	62,5 (9,9)	44,2 (7,6)	37,8 (3,0)	46,2 (5,2)	41,1 (5,8)	39,5 (2,2)	49,6 (4,6)	42,2 (4,6)
<b>En desacord (0-3)</b>	15,8 (2,5)	29,2 (9,3)	32,6 (7,1)	18,1 (2,3)	22,6 (4,3)	34,2 (5,6)	17,1 (1,7)	23,9 (3,9)	33,6 (4,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

La TAULA 7.1.2 mostra els percentatges d'alumnes que han percebut com a més característic del treball científic l'objectiu d'establir lleis o relacions matemàtiques i, per tant, estan influïts per la visió formalista de la ciència. Tal com podem veure, aquest ítem també presenta diferències significatives ( $\alpha < 0,001$ ) entre els grups control i ambdós grups experimentals i tampoc són importants les diferències entre aquests dos grups. Recordem que ens referim sempre als percentatges d'alumnes que s'hi mostren d'acord amb l'afirmació. Podem veure que els alumnes experimentals sofreixen un descens important en el grau d'acord i, per tant, considerem que han modificat significativament la seua percepció del paper del formalisme matemàtic en la ciència. Aquesta suposició la confirmen clarament els augments, també significatius, en els percentatges de desacord i la poca variació que experimenten els percentatges de respostes indecises. Només cal exceptuar el percentatge major de dubtosos en els alumnes de 2n del grup experimental 1, on disminueix clarament el percentatge d'acord, però l'augment dels que es manifesten en desacord és semblant als altres grups. Entre els altres nivells no hi ha diferències remarcables i, en conjunt, considerem que aquest ítem confirma un canvi de percepció important de la imatge tradicionalment formalista de la ciència, en els alumnes que han fet un tractament històric.

TAULA 7.1.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A3 :**

*El concepte de força i les lleis de la dinàmica foren establides per Newton en la seua forma actual o no han experimentat canvis des que foren establides per Newton fins a l'actualitat.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	46,9 (3,5)	37,5 (9,9)	44,2 (7,6)	38,9 (3,0)	32,3 (4,8)	46,6 (5,8)	42,4 (2,3)	33,3 (4,4)	45,7 (4,6)
<b>Dubtós (4-6)</b>	32,5 (3,2)	41,7 (10,1)	34,9 (7,3)	34,1 (2,9)	35,5 (5,0)	23,3 (4,9)	33,4 (2,2)	36,8 (4,5)	27,6 (4,1)
<b>En desacord (0-3)</b>	20,6 (2,8)	20,8 (8,3)	20,9 (6,2)	27,0 (2,7)	32,3 (4,8)	30,1 (5,4)	24,2 (2,0)	29,9 (4,2)	26,7 (4,1)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

La TAULA 7.1.3 mostra els resultats d'un ítem sobre la percepció que tenen els alumnes de l'autoria completa de determinades contribucions científiques. Ací es tracta del concepte de força i les lleis de la dinàmica de Newton. Tal com veiem, només apareixen diferències significatives entre els alumnes del grup experimental 1 i els de control, tot i que el marge no és massa ampli ( $\alpha < 0,1$ ). En el cas del grup experimental 2, fins i tot hi ha un lleuger increment del grau d'acord, més destacat en els alumnes del nivell superior. Es tracta d'una qüestió molt concreta, que al nivell de 2n no es pot abordar amb profunditat per tal que els alumnes l'arriben a percebre adequadament, i en el cas dels nivells superiors es pot veure influïda perquè una de les mostres (grup experimental 2) inclou alumnes del COU que han cursat l'assignatura de Química i, potser, no han cursat la Física, on aquests aspectes es solen desenrotllar més, i també els alumnes de 3r han seguit un programa amb major proporció de continguts de Química i tampoc han abordat amb profunditat aquesta qüestió concreta. Per contra, el grup experimental 1 conté respostes d'alumnes que en 3r i COU si que han tractat aquests aspectes. Tot i això els resultats globals no són gaire satisfactoris, cosa que potser caldria atribuir a l'excessiva concreció de l'enunciat de l'ítem.

## TAULA 7.1.4

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A4 :**

*Quan els resultats d'un experiment ben realitzat contradiuen una teoria científica, aquesta s'enfonsa i és abandonada.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	24,4	16,7	27,9	33,3	15,1	16,4	29,4	15,4	20,7
	(3,0)	(7,6)	(6,8)	(2,9)	(3,7)	(4,3)	(2,1)	(3,3)	(3,8)
<b>Dubtós (4-6)</b>	16,3	0,0	23,3	22,6	19,4	34,2	19,8	15,4	30,2
	(2,6)	(0,0)	(6,4)	(2,5)	(4,1)	(5,6)	(1,8)	(3,3)	(4,3)
<b>En desacord (0-3)</b>	59,3	83,3	48,8	44,1	65,6	49,3	50,7	69,2	49,1
	(3,4)	(7,6)	(7,6)	(3,0)	(4,9)	(5,9)	(2,3)	(4,3)	(4,6)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

Els resultats que mostra la TAULA 7.1.4 corresponen a la percepció que tenen els alumnes sobre el procés de validació de les teories científiques per mitjà dels experiments i se'ls demanava si els resultats d'un experiment ben fet poden invalidar una teoria. Tot i que el percentatge d'acord amb l'afirmació en els alumnes de control ja era baix i hi predominaven els alumnes que no compartien aquest falsacionisme, la comparació amb els grups experimentals mostra diferències significatives en graus distints per a cada grup. Així són un poc majors les diferències entre el grup de control i el grup experimental 1 ( $\alpha < 0,001$ ) que les del grup control amb el grup experimental 2 ( $\alpha < 0,05$ ), però ambdues resulten acceptables. Els resultats semblen millorar en passar del nivell bàsic (2n BUP) als superiors (3r/COU), ja que en aquests darrers alhora que disminueix el grau d'acord, augmenta més clarament el desacord entre els grups experimentals. Una excepció la constitueixen els alumnes de 2n del grup experimental 1, que es decanten clarament en contra de l'afirmació i no hi ha dubtósos, però creiem que es tracta d'un fet aïllat, potser causat per la grandària reduïda de la mostra.

TAULA 7.1.5

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A5 :**

*Els conceptes o magnituds que s'utilitzen en Física i Química són descobriments de coses que ja existeixen a la natura, no invencions dels científics.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	50,2 (3,5)	54,2 (10,2)	48,8 (7,6)	48,9 (3,0)	46,2 (5,2)	34,2 (5,6)	49,5 (2,3)	47,9 (4,6)	39,7 (4,5)
<b>Dubtós (4-6)</b>	22,5 (2,9)	41,7 (10,1)	25,6 (6,7)	18,1 (2,3)	30,1 (4,8)	26,0 (5,1)	20,0 (1,8)	32,5 (4,3)	25,9 (4,1)
<b>En desacord (0-3)</b>	27,3 (3,1)	4,2 (4,1)	25,6 (6,7)	33,0 (2,9)	23,7 (4,4)	39,7 (5,7)	30,5 (2,1)	19,7 (3,7)	34,5 (4,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

Podem veure a la TAULA 7.1.5 els resultats de l'ítem que es refereix de nou al caràcter creatiu de la ciència, concretat ací en els conceptes i magnituds. Per tant es tracta d'un ítem directament relacionat amb el que ja hem analitzat anteriorment (A1). Ací només trobem diferències significatives ( $\alpha < 0,05$ ) entre el grup control i l'experimental 2. Tanmateix, els resultats del grup experimental 1 quasibé no es diferencien dels de control. Sembla que són els alumnes del nivell més baix els que es mostren més d'acord amb l'afirmació i superen els de control, mostrant, a més, un grau de desacord molt baix. Considerem que es tracta d'una qüestió que exigiria un tractament més específic i constant tot al llarg del curs i, potser, aquests alumnes no l'han abordat amb profunditat i, per això, majoritàriament consideren que els conceptes científics no han estat construïts i es troben directament a la natura mateixa. Els resultats dels alumnes dels nivells superiors contribueixen a corregir aquesta desviació i expliquen la manca de diferències entre el grup experimental 1 i el de control.

TAULA 7.1.6

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (A). QÜESTIÓ A6 :**

*El desenvolupament de les ciències tot al llarg de la història ha estat un procés acumulatiu de més i més coneixements.*

(Percentatge de valoracions.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

GRAU D'ACORD	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2
<b>Molt d'acord (7-10)</b>	87,6 (2,3)	4,2 (4,1)	4,7 (3,2)	86,7 (2,1)	5,4 (2,3)	6,8 (3,0)	87,1 (1,5)	5,1 (2,0)	6,0 (2,2)
<b>Dubtós (4-6)</b>	11,5 (2,2)	16,7 (7,6)	18,6 (5,9)	7,4 (1,6)	17,2 (3,9)	15,1 (4,2)	9,2 (1,3)	17,1 (3,5)	16,4 (3,4)
<b>En desacord (0-3)</b>	1,0 (0,7)	79,2 (8,3)	76,7 (6,4)	5,9 (1,4)	77,4 (4,3)	78,1 (4,8)	3,8 (0,9)	77,8 (3,8)	77,6 (3,9)

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

Els resultats del darrer ítem del qüestionari apareixen a la TAULA 7.1.6 i mostren una diferència clara en la percepció de l'evolució de la ciència. Les diferències entre els grup de control i ambdós grups experimentals són netament significatives ( $\alpha < 0,001$ ), tant si analitzem els percentatges d'acord com si ho fem amb els de desacord i els grups experimentals no mostren diferències significatives entre ells. Resulta prou evident que un tractament històric que aborde l'evolució de la ciència modifica la percepció acumulativa de la ciència que tenen els alumnes que han seguit un ensenyament més tradicional sense una perspectiva històrica. Tot i que resulta discutible fins a quin punt la ciència és acumulativa, l'existència de crisis en l'evolució de la ciència es pot percebre clarament si en fem un tractament històric, i els resultats d'aquest ítem es veuran reforçats pels ítems dels qüestionaris (B) i (C) que s'hi relacionen.

TAULA 7.1.7

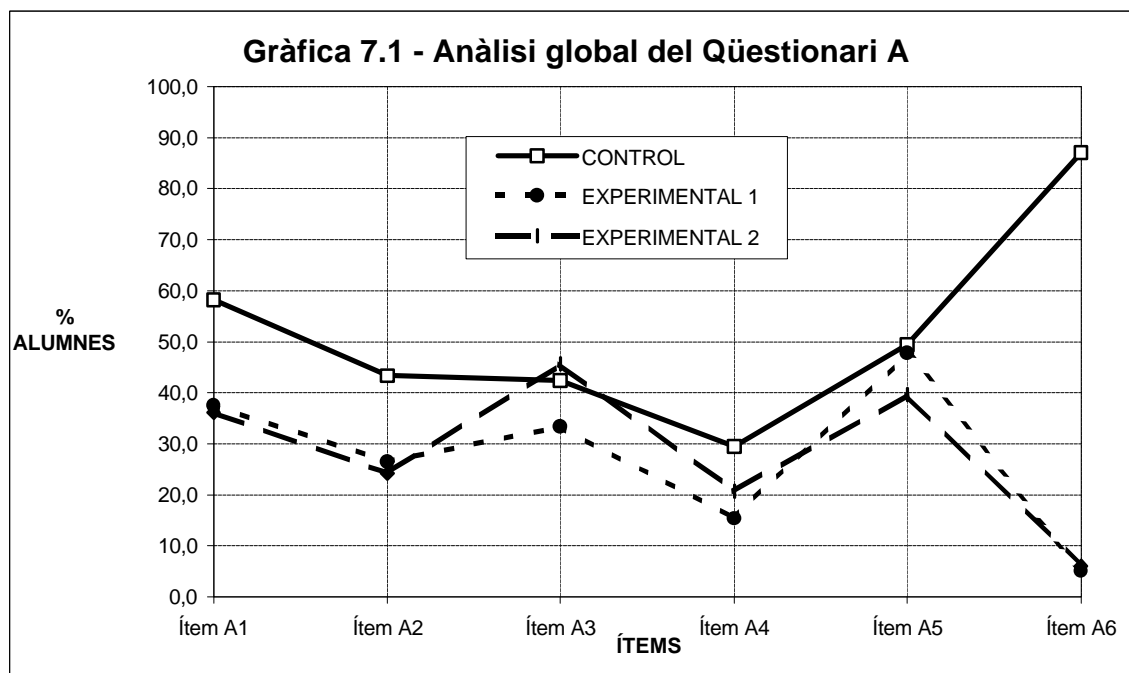
**ANÀLISI GLOBAL DEL QÜESTIONARI D'ALUMNES (A)**

PERCENTATGES D'ALUMNES QUE:	GRUP CONTROL (N = 479)		GRUP EXPER. 1 (N = 117)		GRUP EXPER. 2 (N = 116)		DIFERÈNCIES SIGNIFICATIVES	
	%	(s.d.)	%	(s.d.)	%	(s.d.)	$\alpha <$	
Creuen que la ciència és descobriment (A1)	58,2	(2,3)	37,6	(4,5)	36,2	(4,5)	SÍ	0,001
Creuen que el seu objectiu és formalista (A2)	43,4	(2,3)	26,5	(4,1)	24,1	(4,0)	SÍ	0,001
Creuen que els treballs de Newton no s'han modificat (A3)	42,4	(2,3)	33,3	(4,4)	45,7	(4,6)	Exp.1	0,10 Exp.2 NO
Creuen que l'experiment pot invalidar la teoria (A4)	29,4	(2,1)	15,4	(3,3)	20,7	(3,8)	Exp.1	0,001 Exp.2 0,05
Creuen que els conceptes científics no han estat construïts (A5)	49,5	(2,3)	47,9	(4,6)	39,7	(4,5)	Exp.1	NO Exp.2 0,05
Tenen una visió acumulativa de l'evolució de la ciència (A6)	87,1	(1,5)	5,1	(2,0)	6,0	(2,2)	SÍ	0,001

Font: Qüestionari d'Alumnes (A) per a valorar la imatge implícita de la ciència.

A manera de resum, la TAULA 7.1.7 ens mostra els resultats comparats de tots els ítems del qüestionari (A) i recull els graus de significació de les diferències que hi apareixen. Cal dir que hem seleccionat els percentatges que corresponen al grau d'acord amb les afirmacions que revelen una imatge incorrecta de la ciència, d'acord amb les nostres hipòtesis, a fi de palesar en quina mesura s'ha modificat aquesta percepció errònia i, per tant, han descendit els percentatges d'acord entre els alumnes dels grups experimentals, cosa que, globalment, s'esdevé en tots els casos, excepte en l'ítem A3, per les raons ja exposades. Com veiem, la majoria de qüestions mostren diferències significatives suficients, algunes són menys destacades, i només hi ha dos ítems on un dels grups experimentals, diferent en cada ítem, no es diferencia dels grups control, pels motius també indicats. També s'hi poden apreciar algunes semblances en els graus d'acord exposats als ítems A1 i A5, de continguts paral·lels.

Per tal de facilitar l'anàlisi global mostrem a la GRÀFICA 7.1 els resultats exposats a la taula anterior.



S'hi poden apreciar clarament els ítems que han donat resultats més inequívocs (A1, A2 i A6) i les diferències diverses entre els grups experimentals i control en la resta d'ítems. Per tant, globalment podem considerar que els alumnes que han seguit un tractament de tipus històric en llurs classes de física i química experimenten una millora en la imatge que tenen de la ciència, tot i les reserves que puguem objectar ja que es tracta d'una anàlisi feta sobre respostes de tipus tancat.

### 7.1.2. Resultats del Qüestionari (B) sobre el desenvolupament de la ciència i les contribucions dels científics obtinguts amb els grups experimentals

Com ja hem indicat, mostrem els resultats obtinguts en aplicar el qüestionari (B) als mateixos alumnes que han contestat el qüestionari anterior, de manera que hem agrupat els dos grups experimentals 1 i 2 en una sola mostra, ja que no s'hi observaven diferències significatives entre ambdós grups en cap dels ítems del qüestionari. Així, doncs, la mostra experimental la constitueixen 233 alumnes i comparem els seus resultats amb el grup de control que també havia contestat aquest qüestionari, format per 479 alumnes. Els resultats de cada ítem apareixen en les taules de la 7.2.1 a la 7.2.5 i, finalment, resumim l'anàlisi global del qüestionari a la taula 7.2.6, els resultats de la qual també mostrarem de forma gràfica.

TAULA 7.2.1

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B1 :**

*Indica breument algunes crisis o canvis profunds de coneixements i teories que s'han produït tot al llarg de la història en el desenvolupament de les ciències físico-químiques.*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXPERIMENTAL}} = 233$ )

RESPOSTA	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Grups:</b>						
<b>Esmenten alguna crisi</b>	9,6 (2,0)	50,7 (6,1)	20,4 (2,5)	59,0 (3,8)	15,7 (1,7)	56,7 (3,2)
<b>No esmenten cap crisi</b>	90,4 (2,0)	49,3 (6,1)	79,6 (2,5)	41,0 (3,8)	84,3 (1,7)	43,3 (3,2)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenvolupament de la ciència i contribucions dels científics.*

La TAULA 7.2.1 reuneix els percentatges de respostes donades a l'ítem B1 sobre l'existència de crisis en l'evolució de la ciència i apareixen diferències significatives ( $\alpha < 0,001$ ) entre els alumnes del grup control i els del grup experimental. En aquest darrer grup podem constatar un increment notori del percentatge de respostes que són capaces d'esmentar una o més crisis. La millora s'esdevé igualment en ambdós nivells, tot i que els alumnes del grup control del nivell més alt ja esmentaven crisis en un percentatge major que els del nivell més baix. Aquests resultats, juntament amb els de l'ítem A6, abans esmentat, creiem que coincideixen a mostrar un canvi significatiu en la percepció de la manera com evoluciona la ciència que ha millorat en els alumnes després de seguir un tractament que tenia en compte l'enfocament històric. Entre els alumnes del nivell 2n de BUP predominava la referència als canvis produïts el segle XVII arran dels treballs de Copèrnic, Kepler, Galileu i Newton, que desplaçaren les velles idees aristotèliques, tot i que sovint es feia esment concret de la substitució del model astronòmic ptolemaic pel copernicà. Entre els alumnes del nivell superior, que també feien esment a aquests canvis, apareixien amb més freqüència les al·lusions a la crisi de la física clàssica i l'adveniment de les noves idees relativistes i quàntiques.



TAULA 7.2.2

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B2 :**

*Digues el nom d'almenys cinc científics o científiques importants i indica quina fou la seua principal contribució al desenrotllament de les ciències físico-químiques.*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXPERIMENTAL}} = 233$ )

NOMS I TREBALLS CORRECTES	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Grups:</b>						
<b>Cinc o més</b>	20,6 (2,8)	37,3 (5,9)	35,2 (2,9)	38,0 (3,8)	28,8 (2,1)	37,8 (3,2)
<b>Menys de cinc</b>	62,2 (3,4)	47,8 (6,1)	56,7 (3,0)	50,0 (3,9)	59,1 (2,2)	49,4 (3,3)
<b>Cap</b>	17,2 (2,6)	14,9 (4,4)	8,1 (1,7)	12,0 (2,5)	12,1 (1,5)	12,9 (2,2)

Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.

A la TAULA 7.2.2 veiem comparats els resultats de l'ítem que demanava un nombre mínim de cinc autors i llurs aportacions a la ciència. Si considerem que fer referència a cinc noms de científics no resulta massa difícil ni, d'altra banda, és gaire significatiu, l'exigència de la resposta correcta a l'ítem incloïa els treballs dels autors, per tal de donar-hi més validesa. Així, doncs, si examinem els percentatges de respostes que hem considerat correctes (5 o més autors i llurs treballs), trobem diferències significatives entre els grups control i els experimentals ( $\alpha < 0,02$ ), que s'accentuen en el cas dels alumnes del nivell més baix, mentre que entre els alumnes del nivell alt creixen tant les respostes correctes com els que no fan cap esment correcte. Aquest ítem B2, igual que el següent, potser són indicatius de la percepció global dels alumnes que, amb més o menys facilitat, associen els noms, que inevitablement veuen esmentats tot al llarg del curs, als treballs corresponents en aquells casos en què han fet un tractament detallat de tipus històric sobre alguns autors concrets i no només recorren noms de forma aleatòria.

TAULA 7.2.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B3 :**

*Indica qui són els autors o autores d'aquestes contribucions al desenrotllament de la ciència: a) llei dels gasos perfectes; b) inducció electromagnètica; c) aïllament de l'element radioactiu radi; d) primer model quàntic de l'àtom; e) model corpuscular clàssic de la llum.*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 479$  ;  $N_{\text{EXPERIMENTAL}} = 233$ )

AUTORS CITATS CORRECTAMENT	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Grups:</b>						
<b>Quatre o cinc</b>	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	7,8 (1,6)	23,4 (3,3)	4,4 (0,9)	16,7 (2,4)
<b>Menys de quatre</b>	55,0 (3,4)	95,8 (2,4)	69,6 (2,8)	63,9 (3,7)	63,3 (2,2)	73,1 (2,9)
<b>Cap</b>	45,0 (3,4)	4,2 (2,4)	22,6 (2,5)	12,7 (2,6)	32,4 (2,1)	10,2 (2,0)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.*

L'ítem B3 demanava esmentar els autors o autores de cinc treballs concrets, per la qual cosa examinarem a la TAULA 7.2.3 la diferències entre els percentatges de respostes que hem considerat correctes (quatre o cinc encerts). Tal com mostra la taula, entre el grup control i el grup experimental hi ha diferències significatives ( $\alpha < 0,001$ ), atribuïbles només als alumnes del nivell més alt, atès que els alumnes del nivell bàsic no encerten més de tres autors, tant els experimentals com els de control. Això probablement s'explica perquè dels cinc treballs exigits, tots força coneguts, n'hi ha alguns que no s'han vist amb suficient profunditat en aquest nivell, mentre que els alumnes del nivell superior si que els poden conèixer. No obstant això, els resultats del nivell inferior dels grups experimentals milloren de forma apreciable si ens fixem en el segment de percentatges que encerten entre un i tres autors. Els encerts més destacats són els autors de la llei dels gasos perfectes, el primer model quàntic de l'àtom i el model corpuscular clàssic de la llum; en canvi és més desconegut per als alumnes l'autor de la inducció electromagnètica.

TAULA 7.2.4

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B4 :**

*Esmenta breument quines repercussions tingueren en la societat en el seu moment històric aquests desenrotllaments de les ciències físico-químiques: a) model heliocèntric de l'Univers; b) inducció electromagnètica; c) model nuclear de l'àtom; d) obtenció de nous metalls; e) síntesi de la urea.*

(Percentatge de respostes. N<sub>CONTROL</sub> = 479 ; N<sub>EXPERIMENTAL</sub> = 233)

REPERCUSSIONS ESMENTADES	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>
<b>Grups:</b>						
<b>Quatre o cinc</b>	3,8 (1,3)	20,8 (5,0)	9,3 (1,8)	9,9 (2,3)	6,9 (1,2)	13,0 (2,2)
<b>Menys de quatre</b>	27,3 (3,1)	37,5 (5,9)	58,9 (3,0)	67,2 (3,6)	45,1 (2,3)	58,6 (3,2)
<b>Cap</b>	68,9 (3,2)	41,7 (6,0)	31,9 (2,8)	22,9 (3,3)	48,0 (2,3)	28,3 (3,0)

*Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.*

La TAULA 7.2.4 mostra els resultats obtinguts en l'ítem que plantejava les repercussions socials de cinc contribucions científiques. Es tracta d'una qüestió on preteníem detectar si en algun dels casos proposats els alumnes coneixien aqueixes repercussions socials. Per aquest motiu, hem comparat les diferències entre els grups experimental i control referides als percentatges acumulats dels que, com a mínim, coneixien les repercussions socials d'un cas, ja que potser alguns dels altres exemples proposats no havien estat directament abordats en el curs corresponent. Així, doncs, les diferències entre els grups control i experimental són significatives ( $\alpha < 0,001$ ) i els alumnes que han seguit un enfocament històric són capaços d'esmentar les repercussions socials d'almenys aquells aspectes que han tractat. No obstant això, observem una millora més clara entre els alumnes del nivell inferior, pel que fa al segment de respostes que assenyalen més de tres casos, mentre els alumnes del nivell superior milloren en el segon segment indicat a la taula que correspon als encerts entre un i tres. Com a respostes més freqüents trobem les referències a les repercussions socials del model heliocèntric i l'enfrontament amb la doctrina oficial de l'Església Catòlica, les aplicaci-

ons tècniques dels nous metalls i el desenvolupament de la tecnologia nuclear. La síntesi de productes orgànics que encetà l'obtenció de la urea només l'esmenten uns pocs alumnes del nivell superior.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 7.2.5</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (B). QÜESTIÓ B5 :</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Tracta de formular els problemes a partir dels quals s'originaren els conceptes o teories següents: a) teoria de la combustió de Lavoisier; b) experiència d'Oersted; c) identificació de substàncies radioactives; d) equivalència entre calor i treball; e) model atòmic de Bohr.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de respostes. N<sub>CONTROL</sub> = 479 ; N<sub>EXPERIMENTAL</sub> = 233)</p>						
PROBLEMES FORMULATS	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Grups:</b>						
<b>Quatre o cinc</b>	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	4,8 (1,7)	0,0 (0,0)	3,4 (1,2)
<b>Menys de quatre</b>	3,3 (1,2)	41,7 (6,0)	21,1 (2,5)	35,7 (3,7)	13,4 (1,6)	37,4 (3,2)
<b>Cap</b>	96,7 (1,2)	58,3 (6,0)	78,9 (2,5)	59,5 (3,8)	86,6 (1,6)	59,2 (3,2)

Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.

De la mateixa manera que hem fet a l'ítem anterior, analitzem ara els resultats de l'ítem B5, exposats a la TAULA 7.2.5, tot acumulant els dos primers segments de respostes. Així, compararem els percentatges d'alumnes dels grups control i experimental que, com a mínim, han especificat els problemes a partir dels quals s'originà algun dels cinc conceptes o teories indicades. Les diferències entre ambdós grups també són suficientment significatives ( $\alpha < 0,001$ ) i els alumnes que han fet un tractament històric estan en millors condicions de respondre aquesta qüestió. Tot i que el segment d'encerts màxims no experimenta variació en el nivell més baix i es manté nul, cosa que podem atribuir a la major dificultat de la qüestió, el percentatge d'alumnes que ara són capaços d'identificar quins problemes hi ha a l'origen d'algunes investigacions ha experimentat un increment clar. L'aparició d'alumnes que contesten el segment de màxima correcció en els nivells superiors pot ser un indicatiu que la millora

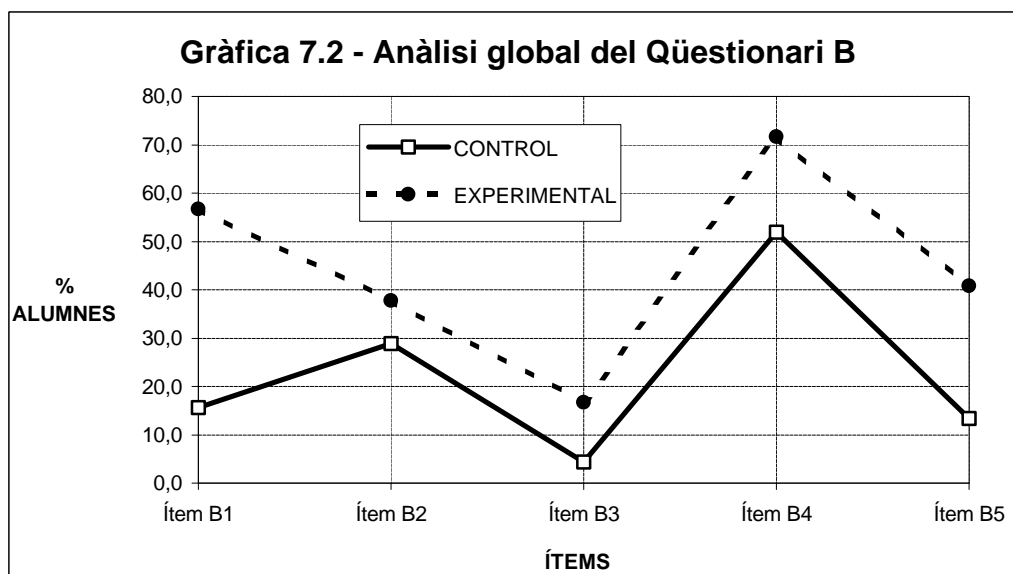
no està causada per factors aleatoris. La majoria de respostes correctes inclou els problemes referits al paper de la massa en la combustió, com a origen dels treballs de Lavoisier, la transformació de calor en treball i les dificultats per a la interpretació dels espectres atòmics com a origen del model de Bohr. Són més desconeguts els treballs d'Oersted i també l'origen de la investigació sobre la radioactivitat.

<b>TAULA 7.2.6</b>					
<b>ANÀLISI GLOBAL DEL QÜESTIONARI D'ALUMNES (B)</b>					
<b>PERCENTATGES D'ALUMNES QUE:</b>	<b>GRUP CONTROL (N = 479)</b>		<b>GRUP EXPERIMENTAL (N = 233)</b>		<b>DIFERÈNCIES SIGNIFICATIVES</b>
	%	(s.d.)	%	(s.d.)	$\alpha <$
Coneixen alguna crisi en l'evolució de la ciència (B1)	15,7	(1,7)	56,7	(3,2)	SÍ 0,001
Esmenten cinc o més científics i llurs treballs (B2)	28,8	(2,1)	37,8	(3,2)	SÍ 0,02
Esmenten correctament tots els autors proposats (B3)	4,4	(0,9)	16,7	(2,4)	SÍ 0,001
Coneixen les repercussions socials d'alguns treballs (B4)	52,0	(2,3)	71,6	(3,0)	SÍ 0,001
Esmenten els problemes que originaren alguns treballs (B5)	13,4	(1,6)	40,8	(3,2)	SÍ 0,001

Font: Qüestionari d'Alumnes (B) sobre desenrotllament de la ciència i contribucions dels científics.

L'anàlisi global del qüestionari (B) el tenim a la TAULA 7.2.6, on hem especificat de forma conjunta aquells aspectes que han experimentat una millora significativa en la imatge dels alumnes sobre l'origen, el procés d'evolució dels coneixements científics i llurs repercussions socials. Com podem veure, en tots els casos les diferències són netament significatives, exceptuant l'ítem B2 on la probabilitat que les diferències siguin provocades per l'atzar augmenta fins a un 2 %.

La GRÀFICA 7.2 ens pot ajudar a comparar amb més claredat els resultats exposats a la taula anterior.



Tal com mostra la gràfica, tots els ítems d'aquest qüestionari revelen clarament la millora en la imatge de la ciència que tenen els alumnes experimentals després d'haver seguit un curs on han tingut un tractament històric en diversos temes. La millora és especialment significativa en la percepció de la forma d'evolucionar la ciència (B1) i en el coneixement de les repercussions socials (B4) i dels problemes que han originat les investigacions (B5), aspectes tots ells que destaquem per la seua implicació en la verificació de la nostra hipòtesi.

### 7.1.3. Resultats del Qüestionari (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència obtinguts amb els grups experimentals

El tercer qüestionari (C), dissenyat per a completar l'exploració de la imatge de la ciència dels alumnes en aspectes sòcio-històrics, l'analzarem tot comparant els resultats dels alumnes del grup control amb cadascun dels grups experimentals 1 i 2, separadament, ja que en aquest qüestionari hem trobat diferències significatives entre ambdós grups.

Recordem que en aquest qüestionari (C), i en el següent (D), el grup control estava constituït per una mostra de 215 alumnes, diferents dels que contestaren els anteriors qüestionaris (A) i (B), ja que els nous qüestionaris s'incorporaren al disseny en una segona fase i, en el cas del qüestionari (C) que ens ocupa, es tractava d'ítems referits a aspectes més concrets.

Els resultats dels diferents ítems s'exposen a les taules de la 7.3.1 a la 7.3.7 i es completa l'anàlisi amb la taula 7.3.8 i una gràfica on es mostra una visió de conjunt del qüestionari.

## TAULA 7.3.1

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C1 :**

*Esmenta dos models o teories diferents, que han generat moltes controvèrsies, que s'han usat al llarg de la història de la ciència per a explicar alguns dels següents fenòmens que coneixes: a) la caiguda lliure dels cossos; b) el moviment planetari; c) la influència de les forces en el moviment; d) la transferència de calor entre els cossos; e) els fenòmens elèctrics; f) la combustió; g) la naturalesa de la llum; h) l'estructura dels àtoms; i) el caràcter àcido-bàsic; j) la naturalesa de les substàncies orgàniques...*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 215$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

FENÒMENS INDICATS	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)			
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2
<b>Dos o més</b>		10,5 (3,3)	12,5 (6,8)	30,2 (7,0)	8,5 (2,5)	19,4 (4,1)	34,2 (5,6)	9,3 (2,0)	17,9 (3,5)	32,8 (4,4)
<b>Un fenomen</b>		11,6 (3,5)	8,3 (5,6)	32,6 (7,1)	26,4 (3,9)	19,4 (4,1)	21,9 (4,8)	20,5 (2,8)	17,1 (3,5)	25,9 (4,1)
<b>Cap</b>		77,9 (4,5)	79,2 (8,3)	37,2 (7,4)	65,1 (4,2)	61,3 (5,1)	43,8 (5,8)	70,2 (3,1)	65,0 (4,4)	41,4 (4,6)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 7.3.1 mostra els resultats obtinguts en comparar els percentatges d'alumnes dels diferents grups que coneixen casos de controvèrsies històriques. Posat que l'enunciat de l'ítem suggeria alguns exemples orientatius per a veure si els alumnes hi reconeixien els casos estudiats, hem considerat més significatiu comparar els percentatges que corresponen al segment de respostes amb dos o més casos, és a dir els alumnes que esmenten controvèrsies referides a dos o més dels exemples suggerits. Segons això, ambdós grups experimentals mostren diferències significatives amb el grup control, tot i que amb graus diferents. Així les diferències entre el grup control i el grup experimental 1 tenen un  $\alpha < 0,05$ , mentre que les diferències entre el grup control i el grup experimental 2 són més clares, amb un  $\alpha < 0,001$ . No semblen haver diferències entre els nivells, potser pel fet que, com es veu a l'enunciat de l'ítem, s'hi suggerien suficients casos variats dels que solen aparèixer en qualsevol dels nivells implicats. Els exemples amb models controvertits més esmentats pels alumnes dels grups experimentals eren els models geocèntric i heliocèntric del Sistema Solar, la influència de la massa en la caiguda lliure, el paper de les forces en la descripció del

moviment, els models atòmics i els models corpuscular i ondulatori de la llum. Amb menys freqüència apareixien també referències a la hipòtesi del flogist per a explicar la combustió i al vitalisme com a origen de les substàncies orgàniques.

<b>TAULA 7.3.2</b>									
<b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C2 :</b>									
<i>Cita dos exemples de com ha influït el suport econòmic a la ciència al llarg de la història i en l'actualitat.</i>									
(Percentatge de respostes. $N_{\text{CONTROL}} = 215$ ; $N_{\text{EXP.1}} = 117$ ; $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )									
<b>CASOS INDICATS</b>	<b>2n BUP (s.d.)</b>			<b>3r BUP/COU (s.d.)</b>			<b>GLOBAL (s.d.)</b>		
	<b>Grups:</b>	<b>Cont.</b>	<b>Exp.1</b>	<b>Exp.2</b>	<b>Cont.</b>	<b>Exp.1</b>	<b>Exp.2</b>	<b>Cont.</b>	<b>Exp.1</b>
<b>Dos o més</b>	8,1 (2,9)	8,3 (5,6)	23,3 (6,4)	2,3 (1,3)	12,9 (3,5)	20,5 (4,7)	4,7 (1,4)	12,0 (3,0)	21,6 (3,8)
<b>Un cas</b>	25,6 (4,7)	16,7 (7,6)	46,5 (7,6)	18,6 (3,4)	31,2 (4,8)	38,4 (5,7)	21,4 (2,8)	28,2 (4,2)	41,4 (4,6)
<b>Cap</b>	66,3 (5,1)	75,0 (8,8)	30,2 (7,0)	79,1 (3,6)	55,9 (5,1)	41,1 (5,8)	74,0 (3,0)	59,8 (4,5)	37,1 (4,5)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La qüestió C2, analitzada a la TAULA 7.3.2, també mostra diferències significatives entre els alumnes del grup control i els grups experimentals. Posat que es tracta d'una qüestió més oberta, ací hem comparat el conjunt de percentatges acumulats entre els que responien almenys un cas de suport econòmic a la ciència. Així, doncs, en tots dos grups experimentals les diferències amb el grup control són bastant significatives ( $\alpha < 0,001$ ). Per nivells, els alumnes de 2n del grup experimental 1 responen pitjor a la qüestió, potser a causa d'un tractament menys profund d'aquest aspecte concret. De fet, els alumnes que responen millor aquest ítem recorden, sobretot, el suport rebut per Galileu de part del Dux de Venècia i dels Mèdicis, ja que aquest era un dels aspectes abordats en tractar el tema de cinemàtica.



TAULA 7.3.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C3 :**

*¿Creus que la ciència i els avanços científics són fruit més bé d'un treball col·lectiu o sobretot obra d'uns pocs científics? Argumenta-ho amb algun exemple.*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 215$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

RESPOSTA	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2
<b>Sí amb arguments</b>	32,6 (5,1)	50,0 (10,2)	74,4 (6,7)	38,0 (4,3)	63,8 (5,0)	69,9 (5,4)	35,8 (3,3)	61,0 (4,5)	71,6 (4,2)
<b>Sí</b>	37,2 (5,2)	4,2 (4,1)	14,0 (5,3)	26,4 (3,9)	9,6 (3,0)	13,7 (4,0)	30,7 (3,1)	8,5 (2,6)	13,8 (3,2)
<b>No</b>	16,3 (4,0)	37,5 (9,9)	7,0 (3,9)	27,1 (3,9)	17,0 (3,9)	5,5 (2,7)	22,8 (2,9)	21,2 (3,8)	6,0 (2,2)
<b>No amb arguments</b>	14,0 (3,7)	8,3 (5,6)	4,7 (3,2)	8,5 (2,5)	9,6 (3,0)	11,0 (3,7)	10,7 (2,1)	9,3 (2,7)	8,6 (2,6)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

L'anàlisi del caràcter col·lectiu de la ciència que conté l'ítem C3, els resultats del qual apareixen a la TAULA 7.3.3, també presenta diferències significatives tant entre el grup experimental 1 i el grup control, com entre el grup experimental 2 i el grup control. En ambdós casos hem comparat els percentatges que corresponen a les respostes més fonamentades, les que aporten arguments a favor del caràcter col·lectiu de l'activitat científica i les diferències entre aquests percentatges són prou significatives ( $\alpha < 0,001$ ). El canvi més notori que podem detectar correspon a l'increment positiu de les respostes argumentades, enfront de la disminució dels que només diuen que l'activitat científica és producte d'un col·lectiu sense referir-se a cap cas concret. Entre els arguments més esgrimits trobem referències a la necessitat de cooperació per a desenvolupar la investigació, tant per necessitats d'una infraestructura més costosa com per la complexitat dels treballs que requereix la implicació de molta gent. Entre els exemples que s'hi addueixen hi ha la participació recent de científics espanyols en els projectes aerospacials, com els de l'Agència Espacial Europea.

TAULA 7.3.4

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C4 :**

*¿Al llarg dels teus estudis se t'ha posat en contacte amb contribucions de científics espanyols? ¿Quins en recordes?*

(Percentatge de respostes. N<sub>CONTROL</sub> = 215 ; N<sub>EXP.1</sub> = 117 ; N<sub>EXP.2</sub> = 116)

CIENTÍFICS ESPANYOLS	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
Dos o més	4,7 (2,3)	4,2 (4,1)	14,0 (5,3)	13,2 (3,0)	14,0 (3,6)	21,9 (4,8)	9,8 (2,0)	12,0 (3,0)	19,0 (3,6)
Un científic	11,6 (3,5)	8,3 (5,6)	27,9 (6,8)	18,6 (3,4)	18,3 (4,0)	30,1 (5,4)	15,8 (2,5)	16,2 (3,4)	29,3 (4,2)
Cap	83,7 (4,0)	87,5 (6,8)	58,1 (7,5)	68,2 (4,1)	67,7 (4,8)	47,9 (5,8)	74,4 (3,0)	71,8 (4,2)	51,7 (4,6)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 7.3.4 mostra els resultats obtinguts sobre la qüestió dels científics espanyols. En aquest cas comparem també els resultats acumulats dels alumnes que esmenten algun científic i es refereixen a les seues contribucions. El comportament dels dos grups experimentals enfront del grup control és diferent. De fet, només trobem diferències significatives ( $\alpha < 0,001$ ) entre el grup control i el grup experimental 2, tractat per l'autor. El grup experimental 1, tot i que millora lleugerament els percentatges dels alumnes que esmenten un científic i dels que n'esmenten més, en conjunt no resulta significativament major que els percentatges del grup control. Tampoc no es produeix millora en els alumnes del grup experimental 1 del nivell més baix. Aquestes discrepàncies possiblement les podem atribuir a un tractament insuficient de les activitats referides a aquest aspecte concret, mentre que en el grup experimental 2 van ser tractades amb més profunditat, ja que els científics espanyols que recorden majoritàriament aquests alumnes són els descobridors d'elements químics durant l'època de la Il·lustració: els germans Elhuyar, Andrés del Río i Antonio de Ulloa, i moltes respostes dels altres grups esmenten científics coneguts per altres motius, com Miguel Servet, Isaac Peral o Ramón y Cajal, sense relació directa amb els temes tractats en el programa de física i química.

TAULA 7.3.5

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C5 :**

*¿Coneixes algun cas històric en què els avanços de la tècnica (per exemple, nous invents) hagen afavorit el desenrotllament dels coneixements científics?*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 215$  ;  $N_{\text{EXP.1}} = 117$  ;  $N_{\text{EXP.2}} = 116$ )

AVANÇOS INDICATS	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2
<b>Dos o més</b>	11,6 (3,5)	16,7 (7,6)	20,9 (6,2)	27,1 (3,9)	32,3 (4,8)	35,6 (5,6)	20,9 (2,8)	29,1 (4,2)	30,2 (4,3)
<b>Un avanç</b>	26,7 (4,8)	29,2 (9,3)	39,5 (7,5)	27,1 (3,9)	29,0 (4,7)	37,0 (5,7)	27,0 (3,0)	29,1 (4,2)	37,9 (4,5)
<b>Cap</b>	61,6 (5,2)	54,2 (10,2)	39,5 (7,5)	45,7 (4,4)	38,7 (5,1)	27,4 (5,2)	52,1 (3,4)	41,9 (4,6)	31,9 (4,3)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La següent qüestió que analitzem a la TAULA 7.3.5 té un caràcter més obert i per això compararem els percentatges acumulats dels alumnes que esmenten almenys un cas històric de relació entre els avanços tècnics i els progressos del coneixement científic. Les diferències entre els resultats del grup control i el grup experimental 1 presenten un grau baix de significació ( $\alpha < 0,10$ ), mentre que el grup experimental 2 es diferencia més clarament ( $\alpha < 0,001$ ) del grup control. Aquest comportament distint dels grups experimentals no el podem atribuir a cap raó concreta, com en el cas de l'ítem anterior, atès que el tractament de les relacions entre la tècnica i la ciència s'ha fet d'una forma més genèrica i la percepció dels alumnes pot haver estat més irregular. Tanmateix, en conjunt podem considerar acceptable el comportament dels dos grups, si analitzem els percentatges de respostes màximes, dos o més casos esmentats, que és semblant en ambdues mostres, tot i presentar un grau baix de significació ( $\alpha < 0,10$ ) respecte al grup control, és a dir, la probabilitat que l'augment de respostes correctes estiga ocasionat per factors aleatoris és menor del 10 %. No semblen tenir cap influència decisiva els distints nivells analitzats. Destaquen les al·lusions al paper del telescopi en els avanços obtinguts pels treballs de Galileu. També s'hi esmenten les contribucions del microscopi a l'establiment de la teoria cel·lular, la importància de l'espec-

troscopi per a l'anàlisi de l'estructura dels àtoms i les diverses millores experimentades en el disseny d'instruments de mesura i noves eines tecnològiques com l'ordinador.

TAULA 7.3.6 <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C6 :</b> <i>¿Coneixes les facilitats que s'han donat al treball científic a Espanya al llarg de la història?                      Esmenta alguns casos si en coneixes.</i>  (Percentatge de respostes. N <sub>CONTROL</sub> = 215 ; N <sub>EXP.1</sub> = 117 ; N <sub>EXP.2</sub> = 116)									
FACILITATS INDICADES	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Grups:	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1
Una o més facilitats	1,2 (1,2)	16,7 (7,6)	23,3 (6,4)	7,0 (2,2)	10,8 (3,2)	9,6 (3,4)	4,7 (1,4)	12,0 (3,0)	14,7 (3,3)
Cap	98,8 (1,2)	83,3 (7,6)	76,7 (6,4)	93,0 (2,2)	89,2 (3,2)	90,4 (3,4)	95,3 (1,4)	88,0 (3,0)	85,3 (3,3)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

La TAULA 7.3.6 mostra els resultats d'una altra qüestió referida a la ciència espanyola. Les respostes sobre les facilitats donades a l'activitat científica a Espanya no són, en general, massa elevades, possiblement per la major dificultat d'aquest ítem que demana un esforç de síntesi d'aspectes diversos que potser han estat tractats de forma indirecta. Per això hem recollit ja directament les respostes que feien algun esment, enfront de les que no en feien cap, que solien estar majoritàriament en blanc. Així, doncs, en comparar les diferències que trobem entre els distints grups, podem dir que són significatives, encara que en graus lleugerament diferents. Entre el grup control i el grup experimental 1 les diferències donen un  $\alpha < 0,05$  i entre el grup control i el grup experimental 2 les diferències milloren un poc ( $\alpha < 0,01$ ). Tanmateix, hem de fer constar el caràcter més genèric de les respostes majoritàries, que al·ludien, sobretot, a la percepció d'una major presència internacional de l'activitat científica espanyola els darrers anys, atribuïda pels alumnes a una millora en la dotació pressupostària per part del govern. Les referències a d'altres èpoques històriques era més aviat escassa. Les diferències entre grups són més clares en el nivell baix, mentre que en el nivell alt quasi no hi ha diferències; tanmateix, per les característiques de l'ítem no creiem que aquest distint comportament es pugui atribuir a un motiu especial.

## TAULA 7.3.7

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (C). QÜESTIÓ C7 :**

*¿Coneixes els entrebancs posats al treball científic a Espanya al llarg de la història?  
Esmenta alguns casos si en coneixes.*

(Percentatge de respostes. N<sub>CONTROL</sub> = 215 ; N<sub>EXP.1</sub> = 117 ; N<sub>EXP.2</sub> = 116)

ENTREBANCS INDICATS	2n BUP (s.d.)			3r BUP/COU (s.d.)			GLOBAL (s.d.)		
	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2	Cont.	Exp.1	Exp.2
<b>Grups:</b>									
<b>Un o més entrebancs</b>	16,3 (4,0)	4,2 (4,1)	53,5 (7,6)	30,2 (4,0)	36,6 (5,0)	37,0 (5,7)	24,7 (2,9)	29,9 (4,2)	43,1 (4,6)
<b>Cap</b>	83,7 (4,0)	95,8 (4,1)	46,5 (7,6)	69,8 (4,0)	63,4 (5,0)	63,0 (5,7)	75,3 (2,9)	70,1 (4,2)	56,9 (4,6)

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

El darrer ítem del qüestionari que estem analitzant presenta els resultats que apareixen a la TAULA 7.3.7. També hi hem agrupat directament les respostes que fan algun esment als entrebancs posats a l'activitat científica a Espanya, i n'hem comparat els percentatges. En aquest cas trobem que només mostren diferències significatives el grup control i el grup experimental 2 ( $\alpha < 0,001$ ), mentre que els resultats del grup experimental 1 només augmenten lleugerament respecte als de control, però no de forma suficient. Pensem que es pot atribuir més directament al tractament que s'haja fet d'aquest aspecte concret, ja que també són els alumnes del nivell més baix del grup experimental 1 els que mostren un comportament anòmal, com passava a l'ítem C4, mentre que entre els grups experimentals de nivell superior no hi ha gaires diferències. Tot i semblar contradictoris amb els resultats de l'ítem anterior (sobre les facilitats), pensem que es tracta d'una qüestió que té una resposta potser més directa. Podem constatar que la majoria d'alumnes esmenten el paper del control ideològic fet en determinats moments, com durant la vigència de la Inquisició o durant les èpoques en què hi ha hagut règims absolutistes o dictatorials. El fet que alguns d'aquests aspectes puguin ser coneguts per altres matèries creiem que no invalida l'associació que fan els alumnes entre esdeveniments històrics i pràctica de la ciència. També sol esmentar-se com a entrebanc l'escassa dotació pressupostària que s'ha dedicat tradicionalment a la ciència espanyola.

TAULA 7.3.8

**ANÀLISI GLOBAL DEL QÜESTIONARI D'ALUMNES (C)**

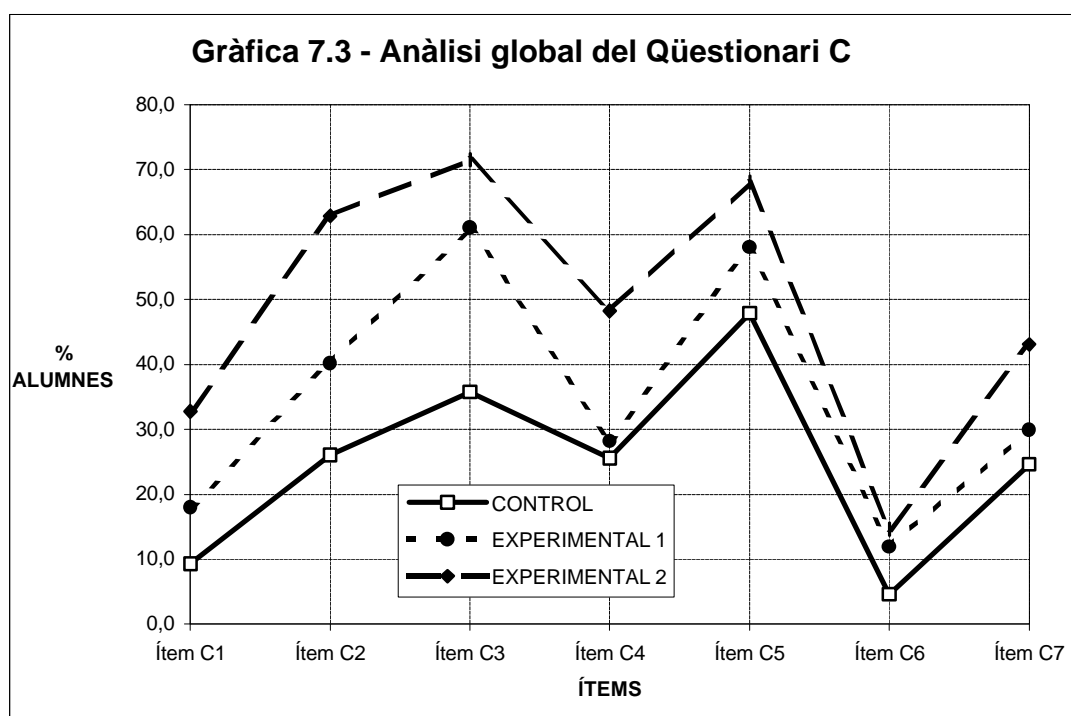
PERCENTATGES D'ALUMNES QUE:	GRUP CONTROL (N = 215)		GRUP EXPER. 1 (N = 117)		GRUP EXPER. 2 (N = 116)		DIFERÈNCIES SIGNIFICATIVES $\alpha <$
	%	(s.d.)	%	(s.d.)	%	(s.d.)	
Coneixen 2 o més models amb controvèrsies (C1)	9,3	(2,0)	17,9	(3,5)	32,8	(4,4)	Exp.1 0,05 Exp.2 0,001
Coneixen casos de suport econòmic a la ciència (C2)	26,1	(3,0)	40,2	(4,5)	63,0	(4,5)	Exp.1 0,01 Exp.2 0,001
Argumenten a favor del caràcter col·lectiu (C3)	35,8	(3,3)	61,0	(4,5)	71,6	(4,2)	SÍ 0,001
Coneixen científics espanyols (C4)	25,6	(3,0)	28,2	(4,2)	48,3	(4,6)	Exp.1 NO Exp.2 0,001
Coneixen relacions entre els avanços tècnics i els científics (C5)	47,9	(3,4)	58,2	(4,6)	68,1	(4,3)	Exp.1 0,10 Exp.2 0,001
Coneixen facilitats per a la ciència espanyola (C6)	4,7	(1,4)	12,0	(3,0)	14,7	(3,3)	Exp.1 0,05 Exp.2 0,01
Coneixen entrebancs a la ciència espanyola (C7)	24,7	(2,9)	29,9	(4,2)	43,1	(4,6)	Exp.1 NO Exp.2 0,001

Font: Qüestionari d'Alumnes (C) sobre aspectes d'història i sociologia de la ciència.

L'anàlisi global del qüestionari (C) apareix a la TAULA 7.3.8 on hem exposat els percentatges comparats dels diferents grups en aquelles respostes que tenen implicacions directes amb la nostra hipòtesi. Una primera apreciació permet verificar que, en general, el grup experimental 2 mostra un grau de significació enterament satisfactori respecte al grup control ( $\alpha < 0,001$  en tots els ítems, excepte el C6). D'altra banda el comportament del grup experimental 1 és més irregular i va des de dos ítems (C4 i C7) on els resultats pràcticament no es diferencien del grup control, encara que milloren un poc, a dos ítems (C2 i C3) amb uns percentatges menors que els del grup 2, però igualment vàlids. La resta d'ítems (C1, C5 i C6) mostren diferències menors però són acceptables. L'explicació d'aquest diferent comportament dels dos grups experimentals l'hem exposada ja en el comentari de cada ítem i, en veure el conjunt

dels resultats, creiem que possiblement estiga influenciat per un tractament diferent d'alguns aspectes recollits en aquest qüestionari que eren de caràcter molt puntual, tot i que eren rellevants per a la nostra hipòtesi. Considerem que, efectivament, els alumnes del grup experimental 1, sobretot els del nivell inferior que mostraven resultats més deficients, no hauran abordat amb suficient profunditat el contingut d'algunes activitats, especialment les que tractaven de l'activitat científica a Espanya, mentre que els del grup 2, a causa de la major implicació de l'autor en la investigació, sí que ho han fet, com demostren llurs percentatges de respostes.

La GRÀFICA 7.3 ens pot ajudar a veure de forma més ràpida el comportament dels resultats globals del qüestionari (C), exposats a la taula anterior que acabem de comentar.



Tal com mostra la gràfica, considerem que en els alumnes del grup experimental 2 s'ha produït un canvi significatiu clarament perceptible en llur visió d'alguns aspectes d'història i sociologia de la ciència respecte als alumnes de control, que han seguit un ensenyament on aquests aspectes solen obviar-se habitualment. El diferent grau d'integració d'algunes activitats històriques en el seguiment normal dels temes també ha produït canvis significatius en els alumnes del grup experimental 1, encara que siguin menys remarcables i es limiten a alguns aspectes no tan específics. Potser si s'hi hagués fet un tractament més sistemàtic aquests grups haurien mostrat uns resultats més coincidents amb els del grup experimental 2.

#### 7.1.4. Resultats del Qüestionari (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència obtinguts amb els grups experimentals

Encara que figure en darrer lloc, recordem que aquest qüestionari (D) sobre interessos i actituds dels alumnes era el primer que havien de contestar, abans que la resta de qüestionaris, a fi que el contingut d'aquells no interferís en llurs respostes. En l'anàlisi d'aquest qüestionari també compararem els alumnes experimentals amb el grup control format pels 215 alumnes que havien contestat el qüestionari (C). Tanmateix, a diferència d'aqueix, mostrarem els alumnes experimentals en un sol grup de 233 alumnes, atès que, com passava en el qüestionari (B), cap dels ítems analitzats exhibeix diferències significatives entre els alumnes tractats per l'autor i els que havien tractat la resta de professors que han col·laborat en la investigació. Aquesta semblança en el comportament dels diferents grups analitzats coincideix amb d'altres treballs duts a terme sobre les actituds dels alumnes envers les ciències físico-químiques (Vilches 1993). Així, doncs, passem a comentar els resultats dels diferents ítems del qüestionari sobre actituds que apareixen a les taules de la 7.4.1 a la 7.4.3 i després farem l'anàlisi global per mitjà de la taula 7.4.4 i la seua representació gràfica.

TAULA 7.4.1 <b>QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D1 :</b> <i>Valora de 0 a 10 si l'ensenyament que has rebut des de l'EGB fins ací ha despertat el teu interès per les ciències i, en particular, per la física i la química.</i> (Percentatge de valoracions. N <sub>CONTROL</sub> = 215 ; N <sub>EXPERIMENTAL</sub> = 233)						
GRAU DE VALORACIÓ	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Alt (7-10)</b>	32,4 (5,0)	62,5 (5,9)	42,2 (4,3)	65,1 (3,7)	38,3 (3,3)	64,4 (3,1)
<b>Mitjà (4-6)</b>	58,1 (5,3)	33,3 (5,8)	52,7 (4,4)	29,6 (3,5)	54,9 (3,4)	30,7 (3,0)
<b>Baix (0-3)</b>	9,5 (3,2)	4,2 (2,4)	5,1 (1,9)	5,3 (1,7)	6,8 (1,7)	5,0 (1,4)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.



La TAULA 7.4.1 mostra els percentatges de les valoracions fetes pels alumnes sobre l'interès cap a la ciència que ha despertat l'ensenyament rebut fins ara. Hi podem constatar que, tot i les bones valoracions de partida del grup control, s'hi ha produït una millora important en el segment corresponent a les valoracions més altes (entre 7 i 10). Així, les diferències entre el grup control i el grup experimental tenen un grau de significació considerable ( $\alpha < 0,001$ ). Com veiem s'hi produeix un desplaçament de les valoracions mitjanes (entre 4 i 6) cap a les més altes i les valoracions baixes disminueixen només en els alumnes de 2n. Recordem que els alumnes dels nivells superiors han fet una tria de les matèries científiques i podem considerar-los, d'antuvi, més motivats cap al seu aprenentatge, per la qual cosa llur percentatge de valoracions altes ja era elevat entre els alumnes del grup control. Tot i això, s'ha superat amplament en els alumnes del grup experimental. Podem afirmar, doncs, que els alumnes que han seguit un tractament històric en el desenvolupament dels temes del curs, han augmentat notablement la valoració del seu interès cap a la ciència i han passat majoritàriament d'una nota al voltant del suficient, a una nota al voltant del notable alt.

TAULA 7.4.2

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D2 :**

*¿Creus que la utilització de la història de la ciència en la classe de física i química contribuiria a millorar la teua valoració? Argumenta per què.*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 215$  ;  $N_{\text{EXPERIMENTAL}} = 233$ )

RESPOSTA	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>SÍ</b>	67,6 (5,0)	75,0 (5,3)	57,0 (4,4)	86,0 (2,7)	61,3 (3,3)	82,8 (2,5)
<b>NO</b>	32,4 (5,0)	25,0 (5,3)	43,0 (4,4)	14,0 (2,7)	38,7 (3,3)	17,2 (2,5)

<b>NOMBRE D'ARGUMENTS:</b>	<b>2n BUP (s.d.)</b>		<b>3r BUP/COU (s.d.)</b>		<b>GLOBAL (s.d.)</b>	
	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>
<b>CAP</b>	10,8 (3,3)	4,2 (2,4)	4,5 (1,8)	2,3 (1,2)	7,0 (1,7)	2,8 (1,1)
<b>UN</b>	67,6 (5,0)	54,2 (6,1)	62,2 (4,3)	62,2 (3,8)	64,3 (3,3)	59,9 (3,2)
<b>DOS</b>	18,9 (4,2)	33,3 (5,8)	28,1 (4,0)	31,3 (3,6)	24,4 (2,9)	31,9 (3,1)
<b>TRES</b>	2,7 (1,7)	8,3 (3,4)	5,3 (2,0)	4,2 (1,6)	4,2 (1,4)	5,4 (1,5)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 7.4.2, que consta de dues parts, presenta, d'una banda, els percentatges d'alumnes que responen afirmativa o negativament a la pregunta que formula l'ítem i, d'altra banda, el nombre d'arguments amb què els alumnes reforcen llur resposta. Encara que partíem d'una bona expectativa en el grup control, les respostes afirmatives dels alumnes experimentals superen de forma significativa ( $\alpha < 0,001$ ) els anteriors. Podem considerar, doncs, que fan una valoració clarament positiva del paper que ha jugat el tractament històric dels temes de física i química, ja que de forma majoritària afirmen que la utilització de la història contribuiria a millorar la valoració feta a l'ítem anterior.

La segona part de la taula, que no considerem a tall de comparar grups, només la presenten per a mostrar que les afirmacions dels alumnes han estat recolzades majoritàriament per un o dos arguments, augmentant lleugerament en el cas dels alumnes experimentals, i per tant tenen una validesa suficient. Per a il·lustrar els arguments aportats pels alumnes del grup experimental n'esmentarem alguns exemples. Els alumnes de 2n al·ludien majoritàriament a l'augment de l'interès per l'estudi de les ciències (17,6 %), la disminució del formulisme (17,6 %), l'ajut per a aprendre més coneixements (11,8 %), l'augment de la comprensió (5,9 %) i de la motivació (5,9 %). Els que aportaven arguments negatius es referien al fet que la història no els agradava (8,8 %). Entre els alumnes de 3r destacaven l'augment de l'interès (18,9 %), la millora

de la comprensió de la naturalesa de la ciència (18,9 %) i l'augment de coneixements (10,8 %). Un 5,4 % d'arguments consideraven que la història no fa falta o que és avorrida. La major part d'arguments esgrimits pels alumnes de COU es referia a la comprensió de l'evolució de la ciència (21,3 %), seguit de la comprensió dels conceptes (19,1 %), l'augment del seu interès cap a la ciència (15,7 %) i les relacions entre la ciència i la societat (6,7 %). Només un 3,4 % considerava que la història és avorrida i que li interessa més l'actualitat.

TAULA 7.4.3

**QÜESTIONARI D'ALUMNES (D). QÜESTIÓ D3 :**  
*¿Quins aspectes d'història de la ciència t'agradaria conèixer?*

(Percentatge de respostes.  $N_{\text{CONTROL}} = 215$  ;  $N_{\text{EXPERIMENTAL}} = 233$ )

TIPUS D'ASPECTES	2n BUP (s.d.)		3r BUP/COU (s.d.)		GLOBAL (s.d.)	
	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.	Cont.	Exper.
<b>Grups:</b>						
<b>Procés de creació</b>	18,9 (4,2)	41,7 (6,0)	15,7 (3,2)	39,7 (3,8)	17,0 (2,6)	40,2 (3,2)
<b>Biografies de científics</b>	14,9 (3,8)	25,0 (5,3)	13,3 (3,0)	24,6 (3,3)	13,9 (2,4)	24,7 (2,8)
<b>Relacions CTS en Història</b>	1,4 (1,2)	16,7 (4,6)	8,0 (2,4)	19,6 (3,1)	5,3 (1,5)	18,7 (2,6)
<b>Altres</b>	13,5 (3,7)	8,3 (3,4)	22,3 (3,7)	1,9 (1,1)	18,8 (2,7)	3,8 (1,2)
<b>Cap</b>	27,0 (4,8)	0,0 (0,0)	27,9 (4,0)	6,5 (1,9)	27,6 (3,0)	4,6 (1,4)
<b>No contesten</b>	24,3 (4,6)	8,3 (3,4)	12,7 (2,9)	7,8 (2,1)	17,4 (2,6)	7,9 (1,8)

<b>NOMBRE D'ASPECTES:</b>	<b>2n BUP (s.d.)</b>		<b>3r BUP/COU (s.d.)</b>		<b>GLOBAL (s.d.)</b>	
	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>	<i>Cont.</i>	<i>Exper.</i>
<b>CAP</b>	51,4 (5,4)	8,3 (3,4)	40,6 (4,3)	14,2 (2,7)	44,9 (3,4)	12,5 (2,2)
<b>UN</b>	37,8 (5,2)	45,8 (6,1)	45,3 (4,4)	54,5 (3,9)	42,3 (3,4)	52,0 (3,3)
<b>DOS</b>	8,1 (2,9)	41,7 (6,0)	13,2 (3,0)	22,9 (3,3)	11,2 (2,1)	28,3 (3,0)
<b>TRES</b>	2,7 (1,7)	4,2 (2,4)	0,9 (0,8)	8,4 (2,1)	1,6 (0,9)	7,2 (1,7)

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 7.4.3 també té dues parts i analitza els resultats del tercer ítem del qüestionari que demanava el parer dels alumnes sobre quins aspectes concrets de la història els agradaria conèixer. Per tal d'analitzar els resultats, posat que es tracta d'una qüestió molt oberta, hem comparat les diferents categories de respostes que ja havíem establert en la presentació i anàlisi dels resultats del grup control al capítol 4. Així, la primera part conté les respostes dels alumnes agrupades segons es referien a aspectes relacionats amb el procés de creació de la ciència, els aspectes biogràfics dels científics, les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat i d'altres. També s'hi mostren les respostes que explícitament diuen que no els interessa cap aspecte de la història de la ciència i les que deixen la resposta en blanc. La segona part de la TAULA 7.4.3 mostra les freqüències d'aspectes sol·licitats per cada alumne, que van des dels que no en diuen cap fins als que en diuen tres.

En tots els casos assenyalats apareixen diferències significatives notables (des d' $\alpha < 0,01$  fins a  $\alpha < 0,001$ ) entre les respostes del grup control i del grup experimental i palesen el canvi operat en aquests darrers alumnes, que incrementen de forma significativa llur interès per conèixer aspectes històrics relacionats amb els processos de creació dels coneixement científic ( $\alpha < 0,001$ ). També augmenta l'interès per conèixer aspectes biogràfics dels científics ( $\alpha < 0,01$ ) i per conèixer les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat ( $\alpha < 0,001$ ). Els alumnes que esmenten aspectes genè-

rics difícils de classificar disminueixen de forma significativa ( $\alpha < 0,001$ ), igual com els que no volen conèixer cap aspecte ( $\alpha < 0,001$ ) i també disminueixen les respostes deixades en blanc ( $\alpha < 0,01$ ).

Pel que fa a la segona part de la taula només constatem, com ja hem fet abans, que les respostes globalment nul·les són significativament menors entre els alumnes del grup experimental (12,5 %) que entre els del grup control (44,9 %) i, consegüentment, creixen els percentatges d'alumnes del grup experimental que indiquen un, dos i tres aspectes que els interessin.

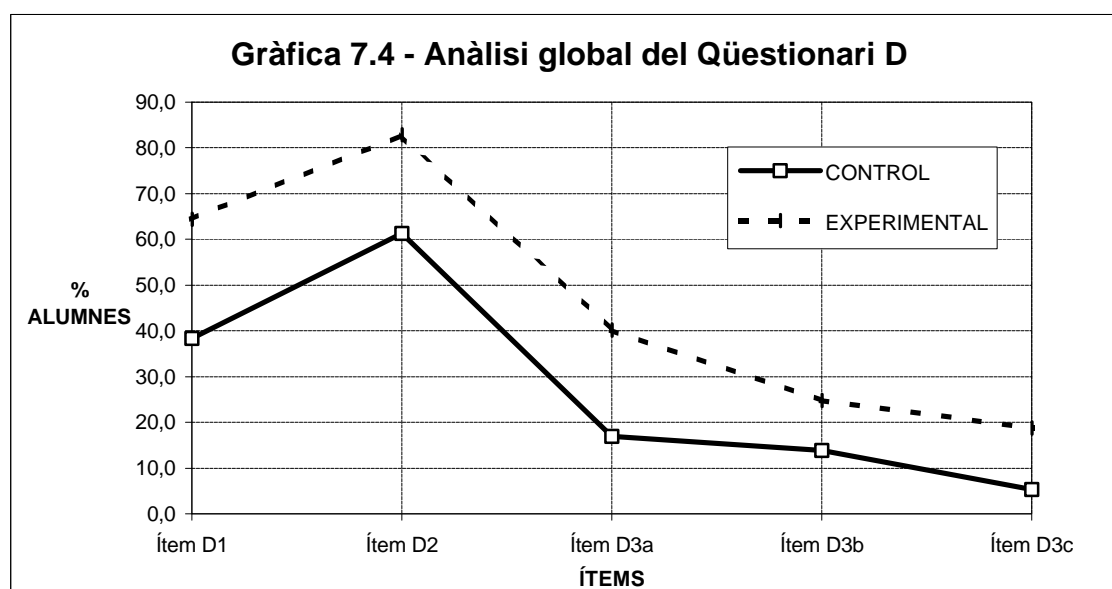
<b>TAULA 7.4.4</b>					
<b>ANÀLISI GLOBAL DEL QÜESTIONARI D'ACTITUDS (D)</b>					
<b>PERCENTATGES D'ALUMNES QUE:</b>	<b>GRUP CONTROL (N = 215)</b>		<b>GRUP EXPERIMENTAL (N = 233)</b>		<b>DIFERÈNCIES SIGNIFICATIVES  <math>\alpha &lt;</math></b>
	%	(s.d.)	%	(s.d.)	
Fan una valoració molt positiva de l'ensenyament rebut (D1)	38,3	(3,3)	64,4	(3,1)	Sí 0,001
Creuen que la Història de la Ciència milloraria la seua valoració (D2)	61,3	(3,3)	82,8	(2,5)	Sí 0,001
Voldrien conèixer el procés de creació de la ciència (D3a)	17,0	(2,6)	40,2	(3,2)	Sí 0,001
Voldrien conèixer biografies de científics (D3b)	13,9	(2,4)	24,7	(2,8)	Sí 0,01
Voldrien conèixer aspectes de CTS en la Història (D3c)	5,3	(1,5)	18,7	(2,6)	Sí 0,001

Font: Qüestionari d'Alumnes (D) sobre l'interès i actituds envers la ciència.

La TAULA 7.4.4 resumeix els resultats més interessants que hem exposat en el comentari dels diferents ítems i hem seleccionat les respostes que mostren els percentatges d'alumnes que fan la valoració més positiva de l'ensenyament rebut (D1), dels que creuen que la utilització de la història de la ciència contribueix a millorar-la

(D2) i alguns aspectes de l'ítem D3: els percentatges que mostren interès per conèixer el procés de creació dels coneixements científics (indicat com D3a), els que voldrien conèixer aspectes biogràfics (D3b) i els que s'interessen per les relacions CTS (D3c). Amb això creiem que és suficient per a palesar de forma global la millora experimentada en l'actitud i l'interès cap a la ciència per aquells alumnes que han seguit un curs on la presència d'un enfocament històric ha estat tinguda en compte, enfront dels alumnes que segueixen els ensenyaments més habituals.

La GRÀFICA 7.4 contribueix a visualitzar aquesta percepció, ja que en mostrar les dades de la taula anterior de forma més explícita facilita l'anàlisi de tot el qüestionari.



Tal com queda reflectit a la gràfica, els alumnes del grup experimental superen de forma significativa els del grup control en aquells aspectes del qüestionari (D) que, segons el nostre parer, revelen la millora experimentada en l'actitud i l'interès envers la ciència pels alumnes que han seguit un tractament històric, amb la qual cosa es confirmen les prediccions que deriven de la nostra hipòtesi pel que fa a aquest aspecte concret.

#### 7.1.5. Comentari de la informació recollida amb la fitxa d'observació de l'aula

L'anàlisi dels resultats obtinguts en els qüestionaris d'alumnes, tot i ser variats, no estaria del tot completa sense una informació més directa d'aquells aspectes que són difícils de convertir en ítems objectius susceptibles de ser quantificats. Per això volem concloure aquests comentaris amb l'exposició, necessàriament qualitativa, de les dades recollides durant l'observació de diferents sessions de treball dels alumnes a

l'aula, dutes a terme per mitjà de la FITXA D'OBSERVACIÓ descrita a l'epígraf 6.2.2 del capítol 6. S'hi inclou el seguiment fet durant un total de quatre sessions de classe, amb dos grups diferents d'alumnes de dos centres distints. La descripció consistirà en remarcar el nivell de participació dels alumnes, llurs intervencions més directament relacionades amb la implicació en l'activitat desenvolupada i l'ambient de treball a classe en cadascuna de les quatre sessions observades. Després d'això farem una valoració global del que, al nostre parer, signifiquen els aspectes més destacats pel que representen de millora en l'ambient de treball de l'aula i la implicació dels alumnes en la tasca desenvolupada.

Les tres primeres sessions que comentarem corresponen a un mateix grup d'alumnes de Física i Química del nivell 3r de BUP i recullen el seguiment de dues activitats de contingut històric i una tercera sessió on es desenvolupà un treball més habitual sense contingut històric. La quarta sessió correspon a un grup d'alumnes del nivell de COU d'un centre diferent al del grup anterior on es desenvolupà una activitat d'orientació històrica en un tema de Física.

En la **primera sessió** la tasca desenvolupada a l'aula consistí en la realització d'una activitat de comentari sobre un text original de Lavoisier (vid. pàg. 343) on s'explicita la seua contribució a l'establiment de la llei de conservació de la massa i es situava a la fi del tema de l'estequiometria de les reaccions químiques. L'assistència dels alumnes del grup no és completa (20 de 33) i es distribueixen de forma irregular per la classe, en dos sectors: un més nombrós que s'apropa a la zona de la pissarra i la taula del professor i un altre més dispers per la resta de l'aula. La sessió es desenvolupa de manera que, després d'unes indicacions del professor que presenta l'activitat, els alumnes disposen de 20 minuts per a llegir pausadament el text i fer el seu treball en grups. Durant aquest temps alguns grups requereixen l'ajuda del professor que els fa alguns aclariments. Acabat el temps de lectura en grups es passa al comentari del text en tota la classe. Globalment es registren nombroses intervencions individuals (fins a 14) dels diferents alumnes, que participen bé per plantejar els seus dubtes o per fer aportacions del grup. Algunes de les intervencions són requerides pel professor, però moltes responen a la iniciativa dels alumnes. Alguns aclariments es fan al voltant del significat de paraules del text que poden menar a confusió, com el mot "principis" utilitzat en sentits diferents en el mateix text, o bé la diferenciació actual entre "art" i "ciència" que suggereix el text de Lavoisier. Es fa també un esment especial al significat de les equacions químiques i la diferència entre la que apareix en el text analitzat i les que avui fem servir. La classe acaba en el temps previst (50 minuts) i durant tota la sessió s'hi ha percebut una bona relació entre els alumnes i el professor, així com un

ambient relaxat de treball on han predominat els comentaris dels alumnes i les aportacions del professor per a completar la informació del text.

La **segona sessió** observada té lloc l'endemà de l'anterior i amb el mateix grup, però ara l'assistència ha augmentat una mica (25 alumnes sobre 33). La distribució dels alumnes a l'aula és semblant a la de la sessió anterior, però hi ha més alumnes en el sector més allunyat de la pissarra que llavors era més buit. La tasca que ara es desenvolupa és, en certa manera, continuació de la del dia anterior, i es centra en una activitat sobre les contribucions de Marie Lavoisier (vid. pàg. 345). L'esquema de treball és semblant: el professor presenta breument l'activitat i deixa 20 minuts per tal que els alumnes la treballen en grups, després es fa el comentari general. Durant aquest temps podem observar com entre els alumnes d'alguns grups es produeixen diàlegs intensos i discussions sobre un dels aspectes que suggereix el text: la importància de les aportacions de Marie Lavoisier en el seu paper d'il·lustradora dels experiments. Podem constatar que la polèmica té lloc entre xiques i xics i sembla plantejat un dels problemes que el text pretenia abordar: el paper de les contribucions de les dones científiques. Això es confirma perquè durant el comentari global serà una de les qüestions que suscitarà un debat més obert entre els diferents grups de la classe. També ací la participació dels alumnes és nombrosa i té lloc de forma molt espontània. Les aportacions del professor es limiten a presentar més informació complementària sobre les aportacions d'altres dones científiques que els alumnes ignoren en general. La sessió acaba en el temps previst i s'hi ha pogut constatar de nou un ambient de treball relaxat, si bé més animat en alguns moments per les discussions dels alumnes.

La **tercera i darrera sessió** observada en aquest grup té lloc uns dies després, quan s'ha iniciat un tema nou i s'hi ha reprès una dinàmica més convencional, centrada en les explicacions del professor i en la realització d'activitats pels grups d'alumnes tot seguint un fil conductor més centrat en els aspectes conceptuals i operatius. L'observació coincideix amb el moment del curs en què té lloc el canvi del temari de la part de Química a la part de Física, que en molts centres es sol impartir en la segona meitat del curs, perquè d'aquesta manera els alumnes disposen de més temps per haver adquirit un major domini del càlcul diferencial. La sessió registra una assistència major (30 alumnes sobre 33) i els alumnes es distribueixen de forma més homogènia per tota la classe. La tasca es desenvolupa alternant les explicacions del professor amb la seua proposta als grups d'alumnes per tal que facen les activitats del programa-guia, que en aquest cas consisteix en la iniciació al tema de la cinemàtica. La participació activa dels alumnes consisteix sovint en preguntes dirigides al professor i respostes d'aquest aclarint alguns conceptes. Les primeres aportacions es refereixen a les dificultats d'al-



guns alumnes per a entendre les relacions entre l'espai i el temps i la manera d'establir el concepte de moviment. Després d'aquestes primeres activitats que possibiliten un diàleg, la resta solen ser més operatives i es centren en la introducció de les magnituds per a descriure el moviment. Finalitzada la sessió en el temps previst, podem constatar que hi ha hagut un ambient de treball relaxat amb alguns moments de diàleg entre el professor i alguns alumnes sense tanta animació en els grups de treball.

La **quarta sessió** que hem observat ha tingut lloc, com ja hem dit, en un grup d'un centre diferent. Es tracta d'una classe de Física de COU on s'ha realitzat una activitat sobre les controvèrsies al voltant de la naturalesa de la llum a partir d'uns diàlegs imaginaris d'Einstein entre partidaris de la teoria corpuscular i de la teoria ondulatoria (vid. pàg. 293). Hi assisteixen 11 alumnes dels 14 que componen aquest grup, menys nombrós ja que es tracta d'una assignatura opcional i els alumnes que la sol·liciten no solen ser majoria. Els assistents es distribueixen en un sector limitat de l'aula a prop de la taula del professor que s'ajuda d'un projector de transparències per a ampliar les explicacions. La tasca es desenvolupa de manera que, una volta presentada l'activitat pel professor, a requeriment seu comencen a fer una lectura detinguda del text en veu alta, i van alternant-se els diferents alumnes que llegeixen. Una volta finalitzada la lectura del text comença el diàleg a partir de les qüestions que proposa l'activitat. Aquestes qüestions fan referència a aspectes conflictius exposats en el text i s'alternen les preguntes dels alumnes amb l'explicació dels dubtes per part del professor i d'altres alumnes que aporten la seua visió. En l'aspecte concret de la mesura de la velocitat de la llum un alumne exposa la informació que ha trobat en un llibre i, després d'un breu debat, s'aclareix el significat de la seua aportació. La resta de qüestions propicia també un diàleg creuat entre els diferents alumnes que, a la fi de la sessió, han intervingut de forma pràcticament completa. Un dels aspectes que requereix major debat i aclariment pel professor és el significat de la difracció de la llum i la seua comparació amb la difracció del so, més fàcil de percebre. El darrer tema que ocupa l'atenció dels alumnes és el de les interferències que és il·lustrat pel professor amb la realització d'unes breus experiències amb diapasons que, tot i que el timbre assenyala el final de la classe, s'allarguen una mica més per tal d'aclarir la interpretació correcta dels fenòmens observats amb aportacions espontànies dels alumnes. A més de la participació de la majoria d'alumnes, raonable en un grup reduït com aquest, durant la sessió hem pogut constatar l'ambient distès i participatiu dels alumnes, així com la bona relació entre alumnes i professor.

A manera de conclusió, podem afirmar que la realització d'algunes activitats de contingut històric que susciten temes d'interès per als alumnes introdueix en l'ambient

de l'aula una millora pel que fa al seu nivell d'implicació en l'objecte concret que s'hi aborda i facilita la seua participació en les tasques d'aprenentatge, per bé que aquesta ja estiga prèviament afavorida per una bona relació entre els alumnes i el professor.

## 7.2. RESULTATS OBTINGUTS EN LA CONTRASTACIÓ DE LA VALORACIÓ POSITIVA QUE FAN ELS PROFESSORS DE L'ÚS D'ASPECTES HISTÒRICS EN LA CLASSE DE FÍSICA I QUÍMICA

Una vegada realitzades les diferents activitats de formació del curs sobre la utilització de la Història de la Ciència a la classe de Física i Química (vegeu ANNEX III) se'ls ha demanat als professors participants que contestassen el QÜESTIONARI (E) de valoració de la proposta, presentat al capítol 6. El conjunt de la mostra que hi ha participat el formen 83 professores i professors d'ensenyament secundari, tant de BUP, com de Formació Professional i també professorat que treballa en els cursos on s'ha anticipat l'aplicació del nou sistema educatiu dissenyat per la LOGSE.

Tot seguit presentem, per mitjà de les taules de la 7.5.1 a la 7.5.10, aquells aspectes més remarcables de les respostes del professorat que evidencien quina ha estat la seua valoració de la proposta d'utilització del tractament històric en l'ensenyament de les ciències.

Les taules 7.5.1 i 7.5.2 recullen les respostes donades pels professors i professores a la primera qüestió (E1).

TAULA 7.5.1		
<b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E1 :</b>		
<i>Indica breument si consideres que s'han d'incloure aquest tipus d'activitats en l'ensenyament habitual i explica per què si o per què no.</i>		
(Percentatge de respostes sobre $N_{\text{PROFESSORS}} = 83$ )		
<b>RESPOSTA</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
SÍ	94,0	2,6
NO	6,0	2,6

Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.

Com mostra la TAULA 7.5.1 una majoria significativa, que s'acosta a la unanimitat, considera que s'han d'incloure aquestes activitats i aporta raons suficients en proporció semblant (96,6 % de raons favorables sobre 174 raons comptades). Així, doncs, el professorat fa una valoració positiva favorable a la utilització d'aspectes històrics en la classe de física i química, valoració que recolza amb diverses raons que es detallen a la taula següent.

<b>TAULA 7.5.2</b>		
<b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E1 :</b>		
<i>Indica breument si consideres que s'han d'incloure aquest tipus d'activitats en l'ensenyament habitual i explica per què si o per què no.</i>		
(Percentatge de respostes sobre N <sub>RAONS</sub> = 174)		
<b>RAONS ASSENYALADES</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
Augmentarà la motivació dels alumnes	19,5	3,0
Permetrà contextualitzar els coneixements	13,8	2,6
Donarà una visió més completa de la ciència	9,8	2,3
Mostrarà l'evolució dels coneixements científics	9,2	2,2
Afavorirà una actitud oberta i crítica	5,2	1,7
Explicitarà el paral·lelisme entre les idees dels alumnes i l'evolució d'alguns conceptes	4,0	1,5
Afavorirà la interdisciplinarietat Afavorirà el conflicte cognitiu Proximitat a la vida quotidiana	3,4	1,4
Farà més assequible l'assignatura F i Q Humanitzarà la ciència Servirà com a fil conductor	2,9	1,3
<i>Manca de temps</i>	2,3	1,1
Altres sense classificar	17,2	2,9

Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.

Hem classificat les raons que els professors aporten com a justificació de llur resposta majoritàriament positiva i les exposem a la TAULA 7.5.2. Com podem veure, destaquen el paper motivador (19,5 %), la contextualització dels coneixements científics (13,8 %) i la millora de la imatge de la ciència (9,8 % visió més completa; 9,2 % evolució dels coneixements científics). Després apareixen, en percentatges menors, arguments didàctics diversos que coincideixen amb d'altres investigacions (Solbes i Vilches 1995) i versen, principalment, sobre l'efecte positiu en l'actitud crítica dels alumnes (5,2 %), els paral·lelismes entre les idees dels alumnes i l'evolució de determinats conceptes (4,0 %) o la interdisciplinarietat (3,4 %), que mostra percentatges iguals que la proximitat a la vida quotidiana o l'explicitació de conflictes cognitius. Fer més accessible l'assignatura és assenyalat per un 2,9 % de respostes, igual com la humanització de la ciència i l'ús de la història com a fil conductor. Només destaca un aspecte negatiu, un 2,3 % de raons al·lega la manca de temps, i la resta d'arguments són de difícil classificació.

TAULA 7.5.3

**QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E2 :**

*Indica quant de temps dedicaries a aquestes activitats i argumenta la teua proposta concreta.*

(Percentatge de respostes sobre  $N_{\text{PROFESSORS}} = 83$ )

TEMPS PROPOSAT	Percentatge	s.d.
Menys del 10 % del temps disponible	9,6	3,2
Entre el 10 % i el 20 %	19,3	4,3
Entre el 20 % i el 30 %	21,7	4,5
Entre el 30 % i el 40 %	8,4	3,1
Més del 40 %	2,4	1,7
No ho diuen	38,6	5,3

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

La TAULA 7.5.3 analitza les respostes de l'ítem E2 sobre el temps disponible per a la utilització d'aquesta mena d'activitats. Tot i que un percentatge elevat (38,6 %) no gosen definir-se, entre els que ho fan destaquen els que estarien disposats a utilitzar entre un 20 % i un 30 % del temps (21,7 %) i els que hi dedicarien una mica menys de temps (entre el 10 i el 20 %) que són un 19,3 %, per tant, podem considerar que **la majoria d'enquestats proposa al voltant d'un 20 % del temps disponible**, que considerem suficient per a integrar els aspectes històrics en el fil conductor de qualsevol dels temes impartits durant un curs de física i química. Els que consideren un temps menor del 10 % no són un percentatge massa elevat (9,6 %). En conjunt, els qui atribueixen més del 10 % del temps són significativament majoritaris ja que sumen un 51,8 % dels enquestats. Moltes respostes argumenten que caldria fer com a mínim un ús introductor a cada tema (31,7 %), mentre que d'altres tindrien en consideració el nivell dels alumnes per tal de fer un enfocament més o menys històric (28,6 %).

En conjunt, s'hi produeix un lleuger augment del temps proposat pels professors, si ho comparem amb d'altres innovacions com la incorporació d'activitats per al tractament de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat, on, segons alguns treballs (Vilches 1993, Solbes i Vilches 1995), la majoria de propostes dels professors es situa per sota del 20 % del temps. Això pot ser perquè les activitats d'orientació històrica inclouen més aspectes interns de tipus epistemològic que fan que els professors les consideren més fàcils d'integrar en el fil conductor dels temes que han d'impartir.

L'anàlisi de les respostes a la qüestió E3 sobre la disponibilitat del professorat a dur endavant la proposta la fem per mitjà de les taules 7.5.4 i 7.5.5.

TAULA 7.5.4		
<b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E3 :</b>		
<i>Explica si estaries disposat/da a fer-ne ús el proper curs i en quines condicions creus que ho podries fer.</i>		
(Percentatge de respostes sobre $N_{\text{PROFESSORS}} = 83$ )		
RESPOSTA	Percentatge	s.d.
SÍ	92,8	2,8
NO	7,2	2,8

Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.

A la TAULA 7.5.4 podem constatar que la majoria de professors està disposat a utilitzar activitats amb un enfocament històric a la seua classe, la qual cosa considerem que confirma la seua percepció positiva sobre la utilitat d'aquestes per tal d'enriquir la seua pràctica docent i contribuir a millorar el procés d'ensenyament i aprenentatge de les ciències físico-químiques dels seus alumnes. Aquesta constatació es veu reforçada pel caràcter raonable les condicions concretes que esgrimeixen els professors per tal de fer realitat aquesta predisposició favorable a l'ús de la història de la ciència, com podem veure a la taula següent.

<p style="text-align: center;"><b>TAULA 7.5.5</b></p> <p style="text-align: center;"><b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E3 :</b>  <i>Explica si estaries disposat/da a fer-ne ús el proper curs i en quines condicions creus que ho podries fer.</i></p> <p style="text-align: center;">(Percentatge de respostes sobre N<sub>RAONS</sub> = 86)</p>		
CONDICIONS CONCRETES	Percentatge	s.d.
Si disposa de materials elaborats	29,1	4,9
Si adquireix més preparació en aspectes històrics	19,8	4,3
Ja ho fa i ho continuarà fent	15,1	3,9
Si és de forma coordinada amb el seminari	10,5	3,3
<i>No ho creu possible</i>	1,2	1,2
Altres no classificades	24,4	4,6

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

A la TAULA 7.5.5 veiem que, a l'hora d'incorporar aspectes nous com el tractament històric de les ciències físico-químiques, la major preocupació del professorat rau en la disponibilitat de materials (29,1 %), seguida de la consecució d'una major formació en Història de la Ciència (19,8 %). Aquestes dues condicions són força raonables i coincideixen amb el que han palesat reiteradament diversos treballs d'investigació sobre història i didàctica de la ciència (Cohen 1950/1993, Brush 1991, Gil 1993, Guilbert i Meloche 1993, Martinand 1993, Matthews 1994a). També cons-

tatem un percentatge apreciable de professors que ja incorpora els aspectes històrics (15,1 %) i un altre grup de professors considera necessari treballar de forma coordinada amb la resta de companys del seminari (10,5 %). Els qui no creuen possible aplicar la proposta són franca minoria (1,2 %) i resten d'altres raons entre les quals podem esmentar els que ho creuen més factible en els nous programes de l'ESO (7,0 %) i els que ho farien només de forma experimental (4,7 %).

Les taules de la 7.5.6 a la 7.5.10 detallen les respostes donades a la darrera qüestió (E4) i exposen la visió crítica del professorat per mitjà de l'explicitació dels aspectes satisfactoris i no satisfactoris que han trobat en la proposta.

<b>TAULA 7.5.6</b>		
<b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E4 :</b>		
<i>Assenyalats els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.</i>		
(Percentatge de respostes sobre $N_{ASPECTES} = 299$ )		
<b>ASPECTES ASSENYALATS</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
SATISFACTORIS	61,2	2,8
NO SATISFACTORIS	38,8	2,8

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

La primera informació que comentem de les respostes del professorat a aquest ítem (E4) la mostra la TAULA 7.5.6. Hi hem comptabilitzat fins a 299 aspectes assenyalats pels professors i professores, dels quals la majoria (61,2 %) són positius, per bé que els enquestats també al·leguen un percentatge important d'aspectes no satisfactoris (38,8 %). Tanmateix cal remarcar que l'enunciat de l'ítem demana de forma explícita que s'indiquen els aspectes satisfactoris i els no satisfactoris, per la qual cosa considerem que la majoria d'enquestats s'ha esforçat en trobar aspectes no satisfactoris, cosa que interpretem com a contribució constructiva a l'anàlisi crítica que permet d'enriquir la proposta, en consonància amb la valoració globalment positiva que fa el professorat.

TAULA 7.5.7

**QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E4 :**
*Assenyalat els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.*

 (Percentatge de respostes sobre  $N_{\text{PROFESSORS}} = 83$ )

<b>NOMBRE D'ASPECTES SATISFACTORIS</b>	<b>Percentatge</b>	<b>s.d.</b>
CAP	8,4	3,1
UN	19,3	4,3
DOS	31,3	5,1
TRES	31,3	5,1
QUATRE	3,6	2,0
CINC	6,0	2,6

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

Per tal d'analitzar amb més precisió el sentit de les diverses respostes, ja que pràcticament tots els professors responen detalladament aquesta qüestió, mostrarem quin nombre d'aspectes de cada tipus expressa cada enquestat i quins són els arguments concrets que aporten. A la TAULA 7.5.7 veiem que les respostes van des dels que no indiquen cap aspecte satisfactori (8,4 %), que són minoritaris, fins als que assenyalen un aspecte satisfactori (19,3 %), dos o tres (31,3 %), que en conjunt són la majoria d'enquestats. També hi ha percentatges minoritaris dels que aporten fins a quatre o cinc aspectes satisfactoris. Globalment, doncs, podem percebre que la majoria del professorat enquestat considera un nombre significatiu (un, dos o tres) d'avantatges que implica l'ús de la història de la ciència en l'ensenyament segons la proposta analitzada.



TAULA 7.5.8

**QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E4 :***Assenyala els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.*(Percentatge de respostes sobre  $N_{\text{ASPECTES SATISFACTORIS}} = 183$ )

TIPUS D'ASPECTES SATISFACTORIS	Percentatge	s.d.
És motivador i estimulant	23,5	3,1
Millora d'aspectes didàctics	15,8	2,7
Mostra una imatge més real de la ciència	13,1	2,5
Mostra relacions CTS	8,2	2,0
Afavoreix el treball interdisciplinari	6,6	1,8
Satisfacció personal i professional Afavoreix canvi actitudinal	4,4	1,5
Permet el seguiment històric de conceptes És més aplicat i menys teòric	3,3	1,3
Altres sense classificar	17,5	2,8

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

Finalment, la TAULA 7.5.8 mostra amb detall quins són els avantatges o aspectes positius que troben els professors i professores enquestats. Hem comptabilitzat fins a 183 aspectes positius indicats per les enquestes. La majoria es decanta per remarcar el paper motivador i estimulant per als alumnes (23,5 %), però també és important el percentatge (15,8 %) dels que assenyalen diverses millores de tipus didàctic (com el foment de la participació, la reflexió, l'esperit crític,...) i els que destaquen la imatge més real de la ciència que mostra l'enfocament històric (13,1 %). Amb percentatges menors, però igualment importants, apareixen l'explicitació de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat (8,2 %), l'afavoriment del treball interdisciplinari (6,6 %), la satisfacció personal i professional del professorat i el canvi actitudinal (4,4 %). També s'hi esmenten el seguiment històric de conceptes i el caràcter més aplicat d'aquesta orientació històrica (3,3 %). El percentatge residual inclou, entre d'altres, aspectes com mostrar l'origen dels problemes (2,7 %), afavorir el canvi con-

ceptual (2,2 %), humanitzar la ciència (1,6 %) i disminuir el paper del formalisme matemàtic (1,6 %).

<b>TAULA 7.5.9</b> <b>QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E4 :</b> <i>Assenyala els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.</i> (Percentatge de respostes sobre $N_{\text{PROFESSORS}} = 83$ )		
NOMBRE D'ASPECTES NO SATISFACTORIS	Percentatge	s.d.
CAP	18,1	4,2
UN	34,9	5,2
DOS	36,1	5,3
TRES	10,8	3,4

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

A la TAULA 7.5.9 hem comptabilitzat les freqüències d'aspectes no satisfactoris assenyalats per cada enquestat. Com podem comprovar, un percentatge important no indica cap aspecte no satisfactori (18,1 %) i la majoria d'enquestes n'assenyala un (34,9 %) o dos (36,1 %). El màxim d'aspectes no satisfactoris indicats per alguns enquestats és de tres i apareix en un percentatge menor (10,8 %). Tot i l'interès que té aquesta part de l'anàlisi pel seu caràcter de crítica constructiva de la proposta, podem constatar que la majoria del professorat no veu un excessiu nombre d'inconvenients a la utilització d'un enfocament històric en les classes de física i química i, a més, tal com mostra la taula següent, en cap cas no es tracta d'inconvenients insuperables.

TAULA 7.5.10

**QÜESTIONARI DE PROFESSORS (E). QÜESTIÓ E4 :***Assenyala els aspectes satisfactoris i no satisfactoris que trobes en aquesta proposta.*(Percentatge de respostes sobre N<sub>ASPECTES NO SATISFACTORIS</sub> = 116)

TIPUS D'ASPECTES NO SATISFACTORIS	Percentatge	s.d.
Cal dedicar-hi més temps	33,6	4,4
Cal més formació del professorat	19,8	3,7
Cal disposar de materials i bibliografia	10,3	2,8
Cal més dedicació del professorat	9,5	2,7
Els alumnes es poden quedar només en la Història	4,3	1,9
És més difícil d'avaluar	3,4	1,7
Manca de coincidència entre els professors	2,6	1,5
Altres sense classificar	16,4	3,4

*Font: Qüestionari de Professors (E) per a valorar la utilització de la Història de la Ciència.*

La TAULA 7.5.10 detalla els aspectes més crítics que indiquen els professors i professores consultats. Hem comptabilitzat fins a 116 indicacions. Hi destaca l'inconvenient del temps que cal dedicar a aquestes activitats (33,6 % dels aspectes no satisfactoris indicats), cosa que implica tota opció renovadora, on sempre cal prendre decisions a l'hora d'organitzar el temps disponible per tal d'incorporar tots aquells aspectes que es consideren prioritaris. Un altre inconvenient destacat és l'al·lusió a la manca de formació del professorat en Història de la Ciència (19,8 %), que es podria resoldre per mitjà de la necessària actualització de coneixements i metodologia en què s'ha d'implicar tant l'administració educativa com les mateixes iniciatives del professorat més actiu i conscient de la importància de la renovació pedagògica per al bon funcionament de la tasca docent. La disponibilitat de materials i bibliografia (10,3 %), així com la major necessitat de dedicació del professorat (9,5 %), s'assenyalen també com a aspectes que preocupen el professorat a l'hora de dur endavant la proposta, tanmateix es tracta igualment d'inconvenients que es poden superar amb la difusió de mate-

rials ja existents i a través de la implicació més directa del professorat en l'elaboració de llurs propis materials, tasca que comporta l'estimulació d'aquest en l'orientació de la tasca docent cap a una activitat més investigadora i oberta, convergent amb el necessari increment del grau de professionalització de la pràctica docent i la superació d'esquemes i tòpics recurrents sobre aquesta professió. Les preocupacions que apareixen en menor grau, però que creiem important esmentar, són el perill que els alumnes no aprofundesquen en els coneixements de la matèria i es queden en la història (4,3 %), les dificultats d'avaluació d'aquestes activitats (3,4 %) i les divergències entre el professorat (2,6 %). En percentatges encara menors (tots ells al voltant d'un 1,7 %), que ja no hem classificat a la taula, s'hi feia esment de la necessitat de major control de la tasca que fan els alumnes, les dificultats per a implicar els alumnes en les activitats proposades, l'excés d'informació que aporten algunes activitats, la manca de relació d'aquests aspectes amb el que s'estudia després al nivell universitari i el perill de mostrar una història de la ciència massa simplificada.

Per tant, una vegada examinats els resultats d'aquest qüestionari podem afirmar que el professorat que ha conegut i reflexionat sobre la possibilitat d'utilitzar un enfocament històric en l'ensenyament de la física i la química fa una valoració clarament positiva d'aquesta proposta i considera que pot contribuir a millorar de forma significativa l'aprenentatge d'aquestes matèries. Aquesta constatació es recolza per mitjà dels nombrosos aspectes satisfactoris que assenyalen en la seua valoració, tot i que també hi expressen els diversos inconvenients que troben i que, en tot cas, són ben raonables i es poden superar si es disposa dels recursos adients.

## **CAPÍTOL 8 :** **CONCLUSIONS I PERSPECTIVES**

La contribució de la Història de la Ciència a la millora de la imatge de la ciència que transmet l'ensenyament ha estat motiu de debat permanent entre els investigadors dels problemes didàctics els darrers anys i ha coincidit amb l'aparició de línies d'investigació orientades a esbrinar de quina manera es podria superar la creixent manca d'interès dels alumnes per l'estudi de les matèries científiques com la física i la química. La consideració d'aquestes matèries com a més difícils, dissenyades per als alumnes més motivats o d'un nivell que es pretén més elevat que la majoria, ha orientat tradicionalment el currículum de manera que ha fet possible la presentació d'una imatge deformada de la ciència, caracteritzada sobretot perquè els coneixements es mostren de forma descontextualitzada.

En la primera part del nostre treball **hem tractat de palesar quins trets característics defineixen la imatge deformada de la ciència que arriba als alumnes a través de l'ensenyament habitual i com això pot ser una de les causes que explica l'actitud de poca apreciació i l'escàs interès de la majoria d'alumnes.** Així, doncs, a la segona part del treball **hem fet una proposta fonamentada per a incorporar a la classe de física i química diversos aspectes trets de la Història de la Ciència en el context d'un nou model d'ensenyament aprenentatge i l'hem sotmesa a experimentació** a fi de contrastar-ne l'eficàcia per a modificar la imatge de la ciència dels alumnes i millorar les seues actituds envers el seu aprenentatge. Tot plegat el treball s'insereix en la línia d'investigació que es proposa la construcció d'un cos coherent de coneixements sobre la didàctica de les ciències experimentals i recull les aportacions del model constructivista d'ensenyament aprenentatge així com les tendències que potencien la incorporació dels aspectes socials de la ciència i el tractament de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat, en aquest cas des d'una perspectiva històrica.

El gruix del treball ha consistit bàsicament en la contrastació d'aquestes dues hipòtesis principals:

**H1. La perspectiva històrica es troba absent de l'ensenyament de les ciències físico-químiques en els nivells secundaris, on s'ignoren, en general, els aspectes històrics, només s'utilitzen de manera superficial i s'introdueixen tergi-**

versacions i errors històrics, per la qual cosa en conjunt es transmet una imatge de la ciència allunyada de la seua realitat interna com a procés de construcció de coneixements i deslligada del context social en què ha nascut i s'ha desenvolupat al llarg dels segles. Conseqüentment, podem suposar que els alumnes tinguen una visió deformada de la naturalesa de la ciència i de com es construeixen i evolucionen els conceptes científics i ignoren les seues repercussions socials, cosa que en darrer terme produirà una actitud negativa de rebuig envers les matèries científiques que entrebancarà el procés d'ensenyament aprenentatge de la ciència.

**H2. És possible utilitzar aspectes concrets de la història les ciències físico-químiques en l'ensenyament d'aquestes ciències en els nivells secundaris de manera que es plantegen els orígens històrics de les principals línies d'investigació, es mostre el procés de creació i desenvolupament dels principals conceptes i teories com a fruit d'un treball col·lectiu i d'una construcció humana, i es presente la complexitat de les relacions ciència-tècnica-societat tot al llarg de la història, amb les implicacions socials de les contribucions més destacades. Aquest ús ponderat de la història de la ciència millorarà la comprensió dels alumnes sobre la naturalesa dels coneixements científics i els complexos processos a través dels quals es construeix i evoluciona la ciència i, conseqüentment, els alumnes s'implicaran més activament en el procés d'ensenyament aprenentatge de les ciències físico-químiques i, en general, adoptaran una actitud més positiva envers la ciència i el seu paper en el context de la cultura general de la humanitat.**

Així, doncs, ens hem ocupat de verificar aquestes dues hipòtesis principals per mitjà de la contrastació detallada de cadascuna de les conseqüències que es deriven d'aquestes hipòtesis, per a la qual cosa hem elaborat un disseny múltiple dirigit a confirmar les nostres prediccions concretament pel que fa als materials de treball a l'aula (llibres de text i materials alternatius), respecte a la visió i valoracions del professorat i respecte a la imatge de la ciència i les actituds dels alumnes. A la fi d'aquest procés hem aplegat, entre d'altres, a aquestes conclusions principals:

**1.** Els llibres de text, principal punt de referència per a l'aprenentatge de la física i la química per a la majoria de professors i alumnes, han palesat de forma inequívoca la imatge deformada de la ciència que prevèiem, i que es pot concretar en aquests aspectes:

**1.a.** Hi ha un 83,9 % de casos en què no es fan referències detallades i suficientment contextualitzades dels aspectes biogràfics dels científics i les científiques.

ques i per tant mostren una visió deshumanitzada i impersonal de l'activitat científica, als que hem d'afegir un 91,7 % dels casos que no contempnen el caràcter col·lectiu d'aquesta i es limiten a les referències superficials i individualitzades dels grans genis més famosos.

**1.b.** L'evolució històrica dels conceptes i les teories científiques no es té en compte en un 74,7 % de casos, amb la qual cosa predomina la visió estàtica i acabada de la ciència, reforçada, a més, per un 83,3 % de casos que no fan cap tractament de les crisis i canvis dels paradigmes científics i mostren una visió lineal i acumulativa del creixement de la ciència.

**1.c.** No es fa cap ús efectiu de textos originals dels autors de les principals contribucions científiques en un 87,9 % de casos, i en el 85,6 % tampoc no es proposen activitats amb un contingut històric per al treball dels alumnes, amb la qual cosa es manté de forma aclaparadora una orientació ahistòrica dels continguts exposats i no es concedeix importància al tractament històric.

**1.d.** No es fa cap referència explícita als problemes que originaren les diferents teories científiques exposades i es mostra una visió empirista en un 89,6 % de casos, percentatge semblant al de llibres que no mostren el caràcter temptatiu de l'activitat científica, amb la qual cosa reforcen la visió aproblemàtica de la ciència i la seua suposada recerca de veritats definitives.

**1.e.** Presenten una orientació bàsicament preocupada pel formalisme matemàtic un 91,7 % de textos, que amb el 92,7 % de casos que no mostren les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat, contribueixen a presentar una visió força descontextualitzada dels coneixements científics.

En conjunt, els llibres presenten una ciència deshumanitzada, individualista, caracteritzada pel seu creixement lineal i acumulatiu, bàsicament preocupada per l'aplicació de fórmules i receptes ja elaborades i sense referències explícites als seus orígens històrics i al context social en què s'ha desenvolupat.

**2.** La majoria del professorat manifesta no utilitzar la Història de la Ciència a les seues classes (65,6 %), bàsicament per problemes d'extensió del temari, desinterès dels alumnes i manca de preparació en aspectes històrics. Tanmateix, els professors als que se'ls ha demanat parer sobre l'ús d'una perspectiva històrica en les classes de física i química és capaç d'intuir la seua importància ja que arriba a proposar una mitjana de dues activitats de tipus històric per professor, encara que la major part d'elles

tinga un caràcter dispers (44,2 %) i només un 24,4 % es centren en el tractament de les controvèrsies històriques, un 17,4 % aborde problemes relacionats amb l'evolució dels coneixements científics, un 7,0 % tracte les relacions CTS i un 5,8 % es centre en les biografies de diversos científics. Al mateix temps els professors i professores consultats són capaços de suggerir nombrosos avantatges que comportaria una perspectiva històrica, de manera que tots responen amb algun avantatge i s'hi arriba a una mitjana de tres avantatges indicats per cada professor. Superen el 10 % els següents aspectes remarcables: comprendre l'evolució de la ciència (18,9 %), tenir en compte les circumstàncies socials que envolten la creació científica (16,4 %) i afavorir la motivació i despertar l'interès dels alumnes (10,8 %). Podem concloure que el professorat manifesta una expectativa favorable a l'ús de l'enfocament històric, però només a nivell teòric, ja que no el fa servir a la pràctica per raons diverses que entrebanquen la seua aplicació, entre les que poden estar l'excessiva preocupació per l'extensió dels programes i el desconeixement de la forma més adequada per a dur-ho a terme.

**3.** Els alumnes que han seguit un ensenyament habitual, influït per la imatge de la ciència que transmeten els llibres, consegüentment mostren també diversos trets característics d'aquesta visió deformada de la ciència. Per això hem pogut constatar que la major part d'alumnes:

**3.a.** Consideren que l'activitat científica és de caràcter exploratori i consisteix a descobrir realitats preexistents. Un 58,2 % d'alumnes es mostra d'acord amb aquesta visió i un 49,5 % creu que els conceptes científics no són producte de la creació del treball científic, sinó que hi són com a tals en el món natural. Per tant, també ignoren els problemes que originen les investigacions i només un 13,4 % d'alumnes és capaç d'esmentar-ne un o com a màxim tres.

**3.b.** Manifesten un 43,4 % d'alumnes que creuen prioritari l'objectiu formalista de l'activitat científica, amb la qual cosa palesen que han rebut un ensenyament de la física i la química majoritàriament preocupat per l'aplicació de fórmules, sense un tractament qualitatiu previ que facilite la seua comprensió.

**3.c.** Tenen una visió acumulativa del creixement de la ciència un 87,1 % dels alumnes, mentre que només un 15,7 % d'alumnes és capaç d'enunciar algunes crisis en l'evolució de la ciència i un escàs 9,3 % d'alumnes coneix dos o més teories amb controvèrsies històriques. Aquesta visió lineal també es manifesta en un 42,4 % d'alumnes que creuen que els treballs d'un determinat autor, com ara Newton, ja no han sofert cap modificació des que foren establerts.



**3.d.** Tenen una visió deshumanitzada de la ciència que es manifesta en el fet que ignoren els noms dels autors de nombrosos treballs importants (només el 28,8 % dels alumnes esmenta correctament un mínim de cinc científics i llurs treballs, i tan sols un 4,4 % coneix els cinc autors i autores de treballs de renom), fet que es veu agreujat quan es concreta tan sols en un 25,6 % d'alumnes que coneix algunes contribucions de científics espanyols. No és tampoc excessiu el 35,8 % d'alumnes que argumenten favorablement sobre el caràcter col·lectiu de la creació científica.

**3.e.** La visió descontextualitzada de la ciència es manifesta en la ignorància de les repercussions socials de diversos treballs científics (un 45,1 % n'esmenta com a màxim tres, però només un 6,9 % n'esmenta quatre o cinc). També s'ignoren les influències de la societat en la ciència (un 4,7 % coneix dos o més casos de suport econòmic a la ciència i un 21,4 % en coneix un) i de la tècnica en la ciència (un 20,9 % coneix dos o més casos i un 27,0 % en coneix només un). Més concretament un 4,7 % d'alumnes coneix algunes facilitats donades a la ciència espanyola i el 24,7 % en coneix alguns entrebancs històrics.

**4.** Aquesta imatge deformada de la ciència produeix una actitud negativa i de desinterès en la majoria dels alumnes, que es fa palesa en el baix percentatge d'alumnes que fa una valoració molt positiva de l'ensenyament rebut (38,3 % puntua a partir de "notable", encara que el percentatge de notes inferiors a 4 es situa en un 9,5 %, i la resta majoritària valora entre 4 i 6) i en les bones expectatives que genera la incorporació d'aspectes històrics, ja que un 61,3 % d'alumnes creu que la introducció de la Història de la Ciència milloraria la seua valoració.

**5.** Tanmateix el fet que els alumnes desconeguen en què hauria de consistir aquesta orientació històrica es manifesta en la dispersió de respostes quan se'ls demana que indiquen aspectes concrets que els agradaria conèixer. Així, només un 17,0 % s'interessa pel procés de construcció dels coneixements científics, un 13,9 % afirmen que els agradaria conèixer biografies de científics i un escàs 5,3 % s'interessa per les relacions entre la ciència, tècnica i la societat. Al mateix temps, hi destaca un 27,6 % d'alumnes que explícitament diu que no li interessa cap aspecte històric i un 17,4 % que no respon la pregunta. Aquests darrers percentatges suposen una majoria de respostes que confirma l'escàs interès d'aquests alumnes per un tema que, en general, ignoren, per la qual cosa no manifesten cap predilecció especial.

Tots aquests resultats a què hem aplegat en la primera part de la investigació conformen l'anàlisi crítica de la situació de l'ensenyament habitual pel que fa a la man-

ca d'una perspectiva històrica adequada i, a parer nostre, evidencien la imatge deficient de la naturalesa i evolució de la ciència que s'hi transmet i la seua influència en el desinterès dels alumnes cap a l'aprenentatge de la física i la química. Al mateix temps, aquestes conclusions permeten albirar quines podrien ser les solucions que caldria aplicar per a la millora de les deficiències detectades.

Amb aquests pressupòsits, a la segona part de l'estudi ens hem dedicat a proposar possibles solucions al problema que tractem. Així hem considerat que si la manca d'interès dels alumnes i la seua actitud d'escassa apreciació envers l'estudi de les ciències estava motivat, en part, per la visió ahistòrica de l'ensenyament impartit habitualment que els mostrava una imatge esbiaixada de la naturalesa de la ciència i la seua evolució, caldria modificar aquesta imatge per mitjà de la introducció adequada de diversos aspectes que es poden extraure de la Història de la Ciència i que mostren de quina manera es produeixen els coneixements científics, en quin context històric i social han aparegut determinades teories i quines influències han exercit sobre el mateix entorn social.

Considerem, doncs, que és possible canviar l'actitud dels alumnes i augmentar el seu interès cap a l'estudi de la física i la química per mitjà d'un tractament mínimament detingut d'alguns aspectes històrics inserits en el procés d'adquisició dels diferents conceptes i teories científiques, ja que així es pot mostrar una imatge de la ciència més correcta i acostada a la realitat del treball dels científics i al context en què aquest es desenvolupa i s'ha desenvolupat tot al llarg de la història.

**6.** Com ja hem mostrat per mitjà dels exemples comentats al capítol 6, ampliat amb els presentats a l'ANNEX II, és possible inserir activitats i transformar els temes que conformen el currículum de física i química amb l'elaboració de materials que incorporen diversos aspectes històrics, com ara biografies contextualitzades que mostren els aspectes més humans del treball científic, que integren textos originals dels autors, que mostren les controvèrsies històriques i l'evolució de determinats conceptes, etc., de manera que ajuden a la construcció dels coneixements científics i contribueixen a aprofundir i refermar aquests coneixements, tot tenint en compte el context en què han sorgit.

**7.** Els alumnes que han seguit un curs de física i química amb un tractament històric, dins del model didàctic basat en el canvi conceptual, metodològic i actitudinal, mostren una imatge de la ciència més contextualitzada i acostada a la realitat i, pràcticament en la totalitat de casos, es diferencien de forma significativa respecte als

alumnes que han seguit un curs que no contemplava aquesta orientació. Els trets concrets que ens permeten fer aquestes afirmacions són:

**7.a.** Entre els alumnes que han seguit un curs on s'han incorporat activitats de tipus històric (experimentals) es constata una disminució significativa del percentatge dels que perceben l'activitat científica com a descobriment d'un 36,2 % en un dels grups experimentals enfront del 58,2 % dels alumnes que no han seguit aquest curs (control), reforçat per una disminució no tan destacada en el percentatge dels que consideren que els conceptes científics no s'han creat sinó que s'han descobert (39,7 % en un dels grups experimentals enfront del 49,5 % dels alumnes del grup control). Per contra, augmenten els alumnes que coneixen els problemes generadors de diversos treballs científics (40,8 % n'esmenten almenys un, enfront del 13,4 % del grup control).

**7.b.** La percepció del formalisme matemàtic com a objectiu prioritari ha disminuït en els alumnes del grups experimentals i es situa entre el 24,1 % i el 26,5 %, mentre que en el grup control era del 43,3 %.

**7.c.** Els alumnes que després d'haver seguit un curs amb orientació històrica encara tenen una visió acumulativa de l'evolució de la ciència ateny fins a un 6,0 %, mentre que en el grup control era del 87,1 %, i augmenta fins al 56,7 % els que recorden algunes crisis en l'evolució de la ciència i els que indiquen dos o més models amb controvèrsies ateny el 32,8 %, mentre que en aquests mateixos aspectes els alumnes que no han seguit aquest curs presentaven uns percentatges de 15,7 % i 9,3 %, respectivament.

**7.d.** En els grups experimentals el coneixement de científics i llurs treballs millora, de manera que arriben a un 37,8 % els que esmenten correctament cinc o més científics i al 16,7 % els que encerten tots els autors dels treballs proposats, quan en aquests mateixos aspectes els alumnes de control presentaven un 28,8 % i un 4,4 %, respectivament, de respostes encertades. El coneixement dels treballs dels científics espanyols millora d'un 25,6 % dels alumnes de control a un 48,3 % d'un dels grups experimentals. El caràcter col·lectiu de l'activitat científica és percebut correctament per entre un 61,0 % i un 71,6 % d'alumnes, segons el grup experimental, mentre que entre els alumnes del grup control era del 35,8 %. Per tot això podem considerar que s'ha produït una millora en la percepció de la visió més humanitzada de la ciència en aquells alumnes que han seguit el curs amb perspectiva històrica.

**7.e.** Entre aquests alumnes també es pot detectar una millor comprensió dels aspectes relacionats amb la contextualització dels coneixements científics. Com ara, un 58,6 % d'alumnes poden assenyalar les repercussions socials d'entre un i tres casos proposats i un 13,0 % de quatre o cinc casos, que en conjunt representen un 71,6 %, enfront del 52,0 % global que esmentaven els alumnes del grup control. Els casos de suport econòmic a la ciència són assenyalats per entre un 40,2 % i un 63,0 % d'alumnes experimentals, mentre que en el grup control el percentatge era un 26,1 %, i les relacions entre la ciència i la tècnica són conegudes per entre un 58,2 % i un 68,1 % d'alumnes experimentals, enfront del 47,9 % del grup control. Les facilitats per a la ciència espanyola són indicades per un 14,7 % d'alumnes experimentals (4,7 % els de control) i els entrebancs els assenyalen un 43,1 % d'un dels grups experimentals (24,7 % els de control).

**8.** La millora en l'actitud dels alumnes que han seguit el curs amb orientació històrica es pot verificar per l'elevat percentatge d'aquests alumnes (64,4 %) que fan una valoració alta de l'ensenyament rebut (38,3 % els que no han seguit el curs) i la contribució de la perspectiva històrica a la millora de la valoració la indiquen un 82,8 %, percentatge que confirma i supera les bones expectatives que tenien els alumnes no tractats (61,3 %). Els alumnes experimentals mostren un major interès per conèixer aspectes com el procés de creació de la ciència (40,2 %), biografies de científics (24,7 %) i relacions CTS (18,7 %), mentre que els alumnes del grup control que mostraven interès per aquests mateixos aspectes eren, respectivament, el 17,0 %, el 13,9 % i el 5,3 %. Tot plegat el percentatge de respostes que no manifestaven cap interès per la història s'ha reduït del 44,9 % dels alumnes de control a un 12,5 % dels alumnes tractats. Aquesta informació de caire quantitatiu es completa amb l'observació qualitativa del seu treball a l'aula on s'aprecia que la incorporació de les activitats de contingut històric a la classe de física i química és un factor que contribueix a crear un bon ambient de treball i augmenta la participació dels alumnes.

**9.** El professorat que ha considerat amb reflexió les característiques d'aquesta proposta d'introducció d'aspectes històrics en la classe de física i química experimenta una millora en la percepció del paper positiu que pot jugar aquesta innovació didàctica i manifesta un gran interès que es concreta en el 94,0 % de postures favorables a la seua inclusió en l'ensenyament habitual, tot argumentant que permetrà augmentar la motivació dels alumnes (19,5 %), contextualitzar els coneixements (13,8 %), mostrar una visió més completa de la ciència (9,8 %) i mostrar la seua evolució (9,2 %), entre moltes altres raons favorables, com ara afavorir una actitud crítica en els alumnes,

explicitar el paral·lelisme històric amb les idees dels alumnes, afavorir la interdisciplinarietat i el conflicte cognitiu, acostar la ciència a la vida quotidiana i fer més assequible l'assignatura, igual com humanitzar la ciència i servir de fil conductor. Així, doncs, mostrarà la seua disponibilitat a dedicar a aquesta mena d'activitats per terme mitjà un 25 % del temps disponible.

**10.** Després de treballar amb algunes activitats de caràcter històric una majoria de professors i professores (92,8 %) es mostraran disposats a utilitzar-les a la seua classe, a condició que disposen de materials elaborats (29,1 %), si adquireixen més preparació en aspectes històrics (19,8 %) i un 15,1 % continuaran fent-ne ús. La majoria indicarà aspectes satisfactoris (61,2 %), entre els quals cal remarcar el caràcter motivador i estimulador per als alumnes (23,5 %), la millora de diversos aspectes didàctics (15,8 %), la imatge més real de la ciència que s'hi mostra (13,1 %) i el tractament de les relacions CTS (8,2 %). Al mateix temps, com aportació crítica per a millorar la viabilitat de la proposta, expressaran fins a un 38,8 % d'aspectes insatisfactoris, entre els quals destaquen la preocupació pel temps que cal dedicar (33,6 %), la necessitat de més formació del professorat (19,8 %), la disponibilitat de materials i bibliografia (10,3 %) i la major dedicació requerida del professorat (9,5 %). Tots aquests aspectes ens obliguen a suggerir algunes propostes que assenyalarem entre les perspectives que obre aquesta investigació.

Com a conclusió general podem afegir que les hipòtesis sobre les quals hem desenvolupat aquest estudi s'han confirmat. Per tant creiem poder afirmar, en el marc del model didàctic d'ensenyament de les ciències per investigació, que la incorporació d'una perspectiva històrica que mostre la riquesa i complexitat del procés de construcció dels coneixements científics, en consonància amb d'altres línies d'investigació paral·leles com el tractament de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat, no ha estat tinguda en compte de forma suficient en l'ensenyament de les ciències físico-químiques i la superació d'aquesta deficiència constitueix un element essencial per a mostrar una imatge de la ciència més real i, en augmentar la motivació i l'interès per la ciència, contribueix a enriquir l'aprenentatge significatiu dels alumnes.

Les conclusions a què hem aplegat en aquesta investigació obren noves perspectives per tal d'aprofundir en els papers que pot jugar la Història de la Ciència, entre les quals suggerim:

1. Estendre aquesta investigació a d'altres nivells educatius, especialment si tenim en compte els nous objectius que proposa la reforma del sistema educatiu, que contempen de forma explícita les implicacions socials de la ciència i

la consideració d'aquesta com a activitat col·lectiva i contextualitzada. Així, doncs, caldria verificar la validesa d'una proposta semblant per la nova ESO i el nou Batxillerat i considerar la seua extensió fins al nivell universitari.

2. Aplicar una orientació històrica a d'altres disciplines científiques com les ciències naturals o la tecnologia i verificar la seua viabilitat.

3. Dissenyar, aplicar i avaluar propostes de cursos d'actualització sobre Història de la Ciència i la seua utilització didàctica per al professorat en actiu i la inclusió en els programes de formació inicial del professorat de ciències.

4. Dissenyar, utilitzar i avaluar nous materials didàctics que incorporen diverses concrecions possibles amb una perspectiva històrica.

5. Dissenyar propostes de treball interdisciplinari amb les àrees de ciències socials i de filosofia que enriquesquen la contextualització dels aspectes d'història i filosofia de la ciència i aproximem alguns dels centres d'interès que s'aborden en les diferents matèries, a fi de superar les barreres artificials entre assignatures.

6. Dissenyar, aplicar i avaluar diferents propostes d'introducció d'aspectes històrics, com ara assignatures específiques d'Història de la Ciència, tractament de les relacions CTS en la nova ESO, nuclis temàtics al voltant de les grans fites en l'evolució de la ciència, assignatures contextuais de ciències per a alumnes d'altres àrees, a semblança de projectes com el nord-americà *Chemistry in Context* (Schwartz et al. 1993), comparant aquests projectes amb d'altres semblants sorgits en diferents països com a fruit de la preocupació creixent per recuperar l'interès dels estudiants per les ciències i mostrar una imatge de la ciència més humanitzada.

## **BIBLIOGRAFIA**





## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- ACEVEDO, J. A., 1993. Actitudes hacia el aprendizaje de las ciencias físicas, naturales y matemáticas en BUP y COU. Un estudio sobre tres dimensiones. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, p. 13-14.
- AIKENHEAD, G. S., 1985. Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69 (4), p. 453-475.
- ALARIO, M. A. et al., 1996. Manifiesto de El Escorial sobre la ciencia española. *El País*, 7 d'agost, p. 17.
- ALONSO, M., GIL, D. y MARTÍNEZ, J., 1992. Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), p. 127-138.
- ÁLVAREZ, R. M., 1996. Las controversias científicas. Sus implicaciones didácticas y su utilidad mediante un ejemplo: la controversia sobre la edad de la Tierra. *Alambique*, 8, p. 63-69.
- A.S.E., 1986. *S.A.T.I.S. Science and Technology in Society*. (ASE: Hatfield).
- AUSUBEL, D. P., 1978. *Psicología Educativa. Un punto de vista cognitivo*. (Trillas: México).
- AZCONA, R. y FURIÓ, C., 1993. Contribución de la Historia y Filosofía de la Ciencia a la comprensión de los conceptos "cantidad de sustancia" y "mol". *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, p. 209-210.
- BACHELARD, G., 1938. *La formation de l'esprit scientifique*. (Vrin: París).
- BAILAR, J. C., MOELLER, T., KLEINBERG, J., GUSS, C. O., CASTELLION, M. E. y METZ, C., 1983. *Química General*. (Vicens-Vives: Barcelona).
- BARONA, J. L., 1994. *Ciencia e Historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia*. (Seminari d'Estudis sobre la Ciència: València).

- BELTRÁN, J., FURIÓ, C., GIL, D., GIL, G., GRIMA, M. J., LLOPIS, R., SÁNCHEZ, A., 1977. *Física y química 3º BUP*. (Editorial Anaya: Madrid).
- BELTRÁN, J., FURIÓ, C., GIL, D., GIL, G., LLOPIS, R., SÁNCHEZ, A., 1976. *Física y química 2º BUP*. (Editorial Anaya: Madrid).
- BENOIT, P., 1991. "La teología en el siglo XIII: una ciencia diferente a las demás", en *Historia de las ciencias* de Michel Serres. (Cátedra: Madrid).
- BENSAUDE-VINCENT, B., 1984. La génesis de la tabla de Mendeleev. *Mundo Científico*, 42 (4), p. 1180-1189.
- BENSAUDE-VINCENT, B., 1991a. "Lavoisier: una revolución científica", en *Historia de las ciencias* de Michel Serres. (Cátedra: Madrid).
- BENSAUDE-VINCENT, B., 1991b. "Mendeleiev: historia de un descubrimiento", en *Historia de las ciencias* de Michel Serres. (Cátedra: Madrid).
- BENSAUDE-VINCENT, B., 1995. Lavoisier y la revolución de la química. *Mundo Científico*, 156 (15), p.346-352.
- BENSEGHIR, A. et CLOSSET, J. L., 1993. Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique: points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, 2, p. 31-47.
- BERKSON, 1981. *Las teorías de los campos de fuerzas. Desde Faraday hasta Einstein*. (Alianza Universidad: Madrid).
- BERNAL, J. D., 1989. *Historia social de la ciencia* (2 vols.) (6a. ed.; 1a. ed. 1967) (Península: Barcelona).
- BIZZO, N. M., 1993. Historia de la ciencia y enseñanza de la ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer? *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 18, p. 5-14.
- BODNER, G. M., 1986. Constructivism: A Theory of Knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63 (10), p. 873-878.
- BOYER, R. y TIBERGHIEN, A., 1989. Las finalidades de la enseñanza de la Física y la Química vistas por profesores y alumnos franceses. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), p. 213-222.

- BRACKENBRIDGE, J. B., 1991. La educación de las ciencias, la Historia de la Ciencia y el libro de texto, las condiciones necesarias contra las suficientes. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 157-168.
- BRUSH, S. G., 1991. Historia de la ciencia y enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 169-180.
- BUCHDAHL, G., 1993. Styles of Scientific Thinking. *Science & Education*, 2, p. 149-167.
- BURTON, G., HOLMAN, J., PILLING, G. & WADDINGTON, D., 1994. *Salter's Advanced Chemistry. Chemical Storylines*. (Heinemann: London).
- BYBEE, R. W., POWELL, J. C., ELLIS, J. D., GIESE, J. R., PARISI, L. & SINGLETON, L., 1991. Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education*, 75 (1), p. 143-155.
- CAAMAÑO, A., 1983. "Project Physics" (Ressenya bibliogràfica) en *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), p. 129-130.
- CAAMAÑO, A., 1988. Tendencias actuales en el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), p. 265-277.
- CAAMAÑO, A., 1996. La comprensión de la naturaleza de la ciencia. Un objetivo de la enseñanza de las ciencias en la ESO. *Alambique*, 8, p. 43-51.
- CÁCERES, J. y RIBAS, C., 1996. La sociedad opina sobre ciencia. *Mundo Científico*, 167, p. 347-353.
- CALATAYUD, M. L., CARBONELL, F., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C., GIL, D., GRIMA, J., HERNÁNDEZ, J., MARTÍNEZ, J., PAYÁ, J., RIBÓ, J., SOLBES, J. y VILCHES, A., 1988, 1990. *La construcción de las ciencias físico-químicas*. (Servei de Formació Permanent. Universitat de València. Nau Llibres: Valencia). Llibres de l'alumne i del professor.
- CALATAYUD, M. L., FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J., GIL, D., ORTIZ, E., SEVILLA, C. y SOLER, V., 1980a. *Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones*. (ICE de la Universitat de València: València).

- CALATAYUD, M. L., GIL, D., GINER, F., ORTIZ, E., SERO, E. y SEVILLA, C., 1980b. *Trabajos prácticos de Física como pequeñas investigaciones*. (ICE de la Universitat de València: València).
- CALATAYUD, M. L., HERNÁNDEZ, J., SOLBES, J. y VILCHES, A., 1991. *Química COU. Programas de actividades*. (Nau Llibres: València).
- CALATAYUD, M. L., HERNÁNDEZ, J., SOLBES, J. y VILCHES, A., 1995. *Física y química. 1º Bachillerato*. (Octaedro: Barcelona). Llibres de l'alumne i del professor.
- CARRASCOSA, J., 1983. Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), p. 63-65.
- CARRASCOSA, J., 1985. Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), p. 230-234.
- CARRASCOSA, J. 1987. *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias, de los errores conceptuales*. Tesis Doctoral. (Servei de Publicacions de la Universitat de València: València).
- CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y GIL, D., 1984. Criterios básicos para la elaboración de un curriculum de Física y Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (2), p. 103-110.
- CARRASCOSA, J. i GIL, D., 1985. La metodologia de la superficialitat i l'aprenentatge de les ciències. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), p. 113-120.
- CATALÁN, F. y CATANY, M., 1986. Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la historia. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), p. 163-166.
- CHALMERS, A. F., 1982. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. (Siglo XXI: Madrid).
- COHEN, I. B., 1950. A Sense of History in Science. *American Journal of Physics*, 18, p. 343-359. (Reimprès el 1993 en *Science & Education*, 2 (3), p. 251-277).
- CONANT, J. B., (ed.), 1957. *Harvard Case Histories in Experimental Science*. (2 vols.) (Harvard University Press: Cambridge).

- CUSHING, J. T., 1991. La difícil tarea de articular historia, filosofía e introducción a la física. Una perspectiva americana. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 181-187.
- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M., GAGNÉ, B., RUEL, F., 1993. La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. *Didaskalia*, 1, p. 49-67.
- DRIVER, R., 1986. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), p. 3-15.
- DRIVER, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), p. 109-120.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A., 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. (Morata/MEC: Madrid).
- DRIVER, R. & OLDHAM, V., 1986. A constructivistic approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, p. 105-122.
- DURÁN, X., 1992. *Les cruïlles de la utopia*. (Edicions 62: Barcelona).
- DUSCHL, R. & GITOMER, D., 1991. Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9) p. 839-858.
- EINSTEIN, A., 1995. "¿Por qué socialismo?", en *Sobre el humanismo*. (Paidós: Barcelona).
- EINSTEIN, A. i INFELD, L., 1984. *L'evolució de la física*. (Edicions 62: Barcelona).
- FERNÁNDEZ, M. R. y FIDALGO, J. A., 1989. *Química General*. (Everest: León).
- FEYERABEND, P., 1975. *Against Method*. (Verso: London).
- FILLON, P., 1991. Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves. *Aster*, 12, p. 91-120.
- FURIÓ, C., 1994a. Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), p. 188-199.

- FURIÓ, C., 1994b. La enseñanza-aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. *Proceedings of the International Conference on "Science and Mathematics Education for the 21st. Century: Towards innovatory approaches"*, Concepción (Chile), p. 159-188.
- FURIÓ, D., CALATAYUD, M. L., HERNÁNDEZ, J., LLOPIS, R., ORTIZ, E. Y SOLER, V., 1979. *Química COU: Programas-guía de trabajo para la clase activa*. (ICE de la Universitat de València: València).
- FURIÓ, C. y GIL, D., 1978. *El programa-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la física y la química*. (ICE de la Universitat de València: València).
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J., 1993. Conceptos históricos de carga y potencial eléctrico. *Revista Española de Física*, 7 (3), p. 46-50.
- FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. & HARRIS, H., 1987. Parallels between Adolescents' Conception of Gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (7), p. 616-618.
- GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A., 1986. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), p. 253-259.
- GAGNÉ, B., 1994. Autour de l'idée d'histoire des sciences: représentations discursives d'apprenti(e)s-enseignant(e)s de sciences. *Didaskalia*, 3, p. 61-78.
- GARCÍA MOLINER, F., 1995. La enseñanza media de las ciencias en España (1). *Levante-El Mercantil Valenciano*, 17 d'octubre, p. 4.
- GARRET, R. M., 1987. Issues in Science Education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9 (2), p. 125-137.
- GASKELL, P. J., 1992. Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, 14 (3), p. 254-272.
- GAUDILLIÈRE, J. P., 1994. Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxigène, de l'étude de controverse à la replication pédagogique. *Aster*, 18, p. 183-215.

- GENÉ, A., 1986. *Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada*. Tesis Doctoral (Biblioteca de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona: Barcelona).
- GIL, D., 1983. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), p. 26-33.
- GIL, D., 1985. El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa. *Revista de Educación*, 278, p. 27-38.
- GIL, D., 1991. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), p. 69-77.
- GIL, D., 1993. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), p. 197-212.
- GIL, D. & CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7 (3), p. 231-236.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1991. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (ICE-Horsori: Barcelona).
- GIL, D., GRIMA, J., MARTÍNEZ, J., SÁNCHEZ, A. y SEVILLA, C., 1979. *Física COU: Programas-guía de trabajo para la clase activa*. (ICE de la Universitat de València: València).
- GIL, D. & MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1983. A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), p. 447-455.
- GIL, D. y PAYÁ, J., 1988. Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (2), p. 73-79.
- GIL, D., SENENT, F. y SOLBES, J., 1989. Física moderna en la enseñanza secundaria. una propuesta fundamentada y unos resultados. *Revista Española de Física*, 3 (1), p. 53-58.

- GIL, D. & SOLBES, J., 1993. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of Science. *International Journal of Science Education*, 15 (3), p. 255-260.
- GONZÁLEZ, E. M., 1994. *Las prácticas de laboratorio en la formación del profesorado de Física*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- GRIFFITH, B. E. & BENSON, G. D., 1994. Scientific thought as dogmatism. *International Journal of Science Education*, 16 (6), p. 625-637.
- GRUP RECERCA FARADAY, 1982. *Projecte Faraday. Física i química per al batxillerat*. (ICE Universitat Autònoma: Barcelona).
- GRUP RECERCA FARADAY, 1988a. *Física Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric*. (Teide: Barcelona).
- GRUP RECERCA FARADAY, 1988b. *Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric*. (Teide: Barcelona).
- GUILBERT, L. et MELOCHE, D., 1993. L'idée de science chez des enseignants en formation: un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, p. 7-30.
- GUTIÉRREZ, J., 1993. Enseñanza de la física: un reto a la imaginación. *Revista Española de Física*, 7 (3), p. 50-53.
- HASHWEH, M. Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8 (3), p. 229-249.
- HERNÁNDEZ, J., PAYÁ, J., SOLBES, J. y VILCHES, A., 1992. *Materia y electricidad. 3º Curso*. Materiales de Reforma. (Ed. Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educació i Ciència: València). Llibres de l'alumne i del professor.
- HERNÁNDEZ, J. y SOLBES, J., 1995. ¿Las humanidades contra la ciencia? *El País*, 24 d'octubre, p. 37.
- HERZENBERG, C. L., MESCHEL, S. V. & ALTENA, J. A., 1991. Women Scientists and Physicians of Antiquity and the Middle Ages. *Journal of Chemical Education*, 68 (2), p. 101-105.



- HEWSON, P. W., 1991. A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, 3 (4), p. 383-396.
- HEWSON, M. G. & HEWSON, P. W., 1984. Effect on instruction using students prior knowledge and conceptual strategies on science learning. *European Journal of Science Education*, 6 (1), p. 1-6.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., 1989. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. (Ed. Laia MEC: Barcelona). (Reeditat per Ed. Elzevir: Vélez-Málaga. 1991).
- HODSON, D., 1985. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, p. 25-57.
- HODSON, D., 1988. Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72 (1), p. 19-40.
- HODSON, D., 1990. A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70 (256), p. 33-40.
- HODSON, D., 1994. Seeking directions for change. The Personalisation and Politisation of Science Education. *Curriculum Studies*, 2 (1), p. 71-98.
- HOLTON, G. y BRUSH, S. G., 1976. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. (Reverté: Barcelona). (1a. ed. anglesa de Holton 1952).
- HOLTON, G. y ROLLER, D., 1963. *Fundamentos de la Física Moderna*. (Reverté: Barcelona).
- IZQUIERDO, M., 1988. La contribució de la teoria del flogiste a l'estructuració actual de la ciència química. Implicacions didàctiques. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), p. 67-74.
- IZQUIERDO, M., 1992. Reconsidering the sciences curriculum starting from contemporary (converging) models of science and cognition: a research program. *Proceedings of the Second International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching* (Kingston, Canadà), p. 517-529.

- IZQUIERDO, M., 1994. Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia la enseñanza de las ciencias. *Aula de Innovación Educativa*, 27, p. 37-41.
- IZQUIERDO, M., 1996. Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, p. 7-21.
- JENKINS, E. S., 1996. "Beyond the Seventh Fold": A Historical Account of a Natural Product Chemist. *Science & Education*, 5, p. 31-49.
- JENKINS, E. W., 1990. The history of science in British schools: retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 274-281.
- JENKINS, E. W., 1994. HPS and school science education: remediation or reconstruction? *International Journal of Science Education*, 16 (6), p. 613-623.
- JIMÉNEZ, M. P. y OTERO, L., 1990. La ciencia como construcción social. *Cuadernos de Pedagogía*, 180, p. 20-22.
- KAMSAR, J. W., 1987. Utilizing a Historical Perspective in the Teaching of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (11), p. 931(a)-932.
- KAUFFMAN, G., 1987. History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (11), p. 931(b)-933.
- KAUFFMAN, G., 1989. History in the Chemistry Curriculum. *Interchange*, 20 (2), p. 81-94.
- KING, B. B., 1991. Beginning Teachers' Knowledge of and Attitudes toward History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75 (1), p. 135-141.
- KOBLITZ, A. H., 1987. A historian looks at gender and science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), p. 399-407.
- KRANZBERG, M. y PURSELL, C., 1981. *Historia de la tecnología*. (2 vols.) (G. Gili: Barcelona).
- KRUGLY-SMOLSKA, E., 1996. Scientific Culture, Multiculturalism and the Science Classroom. *Science & Education*, 5, p. 21-29.

- KUHN, D., 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de Cultura Económica: Méjico).
- LAÍN ENTRALGO, P. y LÓPEZ PIÑERO, J. M., 1963. *Panorama histórico de la ciencia moderna*. (Guadarrama: Madrid).
- LAKATOS, I., 1982. *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid). (1a. ed. 1974).
- LAVOISIER, A. L., 1789 (1982). *Tratado elemental de química*. (Clásicos Alfabara: Madrid).
- LEDERMAN, N. G., 1986. Relating Teaching Behavior and Classroom Climate to changes in Students' Conceptions of the Nature of Science. *Science Education*, 70 (1), p. 3-19.
- LEDERMAN, N. & DRUGER, M., 1985. Classroom factors related to changes in students' conceptions of the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 22 (7), p. 649-662.
- LEWIN, R., 1989. Lise Meitner and the Discovery of Fission. *Journal of Chemical Education*, 66 (5), p. 373-376.
- LIJNSE, P. L., 1994. La recherche-développement: une voie vers une "structure didactique" de la physique empiriquement fondée. *Didaskalia*, 3, p. 93-108.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M., 1979. *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. (Labor: Barcelona).
- LÓPEZ PIÑERO, J. M., 1982. *La ciencia en la historia hispánica*. (Salvat: Barcelona).
- LÓPEZ PIÑERO, J., GLICK, T. F., NAVARRO, V. y PORTELA, E., 1983. *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. (2 vols.) (Península: Barcelona).
- LÓPEZ PIÑERO, J. i NAVARRO, V., 1995. *Història de la ciència al País Valencià*. (Edicions Alfons el Magnànim. I.V.E.I.: València).
- LÜHL, J., 1992. Teaching of Social and Philosophical Background to Atomic Theory. *Science & Education*, 1, p. 193-204.

- MARCO, B., 1982. *Historia de la ciencia (I)*. (Documentos IEPS: Madrid).
- MARCO, B., 1984. *Historia de la ciencia (II)*. (Documentos IEPS: Madrid).
- MARCO, B., 1992. *Historia de la Ciencia. Los científicos y sus descubrimientos*. (MEC-Narcea: Madrid).
- MARCO, B., 1996. Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique*, 8, p. 53-62.
- MARTINAND, J. L., 1993. Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations? *Didaskalia*, 2, p. 89-99.
- MARTÍNEZ, J., 1987. *La resolución de problemas de Física como investigación: Un instrumento de cambio metodològico*. Tesis Doctoral. Facultad de Físicas de la Universitat de València.
- MASON, S. F., 1984. *Historia de las ciencias*. (5 vols.) (Alianza: Madrid).
- MASSAIN, R., 1982. *Chimie et chimistes*. (Magnard: París).
- MATTHEWS, M. R., 1990. History, Philosophy and Science: A Rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, p. 25-51.
- MATTHEWS, M. R., 1991. Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 141-155.
- MATTHEWS, M. R., 1994a. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), p. 255-277.
- MATTHEWS, M. R., 1994b. *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. (Routledge: New York).
- McDERMOTT, L. C., 1984. Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, juliol, p. 24-34.
- MERTON, R. K., 1938. Science, Technology and Society in Seventeenth Century England. *Osiris*, 4, p. 360-362.

- MIERZECKI, R., 1991. *The Historical Development of Chemical Concepts*. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).
- MIKÚLINSKI, S., VOLODARSKI, A. y VORONKOV, Y., 1981. *Ciencia y técnica: humanismo y progreso*. (Academia de las Ciencias de la URSS: Moscou).
- MORENO, A., 1988. *Una ciencia en cuarentena. La física académica en España (1750-1900)*. (CSIC: Madrid).
- MUÑOZ-PÁEZ, A., 1996. Algunas contribuciones de la mujer a las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), p. 233-237.
- NAKHLEH, M. B., 1992. Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), p. 191-196.
- NAVARRO, V., 1981. La obra astronómica de Jerónimo Muñoz. (Introducció a l'edició de *Libro del nuevo cometa* i altres obres de l'autor) (Hispaniae Scientia: València).
- NAVARRO, V., 1983a. La historia de las ciencias y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), p. 50-54.
- NAVARRO, V., 1983b. La historia de las ciencias y la enseñanza: selección bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), p. 125-127.
- NICOLAU, F., 1995. *Els elements que componen el cosmos*. (Claret: Barcelona).
- NIELSEN, H., 1993. The Endless Spiral. Teaching History of Technology in Context. *Science & Education*, 2 (2), p. 169-181.
- NIELSEN, H. & THOMSEN, P.V., 1990. History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 308-316.
- NOVAK, J. D., 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), p. 213-223.
- OSBORNE, R. & WITTRUCK, M., 1983. Learning Science: a generative process. *Science Education*, 67, p. 490-508.

- OTERO, J., 1985. Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge. *European Journal of Science Education*, 7 (4), p. 361-369.
- OTERO, J., 1989. La producción y la comprensión de la Ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la Ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), p. 223-228.
- OUTRAM, D., 1987. The most difficult career: Women's history in science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), p. 409-416.
- PASDELOUP, M. et LAUGIER, A., 1994. Le concept de réaction chimique en gestation. Entre les affinités électives et l'attraction universelle. *Aster*, 18, p. 165-182.
- PAYÁ, J., 1991. *Los trabajos prácticos en la enseñanza de la física y química: un análisis crítico y una propuesta fundamentada*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- PAYÁ, J., SOLBES, J. y VILCHES, A., 1992. *La Mecánica: una ruptura con la física preclásica. 4º Curso*. Materiales para el desarrollo curricular. (Ed. Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educació i Ciència: València). Llibres de l'alumne i del professor.
- PENICK, J. E. & YAGER, R. E., 1986. Trends in science education: some observations of exemplary programs in the United States. *European Journal of Science Education*, 8 (1), 1-9.
- PÉREZ CAMACHO, J. J. y SOLS LUCIA, I., 1995. La Física de Domingo de Soto. En el quinto centenario de su nacimiento (1495-1995). *Revista Española de Física*, 9 (4), p. 56-58.
- POPPER, K., 1985. *La lògica de la investigació científica*. (Laia: Barcelona) (1a. ed. anglesa 1959).
- POSNER, G. L., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., GERTZOG, W.A., 1982. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), p. 211-227.
- PRAIA, J. F., 1995. *Formação de professores no ensino da Geologia: Contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da deriva continental*. Tesi Doctoral. Universidade de Aveiro.

- QUÍLEZ, J., SOLAZ, J. J., CASTELLÓ, M. y SANJOSÉ, V., 1993. La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), p. 281-288.
- RAÑADA, A. F., 1995. *Los muchos rostros de la ciencia*. (Nobel: Oviedo).
- RESNICK, L. B., 1983. Mathematics and Science Learning: a new conception. *Science*, 220, p. 477-478.
- RUTHERFORD, J. F., HOLTON, G. & WATSON, F. G., 1970. *The Project Physics Course*. (Holt-Rinehart-Wintson: New York).
- SALTIEL, E., 1994. Un enseignement concret et attractif de la physique doit-il être avant tout expérimental, théorique? *Didaskalia*, sup. 3, p. 14-25.
- SALTIEL, E. y 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), p.137-144.
- SÁNCHEZ DEL RÍO, 1986. *Los principios de la Física en su evolución histórica*. (Universidad Complutense: Madrid).
- SÁNCHEZ RON, J. M., 1988. Usos y abusos de la historia de la física en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), p. 179-188.
- SÁNCHEZ RON, J. M., 1992. *El poder de la ciencia. Historia socio-económica de la física (siglo XX)*. (Alianza: Madrid).
- SÁNCHEZ RON, J. M., 1994. Miguel Catalán y Arnold Sommerfeld. *Revista Española de Física*, 8 (3), p. 52-55.
- SÁNCHEZ RON, J. M., 1995. *La ciencia, su estructura y su futuro*. (Debate: Madrid).
- SCHECKER, H. P., 1992. The Paradigmatic Change in Mechanics: Implications of Historical Processes for Physics Education. *Science & Education*, 1 (1), p. 71-76.
- SCHIBECI, R. A., 1986. Images of science and scientists and science education. *Science Education*, 70 (2), p. 139-149.

- SCHWAB, J. J., 1962. "The Teaching of Science as Enquiry", en *The Teaching of Science*. (Harvard University Press: Cambridge).
- SCHWARTZ, A. T., BUNCE, D. M., SILBERMAN, R. G., STANITSKI, C. L., STRATTON, W. J. & ZIPP, A. P., 1993. *Chemistry in Context: Applying Chemistry to Society*. (ACS-WCB Publishers: Dubuque. IA).
- SEQUEIRA, M. & LEITE, L., 1991. Alternative Conceptions and History of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*, 75 (1), p. 45-56.
- SERRES, M. (ed.), 1991. *Historia de las ciencias*. (Cátedra: Madrid).
- SILVERMAN, M. P., 1992. Raising Questions: Philosophical Significance of Controversy in Science. *Science & Education*, 1, p. 163-179.
- SIMPSON, R. & OLIVER, S., 1990. A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students. *Science Education*, 74 (1), p. 1-18.
- SNOW, C. P., 1959. *The Two Cultures and the Scientific Revolution*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- SOLAZ, J. J. y SANJOSÉ, V., 1992. El papel del péndulo en la construcción del paradigma newtoniano. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), p. 95-100.
- SOLBES, J., 1986. *La introducción de los conceptos básicos de Física Moderna*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Físicas. Universitat de València.
- SOLBES, J., 1993. *Física 2º Bachillerato. Materiales didácticos*. (MEC: Madrid).
- SOLBES, J. y TARÍN, F., 1996. *Física 2º Bachillerato. Libro del alumno y guía didáctica*. (Octaedro: Barcelona).
- SOLBES, J. y TRAVER, M. J., 1992. La historia de la física y la química y su papel en la enseñanza de estas ciencias. *Europhysics Conference Abstracts*, 16 G, p.164-165. (Congreso Internacional de Historia de las Ciencias Físico-Matemáticas y Enseñanza de las Ciencias. Madrid).
- SOLBES, J. y TRAVER, M. J., 1996. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), p. 103-112.



- SOLBES, J. y VILCHES, A., 1989. Interacciones Ciencia / Técnica / Sociedad. Un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), p. 14-20.
- SOLBES, J. y VILCHES, A., 1992. El modelo constructivista y las relaciones Ciencia / Técnica / Sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), p. 181-186.
- SOLBES, J. y VILCHES, A., 1995. Los profesores y las actividades CTS. *Alambique*, 3, p. 30-39.
- SOLOMON, J., 1991. Teaching about the Nature of Science in the British National Curriculum. *Science Education*, 75 (1), p. 95-103.
- SOLOMON, J., 1993. *Teaching Science, Technology and Society*. (Open University Press: Buckingham, UK).
- SPECTOR, T. I., 1995. Naming Names. A Brief Biography of Women Chemists. *Journal of Chemical Education*, 72 (5), p. 393-395.
- STEINBERG, M. S., BROWN, D. E. & CLEMENT, J., 1990. Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 265-273.
- STINNER, A., 1995. Contextual Settings, Science Stories, and Large Context Problems: Toward a More Humanistic Science Education. *Science Education*, 79 (5), p. 555-581.
- TATON, R.(ed.), 1971. *Historia general de las ciencias*. (5 vols.) (Destino: Barcelona).
- TEN, A., 1987. *Historia de la Ciencia y de la Técnica*. (Generalitat Valenciana. Conselleria de Cultura, Educació i Ciència: València).
- TOULMIN, S., 1977. *La comprensión humana (I): el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. (Alianza Editorial: Madrid).
- TRUESDELL, C., 1975. *Ensayos de historia de la mecánica*. (Editorial Tecnos: Madrid).

- VIENNOT, L., 1976. *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*. Tesis Doctoral. Université Paris 7. (Publicada el 1979 per Herman: Paris).
- VILCHES, A., 1993. *Las interacciones ciencia, técnica, sociedad y la enseñanza de la ciencias físico-químicas*. Tesis Doctoral. Universitat de València.
- WELCH, W. W., 1973. Review of the Research and Evaluation Program of Harvard Project Physics Course. *Journal of Research in Science Teaching*, 10, p. 365-378.
- WHEATLEY, G. H., 1991. Constructivistic perspectives on Science and Mathematics learning. *Science Education*, 75 (1), p. 9-21.
- YAGER, R. E. (ed.), 1993. *The Science, Technology, Society Movement*. (National Science Teachers Association: Washington, DC).
- YAGER, R. E. & PENICK, J. E., 1986. Perception of four groups towards science classes, teachers and value of science. *Science Education*, 70(4), p. 335-363.

## **ANNEXOS**



## ANNEX I : Selecció bibliogràfica comentada

Els darrers deu anys s'ha produït un increment important en la investigació i la publicació d'articles sobre les relacions entre la Història i la Filosofia de la Ciència i l'Ensenyament de les Ciències. Molts d'ells han estat consultats durant la realització d'aquest treball, com es pot veure en l'apartat de referències bibliogràfiques. Tanmateix, hem pogut comprovar que es tracta d'una línia d'investigació que té connexions importants amb els diferents camps de la investigació didàctica i presenta nombroses derivacions, sobretot pel que fa a les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat tot al llarg de la història. Com a breu mostra d'aquest ampli panorama, a fi de completar la visió de les aportacions de la història de la ciència a l'ensenyament, hem triat alguns treballs pel seu interès i tot seguit els presentem acompanyats d'un comentari.

**BENSEGHIR, A. et CLOSSET, J. L., 1993. Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique: points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, 2, p. 31-47.**

*Aquest treball centra el seu interès en l'anàlisi de les dificultats dels alumnes en la construcció del concepte de circuit elèctric i considera la influència dels coneixements previs sobre electrostàtica en la deficient interpretació dels fenòmens electrocinètics. L'existència d'aquestes dificultats i el recurs dels aprenents a fer servir els coneixements ja adquirits per a qualsevol situació nova resulta coincident amb el procés històric que significà l'avanç en el coneixement i comprensió dels fenòmens elèctrics que hagué de superar les primeres explicacions electrostàtiques, fins a establir la importància del circuit tancat i la necessitat de l'existència d'una diferència de potencial per a obtenir un corrent elèctric estable. L'article fa una reflexió teòrica prèvia sobre les condicions que governen el funcionament d'un circuit elèctric i l'escàs paper que hi juguen les càrregues estàtiques superficials dels pols del generador, que segons un nombre important d'alumnes explicarien l'existència de corrent. Tot seguit es fa una anàlisi històrica de la forma com sorgí l'electrocinètica i el seu alliberament progressiu de les idees electrostàtiques i de les visions substancialistes, fins a establir el model del camp elèctric i el concepte de diferència de potencial. Segueix l'anàlisi de les idees dels alumnes a partir de qüestions sobre circuits elèctrics que recorden alguns dispositius experimentals antics i la constatació de l'origen de les dificultats dels alumnes per a la correcta interpretació del seu funcionament. Les conclusions mostren que la majoria d'alumnes utilitzen les idees ja apreses en electrostàtica i les traslladen als circuits, sense donar-li importància al tancament del circuit, i verifiquen l'existència d'una espècie d'economia de pensament que mostra cert paral·lelisme històric amb la forma d'evolució de les idees científiques.*

**BIZZO, N. M., 1993. Historia de la ciencia y enseñanza de la ciencia: ¿Qué paralelismos cabe establecer? *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 18, p. 5-14.**

*La utilització dels recursos que ofereix la Història de la Ciència està condicionada per la visió que es té de la forma com s'ha produït l'evolució dels coneixements científics. L'autor d'aquest article analitza algunes deformacions que introdueix la historiografia anomenada "whiggisme", especialment en biologia, caracteritzada per la visió lineal del progrés científic, fins i tot dins del procés de maduració de les idees d'un determinat científic, la ignorància d'altres científics contemporanis i la desacreditació dels defensors contemporanis d'un científic quan no ofereixen versions acceptables des del punt de vista actual. Després de revisar les aportacions de diferents autors (Matthews, Gagliardi i Giordan, Ausubel, Kuhn,...) en defensa d'alguns avantatges que comporta un ús adequat dels aspectes històrics en l'ensenyament de les ciències, reivindica de forma explícita els arguments de Brush (1991), que es detallen en el nostre comentari d'aqueix mateix treball. L'anàlisi dels paral·lelismes entre Història i Ensenyament i algunes dificultats que planteja ocupa una part important de la reflexió, que conclou amb el suggeriment de les aportacions que el mateix ensenyament pot fer a la Història de la Ciència.*

**BODNER, G. M., 1986. Constructivism: A Theory of Knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63 (10), p. 873-878.**

*La importància del model constructivista per a entendre com es produeix l'aprenentatge s'aplica en aquest treball a la comprensió de la ciència com a activitat constructiva i a les implicacions que té aquesta visió per a enfocar adequadament el seu ensenyament. Les reflexions de l'autor parteixen de la teoria piagetiana del desenvolupament intel·lectual i comparen la visió tradicional del coneixement, basada en la perspectiva "realista" amb el model constructivista que considera la importància de l'individu en la construcció del coneixement i la posterior constatació que aquest coneixement construït funciona correctament per a interpretar els fenòmens que ens envolten. L'article també examina el paper dels errors conceptuals i dels preconceptes dels alumnes com a condicionants de les interpretacions que fan quan s'enfronten a problemes nous. El model constructivista aplicat a l'ensenyament té com a conseqüència que els estudiants s'han implicar activament per tal de produir els coneixements de forma significativa i incorporar-los als seus esquemes conceptuals, en detriment de les idees prèvies que es mostren insuficients. L'ordre lògic de presentació dels continguts per a un expert pot no ser el més adient per a l'aprenent, ja que aquest ha de percebre prèviament els problemes com a tals per tal d'implicar-se activament en la seua resolució i no sempre és capaç d'anticipar-se al que serà la seqüència completa de coneixements d'una matèria concreta. En el cas de l'ensenyament de les ciències aquesta concepció encara té implicacions més remarcables, ja que ha de partir de la percepció de la ciència com a activitat constructiva.*

**BRACKENBRIDGE, J. B., 1991. La educación de las ciencias, la Historia de la Ciencia y el libro de texto, las condiciones necesarias contra las suficientes. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 157-168.**

*La influència dels llibres de text en l'orientació de l'ensenyament de les ciències és major que en altres tipus de coneixements. Després d'una anàlisi detallada de les opinions de Kuhn en el seu conegut llibre sobre les revolucions científiques (1971), on explica de quina manera l'exposició dels nous paradigmes conceptuals impel·leix els autors a mostrar una visió que no té en compte el passat i a disfressar sistemàticament la història de la disciplina, la reflexió de l'autor de l'article es centra ara en les conseqüències que té la visió ahistòrica dels llibres de text en l'ensenyament i analitza les atribucions errònies produïdes per un tractament superficial de les aportacions dels diferents autors, especialment alguns dels més esmentats en els llibres de Física, com ara Aristòtil, Galileu i Newton. L'anàlisi més escrupolosa dels treballs d'aquests autors permet desmentir de forma categòrica les nombroses atribucions simplistes que els fan la major part de llibres de text a l'abast, per la qual cosa seria convenient incloure les fonts primàries a fi d'evitar aquesta imatge distorsionada. Això demanaria la preparació de materials adequats per a introduir el professorat en les fonts primàries que, generalment, són de difícil accés i comprensió, com ara per mitjà d'algun projecte de preparació d'estudis comentats de grans textos de ciències. L'autor remarca, finalment, com la comprensió de la història real de la Física ha potenciat de manera eficaç la seua forma d'ensenyar la ciència.*

**BRUSH, S. G., 1991. Historia de la ciencia y enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 169-180.**

*En aquest article, originalment publicat a la revista Interchange el 1989, l'autor analitza els papers que pot representar la incorporació de la Història de la Ciència a l'ensenyament i arriba a concloure que ja disposem de proves suficients que confirmen que el procediment històric causa un impacte positiu en els alumnes sense interferir amb l'aprenentatge dels continguts tècnics de la Ciència i per tant ja és hora de potenciar aquesta mena de propostes. Al·ludeix a l'important paper de la Història de la Ciència com a pont per tal que la Ciència forme part de la Cultura. Després de considerar la difusió del famós Project Physics Course durant els anys 70 i les crítiques favorables que va rebre de diferents autors, s'assenyalen algunes dificultats per a incorporar un enfocament històric, atès el paper crucial del professorat i la seua manca de formació, en general, sobre aquests temes. Finalment exposa tres arguments que fonamenten la necessitat d'una perspectiva històrica. Per una banda la ciència es planteja preguntes filosòfiques d'abast ampli que són d'interès general, algunes de les quals s'haurien generat especialment en diferents moments dels darrers tres segles. D'altra banda la investigació científica combina el descobriment de fets subjectius amb la creació de conceptes nous i l'ensenyament hauria d'aconseguir un equilibri entre aquests dos extrems, que a l'ensenyament tradicional sol decantar-se cap l'èmfasi en el descobriment, cosa que condueix al reduccionisme mecanicista. Darrerament, fa una crida a recuperar les aportacions valuoses de les dones i les minories, desconsiderades per motius socio-històrics. Per aquestes raons la Història de la Ciència pot contribuir a esmenar les deficiències que mostra l'ensenyament tradicional.*

**BUCHDAHL, G., 1993. Styles of Scientific Thinking. *Science & Education*, 2, p. 149-167.**

*El punt de partida d'aquesta reflexió es situa en la comparació entre l'activitat científica i la creació artística i la constatació que la història de la ciència és més aviat una explicació de diferents estils de pensament que no un relat lineal del progrés en el descobriment de fets naturals. L'autor analitza de quina manera contribueixen a la caracterització de l'activitat científica tres tradicions o formes d'entendre la ciència. D'una banda hi ha la tradició empirista que remarca la importància de l'observació i l'evidència experimental, completada amb les hipòtesis i les diferents maneres de sotmetre-les a comprovació. Una altra tendència s'esforçaria en trobar els fonaments racionals de la ciència i connectaria amb la filosofia. Una tercera visió destacaria la importància de la coherència global dels sistemes científics. Per a l'autor aquestes tres tradicions són facetes que aïlladament no poden explicar la vertadera naturalesa de la ciència i les considera tres components que anomena: component probatori, component explicatiu i component sistemàtic. El primer determina el suport evidencial, la probabilitat que una teoria siga acceptable. El segon determina la intel·ligibilitat o possibilitat de la teoria i el tercer la coherència racional o unicitat. La importància d'aquesta visió plural i integradora de l'activitat científica es fa palesa en la necessitat de mostrar als estudiants de ciències aquesta complexitat lluny de la imatge simplista que concep la ciència com a exploració directa de fets que esperen ser descoberts. Totes aquestes consideracions són a la base d'una proposta d'iniciació dels estudiants en la visió històrica i filosòfica de la ciència que integre els aspectes fenomenològics de la física, el significat de la seua estructura metodològica i els components històrics d'aquests dos aspectes. L'article conclou amb la presentació esquemàtica d'un projecte curricular dissenyat sota aquesta perspectiva per a la Universitat de Cambridge els anys 60, que mai no es posà en pràctica per manca de finançament, malgrat l'interès que suscità entre els estudiants.*

**BYBEE, R. W., POWELL, J. C., ELLIS, J. D., GIESE, J. R., PARISI, L. & SINGLETON, L. 1991. Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education*, 75 (1), p. 143-155.**

*Aquest article fa una aposta clara per la incorporació de la història i la naturalesa de la ciència i la tecnologia com a parts fonamentals tant en els cursos pròpiament de ciències com en l'àrea dels estudis socials, però això exigeix l'elaboració d'un esquema conceptual bàsic que permeta difondre les característiques més importants que aquesta orientació pot aportar, atès que resulta impossible dissenyar un currículum que aborde en profunditat tots aquests aspectes. Els autors constaten el creixement de referències a la comprensió de la naturalesa de la ciència en diverses propostes curriculars d'ençà dels anys 80. Això exigeix la incorporació de casos històrics que permeten il·lustrar de quina manera s'han produït els coneixements científics. Aquesta visió històrica es considera essencial per a difondre una cultura científica que arribe a tothom. Per la seua banda, els objectius que es proposen les ciències socials impliquen l'assumpció del paper predominant de la ciència a l'hora de prendre determinades decisions de caràcter social. Les connexions entre les humanitats i les ciències es fan paleses en les*



*qüestions ètiques i afloren també quan hom considera el gran impacte social de la ciència i la tecnologia en el treball, la vida i la mort de les persones. S'hi constata que malgrat les bones intencions de moltes propostes curriculars, la pràctica docent fa un ús marginal d'aquestes qüestions, cosa que es correspon amb l'escassetat de materials didàctics que recullen adequadament aquestes orientacions i les concreten en activitats. Només alguns exemples molt coneguts, com el Project Physics Course de Harvard, en són excepció. La manca de formació del professorat en aspectes d'història i filosofia de la ciència fa que, sovint, a l'hora de voler mostrar la naturalesa del treball científic es suplesca l'orientació històrica i filosòfica pel treball de laboratori. Es fa necessari, doncs, elaborar un esquema conceptual que ajude el professorat a modificar llurs hàbits docents. Aquest hauria de començar per remarcar les característiques que definirien una persona correctament alfabetitzada científica i tecnològicament, és a dir, que fos realment capaç d'entendre la naturalesa de la ciència moderna i les seues limitacions; la manera com es relacionen la ciència, la tecnologia i la societat i com han canviat aqueixes relacions en el temps; el context cultural en què s'ha desenvolupat; els aspectes creatius, afectius i ètics, en definitiva, humans, de la ciència i, consegüentment, fos capaç de prendre decisions basades en el coneixement i procediments científics i tecnològics.*

**COHEN, I. B., 1950. A Sense of History in Science. *American Journal of Physics*, 18, p. 343-359. (Reimprès el 1993 en *Science & Education*, 2 (3), p. 251-277).**

*Es tracta d'un text clàssic, completat amb una breu actualització, que ha estat recuperat amb molt bon criteri per la revista *Science & Education*, especialitzada en temes d'Història i Filosofia de la Ciència i Ensenyament de les Ciències. S'hi exposen diverses crítiques a l'ús de la Història de la Ciència que implica la tergiversació d'experiments històrics (la descoberta de l'electró de J. J. Thomson), el perill d'extraure fets aïllats del seu context històric i la interpretació dels originals sota una perspectiva actual que ignora l'evolució dels canons científics. L'autor apel·la a no refiar-se de les referències històriques superficials que trobem en molts llibres i recomana als professors més cura en l'ús d'aquestes referències. Una altra crítica que hi apareix fa esment a l'atribució d'una teoria a un sol autor, com el cas Galileu, que tothom proclama creador de la mecànica, i s'ignoren molts dels seus antecedents, entre els quals esmenta Buridan, Oresme i l'espanyol Domingo de Soto. També és notòria la visió deficient que sol presentar-se dels aristotèlics i de la seua incapacitat per acceptar la validesa dels experiments. Les crítiques fetes a alguns experiments de Galileu han estat revisades posteriorment i avui dia es reconeix la seua autoria, tot i que es manté el dubte sobre anècdotes famoses com la de la torre de Pisa. L'autor proposa algunes recomanacions com la d'acudir a les fonts originals i triar les lectures amb sentit crític. També recomana discernir entre el que sembla plausible i el que és del tot inversemblant. El cas de Galileu a la torre de Pisa, experiment públic de dubtosa credibilitat, o l'anècdota de la poma de Newton, contada per ell mateix al seu biògraf i amic el reverend W. Stukely, solen considerar-se majoritàriament en sentit contrari a la seua versemblança real. Tampoc cal jutjar amb rigor modern l'exactitud de les mesures que féu Eratóstenes ni, com també sol fer-se, determinar la precisió de la velocitat de la llum segons Roemer, magnitud que aquest no a-*

*plegà a calcular. Finalment fa algunes recomanacions sobre referències històriques fiables i alguns criteris per al seu ús correcte, com el respecte escrupolós a la terminologia emprada pels autors.*

**CUSHING, J. T., 1991. La difícil tarea de articular historia, filosofía e introducción a la física. Una perspectiva americana. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 181-187.**

*Aquest article fa una aposta clara per l'enfocament històric i filosòfic com a mitjà per tal d'acostar la ciència a tothom. L'objectiu de difondre la naturalesa corregible del coneixement humà, el científic inclòs, és generalment oblidat pels cursos de ciències. L'extracció de determinats episodis de la Història de la Física dóna a l'alumne certa visió i apreciació de la dificultat i manca de certesa absoluta que acompanya la construcció del coneixement científic i contribueix a apreciar la ciència com a activitat humana i humanitzadora. Tanmateix l'autor considera dos greus entrebancs per a dur a terme aquest enfocament històric. D'una banda, el professorat no sembla mostrar gaire interès i veu la ciència com a font única i autònoma de coneixement fiable i d'altra banda no disposa de llibres de text adequats. La majoria de llibres editats repeteixen un esquema sobrecarregat de continguts formals i durs, influïts pels criteris comercials i de difusió que condemnen a l'anonimat qualsevol proposta innovadora, com ha passat amb alguns intents fets als EUA. Davant d'això l'autor proposa trencar aqueix cercle viciós de la manca d'oferta per la poca demanda, ja que la perspectiva històrica pot ajudar a produir ciutadans normals que compreguen els principis de la ciència i en tinguin una imatge més realista de la construcció dels coneixements científics, alhora que es forme un cos de científics joves que aprecien les profundes implicacions filosòfiques que té la ciència per a la visió que la humanitat té del món.*

**FURIÓ, C., 1994a. Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), p. 188-199.**

*La formació del professorat és un tema clau per tal d'aconseguir un ensenyament de les ciències més eficaç que siga capaç de superar les nombroses deficiències del model de transmissió verbal que la investigació didàctica ha revelat. L'aparició d'un nou model d'ensenyament aprenentatge exigeix una estratègia diferent en la preparació del professorat. Quan es considera què ha de saber un professor per a dur endavant una tasca correcta apareix en primer lloc el domini de la matèria que ha d'impartir, tanmateix es tracta de quelcom més que un seguit de continguts, cal que el professor adquireisca un esquema conceptual de la disciplina que li permeta adoptar les estratègies d'aprenentatge més adequades per a resoldre els problemes amb què s'ha d'enfrontar com a docent. Això significa, segons les recomanacions del grup d'Història i Filosofia de la Ciència de la V Reunió Llatinoamericana d'Educació en Física de l'any 1993, conèixer aspectes com ara la naturalesa del coneixement científic, una millor comprensió dels conceptes i teories, comprendre els obstacles epistemològics i possibles dificultats dels alumnes i tenir una concepció de la ciència com a tasca col·lectiva i històrica tot considerant les relacions amb la tècnica, la cultura i la societat. Una altra línia que ha de mostrar la seua eficàcia per a millorar la formació del professorat s'encaamina a qüestionar les idees prèvies que circulen entre el col·lectiu docent sobre la*

*naturalesa mateixa de la seua comesa. Les influències rebudes tot al llarg de les diferents etapes de la seua formació humana i professional condicionen una visió determinada de l'activitat docent. La seua visió de la naturalesa dels coneixements científics també se'n ressent i predomina la visió empirista-inductivista i científista que es caracteritzen per la seua resistència al criticisme i a no acceptar les conclusions tretes de la història i la sociologia de la ciència. Amb aquests pressupòsits l'article es centra en la crítica de la formació que habitualment s'imparteix als futurs professors que no s'adequa en absolut a les necessitats que com a professional haurà de resoldre, ja que no es distingeix de l'ensenyament impartit als futurs científics, ni en extensió i superficialitat, ni en el format expositiu, la forma de resoldre els problemes o l'ús de material sofisticat en pràctiques de laboratori de caràcter verificatiu. La formació incidental per mitjà de cursos posteriors a la incorporació a l'activitat docent no aconsegueix cap canvi significatiu en la pràctica docent, per això es fa necessari abordar quins coneixements teòrics sobre l'aprenentatge de les ciències i quines tècniques ha de dominar el professor per a ser capaç de posar en pràctica de forma eficaç tot allò que la creixent investigació en didàctica de les ciències ha aplegat a establir com a nous coneixements coherent basat en el model constructivista d'ensenyament aprenentatge. La proposta contempla abordar la pràctica docent com a tasca que implique preparar i avaluar programes d'activitats per a dirigir el treball dels alumnes, debatre la seua eficàcia en l'equip docent i compartir els coneixements adquirits per mitjà de la interacció amb d'altres equips docents, en definitiva, transformar la professió en un projecte d'investigació permanent d'innovació didàctica, la qual cosa demana orientar la formació del professorat com a preparació activa per a la investigació i innovació educatives.*

**GALDABINI, S. & ROSSI, O., 1993. Using Historical Papers in Ordinary Physics Teaching at High School. *Science & Education*, 2 (3), p. 239-242**

*Les autores d'aquest treball presenten una experiència d'utilització de textos històrics originals en classes de física de nivell secundari. L'estratègia que utilitzen consisteix a revisar allò que diuen els llibres de text habituals sobre determinades contribucions històriques a través del recurs als autors originals al·ludits, per a després tornar al llibre de text. S'hi consideren les limitacions d'estil que implica la confecció dels llibres de text i la seua intenció de presentar la ciència dita "normal". Per contra, els textos originals gaudeixen de la riquesa històrica i estan connectats amb el seu context, de manera que hi abunden els elements que permeten un tractament més temàtic. El retorn al llibre de text permet fer-se una idea diferent de la ciència que hi apareix condensada i descontextualitzada. L'exemple que descriu l'article és la coneguda experiència d'Oersted que habitualment es presenta com a origen històric de l'electromagnetisme. Els alumnes entren en contacte amb els treballs del físic danès a través d'un article seu del 1820, la lectura del qual es duu a terme de forma guiada per a estimular la reflexió sobre els passos que seguí Oersted en les seues investigacions. Un detall que s'hi remarca és la claredat i senzillesa del llenguatge emprat en la descripció de fenòmens nous que l'autor vol que siguin ben compresos pel lector, contràriament al que sol creure's quan hom s'enfronta amb un text original. La nova visió crítica dels detalls incomplets i fins i tot erronis que mostra el llibre de text permet als alumnes fer-se una idea diferent de la ciència i comprendre que hi ha moltes ma-*

*neres d'aproximar-se a un problema científic i diversos esquemes conceptuals alternatius poden estar en pugna al mateix temps durant l'evolució de la ciència.*

**GASKELL, P. J., 1992. Authentic science and school science. *International Journal of Science Education*, 14 (3), p. 254-272.**

*La imatge de la ciència que tenen els alumnes sol ser motiu de preocupació per a molts investigadors en didàctica de les ciències. De fet es tracta d'un objectiu força habitual en diferents propostes curriculars: presentar una imatge més autèntica de la ciència, tal com assenyalen les directrius del Consell per a la Ciència del Canadà (1984). Per a l'autor d'aquest treball, això seria més factible a través de la inclusió en el currículum de ciències de la història de la ciència i la tecnologia i llurs relacions, juntament amb la reflexió sobre la naturalesa del coneixement científic. Les deficiències que s'observen actualment poden ser atribuïdes, d'acord amb autors com Hodson (1988), a la visió inadequada de la ciència que tenen els mateixos professors i a la confusa filosofia de la ciència implícita en molts currículums de ciències actuals. Els anys 60 s'incorporaren diversos continguts d'història, filosofia i sociologia de la ciència a la formació dels professors que semblaren tenir poc o cap efecte sobre la seua pràctica a l'aula. Sembla que hi ha d'altres factors que influeixen a l'hora de mostrar una imatge determinada de la ciència. Podríem dir que hi ha una ciència escolar, conformada no només per l'actuació del professorat, sinó més aviat fruit d'una creació social, condicionada per diferents factors que hi tenen quelcom a dir, des de la perspectiva dels mateixos estudiants, a la influència dels pares, la comunitat científica i fins i tot els interessos de la indústria, etc., que generen una demanda de formació que tendeix a prioritzar diversos aspectes del coneixement científic que, al seu parer, haurien de ser tinguts en compte. Com ara, els científics universitaris consideren que l'ensenyament secundari s'hauria d'encaminar a la preparació dels alumnes per quan apleguen a la universitat. Per això, la relació entre la ciència escolar i les idees sobre la ciència de filòsofs, sociòlegs, historiadors, científics o professors de ciències és problemàtica. Les propostes d'una ciència escolar més autèntica que contemple aspectes històrics, socials i filosòfics, competeixen amb la tendència a mostrar la utilitat dels coneixements apresos, els beneficis de la ciència i la tecnologia i la seua importància per al creixement econòmic i la millora de la competitivitat. La incorporació d'una visió més contextualitzada de la ciència també ha trobat la resistència de molts professors que argüïen que això no era realment ciència i, fins i tot, algunes universitats han plantejat objeccions per a reconèixer el nivell acceptable d'aquesta mena d'enfocament a l'hora d'admetre els alumnes. La preocupació d'alguns professors de física es centra també en les dificultats per a avaluar certa mena de continguts, com ara el que consideren aspectes de lliure opinió, habituats com estan a valorar "veritats" inqüestionables. Una darrera preocupació expressada per l'autor d'aquest article és l'escàs interès que mostra el sector universitari, que influeix en molts professors, en la incorporació d'aquests aspectes a llurs classes de ciències.*

**GAUDILLIÈRE, J. P., 1994. Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxigène, de l'étude de controverse à la replication pédagogique. *Aster*, 18, p. 183-215.**

*Es tracta d'un extens article on es fa una anàlisi exhaustiva del paper que pot jugar la utilització de les controvèrsies i les dificultats que implica la replicació*

*d'experiències històriques traslladades, sense més, al laboratori escolar. La crítica es centra en la replicació de l'experiència de la calcinació del mercuri i la reducció de la seua calç practicada per Lavoisier i la presentació d'aquesta com a crucial per a desautoritzar els partidaris del flogist, entre els quals hi havia el químic anglès Priestley. Ben al contrari, la proposta de l'autor es dirigeix a aprofitar els conflictes socio-cognitius subjacents en l'aprenentatge a partir de materials històrics però posant l'èmfasi en el caràcter creatiu de l'activitat científica i el seu context socio-cultural. Les reflexions de l'autor el menen a preguntar-se què ens pot ensenyar la història de la química sobre l'existència de les anomenades reaccions químiques. La història hauria de revelar la complexitat del procés de consolidació dels coneixements i aprofitar les analogies entre les idees espontànies de fa segles i les actuals, sense caure en simplificacions. Diversos treballs esmentats per l'autor confirmen que algunes idees dels alumnes per a explicar les combustions recorden hipòtesis antigues, com la de les afinitats, però també s'hi interfereixen les idees de la química moderna i el paper de l'oxigen és conegut per molts alumnes. Aquestes idees es mostren persistents en la mesura que formen esquemes conceptuals alternatius construïts pels alumnes, que només poden ser superats gràcies a l'aparició de conflictes cognitius. Així, doncs, les controvèrsies històriques poden ajudar-nos a explicitar alguns d'aquests conflictes i arribar a superar-los. Tot seguit, s'exposen els principals treballs de Priestley i Lavoisier per tal de conèixer amb detall en què consistia la seua diferent interpretació de les reaccions de combustió, per a concloure que l'arrel de les seues diferències és més aviat de tipus cultural i metodològic i no procedeix de cap experiència crucial. Ací és on el tractament històric pot intervenir de forma adequada. S'hi comparen, doncs, dues propostes diferents d'utilització de la història. D'una banda hi ha l'ús selectiu i descontextualitzat, com pot ser el que es limita a quatre detalls (textos, imatges...) sense cap relació amb el que fan els alumnes, i la replicació d'una experiència amb la distància que suposa conèixer la interpretació moderna dels seus resultats, cosa que tergiversa el sentit original de l'experiment. D'altra banda, s'exposa un aprofitament de la controvèrsia Priestley/Lavoisier integrat en la pedagogia del descobriment, que inclou des de la recerca documental a la realització d'experiències semblants a les de Priestley, però sense manipular-les, passant per la producció d'interpretacions i hipòtesis per part dels alumnes. Així, el plantejament de la controvèrsia a classe i la guia del professor permet centrar-se en els punts febles de l'explicació flogística (una volta mostrada la importància del control de la massa en els canvis químics), de manera que els alumnes poden seguir el procés d'abandonament de les idees flogístiques. Aquest interessant article continua amb una anàlisi minuciosa del que avui sabem sobre les vertaderes diferències metodològiques i socials entre els dos autors en conflicte. Amb això explicita la complexitat de les experiències reals que feren Priestley i Lavoisier i la manca d'evidència directa, i per tant de crucialitat, en la interpretació dels resultats. Els objectius més pragmàtics de Priestley, que estudiava els diferents tipus d'aires amb finalitats mèdiques i comercials, units a una forma de treball més artesana i casolana, contrasten amb la posició més racionalista de les investigacions de Lavoisier, mogudes per l'afany de millorar l'obtenció del salnitre per a produir pólvora, i recolzats per una metodologia sistemàtica. Açò revela un primer contrast metodològic entre ambdós, al que cal afegir les diferències de tipus socials, atès que Priestley procedia d'un entorn més modest que Lavoisier, recolzat aquest per les institucions monàrqui-*

ques de l'Antic Règim. La diferent visió del valor de les experiències farà dubtar a Priestley de la validesa dels treballs de Lavoisier que considera fonamentats en pocs experiments. Hi preval l'empirisme anglès de caràcter pragmàtic i un cert aire populista enfront de la jerarquitzada societat francesa que compta amb savis "professionals". Tot plegat, la querella del flogist i de l'oxigen reflecteix el contrast entre la societat civil dels principis de la revolució industrial anglesa i el moviment enciclopedista de la fi de la monarquia absoluta francesa. L'article conclou amb l'enumeració de tres tipus d'objectius: epistemològics, de cultura i metodologia històrica i de cultura científica, que pot acomplir l'ús de la història. Entre els primers, destaca l'obtenció d'una imatge menys inaccessible de la ciència i la seua concepció com a procés de construcció i el reforç de la capacitat crítica que mostra la ciència com un procés complex i ric en controvèrsies i negociacions. Entre els objectius culturals, permet mostrar les diferents societats que conviuen en una època i llur visió de l'activitat i el paper dels científics, així com el tractament de textos científics com a documents històrics. Finalment, s'hi posen en joc les habilitats pròpies de la ciència com l'emissió d'hipòtesis, realització i interpretació dels experiments i es mostra la coherència de les idees actuals, a partir del conflicte entre aquestes i les nocions prèvies que normalment comparteixen els alumnes.

**GIL, D., 1993. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), p. 197-212.**

Centren l'interès d'aquest treball les aportacions que pot fer la història i la filosofia de la ciència per tal de superar les limitacions que mostra l'ensenyament de les ciències per descobriment, una vegada superat el paradigma de l'aprenentatge per recepció a causa de la seua provada ineficàcia per aconseguir un aprenentatge vertaderament significatiu. Ens trobem davant un estadi de desenvolupament de la didàctica de les ciències en què cal explorar aquest vessant històric i epistemològic a fi d'explicitar quin paper pot jugar la història i la filosofia de les ciències en la construcció d'un cos de coneixements didàctics. L'article fa una anàlisi de les deficiències mostrades tant pel model d'aprenentatge per descobriment com per la consegüent tendència a retornar al model de recepció significativa i trencar amb la idea d'acostar als alumnes la forma de treballar dels científics. Per contra, segons l'autor, aqueixes deficiències han servit per a reestructurar els models d'ensenyament de les ciències sota una perspectiva constructivista que mena, més aviat, a aprofundir en la naturalesa del treball científic. Es tracta de dissenyar estratègies que contempen l'aprenentatge com a canvi conceptual, de manera que s'hi puguin elicitar les concepcions prèvies dels alumnes, hi haja lloc per a una reestructuració d'idees, amb la creació de conflictes cognitius que generen insatisfacció amb aqueixes idees i, finalment, que hi haja una aplicació que permeta als alumnes d'usar les noves idees en diferents contextos i adonar-se de la seua eficàcia per a resoldre noves situacions problemàtiques. Tanmateix les propostes de canvi conceptual tenen la limitació bàsica de no contemplar l'exigència d'un canvi metodològic, que històricament va contribuir de forma primordial a la superació de moltes idees ancestralment arrelades que mostraven fortes resistències a ser superades, cosa que d'alguna manera també s'esdevé en els alumnes. Però encara hi ha una altra limitació, la necessitat de considerar les

*situacions d'aprenentatge com a situacions problemàtiques obertes, de manera que es tinguen en compte els components actitudinals i d'interès dels alumnes. Tot plegat, un nou model d'aprenentatge que contemple la superació de les deficiències dels models anteriors significa plantejar-se aquest procés com a investigació, de manera que els alumnes puguin participar en la construcció de coneixements per mitjà del tractament de situacions obertes que tinguen interès per a ells. Els alumnes hi jugarien un paper semblant al dels investigadors novells, que de cap manera mamprenen una tasca solitària sinó que són ajudats pels experts, en aquest cas els professors, que haurien de dissenyar les situacions d'aprenentatge més adequades als objectius d'aconseguir un canvi conceptual, metodològic i actitudinal. Això s'hauria d'encaminar a superar algunes concepcions errònies sobre la naturalesa de la ciència que poden ser transmises per l'ensenyament de les ciències, com ara la visió empirista i atèdrica, la visió rígida o algorítmica, la visió aproblemàtica i ahistòrica (dogmàtica), la visió exclusivament analítica, la visió acumulativa i lineal, la visió de "sentit comú", la visió elitista, la visió individualista i la visió descontextualitzada i socialment neutra. Tot això demana la incorporació de tots els elements que enriqueixen un procés d'investigació (no sols el treball experimental) i la transformació de les activitats fonamentals d'aprenentatge per tal que esdevinguin ocasions de construcció de coneixements. L'autor proposa un esquema d'anàlisi amb els aspectes que caldria incloure en un currículum de ciències per tal d'afavorir la construcció de coneixements científics per mitjà de programes d'activitats oberts a la reformulació constant per a millorar la seua eficàcia, cosa que en darrer terme implica també la concepció de l'activitat docent com un procés d'investigació obert on participe el professorat de forma col·lectiva: des de la preparació de les classes fins a l'avaluació i contemple la implicació en tasques obertes i creatives, la difusió d'experiències innovadores i els intercanvis entre grups de professors.*

**GUILBERT, L. et MELOCHE, D., 1993. L'idée de science chez des enseignants en formation: un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions? *Didaskalia*, 2, p. 7-30.**

*En aquest treball de les professores Louise Guilbert i Danièle Meloche es relata la investigació duta a terme amb un grup d'estudiants de ciències, futurs professors d'aquestes matèries, al voltant de la seua visió de la naturalesa de la ciència. Es tracta d'una investigació amb mètodes qualitatius, centrada en la categorització de les diverses idees exposades durant les entrevistes-col·loqui que han dut a terme els estudiants en diferents grups. La hipòtesi més destacada del treball consisteix a considerar fins a quin punt la deficient formació d'aquests futurs professors en aspectes d'Història de la Ciència pot influir en la imatge heterogènia de les característiques de l'activitat científica que mostren en llurs respostes. L'article fa un repàs de les diferents investigacions didàctiques que han abordat la imatge de la ciència dels alumnes i dels professors en actiu i constata que molt poques s'han ocupat dels professors en formació. Després de descriure el protocol metodològic de la investigació, l'article centra el seu interès en narrar les diferents visions que permeten caracteritzar la idea de ciència que manifesten els estudiants. Hi destaquen la visió de la ciència com a mètode, influïda per l'empirisme ingenu, la visió acumulativa dels coneixements científics i el caràcter de descobriment de l'activitat científica, unida al realisme i creença en la recerca de*

veritats objectives, a base de perfeccionar gradualment les teories existents que ja s'han provat i s'han establert de forma definitiva. Globalment, els aspectes relacionats amb la naturalesa de la ciència estan impregnats d'una imatge empirista de la ciència. D'altra banda hi ha els aspectes contextuais i les relacions entre la ciència i la societat, la competitivitat i la cooperació o l'objectivitat dels coneixements científics. En aquests aspectes els estudiants que participen a la investigació manifesten una estranya dicotomia, ja que conclouen que la ciència és, efectivament, objectiva, però els que fan la ciència no ho són pas d'objectius. Les autores centren la seua reflexió al voltant de la seua hipòtesi principal: el coneixement deficient de la Història de la Ciència potser explica, en part, les dificultats dels estudiants per a resoldre aquestes incoherències. La crítica d'una visió històrica superficial, centrada en els aspectes hagiogràfics, potser explica la dualitat que mostren els estudiants en considerar les diferències entre la ciència d'abans i l'actual, segons les quals, antigament hi havia més facilitats per a "descobrir" coses noves, perquè encara no se'n sabien tantes com avui dia, llavors l'atzar també podia ajudar al científic, era cosa de ficar-s'hi a treballar. Aquesta visió idealitzada i dual de la ciència antiga i la moderna, que s'ocuparia bàsicament de perfeccionar coses ja molt sabudes, segons les opinions dels estudiants, s'explica per una formació deficient en Història de la Ciència. L'article conclou amb la discussió dels resultats obtinguts i l'anàlisi del paper que podria jugar la incorporació d'una història de la ciència de caràcter global i contextual, que tingués en compte els aspectes socials, als quals caldria afegir el respecte als estadis de desenvolupament cognitiu que, segons les autores, també contribueix a canviar la visió deficient de la ciència que manifesten molts alumnes i professors.

**HERZENBERG, C. L., MESCHEL, S. V. & ALTENA, J. A., 1991. Women Scientists and Physicians of Antiquity and the Middle Ages. *Journal of Chemical Education*, 68 (2), p. 101-105.**

Es tracta d'un recull interessant d'algunes dones científiques que va des del passat remot fins a l'època medieval, en contra de l'opinió estesa que només hi ha dones científiques conegudes en èpoques més recents de la història, quan la dona s'ha incorporat amb normalitat als diferents camps del treball intel·lectual i científic. Les autores i l'autor exposen la dificultat de trobar documentació inequívoca que constata l'activitat científica de les dones a l'Antiguitat, però hi ha nombroses evidències indirectes. Els casos més ben documentats a què es refereix l'article són aquells dels que, com a mínim, hi ha referències onomàstiques. El nom més antic que esmenten és la metgessa egípcia Merit Ptah (aprox. 2700 a. C.), un retrat de la qual es conserva a la Vall dels Reis, que es considera hereva d'una tradició antiga de dones dedicades a la medicina i la cirurgia, especialment en malalties pròpies del seu gènere. També esmenten la reina i metgessa Hatshepsut de la dinastia XVIII. Entre les taules cuneïformes de Babilònia apareix la primera dona dedicada a les ciències físico-químiques: Tapputi-Belatikallim, que desenvolupà la tecnologia de la fabricació de perfums cap al 1200 a. C. També es refereixen a les dones que participaren a l'escola pitagòrica de Samos, entre les quals destaca, com a matemàtica i metgessa, Theano, esposa de Pitàgores. Altres dones dedicades a la ciència en la Grècia clàssica foren Aspàsia de Milet, Arete de Cirena i Artemísia de Cària. De l'època helenística destaquen l'alquimista Maria la Jueva (s. I), que dissenyà nombrosos aparells i tècniques de manipulació



*de substàncies, a qui sembla que devem el "bany maria", i l'astrònoma i matemàtica Hipàtia d'Alexandria (s. IV) que dirigí la famosa biblioteca d'aqueixa ciutat. De l'època medieval destaquen, entre d'altres, les referències a la monja Hildegard de Bingen (s. XII), que escriví una compilació d'obres que integrava la medicina galènica amb els remeis populars i també obres d'astronomia. A Itàlia era famosa Trotula de Salern (s. XII), autora d'un tractat sobre malalties femenines. Crida l'atenció el fenomen de les nombroses metgesses jueves, conegut a través del control del pagament d'impostos, de les quals destaca, al segle XV, Sara de Würzburg. La competència professional li ocasionà problemes a Jacobina de Felice que exercí de metgessa a París (s. XIII) amb un èxit tan gran que despertà l'enveja dels membres de la facultat que li recriminaven la seua manca de formació acreditada. La petita però ben documentada mostra de dones dedicades a la ciència en temps passats és un al·licient per a continuar la recerca en un món encara per explorar en profunditat i que segurament reserva nombroses sorpreses.*

**HODSON, D., 1994. Seeking directions for change. The Personalisation and Politisation of Science Education. *Curriculum Studies*, 2 (1), p. 71-98.**

*L'article planteja el tema de les finalitats de l'educació científica i la manera de disposar els mitjans per tal d'aconseguir-les. Aquestes finalitats sovint es donen per suposades i el problema es desvia cap a les tècniques que permeten aconseguir-les. L'àmbit anglosaxó, d'on procedeix aquest treball, dóna molta importància a la tecnologia, pel fet que s'hi imparteix juntament amb les ciències, per la qual cosa les seues propostes concretes són difícils de traslladar al nostre entorn. Pel que fa al contingut de l'article cal destacar la crítica a l'ensenyament acadèmicista dirigit a alumnes de nivell elevat i el fet que s'ignoren aspectes tecnològics, polítics i ambientals. Tot això, segons l'autor, explica l'interès descendent pels estudis de ciències detectat entre les xiques i les minories ètniques i l'actual situació general d'analfabetisme científic. L'aposta per una societat més justa i democràtica requereix, al seu parer, una educació científica i tecnològica per a tothom, alhora que es garanteix la preparació dels estudiants com a futurs científics i tècnics. Açò només és factible si l'ensenyament de les ciències integra els tres elements següents: aprendre, fer i aprendre sobre ciència i tecnologia, alhora que s'inclou la personalització i la politització de l'educació científica. La personalització es relaciona amb la idea que aprendre és un procés actiu, on els qui aprenen han de reconstruir el procés de comprensió a partir de les pròpies experiències i no per allò que els diga el professor. La politització demana la connexió amb el context social que proporcione l'adequada motivació, absent dels enfocaments abstractes i descontextualitzats, de manera que els alumnes puguin construir problemes significatius i intel·ligibles per a ells. Aquesta tasca es faria palesa en la mesura que els estudiants puguin adonar-se de l'impacte social del canvi tecnològic i científic, reconeguen que les decisions sobre ciència i tecnologia responen a interessos particulars, desenvolupen opinions, punts de vista i valors propis i, el que culminaria el procés, es preparen per a l'acció i exercesquen com a ciutadans conscienciats i actius.*

**IZQUIERDO, M., 1996. Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 8, p. 7-21.**

*Aquest article proposa una reflexió sobre la tasca dels ensenyants de ciències a partir de la discussió sobre la imatge que tenen aquests i el paper que poden accomplir les noves aportacions de la història i la filosofia de la ciència sobre la naturalesa d'aquesta mena de coneixement, un cop superada la temptació cientifista, i per mitjà d'una visió més completa on es mostren les relacions entre la ciència i la cultura i entre la ciència i els valors. La reflexió s'emmarca en la concepció del professor o professora "ideals" que conceben la tasca docent amb un caràcter obert a la investigació permanent, més enllà de la pura transmissió de coneixements. Per a explicar el canvi de model docent l'autora fa servir la metàfora del llibre i la del diàleg. Segons la primera, la ciència que hem d'ensenyar és allò que conté un o més llibres que tot el que podem fer és rescriure'ls o actualitzar-los. Tanmateix una visió innovadora que es proposa l'aprenentatge significatiu s'assemblaria més a un procés de diàleg obert i permanent amb l'entorn natural on vertaderament es troben els coneixements que formen part d'un procés creatiu obert que no es deixa constrènyer per les pàgines tancades d'un llibre. La complexitat de la nova tasca proposada és evident i la incorporació dels aspectes històrics i epistemològics pot contribuir a fer-la més assequible. Aquesta visió més dinàmica de l'ensenyament requereix del professorat un coneixement més ampli sobre la naturalesa de la ciència com a diàleg amb el món per mitjà de preguntes tant interessants com: ¿per què volem conèixer el món? ¿com connecten els experiments i les teories? ¿les ciències ens diuen alguna cosa sobre el món real? ¿com canvien les teories? Es tracta d'una reflexió al voltant de l'objectiu, mètode, teories i racionalitat de la ciència. Sota la perspectiva d'un model constructivista es pot respondre que cal un model de ciència que aprofite per a impartir classe i per a investigar en didàctica de les ciències que estaria impregnat d'una reflexió històrica, filosòfica i didàctica. Un altre aspecte que s'hi aborda és la necessitat de comprendre adequadament el llenguatge amb què es construeix el coneixement científic i la importància d'estimular l'expressió de les idees dels alumnes amb llur llenguatge propi per tal d'acostar-lo al llenguatge dels científics. L'aproximació a la història de la ciència s'ha de fer a partir de la consideració que es tracta d'una doble aportació: la creació particular dels científics i el consens socials que implica les institucions, la tecnologia, els instruments disponible i els estats d'opinió. La comparació entre els casos de Karl Scheele i Antoine Lavoisier serveix d'exemple per a il·lustrar en quina mesura el coneixement de la història de cadascun d'ells, del seu entorn social i intel·lectual i dels problemes que tractaren de resoldre pot ajudar els alumnes a comprendre el caràcter humà de la ciència i fer que la senten més pròxima a ells. Finalment, s'hi exposa la necessitat d'un enfocament interdisciplinari que permeta d'abordar el currículum des d'una perspectiva didàctica, històrica i filosòfica, amb la concreció d'algunes conseqüències directes sobre el disseny curricular. Les perspectives que planteja aquest article es concreten en diverses línies de treball com ara sobre els nous models d'intervenció docent i de ciència escolar, l'elaboració i validació de nous recursos per a l'aula amb un enfocament històric, la investigació sobre el llenguatge, la investigació sobre l'ensenyament de les ciències i les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat.*

**JENKINS, E. S., 1996. "Beyond the Seventh Fold": A Historical Account of a Natural Product Chemist. *Science & Education*, 5, p. 31-49.**

*Aquest treball parteix de la crítica a la visió parcial de la ciència que es mostra quan només es fa referència a les grans figures i s'obliden les contribucions fetes per col·lectius minoritaris, en aquest cas per motius racials. Per tal d'explicitar la importància de modificar aqueixa visió tergiversada i mostrar la riquesa de moltes aportacions fetes a la ciència per persones d'origen divers, l'autor presenta una exhaustiva referència biogràfica sobre la figura de Percy Lavon Julian (1899-1975), químic afro-america que desenvolupà una fructífera labor i contribuí de forma destacada a l'avanç en el coneixement de la química dels productes naturals. L'anàlisi dels múltiples factors que condicionen el desenvolupament d'una vocació científica com la de Percy Julian i els nombrosos i injustos entrebancs que trobà per causa del seu parentiu racial serveixen d'il·lustració de les relacions entre la ciència i la societat. Després d'una llarga etapa de formació, que inclogué els seus treballs de doctorat a Viena amb el professor Ernst Späth, el millor especialista en alcaloides de l'època, Percy Julian pogué desplegar el seu potencial creatiu en la indústria dels derivats de la soja, després de ser reiteradament rebutjat per diverses universitats per motius racials. Entre algunes de les seues contribucions més remarcables hi ha un precursor de la cortisona, la substància S, que féu baixar el preu de la fabricació de la cortisona de forma espectacular. Arriscant els seus estalvis, l'experiència a la indústria el menà a crear els seus propis laboratoris que estengué a Mèxic i Guatemala. Entre els trets que destaca l'autor del treball sobre aquest personatge hi ha el seu interès per mostrar la utilitat de la química per a millorar la societat i el seu destacat humanisme, que corrobora amb la seua constant recurrència a la literatura i la seua identificació amb un poema, que s'esmenta en el títol de l'article, com a metàfora del que significà la seua lluita per dur endavant la seua vocació científica, més enllà de tota dificultat. Entre les implicacions d'aquesta reflexió l'autor destaca l'obvietat que el talent científic no coneix fronteres de raça o classe social, ni influències de gènere, cultura o nació d'origen, per la qual cosa considera que tothom ha de tenir les mateixes oportunitats i cal reconèixer les contribucions dels grups minoritaris.*

**JENKINS, E. W., 1990. The history of science in British schools: retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 274-281.**

*La preocupació pel paper que ha tingut tradicionalment la història de la ciència a l'ensenyament de les ciències a les escoles britàniques i les noves perspectives que obren els projectes de reforma educativa centren l'interès de l'autor d'aquest article. S'hi constata l'escassa presència de perspectiva històrica, malgrat l'existència de nombroses iniciatives que es remunten fins a l'any 1855. També es constata la imatge impersonal i deshumanitzada de la ciència que mostren els llibres de text, segons han palesat diversos treballs duts a terme els anys 80. Entre els avantatges que pot comportar un enfocament històric hi ha, primerament, la presentació d'una imatge més humanitzada de la ciència en un context on l'ensenyament científic està deshumanitzat. Una altra consideració és l'aportació de la història de la ciència a la construcció d'un terreny comú entre els especialistes de ciències i de lletres. Finalment, no és menys important la contribució de la histò-*

*ria al millor coneixement de la mateixa naturalesa de la ciència. Aquest treball fa una crítica a la preponderància donada a les pràctiques de laboratori per a mostrar la naturalesa del treball científic i reivindica la consideració d'un nou enfocament que tinga en compte les aportacions de la història i la sociologia de la ciència per tal de millorar la visió dels alumnes del procés d'evolució dels coneixements científics, tal com demanen els objectius proposats pels documents que materialitzen les reformes curriculars britàniques de l'any 1989.*

**JENKINS, E. W., 1994. HPS and school science education: remediation or reconstruction? *International Journal of Science Education*, 16 (6), p. 613-623.**

*La incorporació d'aspectes d'història, filosofia i sociologia de la ciència a l'ensenyament de les ciències depèn de la conscienciació de la comunitat docent sobre dues qüestions bàsiques: la presa de consciència sobre la situació actual de l'empresa científica i la importància concedida als beneficis pedagògics que pot aportar aquest nou enfocament. Al parer de l'autor d'aquest article, les contribucions de la història, la filosofia i la sociologia de la ciència s'haurien de contemplar sota la perspectiva de la lluita per definir un ensenyament de les ciències assequible per a tothom que pugui formar els joves en tant que ciutadans. L'article aporta diversos arguments a favor d'un enfocament HFS (històrico-filosòfico-sociològic) a l'ensenyament, entre els quals hi ha el paper humanitzador de les ciències, la vinculació entre les "dues cultures" i la millor comprensió de la naturalesa del treball científic. A aquests arguments ja reivindicats de fa temps, s'afegeixen qüestions com la necessitat de difondre una imatge pública de la ciència que siga comprensible, ja que altrament es corre el perill que en un futur es veja restringida l'activitat científica si no clarament marginada. En resum, reivindicar un estatus que contemple la ciència en la seua justa mesura. D'altra banda, sembla que la major preocupació per introduir un enfocament HFS a l'educació científica s'haja dirigit a reparar deficiències circumstancials de la formació científica, amb la qual cosa aquests arguments poden perdre el seu valor una volta assolits els objectius desitjats. El treball analitza també alguns obstacles per a la incorporació de nous aspectes al currículum, entre els que destaquen les mateixes expectatives que mostren els alumnes i els professors sobre el que es suposa que ha de ser un curs de ciències. També hi ha les dificultats en l'avaluació del progrés dels coneixements dels alumnes en aquests nous aspectes que demanen instruments d'avaluació nous. Les diferents visions de la ciència que implica un tractament HFS, amb el contrast entre la consideració de l'activitat científica com a creació col·lectiva o com a descoberta de fets objectius, representen també una dificultat. Les propostes de solució van en tres direccions. Primer cal considerar la transformació que ha experimentat el paper de la ciència en la societat actual. D'altra banda cal tenir en compte la naturalesa i l'estatus del mateix coneixement científic. Finalment cal abordar la vinculació entre l'educació científica i els valors, la qual cosa es relaciona amb les dues idees anteriors. L'ensenyament de la ciència s'ha de preocupar de l'educació de tothom, i no només d'una minoria orientada a la professió científica, i d'aquesta manera ha de mostrar als estudiants allò que la ciència ha aportat com una de les fites més reeixides de la humanitat en la comprensió del món.*

**KAMSAR, J. W., 1987. Utilizing a Historical Perspective in the Teaching of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (11), p. 931(a)-932.**

*La preocupació per considerar la química com a part de la cultura i per aprendre del passat motiva l'autor d'aquest article a defensar el paper de la història de la química per tal de presentar aquesta ciència com una empresa humana. S'hi reivindica la presència de la història de la química i de les altres ciències en els continguts d'humanitats i ciències socials, per a palesar la contribució de les diferents aportacions històriques al desenvolupament de la nostra civilització des dels temps dels alquimistes. La faceta humana de la ciència i l'aportació de la perspectiva històrica per a crear en els estudiants una ment més oberta poden ser unes altres contribucions positives, juntament amb la millora de la comprensió dels conceptes estudiats. Adonar-se dels motius de l'escassa presència femenina entre les contribucions més destacades pot encoratjar la implicació de les dones en la ciència actual. L'orientació històrica pot, en definitiva, aportar una mica més d'al·lè de vida als estudiants d'altres especialitats interessats pel paper actual de la química i pot contribuir a ensenyar-los a pensar de forma crítica i creativa, de manera que cresca en la nostra societat el nombre de ciutadans alfabetitzats científicament.*

**KAUFFMAN, G., 1987. History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (11), p. 931(b)-933.**

**KAUFFMAN, G., 1989. History in the Chemistry Curriculum. *Interchange*, 20 (2), p. 81-94.**

*Aquests articles del professor George Kauffman, col·laborador habitual de la revista *Journal of Chemical Education*, són una mostra breu de la seua llarga trajectòria com a ensenyant de química preocupat per la utilització de la història de la ciència en les seues classes. Comentarem amb més detall el segon dels esmentats, atès que sembla un treball més ampli on desenvolupa diverses idees que també apareixen en el primer. Hi exposa la seua preocupació per la visió distorsionada de la química que es mostra quan s'oblida la perspectiva històrica. És coneguda una certa tradició entre els químics d'escàs interès per la història de la seua disciplina, comparats amb d'altres científics, que contrasta amb alguns exemples agafats de la mateixa història, com el químic August Kekulé que dedicà molt de temps a llegir els clàssics, abans de fer les seues aportacions originals. L'enumeració dels avantatges i dificultats que comporta l'ús de la història ocupa la resta del treball. Entre els avantatges cal remarcar el paper de la història com a nexa entre les dues cultures, en consonància amb d'altres autors (Kamsar 1987; Jenkins 1990, 1994; Nielsen i Thomsen 1990); el seu caràcter motivador per als estudiants; la visió crítica del mètode científic i la seua suposada universalitat; la crítica de la imatge deshumanitzada de la ciència; la visió diferent de la naturalesa de la ciència i el caràcter dels descobriments; la imatge dels científics més pròxima als estudiants i el fet que aquesta mena de coneixements sovint són el que millor recorden els alumnes. A aquests avantatges cal contraposar els inconvenients que presenta la introducció d'una perspectiva històrica, que per a l'autor no serien sinó reptes a superar, més que no esculls insalvables. Hi al·lega, doncs, la manca de coincidència entre els objectius de la història com a disciplina i els de la ciència mateixa; el fet que la ciència no s'ocupa exactament de la realitat*

*tal com és, sinó que construeix coneixements que impliquen una versió simplificada de la realitat; la constatació que la història s'ocupa d'estudiar fets en relació amb el context en què s'hi esdevenen, mentre que la ciència crea abstraccions de caràcter més genèric i deixa els detalls en segon pla; la dificultat per a avaluar aquesta mena d'activitats en els estudiants; el perill de manipular la història per tal d'acomodar-la a la interpretació de la ciència actual i tergiversar el sentit original de les aportacions antigues; la complexitat de la història i el desencant que pot representar per als estudiants en descobrir els punts febles de molts científics famosos. El treball conclou amb alguns suggeriments per a introduir la història: l'aproximació biogràfica, l'aprofitament de les efemèrides dels científics i dels descobriments, la lectura o la reproducció d'alguns experiments clàssics, segons com qüestionada per alguns autors (Izquierdo 1988, Gaudillière 1994, Matthews 1994b), o la introducció de les darreres aportacions de la ciència contemporània, que també és història.*

**KAWASAKI, K., 1996. The Concepts of Science in Japanese and Western Education. *Science & Education*, 5, p. 1-20.**

*La visió que té l'ensenyament de les ciències al Japó es caracteritza pel seu valor bàsicament instrumental que ha permès una ràpida i eficaç modernització d'aquell país. Tanmateix, a parer de l'autor d'aquest treball, els japonesos no perceben la ciència amb el mateix sentit que els occidentals, de manera que la traducció a la seua llengua i als seus esquemes conceptuals de la terminologia científica occidental implica distingir clarament dues menes de ciència: la ciència occidental, amb les seues implicacions pràctiques, i una altra cosa que seria la ciència segons el terme que en japonès es fa servir per a aquest concepte. L'anàlisi estructuralista del llenguatge, segons les teories de Saussure, li permet a l'autor de fer una exhaustiva reflexió sobre la pràctica impossibilitat de "traduir" la base filosòfica de la ciència occidental a la cultura japonesa que té una base històrica i epistemològica ben diferent. La reflexió es planteja en els termes de quina hauria de ser la força motivadora per a orientar l'educació científica al Japó. La ciència tracta d'un conjunt de realitats científiques que han estat construïdes sota un determinat punt de vista. Per a l'autor la ciència occidental seria una forma concreta d'etnociència diferent d'una altra com ara l'etnociència japonesa. Un dels aspectes crucials d'aquest debat és l'anomenada relació associativa. Així al mot "natura", que tradueix al japonès ("shizen") el concepte de ciència, els occidentals associem, per tradició cultural, mots com "logos", que inconscientment s'associen a Déu, Creador, criatura, natura, paraula, llenguatge, raó, racional, raonable, etc. Tanmateix l'entorn associatiu del mot emprat en japonès no hi té res a veure, de manera que resulta impossible captar les implicacions epistemològiques de la ciència occidental, de la qual cosa se'n ressent l'educació científica japonesa. Aquesta sembla trobar-se més còmoda amb els aspectes tecnològics que tenen un caràcter més pragmàtic i universal. Això mena a plantejar la delicada qüestió del relativisme de la ciència occidental enfront del seu universalisme i, en darrer terme, condiciona quines han de ser les finalitats de l'educació científica als països de tradició no occidental, ja que la ciència no es pot desproveir de la seua base filosòfica sense entrar en greus contradiccions epistemològiques.*

**KING, B. B., 1991. Beginning Teachers' Knowledge of and Attitudes toward History and Philosophy of Science. *Science Education*, 75 (1), p. 135-141.**

*Aquest article informa sobre una investigació duta a terme entre estudiants per a ser professors de ciències centrada en l'exploració dels coneixements, creences i actituds envers la història i la filosofia de la ciència que aquests transmeten quan esdevenen professors actius a l'aula. Per mitjà de diverses qüestions, l'autor, malauradament desaparegut, indaga en un grup de tretze estudiants, llur receptivitat a l'aprenentatge d'aspectes d'història i filosofia de la ciència, els objectius amb què afronten llur incorporació a la tasca docent i el paper que la història i la filosofia de la ciència hi pot accomplir. La petitesa de la mostra no permet de fer generalitzacions, però sí que pot detectar problemes potencials i esbrinar algunes solucions. Sorprenentment molts futurs professors expressen llur interès per destacar la construcció social del coneixement científic, tanmateix quelcom s'esdevé quan s'incorporen a la docència que els reorienta cap a postures més científiques i positivistes, com sol ser habitual entre els ensenyants de ciències; sembla que hi pesen més els condicionants academicistes, com ara els llibres disponibles o els criteris d'avaluació estàndard. L'estudi revela que la majoria d'estudiants no té un coneixement suficient de la història i la filosofia de la ciència i això li impedeix d'abordar amb èxit la seua incorporació a la classe. La seua formació inicial no difereix gaire de la que rep un futur científic i caldria considerar la modificació del currículum amb la incorporació d'aquests aspectes, de manera que pogués beneficiar igualment els qui més endavant es dedicaran a l'activitat científica i els que es vulguen dedicar a la docència.*

**KOBLITZ, A. H., 1987. A historian looks at gender and science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), p. 399-407.**

*La reivindicació del paper de la dona en la ciència es pot veure perjudicada per algunes opinions excessivament feministes que, a parer de l'autora d'aquest treball, tenen escàs fonament històric. Es tracta d'una crítica a la suposada existència d'una manera específica d'analitzar els fets científics per part de les dones, enfront de la ciència oficial que estaria construïda sobre criteris i valors masculins. L'anàlisi es centra en les opinions de la prestigiosa científica Evelyn Fox Keller sobre la figura de la coneguda genetista guanyadora del Nobel Barbara McClintock, que emprava un llenguatge molt peculiar revestit d'un cert subjectivisme de caràcter místic per a expressar les seues troballes científiques, originalitat atribuïda per Keller a la seua condició de dona, en consonància amb l'opinió que existeix una forma de fer ciència específicament femenina. Tanmateix l'autora d'aquest article rebutja aquesta especificitat i considera que l'ús d'un llenguatge tan peculiar no és exclusiu de les dones científiques, ja que d'altres personatges, com ara el químic Kekulé, també recorregueren a la reflexió subjectiva per tal d'explicar l'origen d'alguns dels seus treballs. Una altra estudiosa de les relacions entre gènere i ciència és Leanna Standish que fa una exhaustiva caracterització de les dones que han aplegat a triomfar en el món de la ciència d'on remarca les que han fet papers subsidiaris, les que assumeixen papers més masculins encara que els homes, les companyes de científics de més prestigi i les dones que opten per les ciències més "suaus", com ara la psicologia. A parer de Koblitz aquesta anàlisi perjudica, més que no recolza, la defensa d'una presència femenina*

*equilibrada en la ciència, atès que la recerca d'una ciència feminista mena a una situació de marginació. Les circumstàncies de caràcter històric i social poden explicar millor per què les dones han tingut un escàs protagonisme en el món de la ciència, més que no les caricatures d'encuny exageradament feminista, i la indagació històrica permet desmentir molts dels tòpics abans assenyalats.*

**KRUGLY-SMOLSKA, E., 1996. Scientific Culture, Multiculturalism and the Science Classroom. *Science & Education*, 5, p. 21-29.**

*La preocupació per acostar més la ciència als estudiants, especialment en un entorn pluricultural, motiva l'autora d'aquest treball a plantejar-se la necessitat de valorar i mostrar les aportacions fetes al desenvolupament del coneixement científic per col·lectius habitualment infrarepresentats com les minories culturals o les contribucions de les dones. Un treball dut a terme al Canadà revela la presència testimonial de grups minoritaris com els hispànics o els negres entre les aportacions al treball científic i destaca les contribucions dels països orientals, potser motivats per una major tradició en la valoració de l'activitat científica en llurs cultures d'origen. L'article fa una anàlisi d'allò que s'entén per cultura científica i considera la crítica a la seua suposada universalitat i neutralitat, sostinguda habitualment per molts teòrics, que menyspreen el valor de la cultura tradicional i emfasitzen la independència dels criteris de validesa de la ciència de qualsevol referent cultural concret. Tanmateix l'evidència que la ciència habitualment transmet una imatge basada en referents com la masculinitat i la preponderància de les contribucions dels països occidentals de raça blanca, pot ser la causa que diferents col·lectius no s'hi senten identificats i perden el seu interès en la ciència com a cosa que no té a veure amb ells. Les recomanacions d'aquest treball es centren en què tot el professorat hauria de considerar la seua classe com a pluricultural i tenir-hi en compte els elements que conformen l'esquema cultural dels alumnes: aspectes ètnics, gènere, adolescència, cultura dominant, cultura escolar i cultura científica. La influència d'aquests aspectes en la comprensió de les idees de la ciència, de cap manera neutrals, pot ser fonamental a fi d'aconseguir una major implicació dels alumnes en l'aprenentatge de les ciències. Per això cal tenir en compte les aportacions de la història, la filosofia i la sociologia de la ciència per tal d'incorporar les relacions ciència-tècnica-societat juntament amb aspectes pluriculturals en la classe de ciències i així aconseguir un major grau d'integració dels estudiants.*

**LEWIN, R., 1989. Lise Meitner and the Discovery of Fission. *Journal of Chemical Education*, 66 (5), p. 373-376.**

*Diverses vicissituds de caràcter històric i social contribuïren a marginar la figura de la física austríaca Lise Meitner i la privaren del reconeixement públic de les seues aportacions fonamentals al descobriment de la fissió nuclear. L'equip que treballà a Berlín fins a juliol del 1938 el formaven Meitner, Hahn i Strassmann, però les circumstàncies adverses del règim nazi menaren Lise Meitner, d'origen jueu, a abandonar alemanya i establir-se a Estocolm. Una abundosa correspondència entre ella i Otto Hahn i un encontre a Copenhaguen revelen la importància de les idees que aportà Lise per al treball que desenvolupà la resta de l'equip científic i la sèrie de condicionaments, sobretot de caràcter polític, que portaren Hahn a menystenir públicament les contribucions de Lise Meitner. L'exploració*



*de les cartes disponibles permet a l'autora d'aquest article de reconstruir els principals viaranys pels quals discorregué un descobriment tan important, esdevingut en el preàmbul d'una confrontació bèl·lica que desgraciadament aplegaria a posar a prova el seu potencial destructor.*

**LÜHL, J., 1992. Teaching of Social and Philosophical Background to Atomic Theory. *Science & Education*, 1, p. 193-204.**

*La contextualització dels coneixements científics sovint resulta complexa i no abunden els exemples que mostren de quina manera es pot dur a terme eficaçment. El contingut d'aquest treball es centra en l'exposició dels diferents contextos socials en què s'han anat desenvolupant les teories sobre la naturalesa i composició de la matèria, especialment pel que fa a les dificultats a través de les quals s'obrí pas lentament la concepció corpuscular fins a prendre cos en l'actual teoria atòmica. L'autora relata com es pot fer ús del context històric com a base per tal que els alumnes arriben a entendre millor com es va arribar a l'actual concepció atòmica de la constitució de la matèria. S'hi exploren les diverses etapes històriques, des dels primitius filòsofs grecs als primers atomistes, la transferència de la filosofia grega a la cultura àrab i la posterior difusió d'aquesta a l'Europa medieval. S'hi fa esment especial de la divulgació a què contribuí la prohibició d'algunes idees contràries al pensament oficial de l'Església al segle XIII. El periple històric es clou amb l'atomisme de Newton i la posterior elaboració de la moderna teoria de Dalton, amb la discussió dels condicionants de tipus filosòfic que retardaren l'acceptació de la idea discontinuista. L'article descriu el procés seguit per tal de fer arribar als alumnes, de nivell secundari, la importància d'aquest context històric-filosòfic, una volta introduïts en la situació actual d'acceptació dels models atòmics. S'hi destaca la importància d'aclarir la relació entre l'emergència del concepte d'individu, des del punt de vista social, i l'acceptació del pensament atomista. També es detallen algunes conclusions interessants a què apleguen els mateixos alumnes després de discutir els diferents aspectes per mitjà dels materials i textos facilitats per la professora.*

**MARTINAND, J. L., 1993. Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations? *Didaskalia*, 2, p. 89-99.**

*Aquest article del professor Martinand centra l'interès en distingir els temes de reflexió i recerca en què es basen les relacions entre la història de la ciència i la didàctica. D'una banda assenyala una primera línia d'investigació centrada en l'estudi sobre les idees, raonaments i conductes dels alumnes, on les aportacions de la història poden ser profitoses per a explorar les concepcions i obstacles epistemològics persistents. Tot i que el context material i cultural és diferent, i no existeix una correspondència absoluta, certs obstacles, com la idea d'espai absolut, e. g., es mostren avui dia igualment difícils de superar, com han trobat els professors E. Saltiel i L. Viennot (1984) en el camp de la cinemàtica i la dinàmica, i d'altres treballs en química i electricitat també confirmen. D'altra banda, l'article assenyala tres línies més que tenen relació amb les decisions a prendre en l'elaboració de projectes innovadors per a millorar el currículum. En aquest aspecte hi hauria l'epistemologia aplicada i la construcció de continguts, on la història de la ciència podria aportar informació imprescindible per a difondre conceptes que requereixen una base més sòlida en nivells elementals, sense haver de recórrer a*

*manipulacions i tergiversacions. Un exemple que esmenta l'article és l'exposició del concepte d'element químic a estudiants que encara no han adquirit un domini clar del model molecular i estudien algunes reaccions químiques. L'anàlisi de l'evolució històrica del concepte permet d'obrir la via a una possible definició d'element a aquest nivell com allò que es conserva en una reacció química. Una altra línia consisteix a explorar algunes utilitzacions deficientes de la història de la ciència, com els intents de la "pedagogia del redescobriment" que als anys 60 posava tot l'èmfasi en l'operativisme i la interpretació de resultats. A parer de l'autor una introducció correcta de la història exigiria plantejar-se unes condicions prèvies com serien: a) la modificació de les finalitats educatives, que significaria orientar l'ensenyament per tal que els alumnes puguin avaluar el seu progrés en la superació d'obstacles, inscriure l'aculturació científica en una visió de conjunt amb les relacions ciència-tècnica-societat i promoure la consideració de la ciència com a aventura humana, i no només com adquisició de coneixements teòrics i instrumentals; b) un canvi en la concepció de les activitats dels alumnes; c) la necessitat de dissenyar les eines documentals pertinents per a modificar aquestes activitats, e. g., disposant de reculls de textos autèntics, assequibles i d'extensió suficient per a poder-los estudiar amb profit. La darrera línia d'acció es centra en el paper que hauria d'acomplir la història de la ciència en la formació del professorat, en el ben entès que es modifiquen, prèviament, les finalitats habituals que la fan del tot innecessària. Per això, l'article suggereix la missió que pot accomplir la història i l'epistemologia de la ciència per tal d'enriquir la formació del professorat, deficitària d'un contacte real amb la pràctica científica, la recerca o la indústria, amb la documentació i reflexió necessària sobre aquests aspectes, la seua evolució i els seus fonaments.*

**MATTHEWS, M. R., 1990. History, Philosophy and Science: A Rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, p. 25-51.**

**MATTHEWS, M. R., 1991. Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, p. 141-155.**

**MATTHEWS, M. R., 1994a. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), p. 255-277.**

*Aquests tres articles són una selecció dels nombrosos treballs amb què el professor M. Matthews reivindica des de fa uns anys un paper important per a la Història i la Filosofia de les Ciències en l'orientació de l'ensenyament i en la formació del professorat de ciències. Cronològicament, el segon dels esmentats és anterior, ja que aparegué l'any 1989 a la revista Interchange. El tercer article, que data originalment de l'any 1992, resulta el més complet i recull noves aportacions que enriqueixen les nombroses referències que l'autor ha pogut trobar per a recolzar la seua postura, segons la qual la història, filosofia i sociologia de la ciència tenen algunes de les respostes a la crisi actual de l'ensenyament de les ciències, ja que poden contribuir a humanitzar-les i acostar-les més als interessos personals, ètics, culturals i polítics; poden fer les classes més estimulants i reflexives; poden contribuir a una comprensió major dels continguts; permeten superar el formalisme exacerbats sense sentit i, finalment, millorar la formació del professorat amb la contribució a enriquir el seu coneixement de l'estructura de la ciència. Al llarg*

*dels treballs l'autor explora les reformes curriculars fetes en diversos països (EUA, Canadà, Regne Unit, Dinamarca, etc.) i constata les referències que s'hi poden trobar que fan esment de les aportacions de caràcter històric i epistemològic. També s'hi analitza el paper controvertit de la presència de la història de la ciència en l'ensenyament amb algunes crítiques fetes per autors de prestigi, com ara Martin Klein i Thomas Kuhn. Klein considera el perill d'una història simplificada que acabe transformant-se en una reconstrucció racional de la història al servei de la ciència actual i oculte la complexitat i veracitat històriques. S'hi aporten alguns arguments que demostrin les reinterpretacions modernes dels treballs de Galileu que han donat una visió sovint contradictòria, impregnada pels corrents analítics dels propis crítics d'aquest científic. Per la seua banda, Kuhn expressa els seus temors de la influència de la història en l'esperit científic dels neòfits, ja que, al seu parer, resultaria necessari distorsionar la història per a mostrar els diferents autors com a part d'una tradició de recerca reeixida de la veritat. Brush hi afegiria que la història atacaria les certes del dogma científic i s'hauria de reservar per a audiències científicament més madures. Per a Matthews aquestes crítiques no eximeixen de plantejar-se el paper pedagògic que es pot fer la història i avesar-se a utilitzar-la de forma que s'eviten les tergiversacions. Prossegueix el treball amb les reflexions sobre els problemes que planteja la hipòtesi de Piaget sobre el paral·lelisme entre la història de la ciència i la psicologia de l'aprenentatge. El fet que la ciència conste essencialment entre els seus ingredients de la idealització de les situacions reals i el complex procés de construcció dels coneixements aporta més raons a favor d'un tractament històric. Un cas que l'autor ha tractat de forma especial és el problema del pèndol de Galileu i les discussions que genera entre els estudiants la correcta interpretació de les experiències corresponents, certament distants de la situació ideal analitzada per Galileu. En aquest sentit les reflexions de M. Matthews es centren en el fet que la instrucció correcta dels professors en història i filosofia de la ciència pot ajudar als alumnes a entendre com la ciència capta el món real subjectiu. També centra l'interès de l'autor el paper de la filosofia de la ciència i les diferents visions que aquesta aporta a la comprensió de la naturalesa del pensament científic. Diversos projectes curriculars dels anys 60 fracassaren, en part, per una visió inductivista que palesava la manca de coneixement real de la filosofia de la ciència. El paper concret que s'atribueix a la història i la filosofia de la ciència per a la formació del professorat és analitzat amb més detall en el tercer article. Finalment s'examinen algunes qüestions d'interès actual on les aportacions de la història i la filosofia de la ciència poden ser determinants, com ara la qüestió feminista i els problemes de gènere i ciència, les aportacions a l'enriquiment del model constructivista d'ensenyament aprenentatge, l'aparició de les qüestions ètiques en els currículums de ciències, els temes metafísics, la idealització i els models matemàtics i la contribució a la racionalització.*

**NAKHLEH, M. B., 1992. Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), p. 191-196.**

*L'autora d'aquest article es planteja els motius que expliquen per què molts alumnes tenen greus dificultats per a aprendre els conceptes fonamentals de química. Després de fer un repàs sintètic de les principals aportacions del model cognitiu d'aprenentatge per construcció de significats, el seu caràcter cíclic i l'existència*

*d'estructures cognitives, considera especialment la importància dels errors conceptuals que afecten aspectes bàsics com la naturalesa corpuscular de la matèria i les implicacions dinàmiques del model cinètic. S'hi presenta una mostra de concepcions errònies en el domini de la naturalesa corpuscular de la matèria, que molts alumnes conceben com a contínua, així com els errors que es relacionen amb la comprensió de l'enllaç químic en les molècules i el paper de les forces intermoleculares, els canvis de fase i la naturalesa dels gasos. Aquesta revisió d'estudis que mostren els errors conceptuals es completa amb exemples relacionats amb aspectes cinètics del model corpuscular, com els que afecten les equacions químiques, els canvis i la noció d'equilibri químic. L'article conclou amb les que, segons l'autora, són implicacions greus en l'ensenyament de la química. Primerament destaca la persistència d'aquests errors profunds al llarg de mostres molt diverses d'alumnes i de tots els nivells educatius, i recomana que els professors s'esmercen en aclarir les diferències entre àtoms, molècules i ions, com a conceptes bàsics. En segon lloc, expressa la dificultat dels alumnes per a imaginar el caràcter dinàmic de les reaccions químiques, i caldria reforçar els aspectes cinètics del model corpuscular. En tercer lloc hi ha les interferències del vocabulari habitual que es superposa al científic, per la qual cosa es recomana posar més èmfasi en la definició dels termes i mostrar llurs diferències amb mots semblants del llenguatge quotidià. Finalment es recomana tenir cura en la definició d'un mateix fenomen en àmbits diferents, per tal d'evitar la confusió dels alumnes.*

**NIELSEN, H., 1993. The Endless Spiral. Teaching History of Technology in Context. *Science & Education*, 2 (2), p. 169-181.**

*La Història de la Tecnologia ha estat objecte de diversos enfocaments que l'han mantinguda fora de l'òrbita de l'ensenyament secundari. El currículum actual de ciències danès contempla la seua integració a través de les relacions ciència-tecnologia-societat. L'autor d'aquest article fa una presentació d'un llibre recentment elaborat per ell, en companyia d'altres professors, que té com a objectiu l'estudi de diferents casos històrics sobre l'evolució de la tecnologia i les seues relacions amb la societat. L'article fa un repàs previ a la tradició historiogràfica sobre la tecnologia que bàsicament s'ha centrat en la descripció de les màquines i ha ignorat les importants conseqüències de la introducció en la societat de nous mitjans de producció i transport. La voluntat de presentar la tecnologia com a conseqüència de l'esperit racional de la humanitat ha menat els enginyers historiadors a remarcar la seua vinculació a la ciència per motius de prestigi ideològic, la qual cosa ha fet creure en la tecnologia com a mera ciència aplicada. Tanmateix a partir dels anys 60 sorgirà una nova visió de la història de la tecnologia en el seu context, sobretot gràcies a autors com Melvin Kranzberg (1981). La importància d'un ensenyament de la història de la tecnologia la remarquen alguns autors per la general incomprensió d'aquests aspectes en la societat actual on la tecnologia és omnipresent, la qual cosa genera un neguit difícil de vèncer sense una formació adequada que contemple no els aspectes purament descriptius, sinó les importants relacions entre la tecnologia i la societat. A tal fi, el llibre que hem esmentat, intitulat "L'espiral sense fi", escull diversos exemples d'alguns moments transcendentals de l'evolució tecnològica de la societat i analitza els factors que hi contribuïren a aquest desenvolupament. A tall d'exemple, l'article mostra un breu extracte del cas d'Edison i la seua contribució a l'electrificació de les socie-*

tats occidentals. S'hi destaca la visió d'Edison en termes de sistemes per a explicar el seu èxit en el desenvolupament dels primers subministraments d'electricitat a domicili. Cal fer constar que els punts de partida d'Edison no foren les contribucions teòriques d'Oersted o Faraday, sinó el seu afany per guanyar diners. La seua manca de formació científica la suplí amb l'assessorament del físic Upton, tot i que els càlculs que calia fer per al disseny de la distribució d'electricitat a domicili resulten força senzills. L'estudi tan acurat que feren sobre el sistema de corrent continu permeté la seua ràpida expansió i els féu creure que era l'únic sistema natural, la qual cosa impedí que s'adonaren de les greus limitacions per a la transmissió de l'electricitat a llarga distància, que serien superades pel desenvolupament del corrent altern. El missatge final d'aquest llibre, i de l'article, és que la tecnologia forma la societat i la societat forma la tecnologia, amb la qual cosa tenim una interacció eterna a manera d'espiral sense fi.

**NIELSEN, H. & THOMSEN, P.V., 1990. History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 308-316.**

La reforma educativa mampresa a Dinamarca l'any 1988 contemplava, entre els seus principals objectius, el canvi d'enfocament en l'ensenyament de les ciències de nivell secundari i propugnava la presentació de la física com a activitat humana, per mitjà de la incorporació d'elements d'història i filosofia de la ciència al currículum. Això implica la reducció de la quantitat de continguts "durs" i la introducció de noves dimensions, entre les que hi ha el paper de la història i la filosofia de la física. Els pressupostos pedagògics de partida són bàsicament quatre: 1) la consideració de la física com a activitat humana; 2) la connexió cultural que supere l'abisme tradicional entre les dues cultures; 3) el canvi positiu en l'actitud dels alumnes; 4) la millora en la comprensió dels conceptes fonamentals. Feta aquesta presentació, els autors dediquen la resta del treball a l'explicació del procediment seguit per a elaborar materials d'aplicació d'aquesta proposta entre el professorat de física danès del nivell secundari i la presentació de dues unitats a tall d'exemple: a) la Revolució Científica, d'Aristòtil a Newton i b) la Física i la Revolució Industrial, que s'han desenrotllat en forma de llibres de treball per als alumnes amb textos explicatius, fragments originals dels autors i qüestions per a resoldre. S'hi recull també la bona acollida que ha tingut entre el professorat aquesta proposta curricular.

**OUTRAM, D., 1987. The most difficult career: Women's history in science. *International Journal of Science Education*, 9 (3), p. 409-416.**

Les dificultats per a detectar la presència femenina en l'activitat científica han anat parelles a la maduració de la Història de la Ciència com a disciplina amb la consideració dels nombrosos factors socials i polítics que hi influeixen en la creació i el desenvolupament del saber científic. L'aparició de criteris com la professionalització han impedit la percepció de la dona com a part del món de la ciència, atès que les contribucions de moltes dones difícilment encaixen en un model tan restringit. En opinió de l'autora d'aquest treball, que coincideix amb la d'altres historiadores com Ann H. Koblitz (1987), també ha estat un obstacle el desenvolupament d'una filosofia feminista centrada en la crítica de la visió mas-

*culina de la ciència, ben entès que la història de les dones en la ciència és força més complexa. La consideració detallada de les nombroses contribucions femenines a la ciència exigeix tenir en compte quines raons expliquen que les experiències dels homes i de les dones en la construcció de la ciència hagen estat tan diferents. Segons sembla el paper d'ambdós gèneres en la ciència fins al segle XIX tenia més semblances que no pas diferències i aquestes s'accentuen cap a la fi del segle XIX quan la ciència abandona definitivament un context quasibé domèstic i adquireix un estatus nou on, mentre l'activitat científica dels homes es professionalitza, es fa incompatible amb la situació familiar de les dones. Des d'aleshores ençà el paper de les dones s'ha vist força condicionat per l'evolució mateixa de la institució familiar reforçada gradualment amb la millora en les condicions i expectatives de vida, a partir del segle XVIII, cosa que augmentà la implicació de les dones en la cura de la família. Així, el paper de les dones en la ciència passà per una etapa d'accés a nombrosos llocs de treball subsidiaris de la tasca principal desenvolupada per científics i s'obrí pas a través d'algunes ocupacions estereotipades en camps com la salut pública, el treball social o l'ensenyament, on el baix estatus social i salarial resultava menys atractiu als homes. La superació de nombrosos esculls no ha impedit que encara en el nostre segle el reconeixement de les contribucions de les dones a la ciència siga defectuós i, malauradament, haja afectat el potencial creatiu de molts països.*

**PASDELOUP, M. et LAUGIER, A., 1994. Le concept de réaction chimique en gestation. Entre les affinités électives et l'attraction universelle. Aster, 18, p. 165-182.**

*Aquest treball fa un recorregut històric per l'itinerari que ha menat a l'establiment del concepte modern de reacció química que, alhora, ha estat un procés de decantament gradual de la química cap a la seua identificació com a ciència de les reaccions, més que no pas com a ciència de l'estructura de la matèria cosa que l'hauria relegada a una branca més de les ciències físiques. L'objectiu d'aquest recorregut està en aclarir quina mena d'obstacles ha calgut vèncer gradualment per a mostrar que la ciència no evoluciona d'una manera lineal ni avança clarament en una sola direcció i sovint les idees més encertades han estat rebutjades de bell antuvi, per a ser recuperades anys després. S'hi fa una exposició progressiva dels obstacles que hagueren de vèncer els químics fins arribar a l'actual concepte de reacció, alguns dels quals (salvant els contextos històric, social i cognitiu) també podem trobar en els estudiants. Entre els obstacles assenyalats n'hi ha de tipus substancialista (que en no percebre l'objecte impedeixen entendre'n la funció), com ara la percepció del caràcter material dels gasos, la participació de l'aire en les combustions, la substancialització de la calor i la llum o el caràcter discontinu de la matèria. Però també hi ha els obstacles mecanicistes (on es percep bé l'objecte però només es té en compte un nombre limitat de graus de llibertat), com ara la distinció entre àtom i molècula, el pas del nivell microscòpic al macroscòpic o el funcionament d'un model particular de matèria.*

**PÉREZ CAMACHO, J. J. y SOLS LUCIA, I., 1995. La Física de Domingo de Soto. En el quinto centenario de su nacimiento (1495-1995). *Revista Española de Física*, 9 (4), p. 56-58.**

*La figura de Domingo de Soto és un clar exemple de científic ignorat i eclipsat per l'enorme repercussió de treballs com els de Galileu, d'algun dels quals fou precursor. En aquest article els autors es proposen mostrar algunes contribucions més conegudes de Domingo de Soto, concretament la descripció del moviment uniformement "disforme", però també exposar les seues aportacions a l'estudi del moviment "per la seua causa" és a dir, la seua Dinàmica. En un dels seus treballs aborda l'estudi de la resistència dels cossos al moviment i s'anticipa a Galileu en la comprensió del que avui anomenem "massa inerta". Els treballs sobre el moviment uniformement disforme són força coneguts i es recolzen en estudis anteriors com els dels "calculatores" del Merton College d'Oxford (s. XIV), però el mèrit del nostre autor rau en aplicar-lo a la descripció de la caiguda dels cossos gràvids. Algunes d'aquestes idees podrien haver arribat a Galileu a través de deixebles de Domingo de Soto. L'estudi de les causes del moviment el menà a considerar les relacions entre la força motriu i la resistència, entesa aquesta no com a resistència externa del medi, segons Aristòtil, sinó com a resistència interna del propi cos. Això li permet d'admetre la possibilitat del buit que els aristotèlics negaven atès que s'hi generaria un moviment infinit. Dels seus raonaments els autors d'aquest treball entreveuen la proximitat de Soto a l'establiment de la independència de la massa en la caiguda lliure, tot i que no ho arribés a formular.*

**SALTIEL, E., 1994. Un enseignement concret et attractif de la physique doit-il être avant tout expérimental, théorique? *Didaskalia*, sup. 3, p. 14-25.**

*Aquest article es proposa una reflexió sobre quin hauria de ser l'enfocament més adient per a fer que l'ensenyament de la física resulte eficaç en aconseguir l'adquisició d'una cultura científica i tècnica en els alumnes. Uns diran que cal donar una visió de la física com a ciència experimental i rebaixar el nivell de formalisme i dogmatisme que oculta la realitat d'aquesta ciència, per tant caldrà prioritzar l'observació i l'experimentació. D'altres, però, retrucaran que, ben al contrari, la física és bàsicament una ciència teòrica i fins n'hi ha que consideraran si, atesa la dificultat intrínseca d'aquesta ciència, no serà més raonable no ensenyar-la fins que els estudiants hagen adquirit una major capacitat d'abstracció. La constatació que no hi ha un únic mètode que resolga tots els problemes i la consideració que els individus no són simples receptacles que aprenen tot allò que se'ls hi aboque sempre que estiga ben organitzat i estructurat porta l'autora de l'article a qüestionar que determinats enfocaments simplistes puguen resoldre les deficiències de l'ensenyament de la física. Per mitjà de tres exemples escollits de la física, s'hi mostra la impossibilitat que el seu ensenyament es pugui basar en l'observació. En tots els exemples les observacions dels alumnes no menen de cap manera a la interpretació teòrica que es voldria aconseguir i, ben al contrari, reforcen llurs idees prèvies sobre els problemes abordats. Per un altre cantó, també es poden trobar exemples que qüestionen la suficiència de les concepcions teòriques a l'hora d'explicar els fenòmens físics. En aquest cas l'autora fa servir dos exemples de caràcter històric que revelen com sovint una expressió matemàticament correcta pot menar a interpretacions divergents sobre el seu sentit físic segons els au-*

tors. Tot això té unes repercussions concretes en la física que cal ensenyar, que depèn dels objectius que hom es proposa. Sol haver força coincidència en què caldria prioritzar l'aprenentatge de capacitats pròpies de la disciplina, dominar el llenguatge, saber expressar les idees, tenir un sentit crític, etc. Determinades experiències didàctiques aporten alguns elements de resposta. Una d'elles proposa activitats on els alumnes puguin fer previsions o emetre hipòtesis, una altra, a nivell universitari introductori, exposa les directrius que porten als alumnes a elaborar un petit projecte d'investigació per a dominar els aspectes que implica l'elaboració d'un informe correcte del treball realitzat. També hi ha un exemple centrat en l'elaboració de síntesis i comunicacions científiques sobre determinat tema escollit pels alumnes. En aquests darrers exemples cal que els alumnes treballen la síntesi escrita i oral, ja que després han d'exposar llur treball davant dels companys. S'hi destaca, doncs, la importància que els estudiants facen i escriuen síntesis a fi de clarificar llurs idees, veure on hi ha llacunes i on fallen els raonaments, etc. Després de remarcar que tot raonament físic es fonamenta en fets experimentals, obtinguts sota determinades condicions d'observació, i quin significat té la universalitat de les lleis físiques per als científics, es constata que aquests aspectes no són percebuts de la mateixa manera pels alumnes. Una possible solució es troba en la diversitat d'activitats que haurien de fer els alumnes on aquests tinguen un paper actiu, es pregunten sobre allò que fan i, finalment, tinguen ocasió d'expressar per escrit de forma sintètica allò que han après.

**SÁNCHEZ-RON, J. M., 1994. Miguel Catalán y Arnold Sommerfeld. *Revista Española de Física*, 8 (3), p. 52-55.**

*Les relacions personals i professionals entre aquests dos científics permeten comprovar el nivell de desenvolupament a què aplegà l'activitat científica espanyola durant el primer terç del segle XX. El físic aragonès Miguel Catalán havia realitzat nombroses investigacions sobre espectroscòpia que Sommerfeld pogué utilitzar per a corroborar les seues interpretacions teòriques sobre els nombres quàntics interns. El prestigi del famós físic teòric alemany li valgué a Catalán per a recolzar les seues peticions d'ajuda a la Fundació Rockefeller per a prosseguir els seus estudis a Munic. Així pogué accedir a uns mitjans d'investigació de primera línia al mateix institut per on passarien els noms més prestigiosos de la física alemanya de l'època i col·laborà amb Bechert, deixeble de Sommerfeld. Més tard visitaria l'Institut de Física de Tübingen, centre on havia tingut lloc la famosa experiència de Gerlach i Stern que provava la quantització direccional dels àtoms en un camp magnètic no uniforme atribuïda a l'existència del spin electrònic, i el centre de Heinrich Kayser a Bonn, autor del llibre més important sobre espectroscòpia que Catalán coneixia bé. Catalán tenia intenció d'estudiar també les terres rares, el magnetisme de les quals era objecte d'estudi del físic Blas Cabrera al Laboratori d'Investigacions Físiques de Madrid. Per diversos motius Catalán no abordà l'espectroscòpia de les terres rares però continuà les seues investigacions habituals.*

**SEQUEIRA, M. & LEITE, L., 1991. Alternative Conceptions and History of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*, 75 (1), p. 45-56.**

*Els objectius d'aquest article es centren en la investigació d'algunes concepcions alternatives dels estudiants de física portuguesos, la comparació amb l'evolució*



*històrica d'algunes idees científiques i la discussió del paper que pot jugar el coneixement de la història de la ciència que tenen els professors a l'hora de facilitar el canvi conceptual dels alumnes. En consonància amb el que han mostrat d'altres investigacions (Saltiel i Viennot 1985) els preconceptes dels alumnes en qüestions de mecànica tenen algunes semblances amb la resistència al canvi que històricament han mostrat determinades concepcions. Hi destaquen les idees referides a la caiguda lliure, la proporcionalitat entre pes i velocitat, i el paper de l'aire, també les concepcions referides al paper de la força en el moviment i la dificultat per a entendre la tercera llei de Newton. Les semblances amb l'evolució històrica d'aqueixes idees no són completes i els estudiants barregen idees aristotèliques amb d'altres com la teoria de l'ímpetu. L'interès del treball es dirigeix, finalment, a explorar fins a quin punt les analogies entre les idees dels estudiants i la història de les idees científiques es poden aprofitar per a millorar l'aprenentatge de les ciències. Segons els autors les principals raons per a recolzar aquesta suposició cal cercar-les en les actituds dels professors cap a l'ensenyament aprenentatge de la ciència i en el disseny d'una estratègia d'aprenentatge de les ciències que es base en la seua història i es dirigeix a canviar les idees dels estudiants, sobretot perquè permet als professors d'anticipar-se a les idees que probablement trobaran en llurs alumnes i abordar la manera de modificar-les des d'una perspectiva constructivista de l'aprenentatge.*

**SILVERMAN, M. P., 1992. Raising Questions: Philosophical Significance of Controversy in Science. *Science & Education*, 1, p. 163-179**

*L'anàlisi de temes que han generat controvèrsies científiques pot contribuir a millorar la imatge de la ciència que es transmet als alumnes i pot mostrar la ciència com un poderós mètode d'investigació autocorrectiu. L'autor d'aquest treball es planteja de quina manera la manca d'un ús apropiat del caràcter controvertit de moltes contribucions científiques influeix en la imatge dels estudiants que en iniciar llurs estudis de ciències creuen majoritàriament que la ciència tracta de veritats establides sense cap mena de dubte. L'ensenyament habitual no contempla la ciència com a activitat humana creativa que és part de l'herència cultural. Segons l'autor hi ha dos tipus de prejudicis que deformen la visió de la ciència: la creença que la ciència es fonamenta en principis vertaders inqüestionables (fonamentalisme) i la consideració que la ciència disposa d'un mètode lògic que permet destriar entre les teories vàlides i les que no ho són (logicisme). Tanmateix s'ignora el caràcter autocorrectiu de la investigació científica que genera nombroses controvèrsies, que l'autor classifica en tres tipus principals: 1) el desacord en les bases observacionals d'una teoria; 2) el desacord sobre la interpretació concreta de fets generalment acceptats; 3) les controvèrsies sobre l'impacte social d'algunes contribucions de la ciència. L'explicació de la manera com s'han resolt diverses controvèrsies científiques es fa per mitjà de cinc consideracions bàsiques: a) el poder de la bellesa d'una teoria com a vertadera raó del seu triomf; b) les presumpcions amb què molts científics han abordat llur treball; c) la importància del suport públic a una determinada opció enfrontada a una altra; d) l'originalitat d'algunes propostes i la confusió que generen; e) els límits d'aplicació del raonament científic. Cadascuna d'elles s'il·lustra amb un o més casos històrics que ajuden a comprendre la complexitat del procés de creació científica. L'autor conclou que la presentació adequada de les controvèrsies científiques pot*

*ajudar a desfer la visió idealitzada i aproblemàtica de la ciència i permet apreciar el fet que la ciència és una empresa humana creativa on influeixen els criteris estètics, les predisposicions individuals, el suport públic i les diverses interaccions entre la ciència i la societat.*

**SOLOMON, J., 1991. Teaching about the Nature of Science in the British National Curriculum. *Science Education*, 75 (1), p. 95-103.**

*La preocupació per l'ensenyament de la naturalesa de la ciència ha generat diverses línies de modificació curricular dels continguts tradicionals dels cursos de ciències. L'autora centra el seu treball en el currículum britànic i analitza diverses perspectives que recolzen la introducció d'aspectes d'història i filosofia de la ciència. Des de l'enriquiment dels projectes basats en el tractament de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat, a la recapitulació de les idees dels alumnes, a més de l'argument social. La dificultat d'ensenyar els procediments de la construcció de coneixements només a través de la reproducció de l'esquema de treball dels científics, juntament amb els resultats de les investigacions sobre les actituds dels alumnes, han empès la recerca de la contribució dels aspectes socials cap a la millora de la imatge de la naturalesa de la ciència que adquireixen els alumnes. La constatació dels nombrosos problemes que presenta l'ensenyament de les ciències mena a reflexionar sobre els avantatges d'un enfocament que permeta als alumnes d'interessar-se pel procés mateix d'aprenentatge de les ciències i en aquest objectiu es centren les esperances del nou currículum britànic.*

**SPECTOR, T. I., 1995. Naming Names. A Brief Biography of Women Chemists. *Journal of Chemical Education*, 72 (5), p. 393-395.**

*Les reflexions sobre l'estudi de la luminiscència porten la professora de química autora d'aquest treball a la química nord-americana Arda Green que aïllà i cristal·litzà per primera vegada l'enzim luciferasa i explicà el fenomen. La constatació que els seus alumnes ignoraven de forma generalitzada les contribucions d'altres dones científiques a la química li suggerí l'inici de la recerca i difusió d'informació sobre diverses dones que han destacat en diferents treballs i han estat guardonades bé amb el premi Nobel, bé amb la prestigiosa medalla Garvan de l' American Chemical Society, com Arda Green. El fruit d'aquesta recerca és una llista de divuit referències de sengles dones científiques, llurs contribucions a la química i, en la majoria de casos, els premis amb què fou reconeguda la seua labor. A tall d'exemple, a banda de la ja referida, hi apareixen: la bioquímica Gerty Cori, que estudià el metabolisme del midó; Gertrude Elion, que dissenyà un medicament per a combatre la leucèmia; Rosalind Franklin, autora de les anàlisis per mitjà de raigs X de l'estructura de l'ADN; Dorothy Hodgkin, que usà la mateixa tècnica per a l'anàlisi de la vitamina B-12 i Ida Noddack, descobridora del reni. També s'hi fa referència a les contribucions de Marie Lavoisier i als casos més coneguts de Marie Curie i la seua filla Irene Joliot-Curie.*

**STEINBERG, M. S., BROWN, D. E. & CLEMENT, J., 1990. Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 265-273.**

*El convenciment que les dificultats dels estudiants per a entendre les idees de la mecànica newtoniana no són casuals i es relacionen amb la mateixa complexitat del procés que portà al seu establiment es confirma en aquest article que analitza els passos que menaren el mateix Isaac Newton a alliberar-se gradualment del concepte antiquat d'ímpetu i de la força centrífuga. L'estudi detallat de l'obra del físic anglès permet entendre que aquestes concepcions errònies li costaren molt de vèncer i les noves idees "newtonianes" no sorgiren de forma miraculosa sinó com a resultat de moltes giragonses i aproximacions graduals a una nova idea de força que s'hagué d'alliberar de la idea d'ímpetu o força motriu interna i de la idea de transferència de part d'aquest ímpetu durant un impacte, per a conduir a la nova idea de força com a interacció entre cossos. La primera idea que desenvolupà Newton fou l'associació de la força als canvis de velocitat. Tot seguit avançà cap a la idea de força "impresa" o força que actua només durant el canvi d'estat de moviment i que no roman en el cos després de l'acció, com l'antic ímpetu. La força centrífuga també fou un preconcepte que interferí llargament en els treballs de Newton i que superà com a conseqüència de la necessitat de coherència dins del seu nou marc conceptual i amb la intervenció de Robert Hooke que li suggerí el paper d'una acció cap al centre per a explicar el moviment planetari. La influència de les creences existents al seu entorn i del paper orientador d'altres científics contemporanis s'assembla prou a la situació dels estudiants que es troben immersos en un ambient contra el que han de lluitar per a vèncer preconceptes afavorits pel sentit comú, per a la qual cosa disposen de la valuosa ajuda del professor. No obstant això, resulta essencial modificar la pròpia visió del món i reordenar les noves idees a fi de descartar les velles que no hi encaixen, tal com s'esdevingué amb Newton. Una darrera consideració dels autors suggereix com a explicació de la insistència de Newton a presentar el seu principi d'inèrcia de forma independent, tot i ser clarament una conseqüència del segon principi, la voluntat de fer constar el que per a ell havia resultat un concepte important i de difícil consecució.*

**STINNER, A., 1995. Contextual Settings, Science Stories, and Large Context Problems: Toward a More Humanistic Science Education. *Science Education*, 79 (5), p. 555-581.**

*Aquest article es planteja el problema de l'organització curricular orientada per la contextualització dels continguts, la proposta de fils conductors centrats en temes d'interès per als alumnes i en problemes abordats en un context ampli, per tal de motivar els alumnes i afavorir una comprensió del món arrelada en la tradició científica i la humanista. Després de fer una anàlisi crítica dels currículums tradicionals preocupats per mostrar de forma prematura una visió formal de la ciència, la proposta de l'autor opta per la visió més humana i socialment rellevant dels continguts científics, així com els aspectes més atractius de la ciència. L'article fa un repàs de les dificultats que pot plantejar una aproximació contextual d'aquest tipus. Primerament considera les dificultats per a equilibrar la visió*

*contextual amb els conceptes que han de ser dominats pels alumnes per tal de traure-li profit als problemes més interessants que suggereix un tractament més pròxim als interessos dels alumnes. També considera les greus dificultats que implica la gradual superació de la interpretació del món físic que tenen els estudiants fins arribar al coneixement científic. A tal efecte suggereix graduar l'aproximació contextual segons els diferents nivells dels estudiants, de manera que la comprensió de la ciència formal es desplace cap als nivells més elevats, quan els alumnes ja siguin capaços de superar llurs idees basades en el sentit comú. S'hi esmenta la consideració del paper que pot jugar una orientació històrica en la construcció de fils conductors al voltant d'un nucli d'interès, a la manera dels casos històrics de Conant, sobretot en els nivells introductoris i mitjà. La part central de l'article es dedica a exposar els criteris que permeten una reorganització del currículum, des dels nivells introductoris als superiors, de manera que els aspectes humanistes i basats en el context es puguin connectar amb una estructura teòrica sòlida. Considerem especialment l'interès d'aquest article per a difondre una proposta valenta de superació dels esquemes més tradicionals centrats en el caràcter disciplinar dels currículums.*

**ANNEX II :**  
**Recull d'activitats amb contingut històric**  
**i comentaris per al professorat**

Tot seguit mostrem un ampli catàleg d'activitats per a ser utilitzades en les classes de Física i Química dels nivells compresos entre els 15 i els 18 anys, que hem classificat per temes i que cobreixen pràcticament la majoria dels que figuren en els programes oficials d'aquests nivells. Moltes activitats han estat emprades en les classes amb els grups experimentals amb què s'ha dut a terme aquesta investigació i volen ser només una exemplificació de les possibilitats d'elaboració dels materials i qüestions de tipus històric, segons les orientacions que hem indicat en els capítols anteriors d'aquest treball. Algunes activitats s'han triat de diverses publicacions del Seminari Permanent de Física i Química del CEP de València (Calatayud et al. 1979, 1990 i 1991), materials experimentals de Reforma per a l'ESO (Hernández et al. 1992), del Grup Faraday (1988b) i materials per al nou batxillerat (Calatayud et al. 1995, Solbes i Tarín 1996) i la resta de fonts s'esmenten també en cada activitat.

La presència de biografies d'alguns científics, com Galileu, Newton, Ohm, Einstein, Lavoisier, Liebig o Pauling, no té com a objectiu insistir més en els científics més coneguts, sinó situar-los en el seu context sòcio-històric més adequat i tractar de desmitificar-los com a figures excepcionals, de manera que la informació que sobre ells tinguen els alumnes s'acoste una mica més a la realitat de llurs contribucions i no es limite a les quatre anècdotes i tòpics de sempre. Al mateix temps es tracta de relacionar-los amb els altres coetanis seus que treballaren en problemes o àrees semblants per a mostrar el caràcter col·lectiu de la creació científica, tal com s'indica en els comentaris de les activitats corresponents.

Hem volgut que hi hagués una certa varietat en la tipologia d'activitats i s'han seleccionat des de fragments de textos originals dels autors més clàssics, quan plantejaven continguts d'interès didàctic, fins a quadres més extensos amb informació sobre aspectes sòcio-històrics normalment dispersos en fonts poc assequibles als professors. No obstant això, l'objectiu del catàleg és també servir de model per a estimular la creativitat del professorat a l'hora de dissenyar llurs pròpies activitats a partir dels seus propis centres d'interès i els dels seus alumnes.

## CINEMÀTICA I DINÀMICA

**A.1.** *Llegiu i comenteu la següent referència biogràfica de Galileu, amb l'ajut de les qüestions proposades.*

*El científic italià GALILEO GALILEI va nèixer a la ciutat toscana de Pisa l'any 1564 i és conegut tradicionalment entre nosaltres amb el nom de GALILEU. Son pare era un noble florentí, encara que pobre, i d'ell aprenqué l'interès per la poesia, la música i els estudis clàssics. Estudiava medicina quan dissenyà un pèndol per a prendre el pols i era conegut perquè contínuament desafiava les opinions autoritàries dels seus mestres. Abandonà la medicina i s'interessà per les matemàtiques i arribà a ser-ne professor a la seua mateixa universitat. Com a trets característics de la seua personalitat destaquen la independència d'esperit i una intel·ligència inquisitiva i ràpida. S'oposà enèrgicament als seus col·legues aristotèlics dogmàtics que sovint interpretaven erròniament el gran mestre grec.*

*Cap al 1590 sembla que va fer el conegut experiment de deixar caure pesos diferents des del Campanile o torre inclinada de Pisa per demostrar que queien amb la mateixa velocitat, encara que molts estudiosos qüestionen l'autenticitat de l'anècdota. El 1591 morí son pare i deixà una llarga família per mantenir. Esgotat el contracte amb la universitat de Pisa no li'l renovaren per l'enemistat que s'havia guanyat amb els partidaris d'Aristòtil. Per sort aconseguí un nou contracte a Pàdua on passà divuit anys amb millor salari i un ambient més tranquil. Tingué tres fills amb la seua serventa Marina Gamba, però mai no s'hi va casar, i es separaren l'any 1610 quan Galileu tornà a Florència, la ciutat d'on procedia la seua família.*

*A Pàdua inicià els seus millors treballs d'astronomia i fou llavors quan intercanvià algunes cartes amb Johannes Kepler sobre el model copernicà, del que fou des d'aleshores un defensor ferm. Sembla que cap a l'any 1609 li arribaren notícies d'un artefacte format per dues*

*lents que augmentava considerablement la grandària dels objectes. Així va construir la seua pròpia ullera per observar els cels que tant l'apassionaven. Aconseguí atraure l'atenció del dux venecià amb la curiosa andròmina que permetia, entre d'altres coses, veure els vaixells que s'atansaven al port algunes hores abans d'arribar. Això li valgué un sucós contracte perpetu i un considerable increment de sou.*

*Però la ment inquieta de Galileu no s'hi conformà i dedicà el seu llibre *Sidereus Nuntius* (El Missatger Celestial) a Cosme de Mèdici, Gran Duc de Toscana, per veure si finançava les seues investigacions sense més obligacions que li llevaren temps. Per això acabà abandonant la república de Venècia, on segurament hauria tingut més llibertat de pensament i, possiblement, s'hauria deslliurat de la Inquisició amb qui hagué d'enfrontar-se a les acaballes de la seua existència. D'altra banda, la repercussió real del llibre fou mínima perquè estava escrit en llatí, que malgrat ser encara la llengua de la ciència oficial, cada vegada era més desconeguda del gran públic.*

*Era amic del papa Barberini quan aquest només era cardenal i, creient-se segur, publicà algunes obres on es manifestava clarament defensor del sistema heliocèntric copernicà, que l'Església condemnava per considerar-lo contrari a la doctrina revelada en la Bíblia. Galileu intentà inútilment explicar el sentit de les seues afirmacions i acabà retractant-se públicament davant els tribunals de la Inquisició, per por d'acabar tan malament com el seu contemporani Giordano Bruno que morí abrasat a la foguera sota l'acusació d'heretgia.*

*Galileu manifestà sempre una gran capacitat per al treball, que no l'abandonà fins a la mort, esdevinguda en 1642, als 78 anys. De totes les seues obres en destaquen dues -els *Diàlegs sobre els dos grans sistemes del món* i els *Discursos sobre dues noves ciències*- redactades en forma d'interessants i apassionades discussions entre els partidaris i detractors de les diferents teories, on revela l'habilitat especial que tenia per a posar en ridícul els seus opositors, cosa que contribuïa enormement a fer créixer el nombre i la qualitat dels seus enemics potencials. Aquestes obres, a més, ja foren escrites en italià i per això conegueren una gran divulgació fins i tot fora del món estRICTE dels erudits, cosa que les feia potencialment més perilloses.*

- Q1. Confeccioneu una llista dels personatges que apareixen en el text i feu un esquema que expresse les relacions entre ells.*
- Q2. Esmenteu algun personatge històric conegut del vostre país o de la vostra ciutat contemporani de Galileu.*
- Q3. Tracteu d'aclarir en quins països o estats va viure Galileu, ja que llavors Itàlia no era un sol estat com ho és avui dia.*
- Q4. Feu una breu cronologia amb les dates que apareixen en el text i, paral·lelament esmenteu fets històrics que es puguin identificar fàcilment.*

**Q5. Resumiu els fets que considereu més significatius de la vida de Galileu.**

*FONT: Biografia adaptada de Holton i Brush (1976). Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Contextualització del treball dels científics. Relacions Ciència-Tècnica-Societat en la història.*

*NIVELLS: 14-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat es proposa com a introducció al coneixement contextualitzat del personatge històric que va contribuir d'una forma decisiva a trencar el paradigma aristotèlic, abordant, entre d'altres, el problema del moviment i centrant-lo en els seus aspectes destacats, com després veurem. És evident que la ciència no és obra només d'uns pocs genis, per això, amb aquesta biografia comentada de Galileu pretenem diversos objectius. D'una banda es pretén donar a conèixer un poc més la persona humana de Galileu, del que sempre sentim contar les anècdotes i poc més, però també es vol situar la seua contribució a la ciència en un context social i històric que permeta comprendre millor el seu treball, si pot ser desmitificant un poc la labor de savi o gran geni i presentant-lo més aviat com una persona apassionada pel seu treball, amb trets humans com qualsevol altra i condicionada per l'època i l'entorn que va viure. Aquesta breu biografia està treta del llibre de Holton i Brush (1976), però se'n poden trobar moltes altres. Després d'una primera lectura general per a fer-se'n una idea, els diferents apartats de l'activitat ajudaran a rellegir-la tot centrant-se en els aspectes que volem destacar.*

*La qüestió 1 pretén situar Galileu en relació amb els distints personatges contemporanis i avantpassats que hi tenen alguna relació, per a fer veure que la tasca científica no és cosa d'un savi aïllat, sinó que treballa sobre aspectes que altres han abordat (Aristòtil, G. Bruno, Kepler...) i es troba envoltat d'altres persones que li influïran tant en l'àrea familiar o afectiva (son pare, Marina, els fills) com en l'àmbit de la vida pública (el Dux de Venècia, Cosme de Mèdici, el Papa...) Una manera de clarificar les relacions és, després de fer una llista de tots els personatges que s'esmenten, dissenyar un quadre on apareguen segons la relació temporal amb Galileu (passat, contemporanis, descendents...) i segons els plànols familiar, professional o polític, per exemple. L'objectiu és que apareguen les relacions entre els diferents personatges i Galileu.*

*Molt sovint es té una imatge allunyada dels científics més famosos com a personatges d'altres entorns, èpoques o països. La qüestió 2, que potser plantege alguna dificultat, pretén esforçar-nos per situar Galileu com a contemporani d'algun altre personatge que pugui ser molt més pròxim a l'entorn de l'alumne. Potser no siga fàcil trobar-ne i això seria significatiu, però tampoc no es tracta de forçar la resposta. Amb l'ajut del professorat d'història es podria intentar acostar el màxim el nivell de proximitat o proposar la recerca com un treball complementari dels alumnes. A nivell estatal és evident que hi ha un fum de personatges coneguts que poden aparèixer en la cronologia de la qüestió 4. Referit a l'entorn valencià seria interessant presentar l'astrònom Jeroni Munyós (València 1520-Salamanca 1591), contemporani de Galileu i que ell mateix esmenta en una de les seues obres. Es pot trobar informació*



sobre Munyós en diverses publicacions recents sobre aspectes d'història de la ciència al País Valencià (Navarro 1981, López Piñero i Navarro, 1995).

De la mateixa manera, a la qüestió 3 podem veure els diferents contextos polítics on visqué Galileu, ja que a la Itàlia de l'època hi havia diferents estats o entitats polítiques que condicionaren de manera diferent la seua activitat científica. Recordem que va nàixer al Ducat de Toscana on més tard tornaria a treballar sota el mecenatge del Duc Cosme de Mèdici, però també visqué i ensenyà un temps a Pàdua i Venècia, sota els auspicis del Dux de la Sereníssima República, sense comptar, per a bé i per a mal, la seua relació amb el Papat.

Finalment les qüestions 4 i 5 són per a completar la contextualització. La cronologia pot ajudar a ordenar les idees sobre els fets que visqué i posar-los en paral·lel, com es fa sovint, amb d'altres fets històrics que poden ser destacats per a comprendre millor el nostre personatge. Remarcant els fets més significatius, com ara els moments més productius del seu treball, els llibres que publicà o el tristament famós procés inquisitorial, pot ajudar a retenir aquells aspectes menys anecdòtics del personatge i que són més interessants per al propòsit que perseguim.

Convé no obviar les dificultats que presenta la realització d'aquesta activitat, que pot exigir la realització d'una tasca de tipus interdisciplinari, sobretot amb la classe d'història o geografia. No obstant, es tracta d'una opció necessària si volem que els coneixements científics no queden deslligats de la resta de sabers i l'alumnat comence a tenir una percepció més global de la ciència com a activitat humana, amb les mateixes dificultats que qualsevol altra, sense negar els seus trets més específics, contextualitzada per uns moments socials i històrics determinats.

**A.2.** Després de veure la pel·lícula "Galileo" de Liliana Cavani, realitzeu a classe un debat sobre els problemes amb què hagué d'enfrontar-se Galileu. ¿Com creieu que va influir en el seu treball el telescopi que ell mateix va dissenyar?

**FONT:** Vilches, A. *Las interacciones ciencia, técnica, sociedad y la enseñanza de las ciencias físico-químicas.* 1993.

**OBJECTIUS:** Relacions CTS en la història.

**NIVELLS:** 16-18.

### **COMENTARIS**

---

La visió de la pel·lícula resulta especialment interessant i permet plantejar un debat en classe sobre els nombrosos aspectes que mostra. És més profitosa si abans s'ha treballat l'activitat anterior sobre la vida de Galileu que actua com a motivadora i desperta l'interès per veure la pel·lícula, ja que el fet de disposar normalment de la versió original subtitulada pot dificultar el seguiment. Per a completar el debat, el professor pot demanar que els alumnes escriguen com a feina complementària un breu comentari sobre aspectes de la vida de Galileu que es reflecteixen en la pel·lícula o sobre qualsevol altre assumpte que el debat pugui plantejar.

En la pel·lícula es pot veure el paper que tingué el disseny del telescopi i la seua primera utilització, amb l'escepticisme que alçà entre els no iniciats. El cas del telescopi és una prova que la tècnica no és una simple aplicació de la ciència pura i

*l'exemple pot servir per a mostrar com l'avanç tècnic (el telescopi, el microscopi, etc.) sovint determina els progressos científics (astronòmics, biològics, etc.).*

**A.3.** *Esbrineu el sentit d'aquest comentari escrit per Galileu mateix sobre alguns entrebancs que condicionen el treball científic:*

*"És impossible obtenir ajudes d'una república, per esplèndida i generosa que siga, sense establir uns impostos. Per tal d'obtenir alguna cosa de l'Estat, s'ha de satisfer l'Estat i no qualsevol altre individu; i mentre jo siga capaç d'instruir i de servir, ningú a la república no em pot dispensar d'aqueix deure, si per això em guanye un sou. En resum, espere percebre aquests beneficis només d'un governant absolut."*

*FONT: Text citat per Holton i Brush (1976).*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 14-18.*

### **COMENTARIS**

*Una vegada familiaritzats amb el personatge de Galileu, podem completar la tasca amb l'anàlisi de les dificultats concretes o obstacles que hagué de vèncer en la seua tasca. Com que no totes les dificultats que si li plantegen a l'activitat científica són de tipus epistemològic ni ideològic, com es pot veure en les activitats anteriors, en l'A.3 volem referir-nos a les condicions materials, com ara el finançament de la tasca científica. Per això hem triat un text on el mateix Galileu reflexiona sobre la conveniència de mantenir la seua situació professional amb un sou just de la república veneciana o bé optar per dedicar-se només a l'estudi sota el mecenatge del duc de Toscana, sense més preocupació. Aquesta activitat pretén només fer un breu comentari sobre aquests aspectes i plantejar als alumnes una qüestió que, avui més que mai, condiona la labor científica de forma inexorable. En una activitat posterior sobre la figura de Newton es pot replantejar el tema, per veure que a l'època d'aquest científic anglès comença una nova forma de resoldre aquestes qüestions amb l'aparició d'institucions oficials que financen la labor dels científics.*

**A.4.** *Llegiu el quadre següent i contesteu les qüestions proposades:*

#### **Quadre: ESPANYA I LA REVOLUCIÓ CIENTÍFICA**

*És una paradoxa que, tot i ser Espanya la iniciadora dels descobriments geogràfics (1492) i la metròpoli del major imperi conegut el segle XVI, es quedara al marge de la Revolució Científica alhora que minvava el comerç i la indústria. El problema és complex. Durant el Renaixement, el desenvolupament científic i tecnològic era paral·lel al de la resta d'Europa.*

*En Astronomia s'accepten les idees de Copèrnic. Diego de Zúñiga, de la Universitat de Salamanca, publicà als seus "Comentarios al libro de Job" (1584) que mitjançant la teoria de Copèrnic s'explica la posició dels planetes millor que amb la teoria de Ptolemeu.*

*Jeroni Munyós, catedràtic d'astronomia de les universitats de València i Salamanca escriví el "Libro del nuevo cometa" (1572), traduït al francès i al llatí i elogiat pels millors astrònoms europeus com Tycho Brahe. En el llibre dona la posició relativa d'una nova estrella (del tipus que avui anomenem supernova) que es féu visible a la constel·lació de Cassiopea i critica de forma oberta la doctrina aristotèlica sobre la incorruptibilitat del cel i, malgrat que la qualifica de cometa, argumenta sobre la seua naturalesa celeste.*

*En Física, el valencià Joan de Celaya i el seu deixeble Domingo de Soto, de la Universitat de Salamanca, desenrotllen crítiques sobre la concepció aristotèlica del moviment local. Aquest darrer autor va identificar en 1572 (abans que Galileu) el moviment de caiguda de cossos pesants amb el moviment uniformement disforme (accelerat), que va ser estudiat matemàticament per científics del segle XIV com Oresme o els calculadors del Merton College.*

*En Medicina destacaren Miguel Servet (1511-53), que suggerí la teoria de la circulació menor de la sang i Pedro Jimeno i Luís Collado, deixebles de Vesalius, que defensen la nova anatomia dels atacs dels galenistes. Però, sobretot, hi ha un gran desenvolupament i valoració de la tècnica, més concretament, la navegació (Europa va aprendre a navegar amb textos espanyols com "El arte de navegar" de Cortés), la metal·lúrgia (que va assolir un gran desenrotllament gràcies a l'explotació dels jaciments americans de metalls preciosos, i destaca, pel nombre de traduccions, el llibre "El arte de los metales" de Barba), l'enginyeria civil i militar, l'arquitectura, etc.*

*Emperò l'elevat cost del manteniment de la idea imperial per Carles I i l'entestament de Felip II en fer de la monarquia hispana l'espasa del catolicisme balafiaren els ingressos de les Índies, i els tresors que en procedien serviren per a enriquir els banquers europeus (que prestaven amb interessos elevats als monarques espanyols) en comptes de fructificar en el país. A més, les necessitats de la Hisenda pública i l'increment dels preus (fruit de les trameses d'argent americana) menaren a la ruïna la indústria i l'artesanat peninsulars. D'altra banda, amb la Contrareforma el misticisme i la Inquisició s'ensenyoren del pensament dominant i s'impedeix la comunicació de la nostra ciència amb la de la resta d'Europa, amb la prohibició de Felip II (1558) que els súbdits espanyols estudiaren o ensenyaren en universitats estrangeres. Açò provoca l'aïllament de la península de la revolució científica i tecnològica que iniciaven en Europa Kepler, Galileu, Descartes, Newton, Boyle i molts d'altres. Açò produeix una actitud de poca estima per la ciència entre nosaltres i un retard científic i tecnològic que costarà molt de recuperar.*

*El país pren consciència d'aquesta absència de la revolució científica el darrer terç del segle XVII i s'inicia el procés de recuperació científica amb el moviment novator, que es proposà com a tasca aprendre les idees i mètodes de la nova ciència, ensenyar-la, desbancar*

el criteri d'autoritat i denunciar l'endarreriment científic espanyol. Entre els que hi participen cal destacar els matemàtics Juan Caramuel i Antonio Hugo de Omerique; l'astrònom valencià Josep de Saragossà, que observà els cometes de 1664 i 1667, fou partidari en secret de l'heliocentrisme; i d'altres com el mallorquí Vicent Mut i els valencians Joan Baptista Corachán i Tomàs Vicent Tosca, aquest darrer autor d'un "Compendio Mathematico" (1705-15) amb què va contribuir de manera notable a la difusió dels coneixements anteriors a Newton.

Aquest moviment de renovació encetat pels novadors culmina en la Il·lustració, període del que podràs trobar informació més endavant.

- Q1. ¿Creieu que aqueixa actitud de poca estima per la ciència entre nosaltres encara persisteix?
- Q2. ¿Creieu que ja hem recuperat l'endarreriment científic i tecnològic?
- Q3. Tots els processos de recuperació en ciències són costosos. ¿Podeu trobar en el text dos exemples d'aquestes dificultats?

FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.

OBJECTIUS: Contribucions de científics espanyols. Relacions CTS en la història.

NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

Entre l'anomenat currículum ocult no només hi ha el fet de no mostrar les relacions entre la ciència i la tecnologia, la societat o el medi ambient, o el paper jugat per les dones en les ciències. També en forma part el fet d'amagar que es pot fer ciència, amb contribucions rellevants, en aquest país. Els estudiants no estan gens familiaritzats amb la història de la ciència (Solbes i Traver 1992) i els escassos científics que coneixen són tots estrangers (llevat de Ramon y Cajal). Això els fa pensar que les ciències "són estudis propis de les gents del nord" o que la frase "Que inventen ells!" és veritat.

Per això es tracta que coneguen les principals aportacions a la ciència realitzades al nostre país que apareixen no només en textos d'autors espanyols (López Piñero 1979 i 1982; Navarro 1981; López Piñero et al. 1983; Moreno 1988) sinó també en llibres d'autors estrangers (Taton et al. 1971, Mason, 1984). També pot aprofitar per a que coneguen els problemes que han obstaculitzat aquest desenvolupament i que quan s'han produït col·lapses en el desenrotllament de la ciència, la recuperació ha estat difícil (López Piñero 1979). Açò permet de mostrar, sense caure en el pessimisme de la polèmica de la ciència espanyola, que en situacions socio-econòmiques i culturals normals a Espanya s'ha produït la ciència que corresponia a la seua grandària de país mitjà.

L'actitud de poca estima envers la ciència ha estat una constant de la nostra història que comença amb la Contrareforma (tal i com es pot comprovar en el text) i que es posa de manifest en els sectors més conservadors de la intel·lectualitat espanyola en

*diferents moments de la nostra peculiar història sobre la polèmica de la ciència espanyola (e. g., en la Il·lustració o en la segona meitat del segle XIX).*

*Aquesta poca estima sembla que encara persisteix en 1995, quan es comprova que els mitjans de comunicació transmeten la idea que les humanitats estan sent desplaçades en l'Ensenyament Secundari Obligatori (ESO) i el Batxillerat de la LOGSE per les matèries científiques i tecnològiques. Aquesta afirmació planteja la relació entre humanitats i ciències com una controvèrsia, com la vella pugna entre "les dues cultures". En els països del nostre entorn no es concep la cultura com una cosa formada només per les arts, la literatura o la filosofia, i es reconeix que la ciència és una part integrant de la cultura. Per contra al nostre país sovint es parla de ciència i cultura com si es tractés de coses diferents i hom pot presumir de culte sense posseir un coneixement suficient dels avanços científics i tecnològics dels que depèn la nostra vida quotidiana.*

*Tal com ja hem indicat, després dels nostres col·lapses característics en el desenvolupament de la ciència, la recuperació és difícil. Cal, en primer lloc, aprendre els nous coneixements i mètodes i difondre'ls (tot escrivint textos, ensenyant, etc.) per a formar les noves generacions. En el text es perceben algunes dificultats en el segle XVII: la necessitat de mantenir l'heliocentrisme en secret (per tal d'evitar represàlies de la Inquisició), més de 20 anys després de la publicació dels Principia de Newton.*

*Aquesta història encara segueix avui. Malgrat el gran esforç realitzat en el nostre país en aquests darrers anys, com que partíem d'una situació molt baixa, s'ha passat d'un 0,4 % del PIB en I+D en els anys 80 a un 0,9 % en 1990, encara lluny del 2 % de mitjana als països de l'OCDE. Per això, encara ens trobem en una situació de dependència tecnològica que no s'adiu amb el nostre entorn socio-polític actual.*

## **RELATIVITAT DEL MOVIMENT**

**A.5.** *Llegiu i analitzeu aquest fragment de l'obra de Galileu **Diàlegs sobre els dos sistemes principals del món** (1632), amb l'ajut de les qüestions proposades.*

*"Salviati: Tanqueu-vos amb algun amic en la gran cabina que hi ha sota el pont d'un gran vaixell i endugueu-vos mosques, papallones i d'altres bestioles voladores. Porteu també un gran recipient amb aigua on nade un peix i pengeu una ampolla que vaja buidant-se gota a gota en un got de coll estret col·locat davall d'ella. Mentre el vaixell està immòbil, observeu acuradament com les bestioles volen a la mateixa velocitat cap a tots els costats de la cabina. El peix nada igualment en totes les direccions, les gotes cauen al got col·locat davall l'ampolla. I si llanceu un objecte al vostre company, no cal llançar-lo amb més força en una direcció que en una altra per tal que arribe a la mateixa distància,... Una vegada hàgeu observat tot això amb detall, feu que el vaixell avanci a la velocitat que vós desitgeu, amb cura que el seu moviment siga uniforme i que no bascule d'un costat a l'altre..."*

- Q1. *Descriviu els efectes del moviment del vaixell en cadascun dels fenòmens que s'hi observen.*
- Q2. *En el cas que l'ampolla es buide gota a gota ¿hi ha alguna diferència entre allò que observa una persona a dins del vaixell i una altra que es trobe al port?*
- Q3. *Un altre exemple de Galileu que podeu discutir és la trajectòria d'una pilota deixada caure des del pal del vaixell, tal com s'observa des de la nau estant i des del port.*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Plantejament de problemes. Evolució de les idees científiques. Superació d'obstacles epistemològics.*

*NIVELLS: 14-18.*

### **COMENTARIS**

*Ací utilitzem informació directa dels treballs que féu Galileu, ja que tracta de comentar un text elaborat per ell mateix. El text utilitza una coneguda tècnica basada en el diàleg entre diferents personatges imaginaris que defensen punts de vista controvertits a l'època al voltant del problema que es proposa. Com en altres diàlegs, apareix un personatge anomenat Salviati que sempre sol defensar les solucions més innovadores que proposa el mateix Galileu, de manera que va conduint la discussió fins que aconsegueix que els seus contertulians es convencen amb els seus propis arguments i sense quasi adonar-se'n acaben acceptant les noves idees que ell els proposa. Tot el fil de la discussió sol centrar-se en recrear un experiment mental, a la manera dels coneguts "gedankenexperimenten" que després Albert Einstein faria famosos. Consisteix a descriure una situació imaginària en condicions ideals però perfectament versemblant, on mitjançant raonaments es pot deduir quin serà el resultat lògic de l'experiment mental, si més no de forma qualitativa, sense que faci cap falta dur-lo a terme de forma efectiva. Galileu utilitzarà sovint aquesta estratègia en altres diàlegs, segurament pel fet d'estar acostumat a discutir amb els seus col·legues aristotèlics que eren reticents a acceptar els resultats d'algunes comprovacions experimentals, malgrat que molts dels seus postulats no haurien resistit la més senzilla verificació. Cal considerar la importància de l'experiment mental, ja que, de fet, molts experiments duts a cap al laboratori no donen els resultats "teòricament" previstos, a causa de les imprecisions i variables no controlades. En aquest argument es solien basar els aristotèlics per a refutar aqueixos resultats, ja que no és del tot cert que fossen contraris a l'experimentació.*

*La qüestió 1 es refereix als arguments de Galileu per boca de Salviati sobre un aspecte crucial per a resoldre la descripció dels moviments: la necessitat d'establir un sistema de referència que hem de suposar en repòs. L'exemple que proposa Salviati és equiparable al fet que molts alumnes poden haver experimentat quan viatgen en cotxe, en tren o en avió: la impossibilitat real de detectar, sense un sistema de referència extern, si es troben en repòs o bé tenen un moviment uniforme, com el vaixell del text. És important insistir en la necessitat de considerar les situacions ideals, impossibles de reproduir exactament en la realitat, però per causes que no són es-*

sencials per a resoldre el problema, cosa que encara li dóna més valors a l'experiment mental.

En la qüestió 2 es planteja la conseqüència immediata de la relativitat del moviment que és la diferent manera de descriure un mateix fenomen si fem sistemes de referència diferents. Així un observador situat a dins del vaixell, que no pot percebre el moviment de la nau, descriu el moviment de la gota o de la pilota com una caiguda lliure vertical, mentre que l'observador del port pot percebre el moviment d'avanç del vaixell que combinat amb la caiguda lliure el fa descriure el moviment com a parabòlic. Aquesta mateixa idea la va utilitzar Galileu per a explicar la trajectòria dels projectils, tal com proposa la qüestió 3. Insistirem en aquest aspecte en l'activitat següent, ja que la dificultat epistemològica d'acceptar la relativitat del moviment, contra les "evidències" del sentit comú, sembla trobar-se a la base de moltes altres preconcepcions que apareixen tot al llarg de la mecànica.

## TIPUS DE MOVIMENTS

**A.6.** En el següent fragment dels **Diàlegs** de Galileu, trobem el personatge anomenat Salviati, que explica les idees de Galileu, i que discuteix amb Simplicio, personatge que té idees aristotèliques, i a qui Salviati (Galileu) acaba sempre portant al seu terreny i li fa dir amb les seues pròpies paraules justament el contrari del que deia al principi de la discussió. Llegiu-lo de forma dialogada i comenteu els aspectes més innovadors que proposa Galileu per boca de Salviati.

Salviati: Si tingueres una superfície d'una substància tan dura com l'acer, llisa i polimentada com un espill, que no fóra horitzontal, sinó una mica inclinada, i col·locares sobre ella una bola de bronze perfectament esfèrica, ¿què creus que passaria quan la soltares?

Simplicio accepta que la bola rodaria pel pla espontàniament i accelerant contínuament; per a mantenir-la en repòs, caldria una força; i si anul·lem completament la resistència de l'aire o d'altres obstacles, seguiria movent-se indefinidament, fins a on arribara el pendent.

El suggeriment del moviment fins a l'infinit havia començat a ser insinuada però sense despertar cap sospita aristotèlica en Simplicio.

Ara Salviati pregunta si la bola també rodaria cap amunt en el pla inclinat i, naturalment, Simplicio contesta que això sols podria ocórrer si li aplicàvem una força suficient; i, a més: "El moviment seria constantment retardat i contrari a la Natura". Ell també està d'acord (segons la física d'Aristòtil) en què com major siga el pendent, major és la velocitat de caiguda.

Salviati: Així, doncs, dis-me: ¿què li passaria a aquest mateix cos sobre una superfície que no tingués inclinació cap amunt ni cap avall?

En aquest cas Simplicio diu que el cos no es mouria de cap manera, si de bon començament estava en repòs en el pla; però si li haví-

em donat un impuls inicial i en una direcció particular, no hi hauria cap raó per a accelerar o retardar el seu moviment.

Salviati: Bé, doncs, si no hi ha causa de retard, menys encara n'hi haurà per a aturar-lo; per tant, ¿quina distància recorrerà el cos en moviment?

Simplici: Doncs, tanta com la superfície no inclinada ni ascendent.

Salviati: Per tant, si aquest espai fóra indefinit, el moviment sobre ell no tindria fi, és a dir, seria perpetu.

Simplici: Jo crec que sí...

A partir del postulat aristotèlic segons el qual una força és sempre necessària per a mantenir un moviment no natural, Simplici ha estat forçat a concedir que un moviment que no és natural pot, tanmateix continuar indefinidament sense cap força!

*FONT: Seminari de Física i Química. La construcció de las ciencias físico-químicas. Nau Llibres. València. 1990.*

*OBJECTIUS: Plantejament de problemes. Evolució de les idees científiques. Superació d'obstacles epistemològics.*

*NIVELLS: 14-16.*

### **COMENTARIS**

*En el text objecte de treball apareixen els dos personatges de Salviati i de Simplici, aquest darrer encarnació del pensament aristotèlic o del sentit comú, en qui alguns volien veure una burla o atac a les postures oficials, pel nom que Galileu li va atribuir. Podem aprofitar l'ocasió per a escenificar el mateix diàleg o bé llegir-lo pausadament entre diferents alumnes. Tal com presentem el text s'han interposat comentaris que pot llegir també un alumne o bé aprofitar-los el professor per a que els alumnes contesten les preguntes que fa Salviati.*

*El text, per altra banda força divulgat, també sol presentar-se a l'inici del tema de la dinàmica i pot aprofitar per a connectar ambdós temes amb un mateix fil conductor. Col·locat en el context cinemàtic, on el proposava el mateix Galileu, té l'objectiu de clarificar els tipus de moviments per a descartar la divisió aristotèlica entre naturals i forçats, mancada de tota verificabilitat i prou subjectiva. Cal destacar la innovació de Galileu en plantejar, mitjançant el conegut experiment mental de la bola esfèrica perfectament polida rodant per un pla infinit, la possibilitat d'imaginar un moviment realment inexistent, per molt que ens hi vulguem acostar, com és el moviment uniforme. Atesa la dificultat de trobar exemples reals i pràctics de moviments perfectament uniformes, tot i que en l'actualitat la tecnologia permet de dissenyar dispositius que s'hi poden ben aproximar, pensem com seria d'innovador suggerir-ho a l'època de Galileu, on l'eliminació del fregament o l'allunyament dels camps de forces intensos resultava senzillament inimaginable.*

*Convé no perdre de vista el fil argumental exposat per Galileu, que mena a plantejar-se les causes de les modificacions en el tipus de moviment. Així, comença la discussió en termes aristotèlics i proposa un exemple de moviment natural (la caiguda*



*pel pla inclinat) i un de forçat (l'ascens), però fa entrar en crisi aquesta classificació quan imagina un tercer cas, el moviment pel pla horitzontal i fa veure que tan natural seria que l'esfera es mantinguera quieta com que continuara en moviment, només que s'hauria de mantenir tal com la deixàrem i l'impuls que hauria de perdre per a parar no sembla que el pogués perdre per cap causa. És a dir, per a Galileu l'única cosa natural seria el moviment uniforme, tal com ve a dir el principi d'inèrcia, que d'altra banda és indistingible del repòs segons el principi de relativitat. Així si hem de buscar causes o forces que afecten els moviments serà quan hi aparega un tipus de moviment especial: l'accelerat o no uniforme. Per aquesta raó Galileu imagina què passaria en una situació ideal on desaparegués qualsevol agent que pogués modificar el moviment i la seua conclusió evident, a la que porta també Simplicio, és el moviment uniforme indefinit. Açò representa, evidentment, una transgressió flagrant dels postulats aristotèlics i hem d'aprofitar l'ocasió per a recordar-ho.*

**A.7.** *Dissenyeu una experiència fàcil de fer al laboratori on es reproduiria l'experiment "mental" proposat per Salviati a Simplicio. Comenteu quines dificultats apareixen en la realitat del laboratori per a poder observar el "moviment uniforme" indefinidament. Realitzeu-la.*

*FONT: Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Evolució de les idees científiques. Superació d'obstacles epistemològics. Forma de treballar dels científics.*

*NIVELLS: 14-16.*

### **COMENTARIS**

---

*Aquesta activitat vol anar més enllà de la discussió teòrica en la classe i proposa una tasca de laboratori que intenta reproduir les experiències mentals de Galileu, primer de forma qualitativa i després amb la caracterització d'un moviment aproximadament uniforme. La realització d'aquesta activitat es pot dur a terme si fem un dispositiu ben senzill format per dos carrils metàl·lics o bé de fusta poc flexible, d'una llargària d'un parell de metres cadascun i que tinguen una guia per on desplaçar una esfera d'acer massissa i ben polida. Un dels carrils pot servir de llançadora i comprovar com amb l'altre carril es pot aconseguir que la bola arribe menys a punt i més lluny com menor siga la seua inclinació. En la situació que el segon carril és manté horitzontal l'esfera tendeix a escapar-se i té un moviment pràcticament uniforme, si les causes de frenada s'han reduït tant com es puga; mentre que si els dos carrils es mantenen inclinats en forma de V, l'esfera que descendeix d'un tendeix a pujar per l'altre i quan ateny certa altura retorna al primer carril. Aquest moviment, de no haver fregaments, seria indefinidament oscil·lant. Encara que el professor tinga clar quin serà el disseny, no costa massa que els alumnes hi arriben a proposar-lo i se'n discuteixen els detalls per a la realització.*

*Una vegada fetes les proves de tipus qualitatiu, que permeten confirmar les propostes de Galileu, podem passar a l'estudi quantitatiu del moviment en la zona horitzontal, tot llançant l'esfera pel pla inclinat, intentant que sempre entre amb la mateixa velocitat al tram horitzontal i mesurant diferents trams recorreguts i temps emprats, per a tractar de verificar si té un moviment uniforme. La representació de les posicions de l'esfera en diferents instants permet de mesurar la velocitat a partir del pendent de la recta obtinguda i si cada grup d'alumnes la llança des d'altures diferents po-*

*dem comparar les diferents rapideses obtingudes. L'activitat és bastant senzilla i a l'abast de qualsevol laboratori escolar i els resultats no són massa dolents, ben entès que el moviment de l'esfera en el tram horitzontal dista prou d'una situació ideal d'absència de fregament inassequible a la majoria dels nostres laboratoris.*

## **EL MOVIMENT DE CAIGUDA LLIURE**

---

**A.8.** *Comproveu de forma senzilla la hipòtesi segons la qual com major siga el pes d'un cos més de presa cau, fent servir un full i una moneda.*

*FONT: Seminari de Física i Química. La construcció de las ciencias físico-químicas. Nau Llibres. València. 1990.*

*OBJECTIUS: Idees vigents al llarg de la història. Idees prèvies dels alumnes.*

*NIVELLS: 14-16.*

### **COMENTARIS**

---

*Els grups d'alumnes no tenen problemes en utilitzar objectes com ara la goma d'esborrar, boletes, trossos de guix i fins i tot fulls de paper embolicats en forma de boletes compactes, i comproven que quan es deixen caure des de la mateixa altura, els temps de caiguda són pràcticament els mateixos. També poden fer el conegut experiment del full deixat caure amb una moneda al damunt, encara que pot obrir més controvèrsies sobre el diferent resultat si es posa la moneda davall, ja que pot haver-hi alumnes que opinen que la moneda empeny el full quan la col·loquem damunt. L'explicació correcta d'aquest experiment no és altra que l'experiment mental del mateix Galileu sobre el comportament de dos cossos de massa molt diferent que els obliguem a caure junts: un martell i una enclusa de ferrer, o dues pedres de massa molt diferent. Tot indica que ambdós junts cauen de la mateixa manera que caurien l'un lliure de l'altre, sense importar la seua massa, perquè altrament es produirien incongruències lògiques. Una explicació més detallada de l'experiment la podem trobar en el llibre de Holton i Brush (1976), d'on esmentem més endavant, en aquest mateix comentari, un text per a comentar en classe si ho creiem necessari.*

*Tot sembla indicar que, en efecte, la massa dels cossos no influeix en l'acceleració de caiguda si el fregament és menyspreable i podem quedar-nos tranquils encara que no fem una comprovació quantitativa molt detallada, per què, malgrat que la contrastació de la 2a hipòtesi sol eixir prou bé, no és estrany que alguns alumnes afirmen, per exemple, que "la goma ha caigut un poc abans que el trosset de guix". El professor pot valorar llavors aquesta afirmació de forma positiva i aprofitar-la per a puntualitzar alguns aspectes clau.*

*En primer lloc es tracta d'admetre que allò que si sembla que ha demostrat la conclusió obtinguda és la falsedat de la idea, fortament arrelada en molts alumnes, d'assignar la meitat de temps en la duració de caiguda a doble pes. Convé que el professor recorde ací una vegada més les idees aristotèliques respecte a la caiguda de gràvids, i es pot esmentar el mateix Aristòtil quan escriu textualment que:*

*"Un pes donat cau una certa distància en un temps donat; un pes que siga major tarda en caure des de la mateixa altura menys temps i els temps estan en proporció*

*inversa als pesos. Així si un pes donat és doble que un altre, invertirà la meitat de temps en caure" (Del llibre **De caelo**).*

*Pot ser interessant presentar aquest paràgraf de l'obra "Dues Noves Ciències" de Galileu, esmentat per Holton i Brush (1976), que reproduïm tot seguit:*

*"Però Simplicí, tinc l'esperança que no seguiràs l'exemple de molts d'altres, que desvien la discussió d'un punt principal i diuen que algunes de les meues afirmacions s'aparten de la veritat per un pèl i per aquest pèl amaguen les faltes d'altres teories tan gruixudes com una maroma de vaixell. Aristòtil diu que una esfera de ferro de 100 lliures, que cau des d'una altura de 100 cúbits, aplega a terra abans que una bola d'una lliura deixada caure des de la mateixa altura haja caigut només un cúbit. Jo dic que ambdues apleguen alhora. En fer l'experiència, tu trobes que la més pesada avança la més lleugera en dos o tres dits. Ara no pots amagar darrere d'aquests dos dits els 99 cúbits d'Aristòtil, ni pots pas esmentar el meu petit error alhora que silencies el seu, molt major".*

*En segon lloc és important evitar que els alumnes pensen que una hipòtesi tan important com aquesta pugua quedar realment contrastada amb un simple experiment escolar. El professor es referirà a la quantitat enorme d'evidència empírica  $\frac{3}{4}$  obtinguda mitjançant distints dissenys molt més exactes  $\frac{3}{4}$  que reafirma la conclusió obtinguda, igual com a la seua coherència i eficàcia dins de la mecànica. Tot això ens permet d'afirmar amb seguretat que, en efecte, en absència de fregament l'acceleració de caiguda dels cossos és independent de la massa.*

## ASTRONOMIA I GRAVITACIÓ

### ASTRONOMIA I MODELS D'UNIVERS

**A.9.** *Llegiu aquest text i responeu la qüestió:*

*"(Ulisses) començà a regir hàbilment la nau amb el timó,..., fixos els ulls en les Plèiades i el Bover, que es pon molt tard, i l'Óssa, anomenada per sobrenom el Carro, la qual gira sempre en el mateix lloc, aguaita Orió i és l'única que no es banya a l'oceà. Car Calipso, insigne entre les deesses, li havia encomanat que tingués l'Óssa a mà esquerra durant la travessia". (Odissea, cant V, 262-282).*

**Q1.** *¿Per què l'observació i l'estudi del moviment dels astres ha jugat un paper tan important en totes les cultures d'Orient i Occident?*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Repercussions socials de la ciència.*

*NIVELLS: 17-18.*

## COMENTARIS

*En el text apareixen dos papers de tipus pràctic: l'orientació (en la navegació i també en les grans caravanes) i la mesura del temps ("es pon molt tard"). Per això no ens ha de sorprendre el desenvolupament primerenc de l'astronomia (e. g., en les civilitzacions egípcia i babilònica). La regularitat dels moviments celestes no podia passar desapercebuda i permet mesurar el temps, elaborar calendaris i predir esdeveniments celestes. Alguns d'ells coincidien amb la sembra, la collita o el desbordament del Nil, de tant importància per a l'agricultura i, per tant, per a la vida de les persones. Per això resultava natural creure que els cossos celestes influïen en els afers d'aquest món. Açò permetia els sacerdots, que feien les observacions i els registres de les dades astronòmiques, augmentar el seu poder i influència. Podem aprofitar l'ocasió per a criticar l'astrologia i també per a mostrar com l'astronomia jugava un paper ideològic, de justificació de classes socials, ja que només les castes sacerdotals tenien accés i s'aprofitaven d'aquest saber.*

**A.10.** *Els grecs antics defensaven que la Terra era el centre immòbil de l'Univers i que els astres com el Sol, la Lluna i els estels, es movien al seu voltant. Indiqueu observacions que semblen recolzar aquesta concepció.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Idees prèvies dels alumnes. Idees vigents al llarg de la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

## COMENTARIS

*El llenguatge quotidià està ple d'expressions basades en el model geocèntric: el Sol ix per l'Est i es pon per l'Oest, la Luna s'alça, els estels giren (com hem pogut llegir en el text d'Homer). Açò farà pensar els alumnes que les concepcions de l'Univers d'aquella època no eren tan destrellatades, ja que es basaven en observacions de la vida quotidiana, és a dir, en evidències del sentit comú.*

**A.11.** *Comenteu en classe aquest fragment que mostra les característiques essencials del model geocèntric. ¿Per què aquesta concepció es mantingué a l'Europa medieval?*

*"Ordenava els cossos celestes cap a fora, des de la Terra, segons llurs períodes aparents de revolució, és a dir, la Lluna, el Sol, Venus, Mercuri, Mart, Júpiter i Saturn... L'esfera externa dels estels fixos era moguda pel Primum Mobile... Les coses per davall de la Lluna estaven fetes a base dels quatre elements terrestres, terra, aigua, aire i foc. Els cels estaven formats per un cinquè element més pur, la quintaessència. Els cossos celestes eren incorruptibles i eterns, i també ho eren llurs moviments que eren, consegüentment, circulars i uniformes. A la Terra hi havia generació i corrupció, per la qual cosa els moviments terrestres eren rectilinis i tenien principi i fi" (Mason, "Historia de las Ciencias", vol. 1, p. 49-50).*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució de les idees científiques. Models controvertits.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*D'antuvi veiem que per als grecs antics l'Univers es limita als planetes més interiors del sistema solar i als estels fixos, és a dir, l'Univers visible a ull nu. Aquesta idea limitada de l'univers prevalgué fins que els telescopis (a partir del XVII) permeteren d'ampliar la imatge i grandària de l'Univers. Un altre aspecte a destacar és la clara separació entre el món terrestre i el celeste. Les diferències es manifesten tant en la composició com en el comportament (tipus de moviment, permanència al "lloc natural", etc.).*

*La supervivència d'aquest model durant l'Edat Mitjana és una prova més de les implicacions de la ciència en la ideologia i la cultura. De fet, el model geocèntric era coherent amb les concepcions medievals dominants, tant de caire religiós com social (feudalisme): paper de l'home en el món, necessitat d'un primer motor, la jerarquització natural, etc. A més, com hem vist en una activitat anterior, les observacions efectuades a simple vista estaven en concordança perfecta amb el model geocèntric i no tenien cap explicació més natural.*

**A.12.** *Llegiu i comenteu el text següent:*

#### **L'OPOSICIÓ A LA REVOLUCIÓ COPERNICANA**

*El model heliocèntric fou molt atacat durant més de 100 anys. Entre els arguments de tipus físic contra el moviment de la Terra podem assenyalar aquests: els objectes, inclosa l'atmosfera, eixirien llançats, un objecte deixat caure verticalment des d'una torre xocaria amb la paret o se n'allunyaria, s'observaria paral·latge dels estels fixos, etc.*

*En contra del model s'utilitzaren, a més, textos de la Bíblia com el que afirma que el Sol es detingué i la Lluna s'aturà (Josuè 10, 13). Aquesta interpretació literal de la Bíblia s'ha continuat utilitzant en contra de les teories científiques sobre l'origen de l'home o l'edat de la Terra.*

*Però els defensors del geocentrisme no es limitaren als arguments i els seus oponents foren sotmesos a persecucions. Malgrat que Copèrnic se'n lliurà en publicar el seu llibre el mateix any de la mort, Martí Luter el titllà de boig i heretge i l'Església Catòlica inclogué les "Revolucions" en l' "Índex de llibres prohibits".*

*Giordano Bruno, amb la defensa de la infinitud de l'Univers i de l'existència d'un gran nombre de mons habitats, no es limitava a substituir el geocentrisme per l'heliocentrisme, sinó que eliminava tota mena d'antropocentrisme. Fou sotmès a tortures per a fer-lo abjurar i en no aconseguir-ho, fou cremat en la foguera el 1600.*

Galileu en publicar en llatí observacions astronòmiques en favor del sistema copernicà en el llibre "Sidereus Nuntius" (1610), fou advertit per la Inquisició, que li prohibí publicar sobre aqueix tema.

Quan el 1632 publica l'obra "Diàleg sobre els dos grans sistemes del món", en italià i en forma de diàleg, per fer-la accessible a la societat, s'inicia la seua persecució malgrat la seua edat avançada. Fou jutjat per la Inquisició, amenaçat amb tortura, obligat a renunciar a les seues idees (l'abjuració fou llegida públicament en totes les esglésies d'Itàlia) i confinat fins a la mort el 1642 en una vil·la en el camp. En aquesta clausura escriví "Discursos i demostracions sobre dues noves ciències pertanyents a la mecànica i el moviment global" que es publicà a Holanda, car a Itàlia els seus llibres estaven prohibits.

El "Diàleg" fou inclòs en l' "Índex", on romangué junt al de Copèrnic i un altre de Kepler fins al 1835. Aquesta condemna de les teories de Galileu s'ha prolongat fins a l'actualitat: el Vaticà no anuncià fins al 1968 la conveniència d'anul·lar-la, cosa que ha fet efectiva el 1992.

D'altres científics eludiren les persecucions en publicar que el sistema heliocèntric era més eficaç per a fer els càlculs, però no era un model de la realitat, postura semblant a la mantinguda aquest segle pels positivistes.

- Q1. Intenteu refutar els arguments, tant ideològics com científics, que s'utilitzaren contra el model heliocèntric.
- Q2. Esmenteu d'altres científics que contribuïren a establir el model heliocèntric i quines en foren les principals aportacions.
- Q3. ¿Coneixeu d'altres científics que hagen estat objecte de persecució en dades més recents?

FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.

OBJECTIUS: Relacions CTS en la història. Caràcter col·lectiu de la ciència.

NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

Demostrar que les argumentacions físiques contra el model heliocèntric són falses fou un procés llarg en què foren necessaris coneixements de gravitació (Newton), cinemàtica (Galileu) i astronomia. Copèrnic afirmava, per a justificar la manca d'observació del paral·latge, que els estels es troben a una distància pràcticament infinita, cosa que era absurda per a l'època. De fet en aquella època no existia cap observació o experiment "crucial", que es pogués explicar només amb una teoria. Calgué esperar la descoberta de les aberracions estel·lars o l'experiment del pèndol de Foucault.

Els arguments de caire ideològic contra el sistema copernicà deriven de la seua oposició a les concepcions i interessos de la noblesa i el clergat. La interpretació literal de la Bíblia pertany a èpoques passades en què la crítica de textos i l'hermenèu-

*tica estaven encara sense desenvolupar. Parafraçant Galileu caldria recordar que la Sagrada Escripura no fou escrita per a explicar-nos com és el cel, sinó per a aprendre com anar al cel.*

*Un partidari del sistema copernicà fou el científic alemany Johannes Kepler (1571-1630) que el 1600 treballà amb l'astrònom danès Tycho Brahe (1546-1601) i va utilitzar les seues dades per a perfeccionar el sistema heliocèntric. Va trobar que les posicions de Mart no s'ajustaven amb les òrbites circulars de Copèrnic. Després d'anys de treball pogué enunciar les tres lleis que duen el seu nom.*

*Aquesta mena d'activitats també pretenen que els alumnes reconeguen el treball de molts científics en l'establiment del model, (Aristarc, Copèrnic, Tycho Brahe, Kepler, Galileu...), és a dir, el caràcter col·lectiu de la ciència i la seua forma de creixement. Per a ampliar informació sobre l'establiment del model heliocèntric podem utilitzar el llibre "Historia de las Ciencias" (Mason 1984) als capítols I i III del vol. II, o també "Nicolás Copérnico, Thomas Digges, Galileo Galilei: Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra" (Alianza Ed. 1983). Cal remarcar que les idees de Copèrnic i els defensors del seu model no foren acceptades en la seua època, a més, perquè no formaven part d'una visió coherent del món en conjunt, i només la unificació de les lleis celestes i terrestres, amb la síntesi newtoniana, pogué superar les concepcions aristotèliques i les supersticions.*

**A.13.** *Llegiu i comenteu el text següent sobre les primeres idees científiques sobre l'Univers:*

### **ELS PRIMERS MODELS SOBRE L'UNIVERS**

*La major part de pobles i civilitzacions, tot al llarg de la història, han elaborat models sobre l'Univers, per tal d'explicar els moviments del Sol, la Lluna o els estels, que formaven part de la religió i la cultura. Cap a l'any 2000 a. C. els egipcis regulaven el calendari pels moviments de l'estel Sotkis, que eixia a trenc d'alba per l'època de la inundació del Nil. Els mateixos anys, els babilonis basaven llurs mesures del temps en el mes lunar i l'any constava de 360 dies, dividit en dotze mesos de 30 dies cadascun, i anomenaren els dies pel Sol, la Lluna i cinc planetes; també foren els responsables de la divisió del dia en dotze hores dobles i de l'hora en minuts i segons sexagesimals. Els habitants de Mesopotàmia realitzaren mesures astronòmiques acurades i consideraven que la Terra i els Cels eren dos discos plans recolzats en l'aigua, el Sol i la resta de cossos celestes eren déus que eixien cada dia i controlaven els afers terrestres.*

*L'observació del moviment dels astres ha tingut també una importància pràctica durant la història de la humanitat per la seua influència en l'agricultura o la navegació, i per això és lògic trobar "observatoris astronòmics" i calendaris des de temps antics.*

*En la Grècia clàssica predominà el model PTOLEMAIC, proposat per l'astrònom alexandrià Claudi PTOLEMEU (~90-~168). Aquest model es basava en les observacions immediates, com que el Sol ix i es pon cada dia, que els estels van rodant pel cel durant tota la nit i la Terra*

sembla restar immòbil sota els nostres peus. El model, també anomenat **GEOCÈNTRIC**, situava la Terra immòbil al centre de l'Univers i la Lluna, el Sol i les diferents estrelles es trobaven en esferes concèntriques centrades en la Terra que giraven harmònicament. Els planetes, anomenats així pel seu moviment erràtic, calia situar-los en subesferes que descriurien epicicles, és a dir, petits cercles inserits en una esfera global. En resum podem dir que es tracta d'un model que descriu el comportament dels diferents astres situant el punt de referència en la Terra, amb la qual cosa el model resulta complex i no s'adapta exactament a observacions astronòmiques més precises.

El segle XVI, cap al 1543, es divulga a Europa l'anomenat model **COPERNICÀ**, que proposava l'astrònom polonès **Nicolau COPÈRNIC** (1473-1543). S'anomena també model **HELIOCÈNTRIC**, ja que considera que el Sol està immòbil al centre del Sistema Solar i els planetes orbiten en trajectòries circulars al voltant del Sol. La novetat fonamental rau en què la Terra es considera un planeta més que també descriu una òrbita circumsolar i la Lluna es considera un satèl·lit terrestre. Fou corregit per **Johannes KEPLER** (1571-1630) en l'aspecte concret de les òrbites, que segons ell han de ser el·líptiques per a que les dades astronòmiques més exactes de l'època s'hi corresponguen amb les posicions planetàries. Aquest model, per tant, situa el sistema de referència en el Sol, amb la qual cosa la relació entre els planetes i el Sol apareix molt més clara i permet d'aprofundir en la naturalesa de la interacció que explica el comportament planetari.

Efectivament, el problema bàsic que es planteja ara és explicar com es manté l'estructura de l'Univers, per què els planetes descriuen inexorablement òrbites que els lliguen al Sol i com és que no se'n poden escapar. Cal tenir present que apareixen molts altres problemes, com explicar què són els cometes o com és que Júpiter té també satèl·lits, descrits per Galileu, i també d'altres planetes tenen satèl·lits, etc.

Diversos científics de l'època abordaren la solució d'aquests problemes, com Newton, Halley, Hooke i d'altres, a partir dels principis de la dinàmica que ja hem exposat. Bàsicament la solució calia buscar-la a partir del fet que els moviments planetaris, per ser curvilinis, tenen una acceleració normal que corba les seues trajectòries i això significa, segons hem vist, que hi ha alguna força actuant sobre el planeta. Ja que els planetes orbiten el Sol, suposem que existeix una interacció entre el planeta i el Sol de forma semblant a com hem descrit que hi ha una interacció entre la Terra i els objectes que li són pròxims. De forma general la proposta és l'existència d'una atracció universal entre tots els cossos celestes: **la Gravitació Universal**.

- Q1. Feu un esquema que resumeixi les principals idees contingudes en aquest text.
- Q2. Assenyaleu els principals avantatges del model heliocèntric enfront del model geocèntric.



*FONT: Seminari de Física i Química. La construcció de las ciencias físico-químicas. Nau Llibres. València. 1990.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Models controvertits. Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 14-16.*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat reuneix molts aspectes ja plantejats en altres activitats i pot servir de recull, bé com a introducció al tema de la interacció gravitatòria o bé com a resum final. En qualsevol cas no insistirem en l'interès d'aquesta mena d'activitats de síntesi, per tal d'ordenar les idees exposades en un tema que poden quedar una mica inconnexes.*

## **NEWTON I LA LLEI DE LA GRAVITACIÓ UNIVERSAL**

**A.14.** *Llegiu i comenteu el text següent:*

### **LA FÍSICA EN EL SEGLE XVII**

*Després de la mort de Galileu es produeix un gran floriment de les ciències físiques. Destaquen els treballs sobre buit i gasos de l'italià Torricelli (1608-47), el francès Pascal (1623-62), l'anglès Boyle (1627-91) i l'alemany Guericke (1602-86); els estudis del francès Descartes (1596-1650) sobre geometria analítica i òptica; els treballs de l'holandès Huygens (1629-1695) en astronomia (construí un telescopi amb què descobrí un satèl·lit de Saturn), sobre les col·lisions elàstiques i el pèndol (inventà el primer rellotge pràctic de pèndol) i la teoria ondulatoria de la llum; el tractat de Newton (1642-1727) sobre òptica i la invenció del càlcul simultàniament amb el filòsof i matemàtic alemany Leibniz (1646-1716) i els treballs de l'anglès Hooke (1635-1703) sobre elasticitat.*

*Però no es tracta de científics aïllats. Durant aquests anys es constitueixen una sèrie de societats científiques com l'Acadèmia del Cimento a Florència el 1657, sota el patrocini dels Mèdici; la Royal Society de Londres el 1662, per iniciativa autònoma d'un centenar de científics; l'Acadèmia de les Ciències de París el 1666, per iniciativa real els vint membres de la qual rebien un salari de Lluís XIV.*

*Els cinquanta anys posteriors els científics segueixen abordant el problema de la gravitació. Descartes intentà explicar-la mitjançant els remolins d'èter, Huygens introduí la força centrípeta el 1673. Els anglesos Hooke, Halley (1656-1742) i Wren (1632-1723), a partir de la força centrípeta i de la 3a llei de Kepler pogueren deduir la llei de l'invers del quadrat de la distància cap al 1679 i, en demanar-li-ho aquests, Newton culminà els treballs amb el seu llibre "Principis Matemàtics de la Filosofia Natural" (1687).*

**Q1.** *Indiqueu les raons que expliquen el gran desenvolupament de les ciències a partir d'aquestes dates i el perquè del desplaçament geogràfic del protagonisme científic des d'Itàlia, Alemanya o Espanya, cap a Anglaterra, Holanda i França.*

*FONT: Vilches, A. Las interacciones ciencia, técnica, sociedad y la enseñanza de las ciencias físico-químicas. 1993.*

*OBJECTIUS: Interaccions Ciència-Tècnica-Societat en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Es tracta d'un tema interessant per a realitzar un treball interdisciplinari amb professors d'història, filosofia, etc., sobretot pel que fa a les raons que deixaren Espanya al marge de la Revolució científica. Sense aprofundir en elles, atesa la gran complexitat, es poden mostrar algunes de les múltiples raons. En primer lloc les econòmiques, ja que els nous descobriments geogràfics afavoreixen, tant a nivell comercial com manufacturer, les regions pròximes a l'Atlàntic. D'altra banda, el protestantisme, dominant en aquestes regions, no obstaculitza, més aviat afavoreix el desenvolupament de la ciència. Per contra als països del sud (Espanya, Itàlia, etc.) hi ha grans obstacles com el feudalisme, les persecucions de la Inquisició, etc.*

**A.15.** *Llegiu i comenteu la següent referència biogràfica de Newton. Les qüestions proposades us poden ajudar.*

*El físic anglès ISAAC NEWTON va nèixer el dia de Nadal de l'any 1642 en el llogaret de Woolsthorpe, al comtat de Lincolnshire. Fou un xicot tranquil que, com al jove Galileu, li agradava construir i arreglar aparells mecànics i semblava tenir una inclinació secreta envers les matemàtiques. Era fill pòstum i nasqué prematur, a més sa mare es tornà a casar quan ell era petit i es crià amb els avis. L'afortunada ajuda d'un oncle seu li permeté d'estudiar al Trinity College de la Universitat de Cambridge, el 1661. Allí va demostrar ser un excel·lent alumne i molt aplicat a l'estudi. Als 24 anys, el 1666, ja havia fet importants contribucions al càlcul matemàtic (el teorema del binomi i el càlcul diferencial), a l'òptica (teoria del color) i en mecànica.*

*Respecte d'aquest període Newton escrigué anys després: "I el mateix any vaig començar a pensar en la gravetat que s'estenia a l'òrbita de la Lluna i... a partir de la regla de Kepler vaig deduir que les forces que mantenen els planetes en òrbita han d'estar en raó inversa del quadrat de les distàncies al centre al voltant del qual giren i així vaig comparar la força necessària per a mantenir la Lluna en la seua òrbita amb la força de la gravetat a la superfície de la Terra i vaig trobar per a ella un resultat bastant exacte. Tot això va ser en els dos anys de la pesta de 1665 i 1666, ja que en aquells anys estava a l'edat ideal per a la invenció i discorria sobre matemàtiques i filosofia millor que qualsevol temps després."*

*Dels escrits de Newton podem deduir que durant aquells anys se n'havia anat de Cambridge, a causa de la pesta, i estudiava tot sol a sa casa de Woolsthorpe i llavors havia desenrotllat una clara idea de les dues primeres lleis del moviment i de la fórmula per a l'acceleració centrípeta, encara que no ho va anunciar fins molts anys després de l'aparició de la formulació equivalent de Huygens. En aquesta època tindria lloc la famosa anècdota de la caiguda de la poma. Un dels millors biògrafs de Newton, el seu amic Stukely, esmenta que un dia estaven prenent té en un jardí davall d'unes pomeres i Newton li contà que fou en una situació semblant quan se li acudí per primera vegada el concepte de gravitació, quan es trobava assegut amb esperit contemplatiu i veié caure una poma.*

*Quan tornà a Cambridge, Newton va arribar a ser tan famós pels seus treballs que va succeir el seu mestre com a professor de matemàtiques. Donà moltes conferències i va publicar articles en la Royal Society de Londres. Tingueren renom els treballs sobre òptica i quan publicà en 1672 la seua Teoria sobre la llum i els colors hi hagueren grans controvèrsies entre ell i els seus rivals i, pel seu caràcter introvertit i tímid, decidí de no publicar res més. Arran d'això es concentrà en els seus treballs sobre mecànica celeste i l'estudi dels moviments planetaris com a problema físic.*

*En 1684, el seu amic Edmond Halley li demanà consell en la disputa que mantenia amb Christopher Wren i Robert Hooke respecte a la força que ha d'actuar sobre un cos per tal que es moga amb una trajectòria el·líptica, d'acord amb les lleis de Kepler. Newton li contestà que feia anys que ell ja havia resolt aquest i "molts altres" problemes. Halley l'animà a completar el seu treball i publicar les seues conclusions sobre un dels problemes científics més debatuts i interessants d'aquell moment. En poc menys de dos anys d'intens treball preparà la publicació en 1687 dels Principis matemàtics de filosofia natural, potser el llibre de física més famós de la història, amb el*

qual Newton adquirí la reputació d'un dels majors científics de tots els temps. En aquest llibre apareixen les síntesis elaborades a partir de les idees del moviment encetades per Galileu i enunciades en forma de principis bàsics pel mateix Newton, però destaca sobre tot la seua llei sobre la Gravitació Universal amb la qual explica el moviment planetari.

Uns anys després, Newton, que sempre havia tingut una salut delicada, patí una mena de depressió nerviosa i el seu comportament li ocasionà greus enfrontaments amb qui havien estat amics seus. Més tard es dedicà als seus estudis primitius sobre òptica, però ja no féu descobriments importants i es decantà més cap a estudis teològics. Durant aquells anys rebé nombrosos honors. En 1699 fou nomenat Guardià de la Casa de la Moneda i més tard arribà a director d'aquesta institució, dedicant-se a organitzar la circulació monetària del seu país. En 1689 i 1701 representà la seua Universitat al Parlament i li fou concedit el títol de Sir en 1705. Des de 1703 fins que va morir, fou president de la Royal Society, des d'on controlava la publicació de nombrosos treballs de companys seus. Són coneguts els enfrontaments amb l'alemany Leibniz sobre la prioritat del descobriment del càlcul diferencial i integral. Va morir en 1727 i fou sepultat amb la màxima dignitat a l'abadia de Westminster, com tots els herois nacionals anglesos.

- Q1. Confeccioneu una llista dels personatges que apareixen en el text i feu un esquema que expresse les relacions entre ells.
- Q2. Esmenteu algun personatge històric conegut del vostre país o de la vostra ciutat contemporani de Newton.
- Q3. Destaqueu els principals científics contemporanis de Newton i recolliu informació sobre els treballs que van fer.
- Q4. Feu una breu cronologia amb les dates que apareixen en el text i paral·lelament esmenteu els principals fets històrics que ocorregueren durant la vida de Newton.
- Q5. Resumiu els fets que considereu més significatius de la vida de Newton.

*FONT: Biografia adaptada de Holton i Brush (1976). Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Contextualització dels personatges històrics. Imatge de la ciència. Interaccions CTS en la història.*

*NIVELLS: 14-18.*

### **COMENTARIS**

*Proposem aquesta activitat com a introducció al coneixement del personatge històric que va ardonir els treballs de Galileu i, en donar-li forma a les noves idees que es derivaven del seu estudi del moviment, contribuí decisivament a substituir l'antic paradigma aristotèlic per un nou esquema d'interpretació global del món físic. Amb aquesta biografia comentada de Newton perseguim diversos objectius. D'una banda*

*es pretén donar a conèixer un poc més la persona d'Isaac Newton, alhora que es vol situar la seua contribució a la ciència en un context social i històric que permeta comprendre millor el seu treball, si pot ser desmitificant un poc la labor de savi o gran geni, com fèiem en una activitat semblant sobre Galileu, i presentant algunes referències sobre la seua vida i treball condicionats per l'època i l'entorn social on visqué. Les dades biogràfiques s'han tret del llibre de Holton i Brush (1976). Una vegada feta una primera lectura global, els diferents apartats de l'activitat ajudaran a rellegir-la tot centrant-se en els aspectes més remarcables.*

*La qüestió 1 vol situar Newton en relació amb els distints personatges contemporanis i avantpassats que hi tenen alguna relació, per a fer veure que la tasca científica no és cosa d'un savi aïllat, bé siga perquè treballa sobre aspectes que altres havien abordat (Kepler, Galileu, Halley, Huygens) o bé per la seua tendència a generar controvèrsies amb d'altres científics (Wren, Hooke, Leibniz). També es pretén mostrar que es troba envoltat d'altres persones que, des de l'àrea familiar o afectiva (sa mare, els avis, el seu oncle, l'amic i biògraf Stukely...), influiran en la seua vida i treballs. Per tal de clarificar aquestes relacions, després de fer una llista de tots els personatges que s'esmenten, podem dissenyar un quadre on apareguen les relacions temporals amb Newton (passat, contemporanis,...) i els plànols familiar, professional o polític, per exemple. L'objectiu és que apareguen les relacions entre els diferents personatges.*

*Per a evitar la imatge allunyada dels científics més famosos com a personatges d'altres entorns, èpoques o països, la qüestió 2, que potser plantege alguna dificultat, pretén situar Newton com a contemporani d'algun altre personatge que puga ser molt més conegut de l'alumne. Potser no siga fàcil trobar-ne i tampoc no es tracta de forçar la resposta. Amb l'ajut del professorat d'història es pot intentar acostar el màxim el nivell de proximitat o proposar la recerca com un treball complementari dels alumnes. A nivell valencià es pot esmentar el conegut organista Joan Baptista Cabanilles (Algemesí 1644-València 1712). Podem aprofitar el contrast entre la facilitat amb què els alumnes troben grans personatges del món de les arts i la literatura (estem en l'anomenat "Segle d'Or") amb l'escassetat de personatges dedicats a la ciència. Com una altra activitat es pot proposar la recerca d'informació sobre científics de l'època, el moviment que representen els "novators" a la segona meitat del segle XVII en Espanya i les possibles raons de la seua aparició tardana respecte a la resta de països europeus.*

*La qüestió 3 pretén detenir-se un poc més en les conflictives relacions de Newton amb alguns dels seus contemporanis a causa, sobretot, del seu caràcter misantrop, esquerp i malaltís, cosa que es veia agreujada per la gran quantitat i varietat de treballs a què es va dedicar i la freqüent competència que trobava en els col·legues. Així, es pot aprofitar aquesta qüestió per a presentar el gran desplegament de la ciència a l'Anglaterra del segle XVII i comentar diverses contribucions dels científics contemporanis amb qui Newton sovint polemitzà, cosa que permet també situar la figura d'aquest indubtable geni en un context especialment favorable al creixement dels coneixements científics.*

*Finalment les qüestions 4 i 5 ajuden a completar la contextualització. La cronologia pot servir per a ordenar les idees sobre els fets que visqué i posar-los en paral·lel, com es fa sovint, amb d'altres fets històrics que poden ser destacats per a comprendre millor el nostre personatge. Destacar els fets més significatius, com ara els mo-*

*ments més productius del seu treball, els llibres que publicà o la seua dedicació a la vida pública, pot ajudar a retenir aquells aspectes menys anecdòtics del personatge i que són més interessants per als nostres propòsits.*

*Aquesta activitat també afavoreix una tasca de tipus interdisciplinari amb la classe d'història, geografia o literatura.*

**A.16.** *Les lleis de la dinàmica de Newton, juntament amb l'estudi del moviment de Galileu, constitueixen un dels pilars bàsics de l'anomenada física clàssica, que va trencar amb el paradigma aristotèlic-escolàstic que havia regit durant segles. Però ¿per què creieu que Newton tingué en la seua època menys dificultats per tal que foren acceptades les seues idees que Galileu? (Recordeu que Newton va nèixer en 1642, l'any que va morir Galileu).*

*FONT: Vilches, A. Las interacciones ciencia, técnica, sociedad y la enseñanza de las ciencias físico-químicas. 1993.*

*OBJECTIUS: Interaccions Ciència-Tècnica-Societat en la història.*

*NIVELLS: 14-18.*

### **COMENTARIS**

---

*En acabar l'estudi de les lleis de la dinàmica és adient fer una breu reflexió sobre la situació social, el marc històric en què es va produir la publicació del llibre de Newton "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", els canvis que des del punt de vista cultural i ideològic s'havien produït en la societat britànica del segle XVII, enfront de la societat italiana de l'època de Galileu i els enfrontaments amb la Inquisició. Considerem que aquests aspectes de relació ciència-societat són importants per a conèixer el mode de creixement de la ciència, les controvèrsies que han estat de gran ajuda per al coneixement científic, el seu caràcter col·lectiu, per a mostrar una imatge més real de què és la ciència, unida inexorablement als avatars de la història de la humanitat.*

*La influència de la societat en el desenrotllament de la ciència ja l'hem tractada. Ací caldria fer reflexionar l'alumnat sobre per què Newton no tingué les mateixes dificultats que els primers defensors de les idees copernicanes, com havia evolucionat la societat aqueixos anys, la influència del protestantisme (absència de la inquisició en els països protestants, utilització de la ciència per a fins religiosos), els avanços tècnics (els primers desenvolupaments tècnics de la teoria copernicana procedien de la universitat de Wittenberg, centre de la reforma alemanya) o l'evolució de les idees filosòfiques.*

*També es pot comentar per què Galileu no pogué unificar els moviments a la superfície terrestre i al cel. La seua cinemàtica és experimental i matemàtica, però la seua astronomia és d'observació. Calien els treballs previs de Kepler, Huygens, Hooke i Halley, per tal que Newton aplegués a establir la síntesi entre mecànica terrestre i celeste. És una evidència més del caràcter col·lectiu i acumulatiu del treball científic.*

**A.17.** *Representeu la força que ha d'actuar sobre la Lluna i sobre un projectil. Representeu també les forces de reacció corresponents. ¿Per què la Lluna no cau sobre la Terra com el projectil? Comenteu l'explicació que donava Newton quan escriví aquest text:*

"El fet que els planetes puguin ser retinguts en llurs òrbites el podem comprendre fàcilment si considerem els moviments dels projectils. De fet, una pedra llançada, pel seu mateix pes, es veu forçada a abandonar la trajectòria rectilínia... i es veu obligada a descriure una línia corba en l'aire i, a causa d'aqueix camí torçut, finalment va a parar a terra. I com major siga la velocitat amb què es projecta, més lluny va abans de caure a terra. Podem suposar, doncs, que la velocitat s'incrementa de tal manera que descriu un arc de (moltes) milles abans d'aplegar a terra, fins que finalment, en excedir els límits de la terra, passarà totalment sense tocar-la" (Citat per Mason, vol. 2, pàg. 103).

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Idees prèvies dels alumnes.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*L'activitat pretén de facilitar en els alumnes l'analogia entre el moviment d'un projectil (terrestre) i el de la Lluna (celeste) i identificar l'atracció gravitatòria amb el pes. Aquest pas no l'havia fet ningú abans de Newton. El text del mateix Newton ajuda a comprendre que la diferència ve determinada únicament per la velocitat horitzontal del moviment.*

*Quan se'ls demana, alguns alumnes diuen que la Lluna no cau a causa de la força centrífuga, sense assenyalar que aquesta només apareix en el sistema de referència no inercial (o accelerat) lligat a la Lluna. Convé, doncs, aclarir aquest error conceptual tan freqüent.*

**A.18.** *Llegiu aquest text i comenteu la qüestió proposada:*

Newton escriví: "És inconcebible que la matèria bruta inanimada, sense la mediació d'alguna cosa més que no siga material, influsca i afecte una altra matèria sense contacte mutu... Una gravetat... tal que qualsevol cos pugui actuar sobre un altre a distància, a través del buit, sense la mediació d'alguna cosa més a través de la qual pugui conduir-se l'acció i la força, és per a mi un absurd tan gran que no crec que hi haja cap home amb facultat de pensament sobre matèries filosòfiques que pugui creure-hi. La gravetat ha d'estar causada per un agent que actua constantment segons certes lleis" (Citat per Holton i Brush, 1976).

**Q1.** *La idea newtoniana d'acció a distància entre els cossos presenta una sèrie de dificultats que no passaren desapercebudes al mateix New-*

ton. Indiqueu algun d'aquests problemes. ¿Com tindrà lloc la interacció de cossos distants entre ells?

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Construcció de conceptes. Evolució de les idees científiques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Els alumnes poden esmentar els dos problemes del model newtonià de força: les interaccions són a distància i instantànies. Del primer ja n'era conscient Newton mateix, com es pot llegir en el text. Així s'explica la teoria dels remolins de Descartes i que Newton defensés al seu llibre "Òptica" la idea d'un agent material (l'èter) que explicàs l'aparent acció a distància. El segon problema està implícit en el primer, però en aquella època no es va plantejar ja que no es coneixia l'existència d'una velocitat límit.*

*La qüestió permet d'introduir el camp gravitatori com una realitat física, com una forma d'existència de la matèria a través de la qual es propaguen les interaccions. Altrament dit, la matèria es presenta en dues formes: partícules i camps.*

**A.19.** Llegeu aquest text i comenteu-lo:

### **LA SÍNTESI NEWTONIANA I L'EXTENSIÓ A L'UNIVERS**

*Des de la publicació dels "Principis" de Newton (1686) fins avui s'han produït una pila de descobriments astronòmics relacionats amb la llei de gravitació universal. Com ara, s'han trobat nous planetes a partir de les pertorbacions que produeixen en llurs òrbites els planetes ja coneguts: les irregularitats en l'òrbita d'Urà, descobert el 1781 per Herschel, conduïren a la descoberta de Neptú el 1846 per Leverrier i Adams; a causa de les pertorbacions que produïa en el darrer, fou descobert Plutó el 1930 per Tombaugh.*

*Cap al 1784 Herschel demostrà que els estels observables constituïen un sistema amb forma de lent, és a dir, una galàxia. El mateix Herschel observà el 1803 que algunes parelles d'estrelles pròximes giren una al voltant de l'altra (estels binaris), d'acord amb la llei de la gravitació. També es va observar (Halley el 1714, Messier el 1781) que els estels tendeixen a agrupar-se per efecte de la gravitació i formen cúmuls globulars i oberts.*

*Des que el 1923, Hubble, director de l'observatori de Mount Wilson, mostrà l'existència d'altres galàxies, s'ha observat que aquestes també s'agrupen en cúmuls i supercúmuls galàctics.*

**Q1.** ¿Quins problemes plantegen aquestes descobertes?

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució de les idees científiques.*



NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

---

*Aquests descobriments han expandit considerablement els límits de l'Univers. De fet, durant molts segles es considerà que les seues dimensions eren les del sistema solar. Amb Herschel i altres s'eixampla al d'una galàxia, la Via Làctia, el diàmetre actual de la qual s'estima en  $10^5$  anys-llum i el gruix màxim en  $10^4$  anys-llum. Se'ls pot plantejar als alumnes com ho va fer i fer-los reflexionar sobre la Via Làctia. Finalment, avui dia s'estén a una immensitat de galàxies (la més propera, Andròmeda, es troba a  $2,5 \cdot 10^6$  anys-llum i les més allunyades a  $10^{10}$  anys-llum).*

*Així hem ampliat la validesa de la gravitació universal, que actua no només en el sistema solar i la galàxia, sinó també a escales còsmiques, i agrupa les galàxies en cúmuls i supercúmuls.*

### RECAPITULACIÓ SOBRE LA DINÀMICA NEWTONIANA

---

**A.20.** *Comenteu quines conseqüències tingué la llei de gravitació universal des del punt de vista científic, cultural i religiós.*

**A.21.** *L'èxit dels principis de la dinàmica newtoniana durant més de dos segles (des del 1687 fins al 1900) contribuí a formar una nova concepció sobre la matèria, el "mecanicisme", que considerava la matèria constituïda per partícules en moviment sotmeses a forces a distància i de tipus central. Sota aquesta visió rau la idea que tot canvi pot reduir-se, en darrer terme, a moviments mecànics de les partícules que constitueixen la matèria. Comenteu quina influència ha tingut la imatge mecanicista del comportament de la matèria en altres ciències (com òptica, termodinàmica, química, electricitat i magnetisme) i en el pensament humà en general.*

**A.22.** *Comenteu aquestes frases:*

- a) *Kelvin el 1884 afirmava: "No estic satisfet fins haver construït un model mecànic de l'objecte que estic estudiant. Si aconseguisc de fer-ne un, ho comprend; altrament no".*
- b) *"El 1812 Laplace proposà la famosa concepció del calculador diví que, a partir de les velocitats i posicions de totes les partícules del món en un instant determinat, podria calcular tot el que havia ocorregut en el passat i tot allò que hauria d'ocórrer en el futur" (Mason 1984).*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Idees vigents al llarg de la història. Evolució dels coneixements científics.*

NIVELLS: 14-18.

## COMENTARIS

*Es tracta de diverses activitats de recapitulació on es plantegen les relacions CTS en el moment històric de l'establiment de la llei de gravitació arran dels treballs de Newton. D'una banda convé ressaltar el trencament definitiu de la separació aristotèlica del món terrestre i el món de les esferes celestes, però sobretot la provisió d'un model teòric satisfactori per a sustentar la nova visió de l'Univers anticipada per Copèrnic, Kepler i Galileu entre d'altres. Les conseqüències en els altres àmbits no es poden deixar de banda i cal senyalar l'impacte que tingué per a establir definitivament el model heliocèntric que desplaçava la visió antropocèntrica fins aleshores imperant i la doctrina oficial de l'Església Catòlica que havia condemnat Galileu i Giordano Bruno, encara no feia cent anys. Les noves perspectives que obrí i la consolidació del nou paradigma newtonià són paleses en el gran desenvolupament de les ciències que s'esdevingué a partir d'aleshores.*

*El mecanicisme va influir en la resta de ciències en remarcar en sobretot el paper de l'experimentació i de les matemàtiques. Particularment, va contribuir de forma positiva en la termodinàmica en relacionar la calor amb el moviment de les partícules dels cossos; en la Química, en recolzar l'atomisme, a què s'oposaven molts químics del segle XIX, i defensaven la major part dels físics; etc. En òptica recolzà el model corpuscular enfront de l'ondulatori; en electromagnetisme, afavorí els treballs de Coulomb, Ampère, Biot i Savart, etc., que utilitzaren forces a distància, però va dificultar la introducció del concepte de camp.*

*El seu influx no es limità a les ciències, sinó també al pensament (Voltaire, Kant, entre d'altres) i a la societat. Es tracta d'un tema interessant per a realitzar un treball interdisciplinari amb professors de filosofia o història.*

*L'última activitat palesa dos aspectes negatius del mecanicisme. El primer fou la base de l'oposició a la idea de camp com a ens físic, com una forma d'existència de la matèria a través de la qual es propaguen les interaccions. De fet, per a mantenir una explicació mecànica de l'electromagnetisme i de la llum i llurs accions contigües s'introdueixen els complicats models mecànics de l'èter. Per això, s'abandonà la fructífera idea de Faraday de les línies de camp com a ens físics i eren considerades com tubs que transporten un fluid incompressible, l'èter.*

*Per això, la teoria del camp electromagnètic constituí el primer colp al mecanicisme. Tanmateix, ambdues teories integren la visió clàssica de la matèria, constituïda per partícules discontinües en moviment i camps continus, que transmeten les interaccions entre elles.*

*La segona frase exposa que el mecanicisme es tracta d'una concepció clarament determinista (el coneixement de les equacions de moviment d'un objecte permet de predir la seua posició, velocitat, etc., en qualsevol instant). Les limitacions d'aquest determinisme han estat demostrades aquest segle per la física quàntica.*

**A.23.** Llegiu i comenteu el següent text:

### ANALITZEM ALGUNS TÒPICS SOBRE MECÀNICA

*"Newton va descobrir la gravitació universal i va completar l'enunciat formal dels principis de la mecànica generalment acceptats avui dia. Des de la seua època no s'ha enunciat cap principi essenci-*

*aliment nou. Tot el que s'ha aconseguit en mecànica des de llavors ha estat un desenrotllament deductiu, formal i matemàtic basat en les lleis de Newton". ¿És correcta aquesta afirmació?*

*Aquesta idea, enunciada pel físic Mach a les darreries del segle XIX, es troba bastant estesa en molts llibres de text. Tanmateix oblidada molts desenrotllaments ulteriors, entre ells, la introducció per Euler en el seu "Descobriment d'un nou principi de la Mecànica" (1752) de la famosa equació  $F=ma$ , atribuïda Newton. Aquest autor mateix va introduir la llei fonamental de la mecànica de la rotació i la va aplicar a l'estudi del moviment del sòlid rígid (entre 1765 i 1776). Daniel Bernouilli va desenvolupar la mecànica de fluids en la seua "Hidrodinàmica". Huygens, D'Alembert i d'altres van estudiar les vibracions i les ones mecàniques i aquesta darrer va introduir l'equació d'ones en 1746.*

*Els treballs de Galileu i Hooke iniciaren els nombrosos estudis sobre resistència de materials (una de les "Dues noves ciències" ) i elasticitat. Lagrange i Hamilton crearen noves formulacions de la mecànica que encara es fan servir en la física quàntica.*

*Un altre problema és presentar una imatge de la mecànica com una ciència molt teòrica. Així, doncs, s'obliden les aplicacions de diferents branques d'aquesta ciència en molts camps. Com ara: l'estudi del tir en balística; l'estàtica en arquitectura i obres públiques; l'estudi dels moviments en les màquines (Lazare Carnot al seu "Assaig sobre les màquines en general" publicat en 1783); la teoria de l'elasticitat i la resistència de materials, en les màquines, la construcció, etc.; la mecànica de fluids en l'aerodinàmica i d'altres problemes de l'aviació (des de la sustentació dels avions fins a les ones de xoc, etc.), en els túnels de vent i l'automoció; la teoria dels giròscops en l'estabilització dels moviments i la navegació; la teoria de la gravitació en el llançament de satèl·lits artificials; l'estudi de les vibracions en la construcció de màquines, ponts, etc.; l'acústica en l'anàlisi i prevenció del soroll, en l'arquitectura de sales d'audició de música, cambres anecoïques, etc.; la biomecànica en l'anàlisi de rendiments esportius, el disseny de mobles ergonòmics, etc.*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Relacions CTS.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*La visió superficial en la presentació de la mecànica sol donar peu a una pila de tòpics que el text tracta de desemmascarar. Bàsicament es concreten en l'omissió de molts treballs que contribuïren a desenvolupar aquesta ciència a partir de la revolució científica dels segles XVI i XVII, que sempre es sol quedar en Newton i pocs més.*

*Tampoc no és correcta la visió exclusivament teòrica de la mecànica, com si aquesta important branca de les ciències físiques no tingués cap aplicació pràctica interessant o digna de ser esmentada. El comentari d'aquest text pot ajudar a desfer molts d'aquests tòpics i plantejar als alumnes l'aprofundiment en alguns aspectes que normalment són absents dels temaris oficials.*

## ENERGIA, TREBALL I CALOR

**A.24.** Thomson escriví: "Estava encarregat... del trepatge de canons a la fàbrica de l'arsenal militar de Munic, i vaig quedar sorprès pel grau considerable de calor que adquireix, en un temps molt petit, una peça de llautó quan és perforada". La calor engendrada per fricció "semblava no esgotar-se mai. Calia concloure que allò que un cos aïllat o sistema de cossos podia proporcionar de manera contínua, sense limitació, no podia ésser una substància material, i em sembla extremadament difícil, si no impossible, imaginar cap cosa capaç de ser produïda a la manera com ho és la calor en aquests experiments si no és moviment". ¿Quina concepció de la calor posa en qüestió l'experiència de Thomson? Emeteu una nova hipòtesi sobre la naturalesa de la calor.

*FONT: Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Idees vigents al llarg de la història. Evolució dels coneixements científics. Controvèrsies científiques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### COMENTARIS

*L'objectiu bàsic d'aquesta activitat és clarificar el concepte de calor com a treball i evitar els errors habituals que el consideren com una substància o una forma d'energia emmagatzemada en els cossos.*

*Cal criticar la idea de calòric i afavorir que aparega la idea d'associar la calor amb l'agitació o moviment de totes les partícules del cos. El professor es pot referir a les dificultats que trobà Thomson per a fer acceptar la seua idea, entre altres raons perquè no pogué donar resultats quantitativus.*

*S'hi poden descriure les experiències de Thomson, Mayer, Joule i els resultats obtinguts (Holton i Brush 1976), que conduïren a establir l'equivalència entre la calor i el treball. Convé que el professor deixi ben clar que no s'ha de concebre la calor com una forma d'energia, sinó que és pura i simplement treball. Un treball associat al desplaçament de les partícules d'un cos i que no es pot mesurar, per raons òbvies, de la forma habitual, ja que caldria seguir el desplaçament de cada partícula i mesurar la força que actua en cada instant sobre cadascuna. Així la magnitud calor apareix com una globalització estadística del treball realitzat sobre cada partícula. Aquest treball es tradueix en variacions d'energia cinètica de les partícules (agitació que es mesura, també estadísticament amb el concepte de temperatura). No podem parlar*

*de contingut en energia calorífica (malgrat que es fa sovint), com no es pot parlar de contingut en energia "treballosa" (cosa que, per sort, ningú no fa).*

**A.25.** *La revolució industrial del segle XIX està associada en certa manera a la construcció i utilització de les anomenades màquines tèrmiques, dispositius que transformen calor en treball, que en el nostre segle encara juguen un paper determinant. Esmenteu les màquines tèrmiques que conegueu i expliqueu els seus orígens històrics, com funcionen, el tipus de combustible que empren i llur impacte ambiental. Busqueu la bibliografia adient i escriviu un breu assaig sobre el tema que incloga una breu cronologia de les principals fites en el desenvolupament de les màquines durant el segle XIX.*

*FONT: Seminari de Física i Química. La construcció de las ciencias físico-químicas. Nau Llibres. València. 1990.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Es tracta d'una activitat per implicar els alumnes en la recerca d'informació sobre un tema d'aplicacions tècniques de la ciència i relacions CTS. L'aspecte històric es suggereix a través de l'elaboració d'una breu cronologia de les principals fites tècniques del segle XIX relacionades amb el desenvolupament de la teories sobre la calor i l'energia.*

**A.26.** *Llegiu i feu un esquema de les principals idees que conté aquest text sobre l'establiment de les relacions entre els conceptes d'energia, treball i calor i el seu paper en la visió global dels fenòmens mecànics segons la física clàssica:*

#### **RECAPITULACIÓ DE LES IDEES SOBRE TREBALL, ENERGIA I CALOR**

*Ja el mateix Galileu (1564-1642), en el "Diàleg de les dues noves ciències" (1638), es plantejava el problema de si existeix alguna relació entre el desplaçament experimentat per un cos mentre sobre ell actua una força i el canvi de velocitat que es produeix.*

*Un altre problema que es planteja és el de les variacions de moviment que tenen lloc quan els cossos xoquen els uns amb els altres. Huygens (1629-1695) va proposar en 1669 que la suma de  $mv^2$  de tots els cossos roman constant abans i després del xoc. A aquesta magnitud  $mv^2$  hom li donà el nom de vis viva i fou utilitzada per Leibniz com a base de les teories mecàniques.*

*Caldrà esperar més d'un segle per tal que la conservació de l'energia per a un sistema mecànic siga establerta per primera vegada d'una manera elegant per J. L. Lagrange (1736-1813) en la seua Me-*

*cànica Analítica (1788). Encara no s'hi utilitza el concepte d'energia potencial  $E_p$  sinó la "funció de la força".*

*Finalment, en 1842-43, Mayer i Joule, en integrar la calorimetria en el domini de la Mecànica, estableixen un principi de conservació de l'energia vàlid per a tota la física (i no només per a les transformacions mecàniques).*

*Aquesta recerca de relacions directes entre forces, desplaçaments, etc., conduí, en un llarg procés de més de 200 anys, a la introducció de noves magnituds físiques com els conceptes de treball i d'energia i la seua conservació, dels més potents i fructífers de la física clàssica.*

*Sabem que el fregament o la col·lisió dels cossos en produeix l'escalfament. D'altra banda, aquests fenòmens estan vinculats a limitacions aparents del principi de conservació de l'energia. La resolució d'aquest complex problema, a principis del segle XIX, per Thomson, Mayer, Joule i d'altres, permeté d'integrar la calorimetria en el domini de la Mecànica i establir un principi de conservació de l'energia vàlid per a tota la física (i no tan sols per a les transformacions mecàniques): el primer principi de la termodinàmica.*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*És interessant proposar una activitat com aquesta que planteja de forma abreujada l'origen i l'evolució històrica dels conceptes de treball, calor i energia i la síntesi entre els fenòmens calorífics i la mecànica del moviment per a abastar-los tots en un mateix esquema conceptual. D'aquesta manera es pot ajudar a comprendre millor la necessitat d'introduir aquestes noves magnituds que sovint apareixen sense cap justificació o no es mostra clarament el fil conductor que les lliga amb els aspectes de dinàmica que es solen tractar abans. L'establiment històric del principi de conservació de l'energia, d'indubtable eficàcia per a resoldre nous problemes, és també una fita que convé remarcar i es pot mostrar el caràcter col·lectiu d'una aportació tan important a la ciència del segle XIX, amb les nombroses implicacions que tingué, juntament amb el segon principi, per a desenvolupar la potent indústria del vapor que nasqué a conseqüència de necessitats pràctiques.*

**A.27.** *Visió i comentari del vídeo "La màquina natural" de la sèrie "L'Univers Mecànic" sobre els treballs de Sadi Carnot al voltant de les màquines tèrmiques. Qüestions per al comentari:*

- a) *Tracteu de formular quin era el problema que es plantejava Carnot sobre el funcionament de la màquina de vapor i com tractà de resoldre'l.*

- b) *Les idees de Carnot es basen en la hipòtesi del calòric. Resumiu breument en què consistia aquesta hipòtesi.*
- c) *Descriviu breument les parts essencials de la màquina ideal de Carnot. ¿Per què és necessari el condensador?*
- d) *Aclariu, mitjançant un esquema, per què no pot haver cap màquina real més eficient que la màquina ideal de Carnot.*
- e) *Busqueu informació sobre aspectes biogràfics de Sadi Carnot i les seues contribucions a la termodinàmica.*

*FONT: Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Relacions entre la ciència i la tècnica.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*L'origen de les màquines tèrmiques i la seua influència en el desenvolupament de la termodinàmica es torna a plantejar quan s'aborda l'estudi termoquímic de les reaccions químiques i s'introdueixen els dos primers principis. La introducció històrica del segon principi, a partir dels treballs de Carnot pot ser una manera d'evitar, en un primer moment, l'habitual formalisme amb què sol abordar-se aquest tema i tractar d'aclarir els conceptes bàsics referits al funcionament d'una màquina ideal, com l'eficiència, i les relacions entre calor, treball, temperatura i energia interna. El vídeo proporciona suficient informació de tipus històric i les qüestions s'han proposat per a estimular el seguiment del fil conductor i la comprensió dels aspectes més teòrics que s'hi exposen. Els detalls biogràfics i contextuals de Sadi Carnot es poden ampliar amb un breu treball de recerca bibliogràfica.*

## **ÒPTICA**

**A.28.** *Llegiu aquest text i a partir de la informació que conté tracteu de respondre les qüestions:*

### **LA TEORIA ONDULATÒRIA DE LA LLUM** (Einstein i Infeld, L'evolució de la física)

*Huygens, un contemporani de Newton, fou qui avançà una teoria nova de debò. En el seu tractat sobre la llum escriví:*

*"Si, a més, la llum necessita temps per a propagar-se  $\frac{3}{4}$  la qual cosa examinarem ara  $\frac{3}{4}$ , resultarà que aquest moviment donat a la matèria serà successiu i, per consegüent, es propagarà, igual que el so, formant superfícies i ones esfèriques; car les anomenes ones a causa de llur semblança amb les que veiem a l'aigua quan hi tirem una pedra, les quals presenten una sèrie de cercles successius que es van propagant, encara que aquests provenen d'una altra causa i només es produeixen en una superfície plana."*

Segons Huygens, la llum és una ona, un transport d'energia i no de substància. Hem vist que la teoria corpuscular explica molts dels fets que s'observen. ¿És capaç de fer el mateix la teoria ondulatòria? Hem de tornar a fer les preguntes que ja han quedat contestades per la teoria corpuscular per tal de veure si la teoria ondulatòria hi pot respondre igualment bé. Ho exposarem en forma de diàleg entre N i H, el primer partidari de la teoria corpuscular de Newton i el segon partidari de la teoria ondulatòria de Huygens. Ni l'un ni l'altre no tenen dret a emprar arguments desenvolupats posteriorment a l'obra d'aquests dos grans mestres.

N : En la teoria corpuscular, la velocitat de la llum té un significat ben definit. Es tracta de la velocitat a la qual es desplacen els corpuscles a través de l'espai buit. ¿Quin significat té la velocitat en la teoria ondulatòria?

H : Significa la velocitat de l'ona lumínica. Totes les ones conegudes es propaguen a una velocitat determinada, i ha d'ocórrer el mateix amb l'ona lumínica.

N : Això no és tan evident com sembla. Les ones sonores es propaguen dins l'aire i les onades dins l'aigua. Cada ona necessita un medi material dins el qual es puga desplaçar. Però la llum travessa el buit, mentre que el so no. Imaginar una ona en un espai buit és, en realitat, com no imaginar-ne cap.

H : Sí, això representa una dificultat, però no és nova per a mi. El meu mestre va meditar molt sobre la qüestió i va concloure que l'única sortida és suposar l'existència d'una substància hipotètica, l'èter, medi transparent que penetra tot l'univers. L'univers es troba, com si diguéssim, submergit dins l'èter. Si hom té el coratge d'introduir aquesta noció, tot esdevé clar i convincent.

N : Però jo no puc admetre aquesta suposició. En primer lloc, introdueix una nova substància hipotètica, i en física ja tenim massa substàncies. I també hi ha una altra raó en contra. Creieu sens dubte que ho hem d'explicar tot en termes de mecànica. Però, ¿què penseu de l'èter? ¿Sou capaç d'explicar com està constituït per les seues partícules elementals i com es manifesta en altres fenòmens?

H : La vostra primera objecció és justificada sense cap mena de dubte. Però introduint aquesta substància sense pes i una mica artificial que és l'èter ens llevem de damunt d'una vegada els corpuscles lumínics que encara en són més, d'artificials. Tindrem només una substància "misteriosa" en lloc de tenir-ne un gran nombre, corresponents al gran nombre de colors de l'espectre. ¿No trobeu que això és un progrés veritable? Almenys totes les dificultats queden concentrades en un sol punt. Ja no necessitem la suposició fictícia que les partícules que pertanyen a diferents colors es desplacen a la mateixa velocitat a través de l'espai buit. El vostre segon argument també és exacte. No podem donar cap explicació mecànica de l'èter. Però no hi



ha dubte que els estudis futurs dels fenòmens òptics i potser d'altres revelaran la seua estructura. De moment hem d'esperar nous experiments i noves conclusions, però crec que finalment podrem aclarir la qüestió de l'estructura mecànica de l'èter.

N : Deixem de banda aquesta qüestió, puix que de moment no es pot decidir. M'agradaria veure de quina manera la vostra teoria, encara que negligim les seues dificultats, explica aquests fenòmens que resulten tan clars i entenedors a la llum de la teoria corpuscular. Prenguem per exemple el fet que els raigs de llum es propaguen en el buit o dins l'aire en línia recta. Un tros de paper col·locat davant una espelma projecta damunt la paret una ombra distinta i ben perfilada. Les ombres ben perfilades no serien possibles si la teoria de les ones lumíniques fos exacta, ja que les ones es corbarien cap a darrere del paper en incidir contra les seues vores, i d'aquesta manera l'ombra resultaria borrosa. Un petit vaixell no és cap obstacle per a les onades del mar, es corben al seu voltant sense projectar cap ombra.

H : Això no és un argument convincent. Fixeu-vos en les onades d'un riu batent contra el flanc d'un gran vaixell. Les onades originades en un costat del vaixell no es veuran a l'altra banda. Si les onades són prou petites i el vaixell prou gran, apareix una ombra molt neta. És molt probable que sembla que la llum es propague en línia recta només perquè la seua longitud d'ona és molt curta en comparació amb la mida dels obstacles ordinaris i de les obertures que hom emprava en els experiments. Si poguéssim crear un obstacle prou petit, probablement no es produiria cap ombra. És possible que ens trobàssim amb unes grans dificultats experimentals si volguéssim construir aparells que revelassen si la llum és capaç de corbar-se. Tanmateix, si un tal experiment es pogués realitzar, seria crucial per a optar entre la teoria ondulatoria i la teoria corpuscular de la llum.

N : És possible que, en el futur, la teoria ondulatoria ens conquesca a fets nous, però no conec cap dada experimental que la confirmi d'una manera convincent. Mentre l'experiència no prove definitivament que la llum pugui corbar-se, no veig cap raó que s'opose a creure en la teoria corpuscular, la qual em sembla més senzilla i, per tant, millor que la teoria ondulatoria.

Aquí podem interrompre el diàleg, per bé que el tema no estiga ni de bon tros exhaurit.

Encara queda per significar de quina manera explica la teoria ondulatoria la refracció de la llum i la varietat dels colors.

- Q1. ¿Què significa que una ona és un transport d'energia i no de substància?
- Q2. ¿Per què, com diu N, imaginar una ona en un espai buit és, en realitat, com no imaginar-ne cap?

- Q3. Exposeu el que sapigueu sobre la velocitat de la llum i proposeu algun experiment per tal de mesurar-la.
- Q4. L'èter és una substància hipotètica, ¿quines altres substàncies hipotètiques, que s'han proposat al llarg de la història de la ciència, recordeu? Enumereu-les i comenteu per a què s'utilitzaven.
- Q5. Indiqueu com es podria constatar si la llum es difracta o no.
- Q6. Raoneu quin paper té la longitud d'ona en la difracció de la llum.
- Q7. Descriviu algun experiment, si el coneixeu, on es puga veure la difracció de la llum.
- Q8. Argumenteu què es veuria en la pantalla quan fem passar llum a través d'un orifici si la llum estiguera constituïda per partícules.

FONT: Text d'Einstein i Infeld del llibre "L'evolució de la física". Elaboració Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1996.

OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Controvèrsies.

NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

Aquest interessant i força divulgat diàleg (Beltrán et al. 1976) imaginat per Einstein ens permet d'encetar una discussió per tal d'aclarir alguns aspectes importants del comportament dels fenòmens ondulatoris. Les qüestions 1 i 2 volen insistir en el significat de les expressions que sovint fem servir per a definir els conceptes físics. Així convé que els alumnes exposen què entenem quan diem que una ona no transporta matèria sinó energia o què són les ones mecàniques i què significa que no es poden propagar pel buit. Es tracta de definicions que només fent-les explícites no és suficient per tal que s'entenguen bé i convé dedicar un temps a aclarir millor el seu significat.

En la qüestió 3 volem plantejar el problema de la velocitat de la llum i les dificultats tècniques que comporta la seua mesura amb una certa fiabilitat. Podem referir-nos ací al que deia Galileu en boca de Simplicí: "L'experiència de cada dia ens ensenya que la propagació de la llum és instantània, perquè quan veiem disparar de molt lluny una peça d'artilleria, la flamarada ens aplega als ulls sense que transcórrega temps i, tanmateix, el so no aplega als nostres oïts sinó després d'un interval perceptible". Potser els alumnes suggerescuen algun disseny semblant al de Galileu (dues persones amb llanternes separades entre elles per uns quants km) o facen referència a la necessitat de grans distàncies, cosa que permet el professor exposar el mètode astronòmic de Roemer (1676) o la roda giratòria de Fizeau (1849) (Holton i Brush 1976).

La dificultat de realitzar aquestes experiències i el gran prestigi de Newton, van fer que la teoria corpuscular d'aquest prevalgués sobre el model ondulatori de Huygens més d'un segle. Tanmateix, a principis del segle XIX, els científics Young, Fresnel i d'altres, donaren una sòlida base teòrica i experimental al model ondulatori.

A la qüestió 4 fem esment al model de l'èter que suggereix la teoria ondulatoria de Huygens, com a mitjà de transport de l'ona lumínica. Aquesta hipòtesi s'emmarca en

*la tendència mecanicista vigent a l'època i que proposava l'explicació de nombrosos fenòmens físics a través de substàncies portadores de les propietats que s'estudiaven. Podem doncs, esmentar els exemples del calòric o el flogist, que potser els alumnes ja hauran vist, o podem recordar també la creença en els fluids elèctrics, que encara impregna el llenguatge quotidià.*

*En les qüestions 5 i 6 els alumnes saben que per tal d'observar difracció caldrà utilitzar esclatxes o objectes molt xicotets i verificar si es produeixen les figures de difracció segons la forma de l'obstacle, que el professor pot explicar amb un poc més de detall.*

*La qüestió 7 suggereix fer algun experiment senzill, a banda dels que solen proposar-se en els manuals de pràctiques d'òptica. Un de ben senzill consisteix a veure les franges negres produïdes quan mirem a través d'una esclatxa com ara l'obertura que queda entre dues fulles de paper més arrencades o entre dues fulletes d'afaitar que aproximem al màxim per a deixar entreveure a través de l'esclatxa. També es veuen aquestes franges negres entre dos dits que acostem al màxim sense tocar-se del tot. També es veuen curioses figures de difracció quan mirant per la finestra ens arriba del carrer la llum llunyana, quasi puntual, d'un cotxe a través de les malles fines d'una cortina.*

*La qüestió 8 facilita la comprensió de la difracció i compara les prediccions d'ambdós models amb l'experiència. Les partícules produïrien un xicotet cercle enfront del foradet, les ones, contràriament, farien una sèrie d'anells concèntrics. Ja Grimaldi, a mitjans del segle XVIII, observà que quan la llum penetra en una habitació obscura a través d'un petit orifici d'una cortina la taca lluminosa que apareixia en la paret oposada era major que l'orifici i estava irisada per franges de colors. Fresnel i Fraunhofer realitzaren en el XIX un estudi més sistemàtic de la difracció, que confirmava la seua naturalesa ondulatoria.*

*L'observació de les interferències és més complexa i requereix la utilització de focus de llum coherent, és a dir, de la mateixa freqüència (mono-cromàtica) i en concordança de fase. L'experiència de la doble esclatxa de Young permet l'observació de franges brillants i fosques que s'expliquen com a resultat de les interferències constructives i destructives. Si tenim accés a un díode làser es pot fer aquesta experiència amb resultats prou satisfactoris. Contràriament a l'observació, la teoria corpuscular preveu l'obtenció de dues franges lluminoses nítides.*

**A.29.** *Llegiu el text i suggeriu algun possible experiment per a verificar la naturalesa dels raigs X. Aquest descobriment sovint es presenta com a fortuït o casual. ¿Què penseu del paper que té l'atzar en el treball dels científics? Argumenteu la vostra resposta a partir del relat de Röntgen.*

### ELS MISTERIOSOS RAIGS X

*Els raigs X foren descoberts per W. K. Röntgen en 1895. Segons paraules d'ell mateix: "Estava treballant amb un tub de raigs catòdics, recobert amb un cartó negre; damunt la taula hi havia un paper fluorescent, i estava fent passar un corrent a través del tub quan notí una línia brillant tot al llarg del paper... L'efecte només el podia produir la llum; però del tub no podia venir llum perquè el full de cartó*

que el tapava era completament opac... En pocs minuts no hi havia cap dubte: del tub venien uns raigs que tenien un efecte lluminós sobre el paper fluorescent... A primera vista semblava una nova mena de llum invisible. Era, evidentment, una cosa nova no registrada fins aleshores".

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Paper de l'atzar en els descobriments. Forma de treballar dels científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*El text de Röntgen permet criticar la mitificació de l'atzar que es fa en molts texts de física (des de la poma de Newton fins el descobriment de la radioactivitat). Per tal que es produeixi cal que el científic estigui "treballant" i que en aparèixer l'anomalia la investigue com un problema nou no previst. Açò és molt diferent a pensar, com sovint es fa, que la sort el va acompanyar de forma decisiva. Ben al contrari és el treball que fructifica després de molts esforços i giragonses.*

*Pel que fa a la naturalesa dels raigs X, en 1912 Von Laue va suggerir que com es tractava d'ones del mateix ordre de magnitud que l'espai entre els àtoms d'un cristall, aquesta distribució regular dels àtoms dins del cristall podria actuar com una xarxa de difracció dels raigs X. A partir d'aquest suggeriment Friedrich i Knipping feren que un feix de raigs X passara a través d'un cristall darrere del qual hi havia una placa fotogràfica. A més del feix central van observar una distribució regular de punts (diagrama de Laue). D'aquesta manera van confirmar dues hipòtesis importants: que els raigs X són una forma de radiació electromagnètica i que els àtoms en un cristall estan distribuïts en una xarxa regular.*

**A.30.** *Comenteu el quadre que conté informació sobre la manera com han evolucionat els coneixements sobre la naturalesa de la llum tot al llarg de la història.*

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Models controvertits.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquest quadre (vegeu pàgina següent) reuneix informació sobre els diferents científics implicats en les propostes sobre la naturalesa dels fenòmens lluminosos, els relaciona amb diferents èpoques històriques, concreta els models elaborats fins aleshores i també els relaciona amb d'altres coneixements associats als avanços en òptica, cosa que permet contextualitzar la manera com s'han anat construint els models sobre la llum i les controvèrsies desenvolupades. La gran varietat de noms i èpoques i el creixement d'informació sobre els fenòmens lluminosos permet mostrar el caràcter col·lectiu del procés complex d'elaboració d'un model satisfactori que els poguera explicar i també el necessari trencament dels paradigmes pre-clàssic i clàssic i l'adveniment de la nova física quàntica que ha fet de la llum un dels fenòmens físics més ben compresos en l'actualitat.*

**EVOLUCIÓ DELS CONEIXEMENTS SOBRE LA NATURALESA DE LA LLUM**

<b>ETAPA HISTÒRICA</b>	<b>CIENTÍFICS IMPLICATS</b>	<b>AVANÇOS DELS MODELS</b>	<b>ALTRES FETS RELACIONATS</b>
Segles VI a. C. al II d. C. Grècia clàssica i hel·lenística	Pitàgores, Empèdocles Plató, Aristòtil, Euclides Ptolemeu	Primeres explicacions de la naturalesa de la llum. Propagació rectilínia. Diversos tractats d'Òptica	Teories atomistes Model astronòmic geocèntric
Segle XI Ciència àrab (Egipte)	Alhazen (Ibn al-Haytam)	Descripció detallada de l'ull i la visió com a captació de la llum pels ulls. Interpretació de la reflexió i la refracció. Cambra negra	Desenvolupament de l'astronomia d'observació i la matemàtica àrab
Segle XVI	Galileu	Primer intent de mesurar "c" (és molt gran però no pot ser infinita) Telescopi de refracció	Inici de la ciència moderna: cinemàtica galileana, heliocentrisme
Segle XVII	Snell, Fermat Huygens, Leeuwenhoek Hooke, Roemer	Primers models ondulatoris de la llum Principi de Huygens Microscopis. Primeres mesures de "c"	Models senzills per als fenòmens ondulatoris
Segle XVIII	Bradley Newton, Young	Polèmica model corpuscular-model ondulatori. S'imposa el model de Newton per prestigi Telescopi de reflexió	Dinàmica newtoniana Gravitació Universal Experiències de Franklin: naixement de l'electrostàtica
Segle XIX	Fresnel Fizeau, Foucault Faraday, Maxwell, Hertz Michaelson Bunsen, Kirchhoff Roentgen	Verificacions del model ondulatori pels fenòmens d'interferència. Mesures més exactes de "c". Predicció i verificació de la naturalesa electromagnètica de les ones lluminoses. Espectroscòpia visible. Raigs X	Desenrotllament de les teories sobre l'electricitat (Ampère) Concepte de camp (Faraday) Síntesi electromagnètica Problema de l'èter
Segle XX	Von Laue, Bragg Planck Einstein De Broglie Bohr Heisenberg Compton Maiman Gabor	Diagrames de difracció de raigs X Problema del cos negre. Teoria dels quanta Efecte fotoelèctric. Dualitat ona-partícula. Concepte de fotó. Efecte Compton Rodopsina, la molècula de la visió Noves aplicacions basades en el caràcter quàntic de la llum: màsers i làsers. Holografies "c" patró de mesures (def. metre 1983)	Teoria de la Relativitat Dificultats per a acceptar l'existència de l'èter Models atòmics. Interpretació de l'espectre de l'hidrogen L'àtom mecànic-quàntic Estat sòlid Fotoquímica. Fotografia Cinema. TV. Fotocèl·lules

*El quadre pot ser utilitzat per a proposar un fil conductor històric en l'aproximació gradual als fenòmens lluminosos i la seua interpretació, per la indubtable riquesa que ha generat aquesta ampla línia d'investigació que ha fructificat especialment en els moments més significatius de l'evolució de la ciència moderna. Concretament el fil conductor consistiria en presentar les diferents propietats de la llum i els models successius que les expliquen, tot resseguint la polèmica entre les dues concepcions corpuscular i ondulatòria que prengué cos a partir, sobretot, del segle XVII, fins a l'establiment del comportament dual i el caràcter quàntic que ha obert pas a indubtables progressos i aplicacions tècniques.*

## LA INTERACCIÓ ELECTROMAGNÈTICA

**A.31.** *Llegiu i comenteu el text següent sobre els orígens de l'electricitat:*

*Des de l'Antiguitat ja es coneixien alguns fenòmens elèctrics, però han calgut molts anys per a donar-hi una interpretació integrada dins d'un cos coherent de coneixements. Només després de l'establiment de la mecànica, i per mitjà d'una metodologia semblant, s'iniciaren en el segle XIX una sèrie d'investigacions que possibilitaran el coneixement de l'estructura de la matèria i permetran que la humanitat faça un gran pas en el domini de la natura.*

*Hom sabia que algunes substàncies com l'ambre (resina fòssil d'algunes coníferes) adquireixen per fregament, la propietat d'atraure objectes lleugers, trossos de paper, plomes, pèl, etc. Aquesta resina petrificada, els grecs l'anomenaren "elèktron" i per això, la fem servir com a prefix en molts mots relacionats amb aquesta part de la física.*

*Tanmateix, no es va produir cap avanç en el coneixement d'aquestes propietats fins que William Gilbert (1544-1603), metge de la reina Isabel I d'Anglaterra, publicà a Londres el llibre "De magnete". Durant més de dos mil·lennis l'emissió de guspires en fregar algunes peces de roba, l'aparició dels focs de Sant Elm en els pals dels vaixells, o la caiguda de llamps en les tronades, eren motiu d'indiferència, superstició i por. Gilbert tingué el mèrit de transformar tota una pila de nocions, fantasies i misteris, molt utilitzats pels filòsofs i navegants de l'època, en un cos de coneixements que permeté diferenciar els fenòmens magnètics de la pedra imant dels altres fenòmens d'atracció produïts en fregar l'ambre.*

*Ací cal fer referència a Charles François Du Fay (1698-1739), científic francès, que proposava aquesta hipòtesi per a explicar els fenòmens elèctrics:*

*"Hi ha dues electricitats, molt diferents una de l'altra: una d'elles l'anomene electricitat vítria; l'altra, electricitat resinosa. La primera és la del vidre (fregat), cristall de roca, pedres precioses, pèls dels animals, llana i la de molts cossos. La segona és la de l'ambre (fregat),*

*goma laca, seda, paper i gran nombre d'altres substàncies. La característica d'aquestes dues electricitats és que, com ara, un cos amb electricitat vítria repelleix tots els que tenen la mateixa classe d'electricitat; per contra, atrau tots els d'electricitat resinosa."*

*Du Fay explicava l'atracció i la repulsió elèctrica per mitjà de la teoria dels remolins d'efluvis elèctrics que envoltaven els cossos electritzats, ja que en interactuar entre ells aquests remolins obligaven els cossos a bellugar-se. Aquest model que s'assemblava al dels remolins de Descartes en mecànica, fou abandonat prompte per les idees newtonianes d' "acció a distància".*

*No podem oblidar Benjamin Franklin (1706-1790), un polític, filòsof i científic que va interpretar el comportament elèctric amb l'acceptació com a hipòtesi de l'existència d'un únic fluid. Suposava que els cossos no electritzats contenien una quantitat "normal" d'aquest fluid, que imaginava constituït per partícules elèctriques que es repel·lien mútuament, però eren atretes per les partícules de la matèria ordinària. Així, considerava que quan freguem el vidre amb un drap de seda, el fluid és arrancat del vidre i passa a la seda, de manera que aquest es carrega positivament i la seda negativament. És a dir, amb la terminologia fixada arbitràriament per Franklin, quan el fluid s'acumula sobre un cos diem que es carrega positivament, mentre que el cos que ha perdut part del seu fluid "normal" ha quedat carregat negativament. Avui dia seguim acceptant aquesta denominació pel caràcter antagònic i, encara que sabem que les partícules responsables del fluid elèctric són els electrons, seguim considerant com a sentit del corrent el fixat d'acord amb el conveni establert per Franklin i no el del flux d'electrons.*

*Però açò tan sols és el començament d'un llarg procés fins a l'establiment del caràcter fonamental de la interacció elèctrica i la seua íntima vinculació amb el magnetisme, procés en què, com és lògic, participaren molts altres científics, com Coulomb, Volta, Ampère, Ohm, Faraday o Maxwell, entre d'altres, que ja anirem coneixent.*

- Q1. Comenteu algunes aplicacions importants que es derivaren del coneixement de fenòmens naturals com els llamps una vegada aclarit el seu origen elèctric.*
- Q2. Completeu la informació sobre els inicis de la quantificació dels fenòmens elèctrics amb la consulta d'alguns llibres on apareguen els treballs de científics com Coulomb, Galvani o Volta.*

*FONT: Hernández, J. et al. Materia y electricidad. 3º ESO. 1992.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Caràcter col·lectiu del treball científic.*

*NIVELLS: 14-16.*

## COMENTARIS

---

*Malgrat el gran interès social que despertà l'electricitat en els inicis, no fou fins a mitjan segle XVIII quan els científics es plantejaren quantificar les forces d'atracció i repulsió entre càrregues.*

*L'objectiu d'aquest text, abans d'establir un model que expliqui les atraccions i repulsions entre els cossos, és referir-se a les primeres idees explicatives dels fenòmens elèctrics, per a comprendre millor com s'ha aplegat a l'explicació del comportament elèctric de la matèria, resultat del treball de molts científics durant dècades i insistir que, amb la publicació el 1600 del llibre "De magnete" de W. Gilbert (1544-1603), quedaren enrere més de dos mil·lennis d'indiferència i superstició cap als fenòmens elèctrics coneguts.*

*Convé remarcar sobretot el paper fonamental que els resultats de l'estudi dels fenòmens de triboelectrització han jugat en l'establiment de l'estructura de la matèria. També cal assenyalar que al voltant de l'estudi dels fenòmens elèctrics com els llamps, per primera vegada a la història, la investigació portà a una aplicació pràctica de conseqüències importants. Per a ampliar la informació és molt útil consultar alguns llibres d'història de la ciència com a material d'ajuda per a lectures i debats, com ara "Historia social de la ciencia" de J. Bernal, "Historia de las Ciencias" de S. Mason (1984) o "Historia de la Tecnología" de M. Kranzberg i C. Pursell (1981).*

*Entre els anys 1785 i 1789 Coulomb, amb l'ajut de la balança de torsió de l'anglès J. Michell, els treballs d'Aepinus, Gray, Priestley i molts més, demostrà la variació inversa del quadrat de la distància amb la força, tant per a les atraccions com per a les repulsions elèctriques i magnètiques. Als físics de l'època els semblà que aquests descobriments mostraven que les forces elèctriques i magnètiques eren de la mateixa naturalesa que la gravetat, operaven "a distància" a través de l'espai buit i acomplien la llei del quadrat de la distància.*

**A.32.** *La màquina de vapor suposà una gran revolució ja que, per primera vegada a la història, la humanitat podia obtenir energia mecànica no a partir de la tracció d'un animal, sinó d'una màquina que només consumia carbó. Comenteu quins penseu que foren els inconvenients que feren que a poc a poc fos substituïda per màquines elèctriques.*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història. Evolució dels coneixements científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

## COMENTARIS

---

*Sovint s'aborden els aspectes energètics de l'electricitat directament amb la introducció dels conceptes d'energia potencial i potencial elèctric. Pot ser interessant començar aquest tractament energètic amb el debat d'alguns aspectes històrics que ajudaran a comprendre millor com treballa la ciència i els científics, com es va construir el coneixement d'aquesta part important de la física i es recorregué un camí llarg en investigació i aplicacions tecnològiques fins arribar a la situació actual de producció i consum d'electricitat, d'aprofitament de l'energia elèctrica. Per això és important assenyalar els inconvenients de la màquina de vapor, la seua*



*grandària, la gran quantitat de carbó o llenya que necessitava per a funcionar de forma correcta i, per tant, la necessitat d'emmagatzemar aquests combustibles junt a la màquina, a més de la gran quantitat de fums que generava el seu ús i que embrutava edificis i provocava malalties als habitants de les zones industrials. Tot això va forçar la investigació en la forma d'obtenir energia a través de l'electricitat. Així, des de la construcció per Volta (1800) de la primera pila elèctrica i per Faraday (1821) del primer motor elèctric, amb els treballs de Joule (1840) per a l'obtenció de calor, i d'Edison i Swan per a obtenir llum a partir de l'electricitat, el progressos foren accelerats. Cal assenyalar els avantatges de l'electricitat, de moment, enfront de la màquina de vapor en l'obtenció d'energia, ja que es podia traslladar fàcilment tant als habitatges com a les indústries, amb l'estesa de cables, i l'ús no provocava els fums causats per la combustió del carbó en las màquines de vapor. Tot i això, el carbó encara fou durant molts anys la font energètica més utilitzada.*

**A.33.** *Després de llegir el text sobre la vida i treballs de Georg Simon Ohm, responeu les qüestions per tal d'aprofundir-hi:*

### **La vida de GEORG SIMON OHM (1787-1854)**

*El físic alemany Georg Simon Ohm va nèixer a la ciutat d'Erlangen, a l'estat de Baviera, el 16 de març de 1787.*

*De menut, a la seua ciutat natal, l'ambició d'Ohm era convertir-se en científic i treballar en una de las grans universitats alemanyes de l'època. Son pare, un enginyer mecànic, li va ensenyar habilitats bàsiques que més endavant serien molt valuoses en el treball experimental d'Ohm. La seua família era pobra i no tenia amics influents, per la qual cosa el jove Ohm no tingué massa èxit en aconseguir un lloc de treball a la universitat. Finalment, acceptà una plaça de mestre en una escola local i es va resignar a efectuar investigacions per compte seu, tot esperant guanyar-se una bona reputació per mitjà d'alguna contribució important al món de la ciència de l'època.*

*El principal interès d'Ohm es centrava en el corrent elèctric, que recentment havia fet un gran salt amb la invenció de la pila de Volta, la primera font fiable de corrent constant. Ohm no tenia prou diners*

per a pagar-se l'equip adient per a treballar i féu servir les ensenyances de son pare per tal de construir-lo ell mateix. Ohm va utilitzar com a font d'electricitat no pas la pila de Volta sinó una sèrie d'ampolles de Leiden connectades per barres de llautó i fabricà ell sol els seus cables de longituds i gruixos diferents i de gran qualitat.

Ohm decidí de forma intuïtiva d'aplicar al corrent elèctric algunes troballes que havia dut a terme Fourier sobre el llavors anomenat flux de la calor. Va pensar que de la mateixa manera que el flux de calor entre dos punts depenia en part de la diferència de temperatura ( $\Delta T$ ) entre els dos punts i en part de la capacitat del material per a conduir la calor, igualment el corrent elèctric o flux elèctric hauria de dependre de la diferència de potencial elèctric entre aqueixos dos punts i en part de la capacitat del material per a conduir l'electricitat. Va comprovar les seues hipòtesis tot fent passar corrents per cables de diferents gruixos i longituds i va recollir acuradament un enorme cúmulo de dades experimentals. Així trobà que, per a un tipus determinat de metall, el corrent conduït augmentava en augmentar el gruix i en disminuir la longitud. D'aquesta manera pogué descriure, fent servir les seues dades, una nova magnitud que anomenà resistència elèctrica  $i$ , per a un material concret, la va definir en termes de longitud i secció. En 1827 aconseguí demostrar que existeix una relació simple entre resistència, intensitat i voltatge, coneguda arreu com a llei d'Ohm per a un conductor, segons la qual la intensitat de corrent elèctric és inversament proporcional a la resistència i directament proporcional a la diferència de potencial o voltatge aplicat entre els extrems del conductor. Quasibé mig segle abans Henry Cavendish havia trobat aquesta mateixa relació, però no la va publicar mai.

Malgrat establir una de les lleis fonamentals de l'electricitat, el físic alemany fou ignorat pels contemporanis del seu país durant gran part de la seua vida. Sembla que Ohm tractava de recolzar els seus resultats en la teoria, per por que la base merament experimental del seu treball pogués restar-li importància a la vista de la comunitat científica. Quan publicà els resultats del seu treball, només esmentà per damunt damunt els brillants estudis experimentals, mentre que la major part de l'informe l'ocupaven envitricollats càlculs matemàtics.

En comptes d'establir-li una bona reputació, aquella publicació tingué conseqüències negatives per a ell i va rebre crítiques tan dures que fins i tot es veié forçat a dimitir del lloc a l'escola on treballava. Els anys següents Ohm visqué enmig de la pobresa i l'aïllament. Mentrestant la notícia de la seua troballa a poc a poc s'escampava i era reconeguda com un avanç força important. Amb molta satisfacció, Ohm començà a rebre cartes de felicitació de científics de tota Europa i en 1842 la Royal Society de Londres l'admeté com a membre. Els científics alemanys reconegueren la base experimental del seu treball i finalment acabaren admetent la vital importància d'aquesta fita. En 1849, cinc anys abans de la seua mort, es féu realitat el seu

somni en oferir-li una càtedra a la universitat de Munic, capital de Baviera, ciutat on acabaria els seus dies un 7 de juliol de 1854.

Ohm contribuí a convertir els estudis d'electricitat en una ciència quantificable i la seua llei no només va permetre grans avanços en els estudis d'electricitat, sinó que constituí la base de l'enginyeria elèctrica. El seu nom resta immortalitzat pel fet que la unitat de resistència elèctrica s'anomena ohm ( $\Omega$ ) i a més la unitat de conductivitat és el mho, mot format invertint el seu cognom.

- Q1. A la vista de la biografia d'Ohm, argumenteu si penseu que podem considerar els científics com a grans figures que triomfen espectacularment amb llurs treballs.
- Q2. A partir de la informació que podeu trobar al text, comenteu si creieu que, generalment, parteixen de zero les hipòtesis proposades per a una investigació.
- Q3. Busqueu més informació sobre l'ampolla de Leiden i d'altres dispositius existents a l'època d'Ohm que es podien usar per a generar corrents elèctrics estables.
- Q4. Enumereu algunes de les principals repercussions tècniques i socials dels treballs desenvolupats per Ohm sobre el corrent elèctric.
- Q5. Identifiqueu els diferents científics que s'esmenten en el text i si coneixeu alguns de llurs treballs més reeixits. Completeu la informació amb d'altres científics coetanis d'Ohm que també treballaren sobre el corrent elèctric o temes semblants.

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1996.*

*OBJECTIUS: Contextualització de biografies. Problemes a l'origen i repercussions socials dels treballs científics. Experiències històriques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*La vida i treballs de Georg Simon Ohm són un cas interessant de científic modest que, tot i això, ha arribat al cim de la popularitat per les transcendents repercussions tècniques i socials de les seues aportacions, bàsicament la llei dels conductors i dels circuits elèctrics en què es fonamenta tota l'electrocinètica i, sobretot, els nombrosos aparells de mesura.*

*Aquesta activitat podria ser el preàmbul d'una altra sobre el fet concret de l'establiment de la llei d'Ohm de forma experimental, intentant resseguir els passos dels seus treballs. Aquesta coneguda llei sovint es proposa com a petita investigació per als alumnes, ja que el seu establiment al laboratori escolar resulta francament assequible. Tanmateix, el nivell de sofisticació a què han arribat els moderns dispositius elèctrics actuals sol emmascarar el vertader treball original d'Ohm i la verificació de la seua llei esdevé una simple rutina que no té massa al·licients. Ens proposem aquesta activitat com a presa de contacte amb la figura humana d'Ohm i les nombroses dificultats que tingué per a obrir-se camí en la seua modesta però important carrera científica. Resulta especialment interessant situar-se en la seua època i veu-*

*re quins aparells tenia al seu abast i com va definir les magnituds adients a l'objecte de la seua investigació. No oblidem que els moderns amperímetres i voltímetres, que normalment tenim a l'abast a qualsevol laboratori, es basen en la mateixa llei d'Ohm i verificar-la amb ells no deixa de tenir una petita "trampa". No cal reproduir completament l'experiència original d'Ohm, ni tampoc fer arqueologia industrial, tot i que seria força interessant, és suficient que els alumnes es plantegen els aspectes bàsics del problema que ell va abordar i els mitjans amb què es llançà a resoldre'l i desmitificar una vegada més aquells aspectes misteriosos que sempre té un experiment d'electricitat modern, on tot es redueix sovint a pitjar uns pocs botons i llegir les indicacions d'agulles oscil·lants, si no de dígitos que parpellegen en una consola.*

*Pel que fa a les qüestions proposades, volem mostrar la figura d'Ohm com a exemple de científic que sense grans escarafalls aportà els fruits del seu treball, orientat per idees d'altres i d'ell mateix i amb un esperit de superació constant, tot i que pogué tenir els seus moments de desànim i defalliment pel poc cas que li feien els més "savis". En la mateixa línia de pensament podem recordar que sovint les hipòtesis naixen per analogia, com passava en els treballs sobre la calor i l'electricitat, tot i que convé aclarir que s'hi barrejen idees avui ja descartades com el flux de calor i d'electricitat entesos com a fluids mecànics, encara que la idea mateixa de flux s'ha definit modernament d'una manera menys ambigua.*

*La recerca sobre aspectes tècnics com el disseny i funcionament de l'ampolla de Leiden o la pila de Volta permetrà els alumnes entrar en contacte amb la "tecnologia" elèctrica incipient desenvolupada a començaments del segle XIX i contrastar-la amb la nova tecnologia derivada dels avanços que representà per a la manipulació i estudi del corrent tota la tasca d'homes com Ohm, Oersted, Ampère, Faraday i tants d'altres. No cal dir que indagar en les repercussions tècniques i socials del fenomen elèctric tot al llarg del segle XIX pot ser una tasca interminable, ja que estem parlant d'una de les branques més importants del desenvolupament de la Revolució Industrial d'aqueix segle (l'altra és la indústria química dels colorants i dels fertilitzants), per això sempre és interessant reflexionar sobre el paper mutu d'interrelació entre la ciència i la tècnica i d'ambdues amb la societat en una època en què aqueixes relacions foren tan fructíferes.*

*Per a completar el treball insistirem una vegada més en el caràcter col·lectiu de tot treball científic i proposarem que s'indague una mica en el bast nomenclàtor de científics i enginyers contemporanis d'Ohm a partir dels pocs noms esmentats en el text. Els resultats d'aquesta recerca es poden expressar per mitjà d'una cronologia comparada dels fets vitals d'Ohm i les aportacions dels diferents científics pròxims en el temps.*

**A.34.** Llegiu i comenteu el text següent, amb l'ajut de les qüestions:

### BREU HISTÒRIA DE LA INTRODUCCIÓ DEL CONCEPTE DE CAMP

*La gènesi fou lenta i sinuosa. La introducció del concepte de camp des del començament de l'electrostàtica evita les giragonses d'aquesta gènesi, però es centra en els problemes històrics fonamentals: la superació del model d'interacció a distància i instantània i l'*

*aparició del camp com un ens físic (clàssicament la matèria es presenta en dues formes, partícules i camps).*

*Efectivament, tant Coulomb en l'electrostàtica (1785) com Ampère, Laplace, Biot i Savart, etc., en la magnetostàtica (1820-27) utilitzen forces a distància en coherència amb el programa o paradigma mecanicista vigent.*

*La idea de camp apareix, de forma confusa, en les explicacions qualitatives que Oersted fa de la seua experiència de 1820. Empra un llenguatge cartesià i parla de remolins al voltant del fil. És Faraday (1791-1867) qui, des de les primeres experiències de 1821 amb el rotor electromagnètic, més explícitament fa servir la noció de camp, en considerar les línies de camp com a entitats reals que omplien l'espai. És a dir, s'allunya del programa mecanicista de l'acció a distància per a utilitzar una acció contigua. A la proposta li mancava una formulació matemàtica, ja que el seu origen social (era fill d'un ferret) li impossibilitava, en aquella època, l'accés a una formació universitària.*

*En aquells anys ens trobem dues vies o programes d'investigació en electricitat i magnetisme. En primer lloc, segueix vigent el programa mecanicista sobretot en el continent europeu. Físics de la talla de Kirchhoff, Helmholtz, Weber, Neumann, etc., segueixen amb l'ús de la idea d'acció a distància, malgrat que amb alguns problemes, com ara que les forces magnètiques són transversals i no centrals, cal introduir el retard i per això les forces no són instantànies, etc.*

*D'altra banda, a la Gran Bretanya, la influència de Faraday en Kelvin (W. Thomson) produeix l'aparició d'un nou programa d'investigació basat en l'acció contigua. Tanmateix, s'abandona la fructífera idea de Faraday de les línies de camp com a ens físics, considerades com a tubs que transporten un fluid incompressible, l'èter (ja utilitzat per Fresnel i altres com a mitjà de propagació de la llum). En el fons es tracta d'un intent de mantenir una explicació mecànica de l'electricitat i el magnetisme. En el marc d'aquest programa Maxwell en 1861-62 elabora unes equacions en què unifica l'electricitat i el magnetisme i introdueix una teoria electromagnètica de la llum. Per a obtenir-les hagué d'introduir tubs d'èter giratoris, amb partícules elèctriques com a rodament entre ells, etc. S'hi plantegen dues possibilitats: o aprofundir més en el model o alliberar la teoria del mecanisme. Maxwell en 1864-65 optà per la segona opció i fugí de la complexitat del model en afirmar que "en la nostra teoria l'energia resideix al camp electromagnètic, a l'espai que envolta els cossos elèctrics i magnètics...". Tanmateix, gran part dels físics que treballaven en el context d'aquest programa, optaren per la primera opció, com Kelvin que el 1884 afirmava: "No estic satisfet fins haver construït un model mecànic de l'objecte que estic estudiant. Si arribe a fer-ne un, ho comprend; altrament, no". Açò va originar la proliferació de múltiples models d'èter.*

*Ambdós programes d'investigació, el mecanicista i el de l'èter (o del camp electromagnètic) coexisteixen fins que el 1887 Hertz troba les ones electromagnètiques predites per Maxwell i amb això qüestiona la idea de l'acció a distància i instantània. El 1892 H. A. Lorentz culmina el programa de l'èter en establir que tots els cossos carregats contenen partícules minúscules que compleixen les equacions de Maxwell en un èter en repòs. J. J. Thomson descobreix l'electró el 1897 i ho confirma. Hi hem d'afegir d'altres troballes relacionades amb l'estructura de l'àtom, com ara, les sèries espectrals de l'hidrogen per Balmer (1885), l'efecte fotoelèctric per Hertz, Lenard, etc. (1887-89), els raigs X per Röntgen (1895), la radioactivitat i els elements radioactius (per Becquerel i P. i M. Curie 1896), etc.*

*Tot plegat fa que alguns físics comencen a percebre la crisi del programa mecanicista i plantegen (Poincaré 1900) que, si la teoria de Lorentz és certa, no es compleixen la llei d'acció i reacció i la conservació de la quantitat de moviment i cal trobar una dinàmica nova. D'altres com Wien, Abraham, Kauffmann (1900-03) van més enllà i redueixen la mecànica a electromagnetisme, en considerar que la matèria està constituïda per electrons i èter i regida per les lleis de Maxwell-Lorentz. A més trien un radi adequat per a l'electró, obtenen que tota la seua massa és electromagnètica.*

*Tanmateix, en 1908-09, part de la comunitat científica comença a prendre consciència que la crisi és més pregona, que també afecta les teories de l'èter o del camp electromagnètic i que la solució no passa, doncs, pel programa de l'èter, sinó per les teories de la relativitat (Einstein 1905) i quàntica (Planck 1900, Einstein 1905). La primera d'aquestes teories ens allibera de l'espai absolut i, per tant, de l'èter que l'hauria d'omplir. Amb ella Einstein culmina el llarg procés, encetat per Faraday i Maxwell, de l'establiment del camp com una realitat física, constituent, juntament amb les partícules (electrons, etc.) de la matèria que ens envolta. La teoria quàntica també realitza una contribució en aquesta línia, en posar de manifest que el camp està constituït per fotons. Així s'estableix un nou model d'interacció com a intercanvi de partícules.*

- Q1. Feu un esquema on apareguen les dues línies d'investigació que estudiaven les interaccions elèctriques, els científics que les desenvoluparen i la manera com es resolgué la controvèrsia.*
- Q2. Assenyaleu clarament les diferències entre la interpretació mecanicista dels fenòmens elèctrics i la nova interpretació que introdueix el concepte de camp.*
- Q3. La visió mecanicista dels fenòmens físics no es limità a la interpretació de l'electricitat. Comenteu quins altres problemes físics es volien explicar amb aquesta visió, segons la qual tot té una explicació en termes de partícules i forces entre elles.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Construcció de conceptes. Controvèrsies científiques.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*La introducció de conceptes força innovadors, com el de camp, sempre ha ensopagat amb les resistències i obstacles epistemològics generats per les visions prèvies que els científics tenien del món físic. En aquest cas la visió mecanicista fou un fre important que retardà l'acceptació d'aquesta nova forma de presentar-se la matèria, tot i els problemes que quedaven pendents per a una correcta interpretació de les interaccions a distància.*

*En aquest text pretenem fer reflexionar els alumnes sobre les dificultats que implicà l'establiment del concepte de camp elèctric i els distints camins que es seguiren per a la interpretació dels fenòmens elèctrics. És especialment interessant fer veure l'inici de la gran crisi de la física clàssica que començà, entre d'altres causes, pel problema de l'èter. Caldria superar la visió operativista que encara mantenen determinades interpretacions del camp com a mer artefacte matemàtic sense existència "real".*

## **FÍSICA MODERNA**

**A.35.** *La Física clàssica sorgí contra un paradigma, la Física aristotèlico-escolàstica que s'havia mostrat incapaç de resoldre una sèrie de problemes. Assenyaleu algunes de les tesis d'aquesta Física del sentit comú que van ser ensorrades per la Física clàssica.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Crisis en els paradigmes conceptuals.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat esdevé una ocasió per a revisar algunes de les tesis principals de la Física del sentit comú vistes en cursos anteriors. Convé recordar especialment la visió jeràrquica de la natura, amb una clara separació entre Física terrestre i Física celeste; la tendència dels cossos terrestres a ocupar el seu "lloc natural" per romandre-hi en repòs, que implica concebre les forces com a causa del moviment i admetre que els cossos més pesants cauen més de presa; el caràcter de moviment "perfecte", sense principi ni fi i "no forçat" dels objectes celestes; "l'horror al buit" de la natura...*

**A.36.** *L'enderrocament de la "Física del sentit comú" no significà només la substitució d'una visió de la naturalesa per una altra sinó que estigué associada a un canvi metodològic més profund. Resumiu les principals característiques d'aqueix canvi.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Crisis en els paradigmes conceptuals.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

---

*Amb aquesta activitat podem abordar una vegada més les característiques del treball científic més enllà de les visions simplistes habituals i remarcar sobretot la substitució d'un pensament basat en les evidències del sentit comú, en les autoritats, etc., per un pensament més creatiu, amb les hipòtesis com a nucli central, i més rigorós, amb realització d'experiències i ús de les matemàtiques. De fet el desenvolupament complet de l'assignatura hauria d'haver ajudat a produir aquest canvi en els alumnes, que tenen una metodologia espontània amb les mateixes característiques de la metodologia del sentit comú.*

**A.37.** *Tracteu d'indicar quina imatge del comportament de la matèria introdueix la Física clàssica (concretament, com es conceben l'espai, el temps, les radiacions i els cossos).*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Crisis en els paradigmes conceptuals.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

---

*Entre d'altres, podem insistir en aquestes característiques del mecanicisme:*

- Concep l'espai com un receptacle independent dels objectes que conté i no exerceix cap acció sobre ells.*
- Els cossos es desplacen en aquest espai absolut i sofreixen una evolució que podem mesurar en una escala temporal també absoluta.*
- Les interaccions d'uns objectes amb d'altres produeixen modificacions en llur estat de moviment que es poden determinar perfectament per mitjà de les lleis de la Mecànica. El coneixement de les equacions del moviment d'un objecte permet de predir la seua posició, velocitat, etc., en qualsevol instant. Cal remarcar, doncs, que es tracta d'una concepció clarament determinista.*
- Hi ha una distinció nítida entre matèria (constituïda per àtoms) i radiació (concebuda com a energia sense substrat material).*

*Afegirem que no convé donar un matís pejoratiu a aquesta síntesi. Ben al contrari cal remarcar el poderós edifici teòric que suposà la Física clàssica i les seues implicacions tecnològiques, esmentades en una altra activitat.*

**A.38.** *Indiqueu algunes de les implicacions més rellevants de la ciència clàssica en els dominis ideològic, social i mediambiental.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*



**COMENTARIS**

*Aquesta activitat és extraordinàriament oberta on es poden sistematitzar les aportacions dels alumnes tot assenyalant que, inicialment, la ciència i la tècnica eren dues tradicions bàsicament independents, i eren conreades per col·lectius diferents, els teòrics (filòsofs, sacerdots, etc.) i els artesans. Els camps científics més desenrotllats eren les Matemàtiques, l'Astronomia i la Medicina, amb algunes aplicacions com portar els comptes, prendre mesures, construir calendaris, etc. En resum, la ciència era una força social menor (Mason 1984).*

*En el Renaixement, s'inicia la convergència d'ambdues tradicions. Moltes investigacions científiques han tingut origen en problemes de tipus tècnic (la cinemàtica de Galileu té relació amb el llançament de projectils i el magnetisme de Gilbert amb la brúixola). A més, l'avanç tècnic sovint determina la pròpia possibilitat del treball científic, com en el cas dels progressos en astronomia que es vinculen a la construcció de telescopis.*

*Emperò, la major aportació de la ciència clàssica consistí en la nova forma d'abordar els problemes. El desenvolupament sorprenent a què donà origen, de vegades, implicava un trencament radical amb les concepcions vigents. Un cas típic és la teoria heliocèntrica de Copèrnic, els defensors de la qual patiren persecucions com Galileu i fins i tot foren condemnats a mort com Giordano Bruno. També cal destacar el paper de la ciència en l'evolució de les idees filosòfiques, religioses, artístiques, etc., com ara les influències del mecanicisme en la Il·lustració.*

*Fins el segle XIX, en plena efervescència de la Revolució industrial, els desenvolupaments tècnics encara van per davant dels científics. En efecte, la construcció i utilització de màquines tèrmiques per Newcomen, Watt, etc., és prèvia a la Termodinàmica. Però d'aquest moment ençà la relació sembla canviar de sentit i branques de la ciència, com l'Electromagnetisme i la Química, que es desenvolupen en aquest segle, són l'origen de la indústria elèctrica, química, etc.*

*D'altra banda també s'ha passat de la persecució inicial, a un científisme suposadament per damunt de qualsevol ideologia que tracta de limitar la ciència a una funció merament operativa, afavoridora del desenrotllament tècnic, però que li nega tota incidència en la concepció del món o en qüestions d'organització social que afecten els interessos dels grups privilegiats. Una postura com la descrita ha engendrat la darrera dècada una nova actitud de condemna cap a la ciència: se l'acusa de la destrucció sistemàtica del medi ambient per les indústries modernes, de la invenció d'armes cada volta més mortíferes, d'originar productes que passen automàticament de moda en nom d'un consumisme deshumanitzador, etc. (Seminari de Física i Química 1988).*

*Igual com les dificultats de la concepció aristotèlico-escolàstica van contribuir a l'adveniment del paradigma clàssic en el segle XVII, a finals del segle XIX, una sèrie de problemes que no pogueren ser explicats originaren la crisi de la Física clàssica, posaren en qüestió els conceptes més evidents i sòlids i produïren l'aparició d'un nou paradigma.*

**A.39.** *La Física clàssica arribà a explicar pràcticament tots els fenòmens coneguts i esdevingué un cos coherent de coneixements on només mancava resoldre alguns petits problemes. Recordeu alguns d'aquests problemes pendents.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Crisis en els paradigmes conceptuals.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Es poden esmentar aquells problemes que han aparegut en altres temes, com els espectres discontinus i la inestabilitat de l'àtom de Rutherford, l'efecte fotoelèctric i el caràcter de sistema en repòs absolut de l'espai. Però cal no oblidar que n'hi hagué d'altres, relacionats amb l'Estat Sòlid: els espectres continus de sòlids i líquids incandescents, l'incompliment de la llei de Dulong i Petit sobre la calor específica dels sòlids, la resistivitat dels metalls predita mitjançant el model de Drude-Lorentz, era major que l'experimental, etc.*

*Aquests petits problemes originaren dues línies d'investigació que provocarien la crisi del paradigma clàssic i conduïren a l'establiment de la Física relativista i de la Física quàntica.*

**A.40.** *Llegiu aquest text i assenyaleu alguns dels principals èxits (amb llurs aplicacions pràctiques) de la Física clàssica, és a dir, des de l'època de Galileu a la de Maxwell:*

### **LA CRISI DE LA FÍSICA CLÀSSICA**

*Cap a la fi de segle XIX es considerava la Física com una ciència pràcticament elaborada i tancada, amb uns principis i lleis sòlidament establerts. L'activitat física consistia, doncs, en aplicar aquestes lleis i principis a distints fenòmens. Però una sèrie de problemes que no van poder ser explicats originaren, a començaments del segle XX, la crisi de la Física clàssica i posaren en qüestió fins i tot els conceptes més evidents i sòlids, així va sorgir un nou paradigma.*

*Entre 1861 i 1873 (any en què es publicà el "Tractat d'Electricitat i Magnetisme") Maxwell va dur a terme la síntesi electromagnètica i integrà els fenòmens fins llavors considerats inconnexos d'electricitat, magnetisme i òptica. Amb això, semblava que s'havia donat resposta satisfactòria als principals problemes que plantejava la ciència física. Durant dos segles s'havia bastit un edifici imponent, els pilars del qual eren la mecànica newtoniana i la teoria electromagnètica.*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics. Crisis en els paradigmes científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

## COMENTARIS

*Els alumnes fan nombroses aportacions poc sistemàtiques, per això cal que els professor les structure i remarque:*

- *La precisió assolida per la Mecànica en la descripció i predicció del moviment, tant d'objectes terrestres com celestes.*
- *Els grans principis de conservació i transformació (de la massa, energia, quantitat de moviment, càrrega) com a expressió de la unitat de la matèria. Aquesta contribució a una visió unitària és un dels trets més característics del desenvolupament de la ciència i es fa palès també en la síntesi electromagnètica o en la llei de gravitació universal.*
- *Les grans revolucions tecnològiques que significaren les màquines tèrmiques (factor essencial en la primera revolució industrial), la producció i transmissió del corrent elèctric (que féu possible la concentració de les grans quantitats d'energia necessàries en la indústria i les ciutats modernes) o de les ones electromagnètiques, que permetrien la transmissió ràpida d'informació (telegrafia sense fils, ràdio, televisió...).*

*Finalment convé assenyalar que la major aportació de la ciència clàssica consistí en la nova forma d'abordar els problemes  $\frac{3}{4}$  en substituir un pensament fonamentat en "les evidències del sentit comú" per un altre de molt més creatiu, amb les hipòtesis com a nucli central i rigorós  $\frac{3}{4}$  i el desenvolupament tan prodigiós que originà.*

**A.41.** *Llegiu i comenteu el text següent, amb l'ajut de les qüestions:*

### ALBERT EINSTEIN

*Nasqué el 1879 a Ulm, sud-oest d'Alemanya, i es traslladà un any després a Munic. El 1888 es canvià de l'escola a l'Institut fins a 1895. En tots aquests anys obtingué el primer o segon lloc en matemàtiques i llatí, és a dir, la creença tan estesa que fou un mal alumne no té cap fonament. No li agradaven els mètodes autoritaris, ni l'ensenyament memorístic. Això li va produir, com indica a la seua autobiografia, "la sospita contra tota mena d'autoritat i desenrotllà una actitud escèptica davant les conviccions que persistien en qualsevol ambient".*

*Malgrat tenir només 16 anys (era 2 anys més jove que la major part dels candidats) es presentà a l'examen d'ingrés de l'Escola Politécnica Federal (EPF) de Zuric (Suïssa) i fou suspès en biologia i francès. Per a obtenir el diploma d'ensenyament mitjà que li permetés d'inscriure's a la Universitat, anà a l'Escola d'Aarau, on es trobà molt satisfet per l'esperit liberal i democràtic de l'escola. Des del 1896 al 1900 va estudiar a l'EPF, on obtingué el títol de Fachlehrer, professor de matemàtiques i física per a ensenyament mitjà. "La major part del temps treballava en el laboratori de física, fascinat pel contacte directe amb l'observació" i estudià pel seu compte alguns temes avançats, com ara la teoria electromagnètica de Maxwell.*

Tanmateix la seua carrera acadèmica fou difícil. No pogué aconseguir un lloc d'ajudant d'universitat, i hagué d'acceptar el 1902 un lloc de tècnic a l'Oficina de Patents de Berna, on romangué fins al 1909. Així aplegà 1905, any en què publicà tres articles, que com-mourien els fonaments de la física, sobre: l'efecte fotoelèctric, una aplicació de la teoria cinètico-molecular al moviment brownià i el que més endavant s'anomenà teoria especial de relativitat.

El 1909 els seus treballs assoliren el reconeixement del món científic i l'anomenaren professor de la universitat de Zuric i un any després catedràtic de la universitat de Praga. El 1912 tornà a Zuric com a catedràtic de l'EPF i un any després se li ofería la màxima aspiració d'un científic europeu d'aquella època: una càtedra, sense docència, a la universitat de Berlín, en la que romangué fins al 1933.

El 1916, després de vuit anys d'esforços, publica la teoria general de la relativitat, una nova teoria de la gravitació. L'astrònom britànic Eddington comprovà el 1919, després d'acabada la primera Guerra Mundial, durant un eclipsi total, una de las prediccions de la relativitat general: la curvatura, en les proximitats del Sol, dels raigs de llum d'un estel.

Aquest fet produí un gran impacte en l'opinió pública mundial, fonamentalment a causa del caràcter revolucionari de la teoria i a la premsa. I amb la fama apleguen els viatges per tot el món: el Japó, Espanya (el 1923), EUA, Llatinoamèrica, etc.

L'impacte de la relativitat no ha de fer oblidar la importància d'altres contribucions d'Einstein a la Física, sobretot, a la quàntica: el 1905 l'efecte fotoelèctric, ja esmentat, pel que se li concedí el Premi Nobel de Física el 1921; el 1907 la calor específica dels sòlids, el primer treball sobre teoria quàntica dels sòlids; el 1916 i 17 la teoria de les transicions espontània i induïda, base teòrica del làser; el 1924 i 25, desenrotllà amb Bose, l'estadística quàntica dels bosons (fotons, etc.). A partir de 1927, quan s'estableix la teoria quàntica i la interpretació probabilística d'aquesta, la seua actitud respecte a la quàntica esdevé d'escepticisme i dóna lloc a la famosa paradoxa d'Einstein-Podolsky-Rosen el 1935.

Des dels primers dies de la I Guerra Mundial Einstein recolzà públicament la causa del pacifisme i de la democràcia. Els anys 20 començà a interessar-se pel destí dels jueus. Tot això contribuí a atraure's les crítiques del moviment polític nazi, caracteritzat pel seu caràcter dictatorial i racista, i pel seu bel·licisme. Això va significar un atac a la teoria de la relativitat com a exemple de física jueva o no ària.

En començar l'any 1933, quan Hitler aplegà al poder i començà les porgues racials a Alemanya, Einstein acceptà una oferta de l'Institut d'Estudis Avançats de Princeton als EUA. Allí, el 1939, escriví una

carta al president F. D. Roosevelt per a suggerir-li el desenrotllament d'armes nuclears, a fi d'avançar-se al projecte dels alemanys.

A la fi de la II Guerra Mundial i després de l'explosió de la bomba atòmica Einstein s'implicà, més que mai, en la política. Participà, juntament amb Born i d'altres, en moviments internacionals de científics a favor del desarmament nuclear. Plantejà la necessitat d'arribar a un govern internacional, per a combatre el nacionalisme militarista. Criticà les irracionalitats del capitalisme. Recolzà l'educació en general i una educació científica "per tal que una ciutadania informada pugui en forma intel·ligent determinar i donar forma a la seua acció, i que aprofite al millor interès, propi i de la humanitat". Condemnà públicament les accions del govern dels EUA contra Oppenheimer, que no volgué participar en la construcció de la bomba d'hidrogen.

Tot això, en el període de McCarthy, féu que l'F.B.I. obrís un dossier sobre ell, que fou tancat el 1955, any del seu traspàs.

- Q1. El Premi Nobel de Física J. Franck afirmava que "(els científics) solem ser cautes i, per tant, tolerants. De fet és l'objectivitat que ens impedeix de prendre clarament partit en política perquè ací no està la raó de part de ningú". Contrasteu aquesta opinió amb les dades de la vida d'Einstein exposades en el text. ¿Què us sembla?
- Q2. ¿Què penseu del contrast entre el pacifisme d'Einstein i el seu recolzament per a la construcció de la bomba atòmica?

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Biografies contextualitzades. Implicacions socials de la ciència.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*Albert Einstein és un dels científics més famosos de la història i la seua vida és plena d'aspectes interessants. Per això, en comptes de reforçar el tòpic de gran figura, caldria remarcar els aspectes més humans del personatge i mostrar sobretot les implicacions socials dels seus treballs, sovint considerats massa teòrics, i les seues actituds davant les diferents circumstàncies en què es veié implicat. El seu rebuig de l'autoritarisme, des de ben jove, unit al pacifisme que professà al llarg de la seua vida, no impediren que davant l'amenaça nazi recolzés el projecte Manhattan, tot i que els seus efectes destructors el menaren a implicar-se definitivament en contra de la cursa d'armaments. Aquests fets mostren la complexitat de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat.*

**A.42.** *Llegiu i comenteu el text següent, amb l'ajut de les qüestions:*

## **INFLUÈNCIES DE LA TEORIA DE LA RELATIVITAT EN LA SOCIETAT**

*Les primeres dècades d'aquest segle constitueixen un període revolucionari en els terrenys polític, social, econòmic, artístic, científic, etc. Només cal esmentar com a exemples la revolució russa del 1917,*

que posà de manifest que l'economia capitalista no era l'economia natural, com les lleis de Newton, sinó una economia; els moviments sufragistes femenins; el naixement de l'estat del benestar, teoritzat per Keynes i dut a terme de F. D. Roosevelt amb el "new deal"; l'aparició de la psicoanàlisi; l'avantguardisme (el surrealisme en literatura, el cubisme en pintura) i les revolucions relativista i quàntica en ciència.

En aquest context, la teoria de la relativitat, presentada a la premsa com la teoria revolucionària per excel·lència, produí un gran impacte tant sobre els científics com sobre artistes i literats.

Per als científics va significar la crisi de molts postulats fonamentals. De fet, inicialment, Einstein preferia parlar de teoria dels invariants i insistia en la idea que les equacions fonamentals conserven la mateixa forma en tots els sistemes de referència inercials. Però a partir del 1911 Einstein comença a parlar de relativitat i així recorda que l'espai i el temps absoluts de Newton no són vàlids, tot remarquant el canvi que ell havia dut a cap.

Hi hagué qui va efectuar la transició a la nova mecànica sense cap dificultat, però per a d'altres el canvi fou dolorós i no sempre ben assimilat. També contribuí a que nombrosos científics escriviren llibres per a fer comprensible al lector la teoria de la relativitat, és a dir, estimulà la divulgació científica.

Tingué, també, un considerable impacte en el pensament contemporani. Un gran nombre d'articles i llibres que aparegueren els anys 20 i 30 feren servir formes d'expressió relativistes per tal d'adquirir un caire revolucionari i heterodox.

La relativitat tingué implicacions evidents en la percepció de l'espai i del temps, que influïren en l'arquitectura, pintura i literatura (el temps lent en la narrativa). Igualment va contribuir a l'establiment d'un gènere literari, la ciència ficció. Idees com ara la pluralitat de perspectives han influït en la pintura (el cubisme) i la literatura (contar històries des de punts de vista diferents).

En filosofia exercí un gran influx sobre els positivistes del Cercle de Viena i, especialment, en el falsacionisme de Popper (la ciència no cerca verificar les teories, sinó experiments crucials que les refuten).

Tot plegat, amb el gran impacte de la relativitat a la premsa, va fer que aquesta esdevingués una moda i convertí Einstein en el científic més famós del món.

Q1. Aprofundi des de diferents disciplines (història, filosofia, literatura, art, etc.) en les influències de la relativitat en el pensament contemporani.

FONT: Jordi Solbes. Física 2<sup>a</sup> Bachillerato. 1996.

OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.

NIVELLS: 17-18.

### COMENTARIS

*La popularitat d'Einstein i la transcendència i implicacions de les seues contribucions, sobretot de la teoria de la relativitat, són una bona ocasió per a desmitificar el suposat caràcter merament teòric i aliè a la vida real d'aquesta important teoria científica. El text permet mostrar igualment la irrupció de la ciència moderna en la societat de començaments de segle i la presa de posició definitiva de l'activitat científica com a part de la cultura universal, iniciant la superació del caràcter merament aplicat o tècnic que el segle anterior contribuí a reforçar. Des d'aquest segle, la ciència ja no és cosa només dels científics i comença a adquirir unes dimensions més amples, que es veuran reforçades per les nombroses repercussions en la vida quotidiana i en els possibles efectes nocius del seu abús. Tot i això el text es vol centrar només en l'onada de "relativisme" que envaí la cultura dels anys 20 i 30 i pot servir també per a desfer els malentesos que això provocà.*

**A.43.** Llegeu i comenteu el text següent, a partir de les qüestions:

#### LA GENERACIÓ DE CIENTÍFICS ESPANYOLS QUE FÉU POSSIBLE LA VISITA D'EINSTEIN A ESPANYA

*Després del col·lapse de l'activitat científica espanyola durant la guerra del francès i el regnat de Ferran VII, s'inicia un llarg procés de recuperació, d'importació sistemàtica dels coneixements produïts a l'estranger i de fundació d'institucions científiques. Un exemple notable de figures intermèdies foren l'enginyer i Premi Nobel de Literatura José Echegaray (1832-1916) i l'astrònom Josep Comas i Solà (1868-1937), que difongueren a Espanya les ciències físiques i matemàtiques contemporànies.*

*Però només després de la desfeta del 1898, atribuïda entre d'altres causes al retard científic, es crea a l'estat espanyol una base ampla de recolzament per a la ciència, que culmina amb la fundació el 1907 de la Junta de Ampliación de Estudios, dirigida pel Premi Nobel Santiago Ramón y Cajal. S'inicia d'aquesta manera una política de beques per a estudiar i investigar a l'estranger, de creació de laboratoris com el d'Investigacions Físiques el 1910, dirigit per Blas Cabrera, el d'Automàtica dirigit per Leonardo Torres Quevedo (1852-1936) i, sobretot de Química, molt vinculat als interessos de les indústries, el de la Residencia de Estudiantes el 1912 o el Laboratori General d'Assaig de la Mancomunitat catalana el 1908. També es creen observatoris astronòmics com el Fabra de Barcelona en 1904, dirigit per Josep Comas o el de l'Ebre a Tortosa el 1905. Aquests esforços permeteren que la generació de científics nascuts cap a 1880 situés la física espanyola al nivell dels temps. Entre els seus membres hi destaquen:*

*Blas Cabrera (1878-1945). Catedràtic d'electricitat i director del Laboratori d'Investigacions Físiques, que destacà com a físic experimental sobre les propietats magnètiques de la matèria, tema en què*

s'inicià amb Weiss el 1910-12 a Zuric. El seu treball tingué una difusió internacional. Fou un entusiasta defensor i divulgador de la relativitat i la quàntica. Aplegà a ser rector de la Universitat Central de Madrid. Hagué d'exiliar-se, després de la guerra civil, primer a París i més tard a Mèxic, on va morir.

**Josep Maria Plans (1878-1934).** Autor d'una de les poques contribucions originals espanyoles sobre la relativitat en els anys 20, una nova equació per a explicar la deflexió de la llum en camps gravitatoris. Una altra aportació fou realitzada pel matemàtic Pere Puig i Adam a la seua tesi doctoral, dirigida per Plans. Publicà un llibre de difusió "Nociones fundamentales de mecánica relativista" i traduí el famós "Space, time and gravitation" d'Eddington.

**Esteve Terradas (1883-1950).** Físic, matemàtic i enginyer. Catedràtic d'Acústica i Òptica. Els grans coneixements d'alemany li permetien de seguir al dia els avanços en relativitat i quàntica. Utilitzà mètodes innovadors d'ensenyament i cap al 1910 havia incorporat la física quàntica a les seues classes a la universitat i cap al 1915 la relativitat. Dissenyà el pla per a la xarxa telefònica catalana el 1915 i estigué treballant a la xarxa de ferrocarrils secundaris de Catalunya.

Aquests científics amb la tasca de difusió de la teoria de la relativitat entre els professionals amb formació científica (enginyers, professors d'ensenyament secundari, farmacèutics, metges, etc.), és a dir, tot creant un públic interessat pel tema, i amb l'organització del viatge i l'estada (sobretot, Terradas, Cabrera i el matemàtic Julio Rey Pastor) feren possible la vinguda d'Einstein a Espanya en març del 1923. A més, formaren la generació següent de físics, entre els que cal destacar:

**Julio Palacios (1891-1970).** Estudià amb Terradas i amb el Premi Nobel Kamerling Onnes a Leiden el 1918, on duqué a terme investigacions sobre baixes temperatures, tema que no pogué prosseguir a Espanya per manca d'instal·lacions adients. Féu contribucions teòriques destacades, una de las quals meresqué ser publicada per Wien als *Annalen der Physik*. Tingué un gran coneixement de la física quàntica i una admiració primerenca per la teoria d'Einstein, que contrasta amb l'obcecació antirelativista dels darrers anys.

**Arturo Duperier (1896-1954).** Estudià amb Cabrera i hagué d'exiliar-se a Londres el 1939, on treballà a l'Imperial College. Fou un experimentador notable que ideà procediments per a localitzar i estudiar raigs còsmics, disciplina que després esdevindria la física de partícules elementals. Tornà a Madrid el 1953, i el seu equipament científic patí grans dificultats burocràtiques per a entrar al país.

**Miguel Ángel Catalán (1894-1957).** Investigà sobre espectroscòpia atòmica amb Fowler a Londres el 1920-21, on descobrí els múltiples del manganes. Sommerfeld conegué les seues investigacions du-



rant un viatge a Madrid el 1922 i d'això resultà una beca Rockefeller, que conduí Catalán al laboratori de Sommerfeld a Munic el 1923-25. En tornar al laboratori d'investigacions físiques a Madrid, l'acompanyà K. Bechert, per tal de prosseguir els treballs sobre espectroscòpia.

Tanmateix la guerra civil i la desfeta de la República pel franquisme, provoca un altre col·lapse econòmic i cultural (ciència inclosa). Fins els anys 50 no es recupera el nivell de vida anterior a la guerra. Al començament de la guerra s'exilien alguns científics, com Severo Ochoa. D'altra banda, entre morts en la guerra i en la postguerra (execucions) i uns 300.000 exiliats, s'arriba quasi a un milió de baixes, d'on el 80 % correspon als republicans, la majoria d'ells treballadors qualificats, tècnics, artistes, professors (Cabrera, Duperrier, del Río, etc.). Els que no se'n van són desterrats o postergats i els cossos docents són depurats (Catalán, Moles, etc.). La ciència i la tecnologia es ressentirien durant decennis d'aquestes pèrdues, igual com de l'hostilitat franquista dels anys 40 envers la ciència moderna.

La recuperació començà amb el desenrotllament de la dècada dels 60 i, com el canvi tecnològic no es podia recolzar en el desenrotllament autònom, ateses les escasses inversions en investigació i desenvolupament (I+D) realitzades pel règim franquista, es basà en la importació de tecnologia i de saber fer en aqueixes activitats. Per això, el 1980 trobem que només s'invertia en I+D un 0,4 % del Producte Interior Brut (PIB). Malgrat haver-se realitzat un gran esforç en la darrera dècada, on s'ha passat a un 0,8 % del PIB, encara ens trobem molt lluny del 2 % del PIB en I+D, que és la mitjana dels països de l'OCDE (com ara Alemanya inverteix un 2,85 %, França un 2,33 %, el Regne Unit un 2,29 %, el Japó un 2,87 %, els EUA un 2,71 %, Itàlia un 1,32 %, etc.).

- Q1. A la vista del que s'ha exposat ¿creus que és cert el tòpic que "el suelo español es infértil para la ciencia" com algú ha dit?
- Q2. ¿Quines polítiques semblen aconsellables per tal d'aconseguir un cert nivell de desenvolupament científic i tecnològic?

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Contribucions dels científics espanyols. Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquest quadre presenta una de les etapes més fructíferes de la ciència hispànica, juntament amb la Il·lustració i el segle XVI, i vol contribuir una vegada més a la desmitificació que ací no s'ha produït mai ciència de nivell europeu. Les circumstàncies socio-econòmiques i les estructures polítiques han contribuït a fer de diferents èpoques moments més o menys propicis per al lliure desenvolupament de l'activitat de recerca científica. Es tracta, doncs, d'una activitat per a reflexionar sobre les complexes interaccions CTS en la història del nostre país. Quan s'hi han donat les condicions favorables, com en les generacions anteriors a la II República i la*

*desfeta de la guerra civil, els científics espanyols han col·laborat al màxim nivell de la ciència europea.*

**A.44.** *Llegiu i comenteu el text següent:*

### **EL DESENVOLUPAMENT DE LA FÍSICA A ALEMANYA**

*Els resultats acumulatius de totes les innovacions científiques que es van produir en la ciència del segle XIX (en química, electromagnetisme, etc.) donaren una empenta tan important al desenvolupament industrial que, d'ençà del 1870, podem parlar d'una segona revolució industrial. En aquest període s'origina l'extensió espacial del fenomen industrial: EUA, Japó, Alemanya, etc. El creixement continuat de la producció, permet inundar els mercats europeus. Aquesta saturació dels mercats, juntament amb la demanda creixent de matèries primeres i la necessitat d'invertir capitals amb majors beneficis, provocà l'expansió de l'imperialisme dels països desenrotllats cap a Àfrica, Àsia i Oceania.*

*En aquests països, sobretot a Alemanya, hi ha consciència que les noves indústries depenen de la ciència i la tecnologia, per això es potencia el sistema d'educació científica i tècnica, es vinculen les investigacions científiques dels laboratoris universitaris amb la indústria que contribueix al seu finançament, es creen els primers laboratoris d'investigació en les empreses (Siemens), l'estat participa en la indústria (instal·lació de ferrocarrils) i en la investigació (Institut Imperial de Física i Tecnologia, 1887; els Instituts Emperador Guillem, a partir del 1912).*

*Amb tot això, cap al 1895 Alemanya comença a ocupar una posició de liderat científic i industrial. N'és una bona prova que la producció d'acer de 1895 a Alemanya era superior a la d'Anglaterra i el 1900 era responsable del 90 % de la producció mundial de tints. Una altra és el fet que els principals creadors de les teories relativista i quàntica, excepte Bohr (danès), De Broglie (francès) i Dirac (anglès), siguen alemanys: Einstein, Planck, Sommerfeld, Schrödinger, Born, Heisenberg, Pauli, etc.*

*Però en pujar Hitler al poder el 1933 s'inicia la seua política bel·licista, imperialista i antisemita i promulga la llei de restauració de la carrera del funcionariat, segons la qual "els funcionaris que no siguen de llinatge ari han de ser jubilats o passar a la situació d'excedència". Més de 500.000 persones s'hagueren d'exiliar d'Alemanya, Àustria i Txecoslovàquia, entre ells uns 2500 científics. Un dels primers de ser perseguit fou Einstein. Reunia algunes de les característiques que més odiaven els nazis: era jueu, pacifista i progressista. Schrödinger, malgrat ser d'origen jueu, podria haver conservat la càtedra de Berlín, perquè era catòlic, però va abandonar Alemanya per aversió al nazisme. Se n'anà a Àustria, d'on també s'hagué d'exiliar en ser annexionada per Alemanya el 1938. A la universitat de Göttingen, de 33 professors de física i matemàtiques, 22 hagueren d'aban-*

donar els càrrecs, entre ells M. Born i J. Franck. D'altres físics que s'hagueren d'exiliar foren Debye, Hees, Stern, Bloch, Wigner, Bethe i Gabor, que guanyarien el premi Nobel, Heitler, London, Nordheim, Peierls, Teller, Szilard, Weisskopf, Baade, Minkowski, Schwarzschild, etc. Molts d'ells col·laboraren als EUA amb el projecte Manhattan, per a la construcció i el llançament de les primeres bombes atòmiques i el projecte radar, per a localitzar avions o blancs amb ones de ràdio, i contribuïren al gran desenvolupament científic nord-americà posterior a la II Guerra Mundial.

Tanmateix el nivell científic alemany era tan elevat que encara quedaren molt bons professionals a Alemanya, com els Premis Nobel Lenard i Stark, membres del partit nazi, que intentaren desenvolupar la física ària (amb el combat a les teories d'origen jueu, com la relativitat) que només foren recolzats pels nazis al començament. Però en començar la guerra, el recolzament nazi es dirigí cap als físics que podien participar en el desenvolupament de l'armament. El físic Von Braun col·laborà en les bombes volants. Heisenberg participà en el projecte de bomba atòmica alemanya i, a més, coaccionà Bohr per a que col·laborés amb els alemanys, per la qual cosa aquest va fugir del seu país i es refugià als EUA el 1942, on recolzà el projecte nuclear nord-americà. També col·laboraren amb els nazis Hahn (que descobrí amb Lise Meitner i Strassman la fissió nuclear en 1938), Gerlach, Von Weissäcker, Wirtz, Harteck, etc. Malgrat que no assoliren la producció de la bomba per manca de recursos econòmics, aconseguiren un reactor nuclear, produir aigua pesada, separar els isòtops de l'urani, etc. Finalment, d'altres físics com Planck, Sommerfeld, Von Laue, etc., es mantingueren al marge.

Q1. *Analitzeu la situació de la ciència a Alemanya sota el nazisme. ¿Quins efectes creieu que pot tenir una dictadura sobre la ciència? o, altrament dit, ¿la democràcia afavoreix el desenvolupament científic?*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*El cas de l'Alemanya anterior al nazisme és força interessant. La interferència d'aquest règim autoritari i obsessionat pel racisme i el bel·licisme, amb la greu tragèdia que desencadenà la II Guerra Mundial, produí la desfeta de tota una trajectòria fructífera encetada a les darreries del segle anterior. La conseqüència més evident fou el desplaçament de la primacia en Química d'Alemanya als EUA, que preval encara. El seguiment dels principals protagonistes de la ciència alemanya, que quasi coincideix al 100 % amb la ciència europea, mostra les enormes influències dels factors socio-polítics en el desenvolupament normal de la ciència. Una vegada més es veu confirmada la hipòtesi que el desenvolupament científic només es dona en condicions que afavoresquen el lliure pensament i no es donen persecucions sistemàtiques de tipus ideològic que entrebanquen la tasca creativa. Alhora els governs*

*autoritaris es solen preocupar més aviat d'orientar el treball científic envers els interessos menys altruistes, com ara la cursa d'armaments.*

**A.45.** *Llegiu i comenteu el text següent, amb l'ajut de les qüestions:*

### **PROJECTES MANHATTAN I RADAR I LA REVOLUCIÓ CIENTÍFICO-TECNOLÒGICA**

*En la II Guerra Mundial, era evident per a tots els estats implicats, que la ciència havia d'acomplir un paper decisiu. Es plantejaren grans projectes per a crear la bomba atòmica (el nord-americà, anomenat projecte Manhattan, i l'alemany). D'altres projectes foren el del radar, la producció de penicil·lina, el desenvolupament de coets (les bombes volants alemanyes), les computadores electròniques, etc.*

*El projecte Manhattan dels Estats Units acabà amb la construcció i el llançament de les primeres bombes atòmiques en Hiroshima i Nagasaki el 1945. En el projecte Manhattan s'invertiren 2191 milions de dòlars i participaren físics de la talla de Bethe, Teller, Wigner, Peierls, Szilard, Weisskopf, Franck (alemanys), Fermi, Segrè (italians), Bohr (danès), Oppenheimer (director científic), Feynman, Lawrence, Compton, Seaborg, Urey, Álvarez i Wheeler (nord-americans).*

*En el marc del projecte radar, per a localitzar avions o blancs de bombardeig per mitjà d'ones de ràdio, es dugué a terme la investigació en semiconductors que donà impuls a la microelectrònica de la postguerra. En el "projecte radar" es gastaren prop de 2500 milions de dòlars i entre els físics que treballaren al RadLab (alguns repartint-se el temps amb Los Álamos) figuren Condon, Rabi, Morse, Slater, Álvarez, Bethe, Schwinger, etc.*

*Aquests projectes significaren l'aplicació sistemàtica de la ciència i la tecnologia a la guerra, establiren contactes entre política, exèrcit, indústria i ciència en una mida fins llavors desconeguda i obligaren a una gran organització de la investigació. Aquests projectes produïren grans increments en els pressupostos d'I+D i han estat la base d'una sèrie de desenvolupaments científics i tecnològics que estan a la base de l'anomenada revolució científico-tecnològica. Entre ells cal esmentar la microelectrònica i el làser, i les tecnologies nuclear i aeroespacial, que tot seguit descriurem.*

*La tecnologia nuclear s'inicia amb el desenvolupament de la bomba atòmica pels EUA el 1945 i, quan els soviètics feren explotar la seua pròpia bomba el 1949, científics com Teller i Lawrence influeixen en el govern per a recolzar la idea de produir una bomba més poderosa, la d'hidrogen. El president Truman autoritzà el 1950 un nou programa d'investigació per a desenrotllar la bomba H, aconseguida el 1952. S'inicia una carrera d'armaments que porta els soviètics a produir la seua bomba H el 1953 i als anglesos l'atòmica el 1952 i la d'hidrogen el 1957.*

*Pel que fa als primers reactors, la finalitat bàsica n'era la producció de material fissible. Esmentarem els nord-americans d'Oak Ridge (1943) i Hanford (1944) i l'anglo-francès de Chalk River (Canadà) de 1947. El 1955 entrà en funcionament el primer d'una sèrie de submarins de propulsió nuclear, el Nautilus. Fins 1956 no s'engega la primera central nuclear productora d'electricitat a Calder Hall (Gran Bretanya) i el 1957 la de Shippingport (EUA). A més, la investigació en física d'altres energies (física nuclear, partícules elementals) fou afavorida pels programes encaminats a la construcció de la superbomba.*

*La tecnologia aeroespacial estigué molt vinculada amb la nuclear, perquè permeté desenvolupar els coets portadors de les bombes H. Després dels desenrotllaments pioners de la dècada dels 20 de Tsiolkovski (URSS), Goddard (EUA) i Oberth (Alemanya), la primera fita important són les instal·lacions de Peenemunde, dirigides des de 1937 per Von Braun, que construïren el coet V2 el 1942 i l'utilitzaren massivament contra el sud d'Anglaterra el 1944. Els soviètics desenvoluparen un míssil balístic intercontinental (ICBM), el T3 de 8000 km d'abast i fou assajat amb èxit el 1957, setmanes abans del llançament del satèl·lit Sputnik. Aquest fet va produir una commoció als EUA, que desencadenà la carrera espacial, una intensificació en la investigació (la miniaturització electrònica formà part d'aquests esforços) i en l'ensenyament de les ciències. El 1958 apareix el Thor nord-americà amb un abast de 1900 km, el llança el satèl·lit Explorer i el 1959 l'Atlas D amb unes característiques similars al T3. Quan els soviètics aconseguïren posar Gagarin en òrbita al voltant de la Terra, el president Kennedy aprova el programa Apollo, en el que Von Braun exercí un paper fonamental, que dugué al primer allunatge el 1969.*

*Una sèrie de científics importants denunciaren els perills de la proliferació nuclear i assenyalen que aqueixes armes amenacen l'existència de la humanitat. El moviment s'inicia amb l'oposició d'alguns científics com Einstein, Bohr i Szilard a la utilització de la bomba atòmica i la d'Oppenheimer (director del projecte Manhattan) a la bomba H. Per això la Atomic Energy Commission el va humiliar públicament en declarar-lo un risc per a la seguretat nacional.*

*Prossegueix amb el manifest d'A. Einstein i B. Russell de 1955, recolzat per L. Pauling, M. Born, P. Bridgman, etc.; el manifest del grup de Göttingen de 1958 promogut per Born; les conferències Pugwabs convocades a iniciativa de Russell i Rotblat a partir de 1958; etc. Al cap de 37 anys d'existència han rebut el Premi Nobel de la Pau de 1995.*

*Però molts científics no tingueren gaires prejudicis en investigar en armaments o d'altres temes de defensa on els governs dels estats posaren diners i prestigi.*

- Q1. *Valoreu la contribució de la revolució científico-tecnològica a la societat contemporània.*
- Q2. *De la tecnologia nuclear (bombes, míssils, etc.) Born deia que era "un triomf de la intel·ligència i un fracàs de la raó". ¿Considereu vàlida aquesta afirmació?*

*FONT: Solbes, J. i Tarín, F. Física 2º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1996.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*Una de les visions de la ciència que sol resultar perjudicial és l'utilitarisme dels que la veuen només com una font de benestar i comoditat. Sense llevar-li aquest paper, no és bo reforçar-lo, ja que es limita a un aspecte merament pragmàtic. Tot i això, convé no amagar que, sobretot en el darrer segle, l'origen de molts progressos tècnics i científics es situa en l'estratègia militar i les dues guerres mundials foren, per desgràcia, el camp d'assajos més gran que han tingut molts projectes destructius de les vides humanes. Això ha produït també un augment de la necessitat d'una consciència pacifista que evités una catàstrofe irreversible de dimensions planetàries. El tema que s'hi planteja és, doncs, l'ús que en fem de la ciència i les implicacions dels científics en aquest ús. La qüestió planteja molts interrogants, però no deixa de ser interessant per a discutir fins a quin punt un ús inadequat dels enginyers produïts a l'aguait de l'activitat científica pot acabar produint efectes no desitjats.*

## **CONSTRUCCIÓ DE LA TEORIA ATÒMICA**

- A.46.** *Expliciteu qualsevol aspecte de la metodologia científica que es veja reflectit al text adjunt, que inclou cites textuais de Blaise Pascal junt amb alguns resums d'altres fragments. Concretament:*
- tanqueu entre parèntesis o subratlleu els diferents fragments on es veja qualsevol dels aspectes i assenyaleu-los amb un nombre,*
  - indiqueu a quin aspecte de la metodologia científica correspon cadascun d'ells.*

### **L'HORROR AL BUIT I L'EXPERIÈNCIA DE TORRICELLI**

*"...Quan submergim una xeringa a l'aigua, en elevar el pistó l'aigua puja com en una bomba aspirant, que no és, parlant amb propietat, sinó una llarga xeringa.*

*...Si introduïm una ampolla plena d'aigua cap per avall en un recipient ple d'aigua, l'aigua de l'ampolla roman sense caure.*

*Admetem que aquesta suspensió és deguda a l'horror que la natura té al buit que es produiria al lloc que l'aigua deixaria en caure, ja que l'aire no podria substituir-la. Això es confirma perquè si practi-*

quem una esclatxa per on l'aire puga penetrar, tota l'aigua cau incontenible".

Tanmateix, el 1638 Galileu havia fet notar que les bombes aspirants d'extracció d'aigua no podien elevar-la més enllà d'una certa alçària. I el 1644 Torricelli, un dels deixebles de Galileu, concebé la idea d'omplir un tub de mercuri -unes tretze vegades més dens que l'aigua- i submergir-lo cap per avall en una cubeta plena també de mercuri: el líquid del tub baixava fins a una alçària de 76 cm, una tretzena part de l'alçària a què arribava l'aigua.

La interpretació d'aquests fets, d'acord amb les idees de l'època, segons les quals el buit era inconcebible, consistia en admetre l'existència de qualsevol matèria subtil, la naturalesa de la qual calia descobrir, que ompliria la part superior del tub de mercuri.

Però per a Pascal i altres físics com Descartes, s'havia de trencar amb la idea de l'horror al buit i cercar una altra raó per a explicar tots aquests efectes. Aquesta raó calia buscar-la en el fet que, amb paraules de Pascal:

"...el pes de la massa d'aire, que actua sobre tots els cossos, produeix els efectes que s'havien atribuït a l'horror al buit".

Pascal desenvolupa a partir d'ací una explicació detallada dels distints fenòmens enumerats a la llum de les noves idees. Però calia establir de manera clara que era la pressió atmosfèrica la que sostenia la columna de mercuri al tub de Torricelli. Per això concebé que seria decisiu repetir l'experiència al peu d'una muntanya i al seu cim, on la pressió de l'aire, per estar més prop del límit superior de l'atmosfera, devia ser menor, la qual cosa es traduiria en un major descens de la columna.

El resultat de l'experiment, realitzat per un cunyat de Pascal, fou molt clar: la columna de mercuri era certament més curta al cim de la muntanya. Això permeté a Pascal escriure:

"...¿Potser la natura avorreix més el buit dalt de les muntanyes que a les valls, quan hi ha humitat que quan fa bon oratge? ¿No l'odia igualment dalt d'un campanar que en una cambra o en un corral?"

Que tots els deixebles d'Aristòtil reunesquen els més portentosos escrits del seu mestre i els seus comentaris per a explicar aquestes coses per mitjà de l'horror al buit, si és que poden. Si no, que reconeguen que les experiències són les mestres de la Física...".

*FONT: Seminari de Física i Química. La construcción de las ciencias físico-químicas. Nau Llibres. València. 1990.*

*OBJECTIUS: Forma de treballar dels científics. Evolució dels coneixements científics. Pensament espontani dels alumnes i idees vigents en la història.*

*NIVELLS: 14-18.*

## COMENTARIS

*Aquesta activitat pot plantejar-se com a complementària en el tema de la introducció al treball dels científics, però també es pot aprofitar per a la discussió dels continguts sota una perspectiva històrica. S'hi discuteix una de les idees que s'han demostrat més arrelades en els alumnes i que ho eren també a l'època de Pascal: l'horror al buit, la impossibilitat d'imaginar un espai sense res. Aquesta curiosa hipòtesi es fa servir sovint com a explicació espontània dels alumnes als fenòmens associats a la pressió atmosfèrica, per això és interessant seguir la discussió que proposa el text.*

*Si volem destacar els aspectes metodològics, l'activitat proposa subratllar o remarcar d'alguna forma els fragments que representen observacions directes, hipòtesis, experiments, plantejament de problemes, disseny de nous experiments, anàlisi de resultats, falsejament de la hipòtesi de l'horror al buit, noves hipòtesis... Una manera pot ser indicar un nombre al costat de cada fragment destacat i, a banda, indicar què és cada nombre.*

*També es poden proposar d'altres estratègies per a la lectura comprensiva del text, centrant-nos en el contingut mateix de l'experiència de Torricelli. Convé no posar l'èmfasi en la idea sovint massa utilitzada del paper crucial d'aquesta experiència i emmarcar-la en el context de tota la investigació que va obrir camins per a abandonar progressivament les velles idees aristotèliques.*

**A.47.** *Llegiu i comenteu aquest text d'una carta del químic alemany Justus Liebig (1803-1873), per a entendre les dificultats que implicà l'acceptació de la teoria atòmica de la matèria tot al llarg del segle XIX:*

*Per a la ment humana és impossible d'imaginar partícules de matèria que siguin absolutament indivisibles, atès que no poden ser infinitament petites en sentit matemàtic, és a dir, completament sense extensió, perquè posseeixen un cert pes; i per molt menut que vulguem que siga aquest pes, no podem considerar que siga impossible dividir una partícula amb pes en dues, tres o fins a cent parts. També podem suposar que els darrers àtoms dels cossos siguin només físicament indivisibles; tan sols són incapaces d'ulterior subdivisió en la mesura que la nostra capacitat de percepció ens permet de jutjar.*

*En aquest sentit, un àtom físic seria un conglomerat d'innombrables partícules petites imaginàries, que es mantenen unides per una força o més forces més potents que tots els nostres mitjans disponibles per a subdividir-les o dissoldre-les.*

*Els químics empren l'expressió àtom en un sentit anàleg al que atribueixen al mot element [...]. Sense discutir la infinita divisibilitat de la matèria, el químic simplement manté la fonamentació ferma i inamovible de la seua ciència quan admet l'existència dels ÀTOMS físics com a veritat del tot incontrovertible.*



(Text de Liebig, "Familiar Letters on Chemistry" (1844), citat per Mierzecki, "The Historical Development of Chemical Concepts", Kluwer. Dordrecht. 1991)

**A.48.** Llegiu i comenteu aquest text del químic alemany August Kekulé (1829-1896) on expressa la seua opinió sobre l'existència dels àtoms:

No dubte gens en afirmar que, des d'un punt de vista filosòfic, no crec pas en l'existència real dels àtoms, si entenem el mot en el sentit literal de partícules indivisibles de matèria. Més aviat espere que algun dia trobarem, per al que ara anomenem àtoms, una explicació matemàtico-mecànica, que donarà compte del pes atòmic, l'atòmicitat i moltes altres propietats dels anomenats àtoms. Tanmateix, com a químic, considere l'acceptació dels àtoms no només aconsellable sinó absolutament necessària per a la química. Aniré fins i tot més lluny en declarar la meua creença que els àtoms químics existeixen, sempre que el terme siga entès per a denotar aqueixes partícules de matèria que no sofreixen divisions en els canvis químics. Si el progrés de la ciència condueix a una teoria de la constitució dels àtoms químics, aqueix coneixement introduirà ben poques alteracions en la química, per molt important que pugui ser per a la filosofia general de la matèria. L'àtom químic sempre romandrà com la unitat química.

(Text d'un article de Kekulé (1867), citat per Mierzecki, "The Historical Development of Chemical Concepts", Kluwer. Dordrecht. 1991)

*FONT:* Textos citats per Mierzecki, R. "The Historical Development of Chemical Concepts". Kluwer. Dordrecht. 1991.

*OBJECTIUS:* Controvèrsies científiques. Evolució dels conceptes científics.

*NIVELLS:* 16-18.

### **COMENTARIS**

Aquestes activitats poden ser interessants per a reflexionar sobre les controvèrsies al voltant de diferents teories per a explicar els fenòmens físico-químics. Concretament mostren les diferents maneres d'entendre el concepte d'àtom i les diferències que s'establien entre els àtoms com a ens físics indivisibles i el seu caràcter d'unitats químicament indivisibles, cosa que la ciència moderna ha acabat per establir. tot plegat aquestes reflexions serveixen per a palesar la dificultat d'establir els conceptes científics, que no són realitats preexistents que en descobrir-les tothom les accepta, sinó més aviat el fruit de molts anys de discussions i controvèrsies que van perfilant unes idees progressivament més útils per als fins que les fem servir, sempre inserides en un marc conceptual més ampli on es mostren coherents amb altres idees.

**A.49.** Durant el segle XIX els químics es trobaven dividits entre els partidaris de la teoria atòmica i els que s'hi oposaven. Entre aquests darrers hi havia el químic francès Jean Baptiste Dumas (1800-1884). Comenteu breument els seus arguments exposats en aquest text:

*Des del moment que una teoria no es recolza en alguna necessitat, jo la rebutge. No hi ha prou que siga rigorosament possible. Tampoc no seria prou que no continguera res d'inversemblant. Cal que siga necessària, o com a mínim que siga útil i es base en raons sòlides. Atès que està destinada a reemplaçar-ne una altra, sobretot cal que estiga millor establida i siga més raonable que la que ha d'enderrocar.*

*(Citat per Massain, "Chimie et chimistes". Magnard. París. 1982)*

**A.50.** *Comenteu breument la defensa de la teoria atòmica que fa Adolphe Wurtz (1817-1884) en aquest text:*

*La teoria dels àtoms serveix de pont entre la química i la física, les dues ciències que s'ocupen de la constitució de la matèria... Constitueix una mena de fil conductor que guia el lector a través de la varietat de tots els fenòmens químics i la complicació aparent d'alguns d'ells. Només és una hipòtesi, però ofereix com a característiques la simplicitat i la generalitat que li asseguren la versemblança i, per tant, l'autoritat i que n'han fet un instrument dels més eficaços per a la descoberta de les veritats científiques i per a la millora dels mètodes d'ensenyament. Una experiència ben extensa ens ha provat la solidesa dels mètodes i dels programes que s'hi han adaptat, i tots els qui vulguen aplicar-los amb coneixement de causa i sense haver-ne pres partit, aviat compartiran, n'estem segurs, la nostra convicció.*

*(De Wurtz, introducció a les "Lliçons elementals de química", citat per Massain, "Chimie et chimistes". Magnard. París. 1982)*

*FONT: Textos citats per Massain, R., Chimie et chimistes. Magnard. París. 1982.*

*OBJECTIUS: Controvèrsies científiques. Evolució dels conceptes científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquestes activitats també poden servir per a reflexionar sobre les controvèrsies entre els opositors a la teoria atòmica i els seus fermes partidaris. El primer text conté una reflexió de J. B. Dumas, el prestigiós químic francès que s'oposava a la hipòtesi atòmica i defensava el sistema de càlculs per equivalents, que era independent d'aquella hipòtesi. En el text exposa les seues fonamentades raons per a resistir-se a adoptar una nova teoria i són un bon testimoni de les dificultats que sempre tenen les noves idees per a obrir-se camí, sobretot quan van contra d'altres idees ja establides que funcionen.*

*La teoria atòmica, avui dia consolidada, fou objecte de polèmica tot al llarg del segle XIX, per això resulta adient la defensa que en fa Wurtz, en el segon text, com a nova metodologia que impregna el seu llibre d'iniciació a la química. Podem destacar els trets que l'autor del text veu en la bondat de la teoria: la simplicitat i la generalitat, i la manera com proposa acostar-s'hi deixant de banda postures prèvies,*

*massa sovint influïdes per prejudicis ideològics o d'excés de xovinisme, molt habitual en les polèmiques científiques entre les nacions europees a la fi del segle passat.*

**A.51.** *Llegiu i comenteu aquest text sobre les idees del químic italià Amedeo Avogadro (1776-1856) que, anys després, contribuirien a clarificar les diferències entre àtoms i molècules, sovint motiu de controvèrsies:*

*M. Gay-Lussac ha demostrat [...] que els gasos sempre es combinen en proporcions volumètriques molt senzilles i que quan el resultat de la combinació és un gas el seu volum també es troba relacionat de forma simple amb el dels seus components. Però les proporcions quantitatives de les substàncies en els compostos només semblen dependre del nombre relatiu de molècules que es combinen i del nombre de molècules compostes que en resulten. Per tant cal admetre que hi haja també relacions molt simples entre els volums de les substàncies gasoses i els nombres de molècules simples o compostes que els formen. La primera hipòtesi que es presenta en aquesta connexió, i l'única aparentment admissible, és la suposició que el nombre de molècules senceres en qualsevol gas sempre és el mateix per a volums iguals, o sempre és proporcional als volums [...]. El volum d'aigua en estat gasós és, com M. Gay-Lussac ha demostrat, dues vegades el volum d'oxigen que intervé en la seua formació. [...] Però una manera d'explicar aquesta mena de fets en conformitat amb la nostra hipòtesi apareix de forma bastant natural, és a dir, suposem que les molècules constituents de qualsevol gas simple no estan formades per molècules elementals solitàries sinó que consten d'un cert nombre d'aquestes molècules unides per atracció.*

*(Text d'un article d'Avogadro (1811), citat per Mierzecki, "The Historical Development of Chemical Concepts", Kluwer. Dordrecht. 1991)*

**FONT:** *Text citat per Mierzecki, R. "The Historical Development of Chemical concepts". Kluwer. Dordrecht. 1991.*

**OBJECTIUS:** *Controvèrsies científiques. Evolució dels conceptes científics.*

**NIVELLS:** 16-18.

### **COMENTARIS**

*Les hipòtesis d'Avogadro, compartides per Ampère (1814), constitueixen un cas interessant d'idees que, malgrat ser exposades ja en el text de l'any 1811, no foren acceptades per la comunitat científica fins molts anys després. La seua aparent contradicció amb les hipòtesis de Dalton i el poc crèdit dels treballs de Gay-Lussac sobre les combinacions entre gasos hagueren d'esperar els treballs dels francesos August Laurent i Charles Gerhardt i l'italià Stanislao Cannizzaro (1858) per a recuperar l'escena de la controvèrsia i, a partir del congrés de Karlsruhe (1860), s'anaren obrint pas i, a la llarga, contribuïren a consolidar la teoria atòmico-molecular de la matèria.*

## ELS ELEMENTS I LA TAULA PERIÒDICA

Aquest tema l'hem desenvolupat a tall d'exemple en un programa-guia complet que ja hem presentat i comentat al capítol 6. Per això ara proposem d'altres activitats que poden usar-se de forma alternativa amb algunes del tema, o bé com a complementàries a les ja exposades.

**A.52.** *Llegiu i comenteu aquest text sobre la història dels metalls:*

### L'ÚS DELS METALLS EN LA HISTÒRIA

*S'han trobat articles de coure, argent i or entre les restes de les civilitzacions més antigues, ja que aquests són dels pocs metalls que es troben lliures en la natura. D'altres metalls no resultaren accessibles fins que els pobles no aprengueren els procediments adequats per a extraure'ls de les seues menes. Sembla probable que la formació d'un metall s'observara per primera volta en encendre foc sobre un llit de pedres que continguera alguns trossos de mineral (el coure s'obtenia a partir d'unes pedres blaves). L'abundor del coure propicià que es fera servir per a la fabricació d'eines. Cap a l'any 3000 abans de la nostra era, i potser perquè les menes de coure i estany es presenten sovint associades, hi hagué pobles que descobriren que el coure es podia endurir en aliar-lo amb estany.*

*El resultat d'aquest aliatge s'anomena bronze i a partir d'ell es podien fabricar atifells, eines i armes tan superiors a les llavors conegudes que aquesta troballa produí una autèntica revolució tecnològica i encetà el període conegut com a Edat del Bronze. L'esdeveniment més important d'aquesta època fou la guerra de Troia, on els soldats feren servir armes i cuirasses d'aquest aliatge.*

*El ferro era escàs i per això no s'utilitzava en la fabricació d'armadures, calia una quantitat d'energia major que en el cas del coure per a obtenir-lo a partir del mineral adient. Cap al 1500 a. C. el poble Hitita, que havia construït un gran imperi a l'Àsia Menor (l'actual Turquia), fou el primer d'usar de forma sistemàtica el ferro en les seues ferramentes. La troballa que una eina de ferro millorava en afegir-li una mica de carbó vegetal (acer), marca el punt crucial de la metal·lúrgia del ferro (Edat del Ferro). L'ascens i caiguda de les civilitzacions antigues estigué relacionada amb els progressos i descobriments en el camp de la metal·lúrgia.*

*El poble dori, equipat amb armes de ferro, envaí la península del Peloponès cap al 1100 abans de la nostra era i acabà amb la civilització micènica, que només disposava d'armament de bronze.*

*Ja hem vist com els pobles havien après a preparar i usar alguns metalls (Fe, Cu, Ag, Sn, Au,...), tanmateix desconeixien la naturalesa dels processos implicats en la seua obtenció a partir de llurs menes. Això encoratjà la creença en la possibilitat de transformar un metall en un altre i menà als intents alquimistes de convertir el plom en or.*

**Q1.** *En l'època moderna l'obtenció de nous metalls ha produït canvis força importants en la tecnologia. Comenteu quins avantatges ha representat l'aparició de nous metalls com el platí o l'alumini i busqueu informació sobre l'època en què s'obtingueren per primera vegada.*

*FONT: Calatayud, M. L., Hernández, J., Solbes J. i Vilches, A. Física y Química 1º Bachillerato. Octaedro. Barcelona. 1995.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*La importància estratègica dels metalls ha condicionat l'evolució de la història i la metal·lúrgia és, indubtablement, una de les primeres activitats químiques i preindustrials de la humanitat. Considerem força interessant reflexionar sobre aquest fet, d'altra banda possiblement conegut pels alumnes, però sovint tractat de forma superficial. La major part dels elements químics són metalls i la seua obtenció ha estat possible gràcies al desenvolupament de la química moderna, per això proposem una breu indagació sobre la importància de metalls com el platí, amb propietats molt més estimables que l'or, o l'alumini, l'obtenció del qual ens ha proporcionat, entre d'altres fites, la tecnologia aeronàutica. La recerca es pot estendre a d'altres metalls que desperten la curiositat dels alumnes, com ara el titani, que només el cost elevat de la seua metal·lúrgia impedeix la seua popularització, atesa l'abundor de les seues menes, però també altament estables i difícils de reduir.*

**A.53.** *Llegiu i comenteu aquest text original dels germans Elhuyar, químics espanyols del segle XVIII que aïllaren i identificaren el wolfram (1783):*

*"Este metal presenta varias propiedades que lo distinguen de todos los demás que se conocen, como son: primero, su pesadez específica que es 1:17,6; segundo, los vidrios que forma con los fundentes; tercero, la dificultad en fundirse, que es mayor que la de la alabandina; cuarto, el color amarillo de la cal que da por calcinación, la cual no hemos podido llegar a fundir; quinto, las aligaciones con los demás metales, distintas de las que forman éstos entre si; sexto, su insolubilidad a lo menos directa en los ácidos vitriólico, marino y nitroso, y en el agua regia, y el color amarillo que toma con estos dos últimos; séptimo, la facilidad con que en este estado de cal se combina con los álcalis y las sales que resultan de estas combinaciones; octavo, la emulsión que forma su cal triturándola con agua, aun cuando tiene cierta cantidad de flogisto; noveno, la insolubilidad de esta cal en los ácidos vitriólico, nitroso, marino y acetoso, y el color azul que toma con este último. Todas estas diferencias son bastante notables,*

para que podamos mirar esta materia metálica como un metal sui generis, distinto de todos los demás".

"Daremos a este nuevo metal el nombre de wolfram, tomándolo del de la materia de la cual lo hemos sacado, y miraremos éste como una mina, en que este metal está combinado con el hierro, y la alabandina, como queda probado. Este nombre le corresponde mejor que el de tungusto o tungsteno que pudiéramos darle en atención a haber sido la tungstene, o piedra pesada, la primera materia de que se ha sacado su cal, por ser el wolfram un mineral que se conocía mucho antes que la piedra pesada, a lo menos, más generalmente entre mineralogistas, y que el término wolfram está ya recibido en casi todos los idiomas de Europa, aun en el mismo sueco. Mudamos su terminación m en n para acomodar mejor al genio de nuestra lengua las denominaciones de las sales que se formen con esta substancia, llamándolas volfránicas".

(Citat per Marco, B. "Historia de la ciencia (II)". IEPS. Madrid. 1984)

FONT: Text pres de Marco, B. "Historia de la ciencia (II)". IEPS. Madrid. 1984.

OBJECTIUS: Contribucions dels científics espanyols.

NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

Aquest text dels germans Elhuyar, que hem deixat en versió original tot i adaptar l'ortografia a l'espanyol modern per tal d'evitar confusions als alumnes, serveix d'il·lustració concreta sobre els seus treballs duts a terme en l'aïllament del wolfram i la seua proposta de nomenclatura que, malgrat tot, no s'ha imposat del tot, ja que el nom tungstè persisteix en moltes llengües al costat de wolfram. Pot ser interessant comentar l'aparició del terme "flogist", referit a un dels components de la seua calç, que segons aqueixa hipòtesi, encara vigent a la fi del segle XVIII, no en devia contenir gens. Per a facilitar la comprensió aclarirem el significat d'alguns termes emprats a l'època: alabandina (manganès), àcids vitriòlic (sulfúric) i marí (clorhídric). En el dossier de B. Marco (1984), d'on hem pres la cita, disposem de més informació per a completar l'estudi dels treballs dels Elhuyar i també podem trobar dades sobre la descoberta del wolfram al capítol 29 del llibre de F. Nicolau (1995).

**A.54.** Llegiu i comenteu aquest text del químic anglès Sir Humphry Davy (1778-1829), tret d'una comunicació que féu a la Royal Society de Londres l'any 1807, on relata l'experiència d'obtenció del metall alcalí potassi per electròlisi del seu hidròxid:

Vaig posar un fragment petit de potassa lleugerament humida sobre un disc de platí, en connexió amb el costat negatiu d'una bateria elèctrica de 250 plaques (coure i zinc) en plena activitat. Un fil de platí que connectava amb el costat positiu el vaig ficar en contacte amb la part superior de la potassa. Tot l'aparell funcionava a l'aire lliure. En aquestes circumstàncies es manifestà una acció molt viva: la potassa començà a fondre's pels dos punts d'electrització. A la part

superior (positiva) aparegué una violenta efervescència, provocada per l'alliberament d'un fluid elàstic [oxigen]; a la part inferior (negativa), no s'alliberà cap fluid elàstic [però aparegueren petits glòbuls amb lluentor metàl·lica, exactament semblants als glòbuls de mercuri]. Alguns d'aquests glòbuls [de potassi], a mesura que es formaven anaven cremant amb explosió i una flama brillant; d'altres perdien a poc a poc la lluentor i finalment es recobrien d'una crosta blanca. Aquests glòbuls formaven la substància que jo cercava: era un principi combustible particular, era la base de la potassa [el potassi].

(De Davy (1807), citat per Massain, "Chimie et chimistes". Magnard. París. 1982)

*FONT: Text citat per Massain, R., Chimie et chimistes. Magnard. París. 1982.*

*OBJECTIUS: Descripció d'experiències històriques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Una tècnica que permeté l'obtenció de nous elements és l'electròlisi, descoberta arran dels treballs de Humphry Davy i el seu deixeble i ajudant Michael Faraday. És interessant rellegir aquesta famosa comunicació a la Royal Society del 1807, on anuncia l'obtenció dels nous elements alcalins trets de la potassa i de la sosa. Tanmateix si provàvem de reproduir aquesta experiència potser ens sorprendria el seu resultat negatiu, ja que aquests metalls, com descriu el text, cremen de seguida en una atmosfera oxidant. Això permet dubtar que Davy realment obtingués glòbuls metàl·lics amb el mètode concret que ell descriu.*

**A.55.** *Llegiu i comenteu aquest text sobre l'aportació de les tècniques espectroscòpiques a la troballa de nous elements a:*

### **L'ESPECTROSCÒPIA I LA TROBALLA DE NOUS ELEMENTS**

*Igual com l'electricitat a principis del segle XIX ajudà els químics com Davy en la recerca de nous elements, mig segle després també la llum seria decisiva per a ampliar el nombre d'aquestes substàncies.*

*Dos amics, el químic Robert Bunsen (1811-1899) i el físic Gustav Kirchhoff (1824-1887) posaren a prova la intel·ligència i l'habilitat en aconseguir un dels descobriments més sensacionals.*

*Bunsen era molt aficionat a jugar amb el foc i un mestre en l'art de bufar vidre, la qual cosa li féu interessar-se per tota mena de llum de colors que es produeix quan introduïm certes substàncies dins la flama. A la flama incolora d'un Bunsen (encenedor dissenyat per aquests científics) els colors destaquen molt més. Açò ja era una tècnica d'anàlisi que Bunsen intentà perfeccionar emprant filtres de color per a l'observació directa de la flama. Kirchhoff, que coneixia els treballs de Newton, li aconsellà de substituir l'observació directa de la*

*flama, per la utilització d'un prisma per a observar el seu espectre on els colors es fan més visibles.*

*Dos-cents anys abans, cap al 1660, Newton havia observat que el pas de la llum blanca a través d'un prisma donava sobre una pantalla o paret una franja extensa de múltiples colors que anomenà espectre. Això semblava indicar que la llum blanca era un brollador de raigs brillants d'infinits colors que els nostres ulls no són capaços de veure de forma separada. Cadascun dels colors que componen la llum blanca es refracten (es desvien) dins del cristall de manera diferent, per això els veiem cadascun d'ells per una banda. Pot semblar estrany que la llum blanca estiga formada per molts colors, però per tal de comprovar-ho Newton ideà diversos experiments, un d'ells molt senzill, que consisteix a observar una roda pintada amb franges de molts colors que mentre gira ens sembla blanca.*

*El 1859 Bunsen i Kirchhoff construïren un espectroscopi, instrument per a observar els espectres, format per dos telescopis i una caixa negra que contenia un prisma. Els raigs de llum entren per una escletxa estreta oberta en l'extrem d'un dels telescopis i van a parar al prisma situat a l'interior de la caixa. El prisma refracta els raigs que s'observen per mitjà de l'altre telescopi.*

*Cada element químic escalfat a la flama produïa una mostra característica de línies de colors. Com ara el sodi incandescent produïa una línia groga doble, el potassi una línia violeta i una altra de vermella, el liti una línia vermella brillant i una de taronja menys destacada.*

*Si agafem els elements, els barregem i els escalfem a la flama, la línia característica de cadascun dels components apareix igualment al seu lloc dins de l'espectre, per tant els elements produïen una mena de "petges digitals" i la composició dels elements de qualsevol mineral podia determinar-se per espectroscòpia.*

*L'any 1860, aquest nou mètode analític els portà a la troballa del cesi i el rubidi i a la identificació dels elements que componen l'atmosfera del sol. La tècnica fou emprada per altres científics i els dugué al descobriment de nous elements. L'anglès Crookes (1832-1919) descobrí el talli l'any 1861, els alemanys Richter (1824-1898) i Reich (1799-1882) descobriren l'indi l'any 1863 i cinc anys més tard Janssen (1824-1907) troba a l'atmosfera solar un element que no s'havia trobat encara a la Terra, l'heli.*

*(Tret del Grup Recerca Faraday. "Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric". Ed. Teide. Barcelona. 1988)*

- Q1. Dibuixeu un esquema del disseny de l'espectroscopi de Bunsen i Kirchhoff, a partir de la descripció donada en el text.*
- Q2. Resumiu quines fites principals significà la possibilitat d'analitzar les substàncies per mitjà dels espectroscopis.*



**Q3.** *La física i la química sovint es presenten com a dues ciències diferenciades, però episodis històrics com el que relata el text semblen revelar el contrari. Comenteu a què pot ser deguda l'actual diferenciació entre aquestes ciències germanes que sovint costa de justificar.*

*FONT: Elaborat a partir dels materials del Grup Recerca Faraday. Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric. Teide. Barcelona. 1988.*

*OBJECTIUS: Evolució dels conceptes. Relacions ciència-tècnica en la història.*

*NIVELLS: 15-17.*

### **COMENTARIS**

*Aquest text recull un altre episodi on els avanços de la tècnica facilitaren el progrés dels coneixements científics. En aquest cas es tracta d'una trobada fonamental, la possibilitat de disposar d'un mètode inequívoc per a identificar les substàncies simples anomenades elements i constituents de tota la matèria coneguda. La conjunció de coneixements físics, com l'anàlisi espectral, unit al desig d'explicar els sorprenents colors de les flames segons les substàncies que hi cremen, portà al treball conjunt de Bunsen i Kirchhoff amb el què iniciaren una fructífera línia d'investigació que, molt més sofisticada, ha arribat als nostres dies.*

*Proposem una breu reflexió sobre la sempre difícil diferenciació de la física i la química, sovint amb tants terrenys de treball conjunt i, essencialment, ocupades d'un mateix tema: l'estructura i les transformacions de la matèria. Potser no és un tema fonamental, però considerem oportú fer-hi un breu esment, ja que el procés de definició de les ciències modernes, tal com avui el coneixem no va més enllà del segle passat, ja que abans l'activitat que avui anomenem ciència solia anomenar-se filosofia de la natura i els noms "física" i "química" anaren establint-se en el seu significat modern tot al llarg dels anys, l'un procedent del mateix mot que significa en grec "natura" i l'altre, segons sembla, emprat dels practicants de l'antiga "alquímia".*

**A.56.** *Llegiu i comenteu aquest text del científic francès André Marie Ampère (1775-1836) on fa una proposta de classificació dels elements:*

*En aquest article em cenyiré als cossos simples i el dividiré en tres seccions. En la primera oferiré algunes consideracions generals sobre l'ordre respecte al qual és escaient classificar els cossos per tal que l'ordre siga el més conforme possible a llurs analogies naturals; i sobre la manera d'evitar la barreja que fins ara s'ha fet dels metalls amb cossos molt diferents en quasi totes llurs propietats i que només s'han ajuntat perquè l'energia de la seua afinitat per l'oxigen és semblant [...].*

*En la segona secció, agruparé en gèneres naturals els cossos que presenten caràcters semblants tan múltiples i importants que siga impossible de separar-los en qualsevol classificació que no siga purament artificial [...].*

*La darrera secció de l'article tindrà per objecte examinar una volta més els variats gèneres en què tots aquests cossos s'hauran dis-*

tribuit [...] per tal d'assignar a cadascun d'ells un caràcter distintiu format per la unió d'algunes propietats remarcables, escollides de manera que només es puguin trobar juntes en un cos que pertanyi al gènere que volem caracteritzar i per a veure, al mateix temps, segons quins principis de nomenclatura podríem establir una denominació comuna a tots els cossos que formen part de cada gènere.

(Text d'un article d'Ampère (1816), citat per Mierzecki, "The Historical Development of Chemical Concepts", Kluwer. Dordrecht. 1991)

**A.57.** Llegiu i comenteu aquest breu text que conté una proposta de classificació dels elements del geòleg francès Emile de Chancourtois (1819-1886), anomenada "Vis tellurique" (Caragol tel·lúric) per la forma que li donà al seu esquema:

Chancourtois traçà una línia helicoidal sobre un cilindre de manera que creuava les seues generatrius amb un angle de  $45^\circ$  i als punts formats assenyalava els nombres característics de cada element, agafant com a unitat de longitud per al perímetre d'una volta completa el nombre característic de l'oxigen, o bé el nombre característic de l'hidrogen per a  $1/16$  de volta. En desenvolupar la superfície del cilindre, Chancourtois afirmava:

"Les relacions entre les propietats dels diferents cossos es manifesten per mitjà de relacions geomètriques simples entre les posicions dels seus punts característics. Com ara, oxigen, sofre, seleni, telluri cauen aproximadament en la mateixa línia generatriu, mentre que calci, ferro, estronci, urani i bari cauen en la línia generatriu oposada [...]. Cada hèlix dibuixada unint dos punts característics que passa a través d'altres punts diferents o a prop d'ells, expressa relacions de certa naturalesa entre llurs propietats".

(Text de Chancourtois (1863), citat per Mierzecki, "The Historical Development of Chemical Concepts", Kluwer. Dordrecht. 1991)

*FONT:* Textos citats per Mierzecki, R. "The Historical Development of Chemical concepts". Kluwer. Dordrecht. 1991.

*OBJECTIUS:* Evolució de les idees científiques.

*NIVELLS:* 16-18.

### **COMENTARIS**

Aquests textos poden aprofitar per a confirmar la pluralitat de propostes per a resoldre un mateix problema que s'han donat tot al llarg de la història, la qual cosa evidencia el caràcter col·lectiu del treball científic. Tot i que Mendelejev es considera el científic que va culminar la recerca d'un ordre entre la pluralitat dels cossos simples i va establir la diferència entre cos simple i element, en una data molt anterior (1816) trobem l'intent de classificació d'Ampère, que no seria el darrer abans de Mendelejev, ja que són conegudes les aportacions de Newlands, Chancourtois, Döbereiner, Odling i Meyer, entre d'altres.

*Les contribucions més conegudes d'Ampère remetent al camp de l'electromagnetisme, però aquest científic francès també establí pel seu compte les mateixes hipòtesis que Avogadro (1814) i, com reflecteix el primer text, s'interessà pel problema d'ordenar el caos creixent d'elements trobats a partir del segle XVIII.*

*En el segon text apareix una explicació del famós "caragol tel·lúric" de Chancourtois (1863) que s'acostava a la idea de periodicitat desenvolupada posteriorment, però que fou ignorat per la complexitat de la seua formulació, cosa que es reflecteix en la breu explicació que demanaria un major nivell de detall per a comprendre bé de què es tractava.*

## REACCIONS QUÍMIQUES

**A.58.** *Llegiu i comenteu aquest text amb l'ajut de les qüestions proposades:*

### LA COMBUSTIÓ I LA HIPÒTESI DEL FLOGIST

*Quan encara no era ben coneguda la composició de l'aire, els processos de combustió s'explicaven per mitjà d'hipòtesis ja superades com l'existència del principi d'ignició anomenat "flogist". Aquesta hipòtesi fou esbossada pel químic alemany Johann Becher i divulgada pel seu deixeble Georg Stahl cap a l'any 1702.*

*Segons aquesta hipòtesi, el flogist forma part, en major o menor proporció, de les substàncies combustibles i s'allibera quan el material s'escalfa o crema. De forma resumida:*

- 1. Els metalls perden flogist en escalfar-se i es transformen en calçs metàl·liques.*
- 2. Les calçs metàl·liques s'escalfen amb carbó, reabsorbeixen flogist i esdevenen altra volta metalls. El carbó, ric en flogist, fa falta perquè el flogist originari del metall, es dispersa a l'atmosfera i es perd.*

*Segons això, un misto encès dins d'una ampolla tancada s'apaga perquè l'aire es satura de flogist i esdevé aire flogistitzat, inútil per a la combustió. Igualment s'allibera flogist durant la respiració dels organismes vius, per això si tanquem un ratolí en una campana es mor perquè l'aire que l'envolta absorbeix tot el flogist que pot i es satura. Així, només és bo per a sostenir les combustions i permetre la respiració l'aire completament desflogistitzat.*

*El químic francès Jean Rey ja havia demostrat l'any 1630 que l'estany guanyava pes quan cremava, però els químics d'aquella època no donaven gaire importància al pes i no feren cas de l'observació.*

*Entre els diversos treballs que contribuïren a superar la hipòtesi del flogist i substituir-la per la teoria actual de les combustions hi ha les experiències dutes a cap per Joseph Black, Antoine Lavoisier i Jo-*

*seph Priestley la dècada de 1770, que seguien la tradició de l'era pneumàtica, dedicada a l'estudi dels gasos des del segle XVII.*

*Black obtingué l'anomenat "aire fix", que correspon al nostre diòxid de carboni, com a producte gasós de la combustió.*

*Lavoisier determinà l'augment de pes durant l'escalfament dels metalls estany i mercuri, a l'hora que detectava una disminució de pes idèntica en l'aire tancat que havia esdevingut irrespirable.*

*Priestley escalfà mercuri en presència d'aire per mitjà d'una lent convergent que hi concentrava els raigs solars i produí una pols vermella, la calç de mercuri, que seguí escalfant fins a produir de nou el mercuri. Llavors obtingué un gas desconegut que revifava les flames i permetia la respiració dels ratolins. Aquest gas era una mica més dens que l'aire. A partir de la hipòtesi del flogist, aquest nou aire devia estar completament desflogistitzat i així l'anomenà Priestley. Més endavant aquest gas s'anomenà oxigen i s'identificà com un component de l'aire.*

*Lavoisier conegué els treballs de Priestley i elaborà una explicació per a les combustions alternativa a la del flogist, que aplicà també als processos de respiració que centraven gran part dels seus estudis. En el nou esquema conceptual, l'oxigen de Priestley prenia el relleu al flogist, però en sentit contrari. Ara les combustions s'interpretaven com a combinacions dels combustibles amb oxigen, cosa que explicava l'augment de pes dels productes obtinguts, anomenats més correctament òxids. La respiració s'explicà a partir de la combustió del carboni present en els organismes vius i la consegüent producció de diòxid de carboni, l'aire fix de Black.*

- Q1. Feu un diagrama que mostre el cicle del flogist tal com indica la hipòtesi sobre el seu paper en les combustions.*
- Q2. Assenyaleu alguns inconvenients que presentava la hipòtesi del flogist sota el punt de vista actual i per què no eren tinguts en consideració a l'època en què era defensada.*
- Q3. Interpreteu el cicle de les combustions amb la nova teoria de l'oxidació i aclariu a què corresponen actualment els antics termes referits a l'aire flogistitzat i desflogistitzat.*
- Q4. Representeu de forma esquemàtica les reaccions químiques indicades en el text.*
- Q5. De vegades s'al·ludeix a la hipòtesi del flogist com a teoria del flogist. Comenteu per què és més precisa la primera forma d'anomenar-la.*

*FONT: Elaborat a partir dels materials del Grup Recerca Faraday. Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric. Teide. Barcelona. 1988.*

*OBJECTIUS: Evolució dels conceptes. Crisis i controvèrsies científiques.*

*NIVELLS: 15-18.*

## COMENTARIS

*El contrast entre hipòtesis antigues ja superades i les explicacions modernes pot ser una eina útil per a mostrar la forma d'evolucionar dels coneixements científics, però també pot produir males interpretacions de la història si mostren el procés massa fragmentat. En aquest text sobre el flogist i la moderna teoria de les combustions hem volgut resumir les principals aportacions a la superació de l'antiga hipòtesi, per a fer veure com es tractava de dos esquemes conceptuals alternatius que tenien vigència en la mesura que explicaven satisfactòriament els fenòmens observats, sempre que aquests foren significatius. La importància del control de la massa en les reaccions químiques i, el que no és menys important, l'assumpció que els gasos formen part del sistema material, que ha de ser tancat per tal que la massa es pugui conservar, representen un conjunt d'idees noves que s'anà obrint pas a mesura que es desenvolupà la química dels gasos, amb les contribucions dels ja esmentats Black, Priestley, Lavoisier i també d'antecessors, com Boyle, Van Helmont, Rey i Mayow, i contemporanis seus, com Macquer i Guyton de Morveau, que havia suggerit la hipòtesi de la massa negativa del flogist. També hem de fugir de la fàcil explicació empirista que destaca el paper dels experiments crucials i que oculta la complexitat d'arribar a una correcta interpretació dels resultats. Aquestes visions simplistes han estat criticades en diferents treballs (Izquierdo 1988, Bensaude-Vincent 1991a, Gaudillière 1994) pel seu efecte distorsionador de la realitat històrica.*

**A.59.** Comenteu aquesta breu biografia del químic Lavoisier:

### Antoine-Laurent de LAVOISIER (1743-1794)

Cèlebre químic francès, nascut a París. Fou un home públic molt actiu. Era enemic personal de Marat, un dels líders de la Revolució, que manà guillotinar Lavoisier el 8 de maig de 1794. Fou un gran metodista de l'anàlisi i va contribuir amb èxit a bandejar falses hipòtesis dels alquimistes, com la del flogist com a principi de la combustió, i interpretà correctament aquest fenomen com una reacció química amb el gas oxigen present a l'aire. A ell li devem l'establiment de la llei de conservació de la massa en les reaccions químiques i la racionalització del llenguatge químic, amb la introducció de les equacions químiques (G.E.C., article "Lavoisier").

- Q1. A la ressenya biogràfica, tret d'una enciclopèdia, es resumeixen les principals aportacions atribuïdes a Lavoisier, ¿creieu que l'activitat científica sol ser mèrit exclusiu d'una persona? ¿Coneixeu altres científics de l'època que treballaren en temes semblants?
- Q2. A partir de la informació disponible en el text sobre la vida i treballs de Lavoisier, realitzeu una petita investigació bibliogràfica i amplieu les dades fins a elaborar una biografia més completa d'aquest científic, que el situe en el context de la seua època històrica i en relació amb els treballs de científics anteriors i posteriors a ell.

FONT: Biografia tretada de l'article "Lavoisier" de la G.E.C. Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1995.

**OBJECTIUS:** *Contextualització de les biografies dels científics. Crítica de la imatge tòpica de la ciència i els científics.*

**NIVELLS:** 14-16.

**COMENTARIS**

*Aquesta activitat sobre la biografia de Lavoisier pretén parer esment en el fet que la necessària concisió d'un article enciclopèdic omet molts detalls i presenta una imatge esbiaixada de l'activitat científica que convé completar amb un comentari aclaridor de la labor col·lectiva de la ciència. Sovint s'ha magnificat el paper de Lavoisier com a gran personatge que encetà una etapa completament nova en la química, cosa que segons sembla no s'adiu del tot amb la realitat (vegeu el capítol que li dedica Bernadette Bensaude-Vincent al llibre de Michel Serres, "Historia de las ciencias", Càtedra, Madrid 1991) i confirma la idea més correcta que la creació i els avanços de la ciència són més aviat fruit d'un teixit complex de relacions socials, econòmiques i, en definitiva, humanes, on han participat molts factors. A tall d'exemple, el fet d'atribuir a Lavoisier l'establiment de la llei de la conservació de la massa no deixa de ser convencional, ja que ell l'enuncia de passada en un dels capítols del seu llibre i no sembla donar-li explícitament el caràcter de llei fonamental encara que la utilitzi en els seus treballs. També és un fet que molts altres autors havien parlat des de temps antics del principi de conservació de la matèria com a idea filosòfica. No es tracta tampoc de desautoritzar els treballs de Lavoisier, d'indubtable valor i repercussió, sinó de no menysprear totes les altres contribucions dels seus col·legues i contemporanis o dels avantpassats, dels quals s'hereten unes línies de pensament per a aprofundir-hi, rebutjar-les o, de vegades, simplement ignorar-les.*

**A.60.** *Llegiu i comenteu aquests fragments de l'obra més coneguda de Lavoisier, el "Tractat Elemental de Química" (1789), amb l'ajut de les qüestions proposades:*

**LES COMBINACIONS DEL CALÒRIC I LA FORMACIÓ DELS FLUIDS ELÀSTICS AERIFORMES**

*És un fenomen constant en la Natura que quan escalfem qualsevol cos, sòlid o fluid, augmenta de grandària en totes les dimensions... Si després d'escalfar fins a cert punt un cos sòlid i separar així de forma progressiva totes les seues molècules el deixem refredar, aquestes tornen a acostar-se mútuament en la mateixa proporció que s'havien allunyat i el cos torna a passar pels mateixos graus d'extensió que havia recorregut; i si el portem a la mateixa temperatura que tenia en iniciar l'experiència, recobra sensiblement el volum original...*

*Així s'entén que les molècules dels cossos estiguen contínuament forçades per la calor a separar-se unes de les altres, que no tinguen lligament entre elles, i no existiria cap cos sòlid si elles no foren retingudes per una altra força que tendeix a unir-les o, millor encara, a encadenar-les. Així sembla que les molècules estiguen sotmeses a dues forces: una d'atractiva i una de repulsiva. Si domina l'atracció el cos està sòlid, però si aquesta força és feble i la calor separa les molècules, llavors perden adherència i el cos deixa de ser sòlid.*

*L'aigua ens mostra això a cada instant: per davall del zero de temperatura es troba en estat sòlid i l'anomenem gel; per damunt d'aquest punt les seues molècules no experimenten atracció mútua i es transforma en el que anomenem un líquid; finalment, per damunt dels 100 graus les molècules obeeixen la repulsió produïda per la calor, l'aigua passa a l'estat de vapor o de gas i es transforma en un fluid aeriforme...*

*És difícil entendre aquests fenòmens si no admitem que són l'efecte d'una substància real i material, d'un fluid molt subtil que s'introdueix a través de les molècules de tots els cossos i les separa; i encara si suposem que l'existència d'aquest fluid és una hipòtesi, amb ella s'expliquen d'una forma molt satisfactòria els fenòmens de la natura... Hem designat la causa de la calor, el fluid eminentment elàstic que la produeix, amb el nom de calòric.*

*Però si només existiren aquestes dues forces (atractiva i repulsi-va), els cossos només serien líquids a un grau indivisible del termòmetre i passarien bruscament de l'estat de sòlid al de fluid aeriforme (gas). Hi ha una tercera força, la pressió de l'atmosfera que dificulta la separació de les molècules. El següent experiment confirma de forma evident la veritat del que acabem d'enunciar.*

*Omplim d'èter sulfúric un gotet de vidre estret A (vegeu figura) col·locat sobre la seua base P. Aquest recipient no ha de tenir més d'uns 3 cm de diàmetre i uns 5 cm d'altura. El cobrim amb una veixiga humitejada i la nuguem al voltant del coll del gotet amb moltes i ajustades voltes de fil gruixut. El got l'omplirem d'èter de manera que no quede gens d'aire entre el líquid i la veixiga. Ara el col·loquem davall el recipient BCD d'una màquina pneumàtica, on la part superior B tindrà una caixa de cuir travessada per una vareta EF, acabada a l'extrem F en punta; al recipient li adaptarem un baròmetre GH.*

*Tot preparat, farem el buit amb la màquina pneumàtica i tot seguit farem baixar la vareta en punta que rebotarà la veixiga. Immediatament l'èter comença a bullir amb una rapidesa sorprenent, s'evapora i es transforma en un fluid elàstic aeriforme que ompli tot*

el recipient. Si la quantitat d'èter és suficient per a què una volta evaporat encara en queden unes gotes al flascó, el fluid elàstic produït és capaç de mantenir el baròmetre adaptat a la màquina pneumàtica prop dels 270 mm en hivern i d'uns 600 mm en les calors de l'estiu. Per a completar l'experiment, podem introduir un termòmetre en el gotet A que conté l'èter i notarem que la temperatura baixa considerablement mentre dura l'evaporació.

En aquest experiment no fem altra cosa que suprimir el pes de l'atmosfera (amb la màquina de buit) que, en condicions ordinàries, gravita sobre la superfície de l'èter, i els efectes que resulten demostren dues coses: primera, que a la temperatura habitual l'èter sempre quedaria en estat de gas si la pressió atmosfèrica no li ho impedia; segona, que el pas de l'estat líquid a l'aeriforme s'acompanya d'un refredament considerable, ja que durant l'evaporació una part del calòric que es trobava en estat de llibertat o, com a mínim, d'equilibri en els cossos del voltant, es combina amb l'èter per a portar-lo a l'estat de fluid aeriforme.

- Q1. ¿A quines etapes d'una investigació corresponen els diferents paràgrafs del text?
- Q2. Tracteu de refer la descripció de l'experiment amb les vostres paraules o amb un dibuix que aclaresca els detalls que no s'acaben d'apreciar en la figura.
- Q3. ¿Com és que Lavoisier utilitza la hipòtesi del calòric, que avui sabem incorrecta, per a argumentar a favor dels resultats de la seua experiència que són correctes?

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1995.*

*OBJECTIUS: Forma de treballar dels científics. Evolució de les idees científiques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquest fragment del "Tractat" de Lavoisier pot ser útil per a analitzar diferents aspectes de la química vigent a l'època. La part seleccionada comença al principi del capítol titulat "De les combinacions del calòric i de la formació de fluids elàstics aeriformes", i continua amb la descripció detallada de l'experiència per a mesurar la pressió de vapor de l'èter. L'extracte seleccionat pretén veure de forma global el procés de raonament lògic que segueix Lavoisier que inclou les informacions sobre allò que s'accepta (en aquest cas la interpretació de la dilatació i els canvis d'estat a partir de la hipòtesi del calòric, vigent aleshores). El raonament segueix l'esquema consistent a detallar un problema (1r paràgraf) i proposar hipòtesis que ho expliquen (paràgrafs 2n al 4t) en el context del marc conceptual més general que inclou el que Lavoisier anomena molècules, les forces atractives i repulsives entre elles i també l'existència del calòric com a substància material, acceptada per a explicar els fenòmens calorífics.*

*Fins ací cal aclarir, doncs, que aquesta és una hipòtesi que els alumnes fàcilment admeten per la seua aparent simplicitat i per la vigència encara en el llenguatge*



*quotidià sobre els fenòmens calorífics, però no és en absolut la concepció actual sobre la calor i els seus efectes, ja que les forces intermoleculares expliquen bé els canvis de volum i d'estat sense necessitat de recórrer a l'existència del calòric.*

*El text prossegueix amb la incorporació de noves hipòtesis, que no contradiuen les anteriors, sinó que les amplien amb la consideració (paràgraf 5è) del paper d'una tercera força, la pressió atmosfèrica, i es presenta el disseny d'una experiència per a tractar de demostrar-ho. Aquest fragment (paràgrafs 6è i 7è), acompanyat d'una figura, descriu amb tota mena de detalls l'experiment de la vaporització de l'èter per canvi de pressió. Les unitats i el vocabulari s'han adaptat a l'actual per tal de fer comprensible l'experiment, amb la finalitat de veure amb quina mena de detalls descriu Lavoisier les experiències per tal que pogueren ser reproduïdes per qualsevol que volgués verificar-ne els resultats.*

*El darrer paràgraf conté la interpretació dels resultats en termes de confirmació de la hipòtesi sobre el paper de la pressió atmosfèrica, que es concilia amb la hipòtesi vigent del calòric, per la qual cosa aquesta experiència permet mostrar que els resultats es poden fer coincidir amb les idees que en tenim i no sempre les qüestionen. Òbviament, aquest no era l'objectiu de l'experiència i això mostra millor quin paper tenen les experiències en la investigació, que en general són per a confirmar el marc general en què es mouen i només després de moltes evidències en contra permeten abandonar-lo quan ja no resulta globalment satisfactori. Com és sabut les hipòtesis sobre el calòric encara tardarien quasibé un segle en ser definitivament abandonades per la ciència oficial. Els textos han estat traduïts i adaptats a partir de l'edició en castellà del "Tratado Elemental de Química" de Clásicos Alfaguara (Madrid: 1982).*

**A.61.** *Llegiu, comenteu i feu un esquema amb les principals idees que conté el següent text de Lavoisier, tret de la seua obra "Tractat Elemental de Química" (1789), que hom sol considerar un dels primers llibres de química moderna:*

### CAPÍTOL XIII

#### *De la descomposició dels òxids vegetals per la fermentació vinosa*

*Tothom sap com es fan el vi, la sidra, l'aiguamel i, en general, totes les begudes fermentades espirituoses. S'espren el suc de raim i de poma i s'aigualeix aquest darrer; es posa el licor en grans bótes i en un lloc on la temperatura siga, com a mínim, de 10 graus del termòmetre de Réaumur. Al poc de temps apareix un moviment ràpid de fermentació, en la superfície esclaten nombroses bombolles d'aire, i quan la fermentació ateny el punt màxim, la quantitat de bombolles és tan gran i és tan abundosa la quantitat de gas que s'allibera, que sembla com si el licor estigués damunt d'una foguera encesa que li provoqués una ebullició violenta. El gas que s'allibera és l'àcid carbònic i, si el recollim acuradament, està perfectament pur i exempt de mescla de qualsevol altra espècie d'aire o de gas.*

*El suc de raïm, que era dolç i ensucrat, esdevé per aquesta operació un licor vinós que, en completar-se la fermentació, no conté gens de sucre i d'on es pot traure per destil·lació un licor inflamable que es coneix al comerç i les arts amb el nom d'esperit de vi. És evident que, si aquest licor és un resultat de la fermentació d'una matèria ensucrada qualsevol i suficientment diluïda en aigua, seria anar en contra dels principis de la nostra nomenclatura anomenar-lo tant esperit de vi com esperit de sidra o esperit de sucre fermentat. Per tant, ens hem vist obligats a adoptar un nom més general, i el d'alcohol, que procedeix dels àrabs, ens ha semblat el més adient.*

*Aquesta operació és una de les més extraordinàries i dignes d'atenció de totes les que la química ens presenta, i hem d'examinar d'on ve l'esperit inflamable que es forma i de quina manera un cos dolç, un òxid vegetal, es pot transformar així en dues substàncies tan distintes, una de combustible i una altra d'eminentment incombustible. Per arribar a la solució d'aquests problemes, caldria conèixer de bell antuvi l'anàlisi i la naturalesa dels cossos susceptibles de fermentar i els productes de la fermentació; perquè res no es crea, ni en les operacions de l'art, ni en les de la natura, i es pot fixar com a principi que, en tota operació, hi ha una quantitat igual de matèria abans i després de l'operació, que la qualitat i la quantitat dels principis és la mateixa i que només hi ha canvis i modificacions. Tot l'art de fer experiències en química està fonamentat sobre aquest principi: cal suposar en tots els experiments una vertadera igualtat o equació entre els principis del cos que s'examina i els que s'obtenen per l'anàlisi. Així, doncs, ja que el most del raïm dona gas carbònic i alcohol, puc afirmar que el most de raïm = àcid carbònic + alcohol.*

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1994.*

*OBJECTIUS: Forma de treballar dels científics. Evolució de les idees científiques. Evolució del llenguatge científic.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat està orientada com a comentari d'un text de contingut científic i es pot fer com a treball personal dels alumnes després de donar-los algunes instruccions sobre la manera com es recomana comentar els textos en les proves d'accés a la universitat. No obstant es pot usar en un altre nivell i de la manera que es considere més oportuna.*

*Pel que fa al contingut, aquest fragment de l'obra de Lavoisier conté la coneguda referència a l'establiment de la llei de conservació de la massa i una de les primeres utilitzacions de les igualtats o equacions per a representar una reacció química. Tanmateix convé destacar la manera com l'autor esmenta el que considera un principi de l'experimentació en química, dins de tot el discurs narratiu de les observacions i experiències sobre la fermentació del vi i no com si es tractés d'un descobriment original. El principi de conservació de la matèria té nombrosos antecedents i el*

seu establiment modern és, com moltes altres fites científiques, fruit de diverses aportacions, entre les que, òbviament, no s'ha de menysprear la de Lavoisier.

El primer paràgraf es centra en la descripció d'un fenomen força conegut de ben antic, però aporta coneixements de la química de l'època, com ara el nom del gas produït en la fermentació, que Lavoisier anomena àcid carbònic i que ara anomenem diòxid de carboni. Aquestes diferències de llenguatge són interessants de comentar ja que reflecteixen en part la visió dels fenòmens químics que llavors es tenia. Lavoisier és un dels promotors de la renovació de la nomenclatura química i hi insistirà en el segon paràgraf quan proposa el nom d'alcohol per a substituir els diversos noms que tenien els licors procedents de la fermentació de diferents substàncies. Ací convé puntualitzar que el conegut químic francès no és l'autor exclusiu del nou sistema de nomenclatura química, on participaren també Guyton de Morveau, Fourcroy i Berthollet, malgrat que Lavoisier aparega sovint com a únic defensor d'aquest avanç cap a la racionalització del llenguatge en una disciplina que el segle XVIII encara arrossegava la tradició secular heretada dels alquimistes amb el seu característic secretisme i l'ambigüitat en els noms de les substàncies.

El text té interès per la seqüència lògica de la descripció del fenomen de la fermentació i el plantejament del problema químic que es reconeix en els canvis produïts en les substàncies, però malgrat l'aparença no s'ha de reforçar la visió empirista que posa l'èmfasi en la seqüència observació-experimentació-conclusions, sinó diferenciar les parts del text que corresponen a la descripció de fets (paràgrafs 1r i 2n) de la resta que segueix un raonament lògic amb l'anàlisi i plantejament del problema i les hipòtesis sobre els canvis químics que hi han ocorregut. En aquest discurs apareixerà l'enunciat de la llei de conservació de la massa i la seua operativització en forma d'una equació a manera d'hipòtesi. L'equació: **most = àcid carbònic + alcohol** encara és lluny dels detalls que contenen les equacions modernes, però és un primer pas en la direcció correcta, per això tampoc no s'ha de traure del seu context.

Com a criteris per al comentari de text convé recomanar els que proposa la Universitat a través de les coordinacions, d'acord amb els professors de llengua als que s'encomana la part orientativa. Així es recomana extraure les idees principals, fer un esquema del contingut, posar un títol original al text, comentar aspectes de vocabulari específic o qüestions d'estil i acabar amb un breu resum de tot el text. El professor pot preparar qüestions referides a la **interpretació** del contingut del text, a la **deducció** d'idees que proposa el text, a l'**ampliació** de la informació que pot demanar la lectura del text i fins i tot qüestions per a expressar l'**opinió** dels alumnes sobre aspectes que suggereix el text. Com a orientació per al comentari de textos científics pot ser útil el llibre "Lectura i anàlisi de textos científics" de Gemma Escrivà i Marta Martí, publicat dins la col·lecció Quaderns Experimentals, núm. 14, pel Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya.

**A.62.** Llegiu el text i amb l'ajut de les qüestions comenteu quina opinió us mereix el paper desenvolupat per les dones en la creació científica al llarg de la història, a partir de l'exemple de Marie-Anne Lavoisier:

### LES CONTRIBUCIONS DE MARIE-ANNE LAVOISIER

A finals de l'any 1771, als 28 anys, Antoine Lavoisier es va casar amb Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836), filla única de Jacques

*Paulze, un dels directors generals de la "Ferme générale", societat privada compromesa amb el govern francès a un preu fix per tal de recaptar impostos. Lavoisier treballà com a administrador en aquesta societat, la qual cosa li valgué la inculpació dels revolucionaris que més tard acabarien amb el seu cap.*

*La jove Madame de Lavoisier quan es casà només tenia 14 anys es convertí ben aviat en col·laboradora eficient del seu marit. Els seus coneixements d'anglès li permeteren posar a l'abast de Lavoisier els treballs dels químics anglesos, la llengua dels quals ell ignorava. Marie-Anne va traduir el llibre de R. Kirwan "Assaig sobre el flogist" que havia estat publicat a Londres el 1784. La seua traducció aparegué el 1788, amb notes de Lavoisier i els seus col·legues. Dibuixà nombroses escenes de les experiències que Lavoisier va fer sobre la respiració en companyia d'Armand Séguin i preparà els acurats gravats d'aparells químics que il·lustraren molt dignament l'edició del "Tractat elemental de química". També participà en el desenvolupament de la llei de conservació de la massa i en l'establiment de la nomenclatura química.*

*A més de treballar en els experiments, Marie-Anne no parà mai de lluitar per a reparar les injustícies de què fou objecte el seu marit i va ser la millor advocada de la vida i obra de Lavoisier. A ella li devem la primera publicació dels treballs científics que ell havia començat a reunir. Després de la mort de Lavoisier, ella va conservar els seus aparells de laboratori i manuscrits i, ja que no tingueren cap fill, passaren als seus hereus. Marie-Anne apareix en companyia d'Antoine en un quadre del seu amic el pintor Jacques-Louis David, un fragment del qual acompanya aquest text.*

Q1. *¿Creieu que algunes contribucions, com la realització dels dibuixos per a il·lustrar el llibre del seu marit, es mereixedora de tan poca con-*

sideració per a no figurar l'autora en la portada del llibre i només al peu de les figures?

Q2. ¿Coneixeu altres dones dedicades a la ciència en diferents èpoques?

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1996.*

*OBJECTIUS: Paper de les dones científiques. Forma de treballar dels científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Un dels aspectes que cal introduir per a donar una imatge de la ciència allunyada dels tòpics més corrents consisteix a destacar el paper de les dones en l'activitat científica. Òbviament cal emmarcar-lo en el context global de la situació de la dona en la societat en diferents moments històrics. Ara bé, de la mateixa manera que sovint només es fa referència a les contribucions dels grans genis, també s'oblida la tasca col·lectiva que ha significat el llegat històric de segles d'activitat, en la qual és evident que, malgrat l'escàs protagonisme de que han gaudit, hi han participat dones i homes, sovint anònims.*

*Aquesta activitat es centra en la interessant figura de Marie Lavoisier, que tot i ser la dona d'un científic de conegut renom i prestigi, sobretot arran dels treballs de divulgació de la seua obra, cal reconèixer el mèrit d'aquesta dona que no només recolzà en vida els treballs i investigacions del seu marit, sinó que fou custòdia fidel del seu llegat personal que així es pogué conservar i ser objecte d'estudi per les generacions posteriors.*

*Les qüestions que es proposen pretenen fer reflexionar els alumnes sobre la importància que tenen totes les activitats que contribueixen, des de tasques sovint ingrates o anònimes, a fer de la creació científica un treball laboriós on calen moltes més mans de les que molt sovint injustament s'emporten la fama com si tot fos obra d'uns pocs privilegiats. El fet que en aquest cas es tracte de la muller d'un científic famós no pretén de cap manera comparar ambdues figures, sinó més aviat reconèixer que l'èxit dels treballs de Lavoisier, com el de molts altres, no es pot atribuir de forma exclusiva a una sola persona.*

*A banda de reconèixer la tasca de traductora i, en general, de col·laboradora eficient d'Antoine, tampoc es pot menystenir la labor de Marie en el disseny de les magnífiques il·lustracions que ajuden de manera molt eficaç a la descripció dels aparells i experiments detallats en el llibre i la seua complexitat revela un coneixement exhaustiu i minucios del treball experimental que va més enllà d'un paper simplement decoratiu. Per això, és revelador el protagonisme atribuït a la dona per la societat francesa de finals del segle XVIII, immersa en l'ambient revolucionari que es respirava l'any de la publicació del llibre (1789), ja que en la portada del llibre no s'esmenta l'autora de tan valuosos dibuixos, encara que al peu de cada gravat apareix una discreta referència que diu: "Paulze Lavoisier sculp.". Açò contrasta amb la justa rellevància atribuïda a Monsieur Lavoisier, autor del text, de qui s'esmenta un ampli currículum.*

*La dificultat per a trobar altres dones dedicades a la ciència és paral·lela a l'escàs protagonisme atribuït en general a les dones en la història habitual i a la preconcepció generalitzada que la tasca científica sol ser més aviat cosa d'homes. D'altra*

*banda, la poca presència de contribucions a la ciència fetes aquest segle, quan el nombre de dones científiques s'ha incrementat notablement, remarca aquesta aparent absència de la dona del món de la ciència. Podem trobar més informació sobre dones científiques als articles de Herzenberg (1991) i Spector (1995) i al llibre de Sánchez Ron (1992) i, sobre Marie Lavoisier, a la introducció del "Tratado Elemental de Química" (Alfaguara: Madrid), a l' "Enciclopedia biográfica de la ciencia y la tecnología" d'Asimov (Alianza: Madrid) i a l'article de Bensaude-Vincent (1995).*

**A.63.** *Busqueu informació sobre les diferents explicacions donades al caràcter àcido-bàsic per Lavoisier, Davy, Liebig, Arrhenius, Brønsted-Lowry i Lewis. Compareu les diferents teories i feu un esquema que mostre les relacions entre elles.*

*FONT: Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Evolució dels conceptes. Controvèrsies científiques.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

---

*Les teories per a explicar el caràcter àcido-bàsic també són un cas de controvèrsies inicialment i mostren, en aquest cas, el procés d'enriquiment i generalització que ha anat adquirint aquest important concepte. Una vegada plantejat el problema del perquè de l'existència d'aquestes substàncies amb caràcters antagònics, conegudes de temps antics, el procés de resolució ha vist succeir-se diferents interpretacions que han anat des de l'atribució del principi acidificant a l'oxigen feta per Lavoisier, error que persisteix en el nom d'aquest element, al desplaçament cap a l'hidrogen que féu Davy en trobar la composició de l'àcid clorhídric per electròlisi, precisada per Liebig i restringida a l'hidrogen substituïble per metalls actius. Posteriorment, en el marc de la seua teoria de la dissociació electrolítica Arrhenius encetarà un conjunt de propostes per a definir els àcids i les bases que anirà eixamplant de forma gradual el camp de substàncies a què s'aplica, per mitjà de les noves definicions de Brønsted i Lowry i de Lewis. Tot i que hi ha moltes altres definicions, creiem que són suficients per a presentar aquests conceptes a nivell d'ensenyament secundari. Aquesta pot ser una bona introducció a l'estudi del caràcter àcido-bàsic, abans de desenvolupar els aspectes conceptuals i llurs importants aplicacions.*

**A.64.** *Visió i comentari del vídeo "L'àcid sulfúric. El procés de la cambra de plom". Qüestions per al comentari:*

- a) Escriviu les reaccions químiques per a produir àcid sulfúric pel procés de la cambra de plom i esmenteu les matèries primeres que cal utilitzar*
- b) Raoneu per què s'hagué de fer servir el plom per a construir els recipients on obtenir l'àcid sulfúric i exposeu els inconvenients que tenien aquestes instal·lacions.*
- c) Descriviu breument les parts principals d'una instal·lació per a obtenir àcid sulfúric pel procés de la cambra de plom.*
- d) Comenteu quins canvis s'introduïren en el mètode per tal d'evitar les emissions contaminants de diòxid de nitrogen i quin problema quedà sense resoldre.*

- e) *Feu un resum de les principals etapes d'expansió de les aplicacions de l'àcid sulfúric.*
- f) *Expresseu la vostra opinió sobre l'afirmació del químic alemany Justus Liebig (1803-1873) segons la qual la prosperitat d'un país es pot mesurar per la quantitat d'àcid sulfúric que consumeix.*

**A.65.** *Visió i comentari del vídeo "La indústria dels àlcalis". Qüestions per al comentari:*

- a) *Resumiu en què consistia el mètode de Leblanc (1792) per a la fabricació de carbonat de sodi, l'anomenada correntment sal sosa.*
- b) *Detalleu quines indústries requerien substàncies alcalines, com la sosa càustica i la sal sosa, per a obtenir els seus productes i com les obtenien antigament.*
- c) *Expresseu la vostra opinió sobre l'impacte ambiental i social que tingué a mitjan segle XIX l'expansió i concentració d'indústries alcalines a la vora del riu Mersey, a prop de Liverpool, a partir de les reflexions que fa l'autor esmentat en el vídeo.*
- d) *La perillositat de les substàncies alcalines es fa palesa quan un operari d'aquestes indústries diu que allà fabriquen "esquelets". A la vista de les imatges que mostren les condicions en què operaven els treballadors del segle passat, expresseu la vostra opinió sobre la importància d'unes normes mínimes de protecció i seguretat en la manipulació dels productes nocius.*
- e) *Busqueu informació sobre el desenvolupament del mètode amoniacal de Solvay (1865) per a fabricar carbonat de sodi.*
- f) *Expresseu els avantatges que té l'ús de l'electròlisi en la fabricació de sosa càustica respecte als mètodes que es feien servir anteriorment.*

*FONT: Elaborades a partir de vídeos de la sèrie "Tecnologia i canvi (1750-1914)" produïts per la BBC per a "The Open University". 1983.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

---

*Hem escollit aquests dos capítols sobre els orígens de dues indústries químiques fonamentals com la de l'àcid sulfúric i la dels àlcalis de la sèrie que dedicà la "Open University" al període d'evolució de la indústria química britànica comprés entre els anys 1750 i 1914. Creiem que són un bon exemple de les relacions entre la ciència i la tecnologia i al mateix temps mostren els condicionaments socials que influïren en el desenvolupament de la indústria química entre els segles XVIII i XIX, així com les repercussions socials que tingueren activitats com la primitiva indústria dels àlcalis que, tot i la seua perillositat, s'estengueren sense control durant anys abans de prendre mesures de protecció o ser substituïdes per mètodes menys perniciosos i econòmicament més rentables.*

*La majoria de les qüestions estan contestades en els vídeos i les inclouem per tal que els alumnes prenguen les notes adients mentre els veuen, i si cal tornen sobre els diferents fragments per a recollir la informació de forma més detallada i reflexiva.*

*Això farà que el profit de veure els vídeos siga major, no es limite a una activitat passiva i es puguen generar discussions útils per tal d'aclarir les idees exposades.*

**A.66.** *Llegiu aquest text sobre les conseqüències socials del procés de Haber-Bosch i contesteu les qüestions:*

### **ALGUNES CONSEQÜÈNCIES SOCIALS DEL PROCÉS DE HABER-BOSCH**

*(Extret de "Ciència i Societat". The Open University.)*

*Una planta pilot amb el procés de Haber va funcionar per primera vegada l'any 1910 a Alemanya. Gran Bretanya i els seus aliats tenien el control sobre les rutes marítimes per les quals s'enviava el nitrat de Xile i el guano peruà. Alemanya i les potències centrals quedaren aïllades d'aquesta font de nitrogen fixat per a l'agricultura i els explosius i es veieren abocats a innovar o fer fallida.*

*Amb l'arribada de la I Guerra Mundial el 1914 es va ampliar la capacitat de la primera planta i es va construir una planta de més importància.*

*L. F. Haber, fill de Fritz Haber, al seu llibre "El problema del nitrogen", indicava que una de les raons per les quals Alemanya perdé la guerra no fou l'escassetat d'explosius sinó que l'exèrcit va usar tan gran quantitat de compostos nitrogenats que no en quedaren prou per als llauradors. Les collites de 1917 i 1918 foren desastroses i provocaren la fam i el col·lapse.*

*Entre les conseqüències socials de la síntesi de Haber-Bosch podem esmentar:*

- La prolongació de la I Guerra Mundial un any o dos.*
- La gran expansió des de la I Guerra Mundial, de la producció de nitrogen fixat per a fertilitzants. Ací podem veure com a través d'aplicacions a gran escala, la ciència pot resoldre un dels majors problemes humans: la desnutrició.*
- Desenvolupament d'indústries relacionades amb fibres sintètiques com el niló, plàstics, drogues medicinals, explosius i colorants.*
- Problemes de contaminació: una de les formes per les quals es perd nitrogen del cycle és per mitjà dels compostos nitrogenats que se'n van als rius i al mar. Els fertilitzants nitrogenats estimulen el creixement de les plantes verdes a l'aigua, d'igual manera com passa sobre la terra. Hom aplica el terme eutrofització al procés d'enriquiment de l'aigua amb nutrients, especialment aquells que poden fertilitzar el creixement de plantes aquàtiques i algues. Els efectes que produeixen poden ser de tres tipus: creixement excessiu d'algues, de brosses i el caràcter tòxic dels nitrats per a nadons alimentats amb biberó. Potser l'efecte més dramàtic és el creixement excessiu de les algues. Les algues es multipliquen de tal manera que la llum solar només pot penetrar uns pocs cm dins l'aigua. Com que no els arriba*



oxigen les algues es moren i es descomponen. L'oxigen dissolt en aigua és totalment absorbit i els peixos es moren. Eventualment, sota condicions extremes, "el llac es mor". L'exemple més espectacular d'aquesta situació el tenim al llac Eire als EUA.

- Q1. ¿Quines són les causes que fan del nitrogen un element essencial per als éssers vius? ¿Les plantes poden agafar directament el nitrogen de l'atmosfera? ¿Què entenem per nitrogen fix?
- Q2. ¿Quins foren els objectius socials involucrats en la iniciació de les aplicacions a gran escala de les tècniques de fixació del nitrogen?
- Q3. Indiqueu breument el context socio-econòmic en què es va produir la síntesi de Haber-Bosch.
- Q4. ¿Quins desavantatges comporta la producció actual de fertilitzants nitrogenats?
- Q5. ¿Quins efectes pot tenir un excés d'abundor de nitrogen en les reserves d'aigua?

*FONT: Extret de "Ciència i Societat". The Open University.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*La síntesi de l'amoníac pel mètode de Haber i Bosch és una de les reaccions químiques més conegudes, ja que la seua condició d'equilibri homogeni en fase gasosa s'utilitza sovint com a exemple d'aquestes reaccions, igual com l'aplicació del principi de Le Chatelier permet interpretar amb bona aproximació les condicions més favorables per augmentar el seu rendiment. La indubtable importància industrial d'aquesta reacció fa que siga força coneguda entre els estudiants de química de tot arreu, fins al mínim detall. Al mateix temps, però, sobta la ignorància sistemàtica d'aquests mateixos estudiants respecte a les nombroses repercussions socials que tingué la seua utilització de bon començament.*

*Aquesta activitat s'orienta a iniciar una breu reflexió, sobre algunes implicacions socials de la fixació sintètica del nitrogen. Es tracta d'un element fonamental per al desenvolupament dels éssers vius, ja que constitueix els seus components bàsics: aminoàcids i bases nitrogenades de l'ADN. En el llenguatge bioquímic s'anomena nitrogen fix el que es troba en formes metabòlicament actives, com ara amoníac, ions amoni i oxoanions diversos com els nitrats i els nitrits. L'abundor de nitrogen diatòmic elemental en l'aire no és garantia per a un adequat nodriment d'aquest bioelement. Els éssers humans ens proveïm de nitrogen fix a través dels aliments rics en proteïnes, com la carn i el peix o els mateixos vegetals. Però no totes les plantes poden utilitzar el nitrogen molecular de l'aire. Només les lleguminoses, gràcies a uns bacteris que tenen als nòduls de les arrels, poden metabolitzar el nitrogen, ja que posseeixen l'enzim nitrogenasa que catalitza la reacció. La síntesi de Haber-Bosch fou el primer pas donat per la comunitat científica cap a la superació d'aquesta greu mancança i possibilitar la producció massiva de fertilitzants per a la majoria de les plantes que no sintetitzen amoni. L'objectiu bàsic d'aquesta tècnica fou, doncs, assegurar unes bones collites per tal d'abastir la població amb els ali-*

*ments necessaris. Paral·lelament, però, s'enceten d'altres vies de síntesi, ja que l'amoníac és la base per a fabricar àcid nítric i aquest ho és per a l'estratègica indústria dels explosius i la no menys important dels colorants sintètics.*

*En el text apareixen les condicions socio-econòmiques de començament de segle a Europa, tot just culminada l'època de la revolució industrial i les greus conseqüències socials i estratègiques que se'n derivaren, quan la fam imperial de les potències europees encara no s'havia pogut aturar.*

*Entre els desavantatges de la producció de fertilitzants nitrogenats hi ha els efectes secundaris de contaminació ambiental, ja que la seua descomposició a l'atmosfera produeix òxids de nitrogen, que originen, entre d'altres efectes nocius, la temuda pluja àcida. De les conseqüències del seu abús en parla el text en referir-se a l'eutrofització dels llacs i els efectes dels nitrats i nitrits sobre la potabilitat de les aigües de consum humà.*

*Tot plegat, aquest breu text permet eixamplar les perspectives socials d'un tema que sovint es veu restringit a detalls tècnics allunyats de l'interès immediat dels alumnes i és especialment indicat per a estudiants de química dels nivells superiors de l'ensenyament secundari i fins dels primers cursos universitaris.*

**A.67.** *Llegiu detingudament el text i feu-ne un esquema que resumeixi les principals idees de manera ordenada. A partir de la informació del text tracteu de contestar les qüestions:*

### LA DESTRUCCIÓ DE LA CAPA D'OZÓ

*Segons les teories actuals de l'evolució, la vida no hauria pogut desenrotllar-se en la Terra sense l'escut protector que representa la capa d'ozó. A l'atmosfera que envoltava la terra primitiva no hi havia oxigen i a la superfície arribaven radiacions ultravioleta molt intenses que feien impossible tota forma de vida. Hom creu que l'origen de la vida es troba al mar perquè no existien d'altres condicions favorables en tot el planeta: l'aigua absorbeix totes les radiacions UV que no arriben a certa profunditat i s'hi donarien les condicions òptimes per al desenvolupament dels primers organismes vius.*

*En el transcurs de l'evolució, van aparèixer els organismes fotosintètics, capaços de produir oxigen, que s'anà acumulant a l'atmosfera. Les radiacions UV del Sol activaren les molècules de dioxigen i es formaren molècules de trioxigen, l'ozó. A partir de llavors, l'increment d'ozó a l'atmosfera comença a fer de filtre de les radiacions UV nocives per a la vida, ja que s'hi estableix un equilibri entre les molècules de dioxigen i les de trioxigen. Llavors la vida originada al mar comença a eixir i poblar la terra.*

*Actualment a la comunitat científica tothom admet que la vida com la coneixem existeix gràcies a la capa d'ozó, per això la destrucció d'aquest filtre únic podria ser nefasta, sobretot per a la vida humana.*

L'ozó es forma de manera natural a partir del dioxigen molecular. A l'estratosfera hi ha fotons amb energia suficient per a trencar les molècules i produir oxigen monoatòmic:  $O_2 + h\nu = 2 O$ . Els àtoms d'oxigen són molt reactius i quan xoquen entre ells reconstrueixen les molècules  $O_2$ , però també poden xocar amb les molècules diatòmiques en condicions de radiació més energètica (UV) i formen trioxigen, segons la reacció:  $O_2 + O + h\nu = O_3$ . Igualment les molècules de trioxigen poden xocar amb àtoms solts i trencar-se tot formant més dioxigen:  $O_3 + O = 2 O_2$ . Aquesta darrera reacció no és tan ràpida com les altres. Per tant, globalment considerades, aquestes reaccions mostren com l'ozó està formant-se i destruint-se de manera natural i podem dir que s'hi assoleix un equilibri estacionari que fa que hi haja una reserva d'ozó a l'estratosfera, a causa de la diferència de velocitat entre les reaccions de formació i de destrucció de l'ozó, que acaben donant una concentració d'ozó constant. Com la formació d'ozó depèn de la intensitat de les radiacions, que creixen amb l'altitud, i de la concentració de dioxigen, que disminueix amb l'altitud, les quantitats màximes d'ozó es mesuren a una altura determinada: el 80 % de l'ozó es troba entre 10 i 30 km a l'estratosfera, mentre que entre 0 i 10 km només n'hi ha el 10 % del total i més enllà dels 35 km hi ha l'altre 10 %. La capa d'ozó és extremadament tènue i no es distribueix de forma homogènia per l'espai, ja que és més gruixuda als pols i s'aprima cap a l'equador. Però també varia segons l'època de l'any: la concentració d'ozó és mínima a l'hivern i assoleix quantitats màximes cap a la primavera, març-abril a l'hemisferi nord i setembre-octubre a l'hemisferi sud. La major intensitat de les radiacions produeix més ozó a l'equador, però sembla que els corrents d'aire el desplacen cap als pols on és més abundós.

Cap a la fi dels anys seixanta s'identificà el monòxid de nitrogen (a l'atmosfera només n'hi ha traces) com a catalitzador de la destrucció de l'ozó, per això l'augment d'NO a l'alta atmosfera pot ocasionar un descens en la concentració d'ozó. Aquests coneixements alertaren del perill que suposaven els projectes d'avions supersònics, en investigació durant els anys 70, ja que aquests avions cremen gasos a l'alta atmosfera i poden alliberar quantitats significatives de monòxid de nitrogen. Per sort les dificultats econòmiques han paralitzat la viabilitat d'aquests projectes, però hi ha d'altres maneres d'augmentar l'NO, com l'abús dels adobs nitrogenats.

Els compostos clorofluorocarbonats (CFC), com el  $CFCl_3$  o el  $CF_2Cl_2$  (freons), molt usats en aerosols i refrigerants es descomponen fotoquímicament i alliberen àtoms de Cl lliures, que catalitzen la destrucció de l'ozó molt més efectivament que l'NO. Una volta abandonats a l'atmosfera tarden entre 10 i 15 anys en arribar a l'estratosfera, perquè tenen una velocitat de difusió lenta, però la seua vida mitjana supera els 100 anys, per la qual cosa la seua acció es retarda un

temps, però és com una bomba d'efecte retardat, ja que una sola molècula de CFC destrueix 100.000 molècules d'ozó.

L'any 1974, S. Rowland i M. Molina de la Universitat de Califòrnia, van avisar per primera vegada de les greus repercussions que tindrien sobre la capa d'ozó els abocaments a l'engròs i descontrolats de CFC, iniciats l'any 1960. L'any 1978 els EUA, Suècia, Noruega, Finlàndia, Suïssa i Canadà prohibiren la utilització de CFC en aerosols. El 1985 es reberen les primeres fotografies del satèl·lit de la NASA que indicaven una pèrdua d'ozó del 16 % respecte a l'any anterior, a banda de revelar les dimensions del forat del pol sud d'una extensió de 4,5 milions de km<sup>2</sup>, més o menys la meitat de la superfície dels EUA. El 1986 es detectà una altra disminució al pol nord, que anava des de Noruega fins a Sant Petersburg. Actualment s'ha detectat un forat més important encara que el de 1986 i s'ha demostrat la relació entre la disminució d'O<sub>3</sub> i l'abocament de CFC. La C.E. per als anys 89-90 ha proposat reduir el 85 % la producció i el consum de CFC. La Conferència Internacional sobre substàncies destructores de la capa d'ozó acordà el juliol de 1990 l'eliminació total per a l'any 2000 de la producció dels CFC.

L'aprimament de la capa d'ozó té com a conseqüències una penetració major de les radiacions UV, la qual cosa provoca un augment de càncer a la pell, danys oculars, disminució de les defenses immunològiques i l'augment consegüent d'infeccions. L'excés de radiació UV posaria en perill el desenrotllament dels peixos, crustacis i mariscs i provocaria una caiguda espectacular de les produccions agrícoles. A més la capa d'ozó influeix decisivament en el clima, ja que absorbeix totes les radiacions UV, evita que la calor arribe a la superfície i regula la temperatura de la Terra.

- Q1. ¿Per què les reaccions químiques que ocorren a l'alta atmosfera (per dalt dels 30 km) no són habituals a la superfície terrestre?
- Q2. ¿Quin efecte produeix un augment de la concentració de Cl i NO a l'alta atmosfera?
- Q3. ¿Per què l'ús d'un excés d'adobs nitrogenats afecta la capa d'ozó?
- Q4. Hauríem d'esperar que a l'equador la capa d'ozó fóra més gruixuda, per rebre més quantitat de radiació, ja que els raigs solars hi incideixen verticalment. Tanmateix les primeres mesures han demostrat que a la banda equatorial la concentració d'ozó és més baixa que als pols. ¿Com explicaríeu aquest fet?
- Q5. ¿Quines mesures es podrien adoptar per a resoldre el problema?

FONT: Seminari Permanent de Física i Química. Química COU. Programas de actividades. Nau Llibres. València. 1991.

OBJECTIUS: Relacions CTS. Repercussions socials de la ciència.

NIVELLS: 17-18.

**COMENTARIS**

*Proposem aquest extens text a manera d'exercici de comentari. Tot i que es tracta d'una activitat sobre química ambiental referida a un problema de gran actualitat, hem considerat interessant la seua inclusió, com a exemple il·lustratiu de com es poden plantejar aspectes que atraguen l'atenció de l'alumnat i proposen l'estudi de casos reals de gran transcendència. Podem dir que s'hi mostra una visió de la història recent dels avanços de la ciència en el coneixement i detecció de problemes la solució dels quals implica per igual als diferents sectors de la societat i la formació dels alumnes en el coneixement i conscienciació sobre la importància de preservar l'entorn natural pot ser una via adequada per a trobar les solucions al problema de la destrucció de la capa d'ozó i a d'altres de semblants.*

**A.68.** *Llegiu i comenteu el text següent:*

### **ELS QUÍMICS ESPANYOLS DE COMENÇAMENTS DEL SEGLE XX**

*Amb el regnat absolutista de Ferran VII, a començaments del segle XIX, l'activitat científica espanyola experimentà una davallada i no conegué un ressorgiment gradual fins que s'inicià una nova etapa amb la Restauració del 1875 que es perllongaria fins a la desfeta de 1936-39. Després de la Il·lustració, que havia comptat amb contribucions de prestigi com les dels germans Elhuyar o d'Andrés del Río i s'havia acollit científics com Proust o Chabaneau, la química espanyola havia sofert un estancament que no seria superat fins que començaren a desenrotllar la seua labor investigadora les generacions nascudes cap a finals de segle, formades a les universitats i a les noves institucions que apareixerien els primers decennis del segle XX.*

*Tanmateix, el segle XIX no fou del tot estèril i, quan a tota Europa s'estava desplegant la química com a ciència moderna de forma vertiginosa, ací comptàvem almenys amb científics com José Ramón de Luanco (1825-1905), d'origen asturià, que fou catedràtic de química a Barcelona i el principal responsable de la renovació conceptual de la disciplina a Espanya, ja que a partir de 1868 introduí la teoria unitària, la teoria atòmico-molecular i el concepte de "valència".*

*Les noves condicions de la Restauració no foren especialment favorables al lliure pensament pel predomini de la ideologia conservadora, encara que la superació dels períodes d'inestabilitat política permeté la realització d'un treball més assossegat i, sovint a contracorrent, s'imposaren els nous criteris d'independència intel·lectual. Entre els científics que desenvoluparen la química a l'estat espanyol a començaments del segle destaquen:*

*Eugenio Piñerúa Álvarez (Toro 1854-1937). Químic i farmacèutic. Treballà com a perit a una fàbrica d'explosius i publicà nombrosos treballs d'anàlisi química de metalls i productes orgànics. Fou catedràtic de la universitat de Santiago (1890). Assistí al VII Congrés Internacional de Química Aplicada de Londres (1909).*

*Vicente Lavilla Llorens (Saragossa 1867 - València 1922). Professor de química orgànica i catedràtic de les universitats de València i Madrid. Estudià les amines cícliques, els compostos acetilènics i els carburs metàl·lics. L'any 1913 fou president de la Societat Espanyola de Física i Química.*

*José Casares Gil (Santiago de Compostella 1866-1961). Químic i farmacèutic. Fou catedràtic d'anàlisi química i degà de les facultats de Farmàcia de Barcelona i Madrid. Estudià a Alemanya amb Berde, Hobein i Bayer i als EUA. Fou senador en representació de la universitat de Santiago, president dels instituts Alonso Barba i Santa Cruz del CSIC i un dels fundadors de la Societat Espanyola de Física i Química. Publicà i traduí nombrosos tractats d'anàlisi d'aigües, de química elemental i farmacèutica. L'any 1956 va rebre el premi de química de la Fundació Joan March.*

*Antonio de Gregorio Rocasolano (Saragossa 1873-1941). Químic i fisiòleg. Treballà en bioquímica i química de col·loides i estudià el moviment brownià. Fou professor de química i vice-rector de la universitat de Saragossa, on fundà i dirigí el prestigiós Laboratori d'Investigacions Bioquímiques. Publicà diversos tractats de química, un d'ells en companyia de Lavilla, i nombrosos treballs sobre col·loides. Rebé la Creu d'Alfons el Savi.*

*Els treballs de Rocasolano foren divulgats a la universitat de València pel seu paísà Luis Bermejo Vida (1880-1941) on durant els primers decennis del segle fou catedràtic de química analítica. També escriví prestigiosos manuals de química, un d'ells en col·laboració amb Rocasolano. Traslladat a la universitat de Madrid, fou Ministre d'Instrucció Pública i els anys 30 es dedicà a investigar sobre el petroli i combustibles líquids i arribà a ser conseller de la Companyia Espanyola de Petrolis.*

*Enric Moles i Ormella (Barcelona 1883-Madrid 1953) es doctorà en farmàcia a Barcelona amb una tesi sobre procediments d'anàlisi de silicats (1906), i després es doctorà en física a Ginebra amb un treball sobre la revisió de la massa atòmica del brom (1916). Fou catedràtic de química inorgànica i química física a la universitat de Madrid, i el 1931, cap de l'Institut Nacional de Física i Química. Participà com a delegat en una comissió internacional per a l'establiment de les masses atòmiques. Acabada la guerra de 1936-39 conegué un breu exili a França i, en tornar, va ser depurat pels vencedors.*

*D'altra banda cal destacar la tasca desenvolupada per la Mancomunitat de Catalunya amb la preocupació per la formació de tècnics i la creació de laboratoris de química. Així nasqué el 1917 l'Institut de Química Aplicada, dirigit pel químic i farmacèutic Josep Agell i Agell (1882-1973), que donà un gran impuls a la naixent indústria química catalana. A través d'aquesta institució arribaren a impartir cursos i conferències alguns dels químics més destacats de l'època*

com Jean Perrin, el premi Nobel de Química Paul Sabatier, l'alemany Ostwald (fill) i els ja esmentats Rocasolano i Moles. L'adveniment de la Dictadura de Primo de Rivera, l'any 1923, significaria la fi de l'Institut de Química Aplicada.

- Q1. Comenteu quin paper representà la universitat espanyola com a institució que irradià els coneixements científics a partir del segle XIX i indagueu quines altres institucions hi intervingueren.
- Q2. Comenteu quins motius podria tenir un règim dictatorial per a cancel·lar de forma contundent una labor formativa de caire científic, tal com s'esdevingué a Espanya l'any 1923.

*FONT: Elaboració pròpia.*

*OBJECTIUS: Contribucions dels científics espanyols. Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 17-18.*

### **COMENTARIS**

*Per tal de completar la visió general dels moments més lúcids de la ciència hispànica, proposem aquesta breu revisió d'alguns noms de químics espanyols, certament poc divulgats, que, generalment des de la institució universitària, contribuïren amb notables treballs de recerca en camps com la química analítica inorgànica i orgànica o la bioquímica. El segle XIX representà un salt qualitatiu gegantesc en el desenvolupament de les ciències químiques i, entre l'ingent treball de camp necessari per a caracteritzar nombroses substàncies i reaccions químiques, la determinació de masses atòmiques, etc., no falten, com podem veure, algunes modestes contribucions fetes, entre d'altres, des de les universitats de Saragossa, Barcelona, Santiago, Madrid i València. La contribució d'organismes com la Mancomunitat de Catalunya (1914-1925) significaria el començament d'una visió nova amb el desig de superar les mancances en la formació de científics i tècnics, que llavors ja era percebuda com un retard quasibé crònic causant del poc prestigi de les contribucions de la ciència hispànica, però l'embranchida seria aturada per les conseqüències humanes, socials, econòmiques i polítiques de la derrota del projecte de modernització de la societat espanyola que significà la II República.*

## **QUÍMICA ORGÀNICA**

**A.69.** *Llegiu i comenteu el text següent:*

### **ELS ORÍGENS DE LA QUÍMICA ORGÀNICA**

*Des de fa milers d'anys hem après a extraure dels sers vius substàncies útils, com ara els greixos i els olis que es feien servir com a combustibles, pigments de les fulles i de les flors com a colorants, verins d'origen animal i vegetal i molts d'altres.*

Durant el segle XVIII el desenrotllament de la química va permetre d'observar una diferència fonamental entre les substàncies que procedien del món mineral -no viu- i les que procedien de la matèria viva o que ho havia estat. Una diferència bàsica és que les substàncies minerals poden suportar tractaments energètics en les condicions ambientals. L'aigua la podem bullir i condensar de nou, el ferro o la sal es poden fondre i solidificar sense canviar, mentre que la matèria d'origen biològic o orgànic -dels "organismes"- no pot suportar certa mena de tractaments. Si escalfem el sucre, encara que no arribe a cremar, fa fum i es carbonitza i el resultat ja no és sucre ni s'hi pot reconvertir fàcilment. Cap a l'any 1807, a partir d'aquestes i d'altres observacions, el químic suec Jöns Jakob BERZELIUS (1779-1848) va proposar una classificació de les substàncies en orgàniques i inorgàniques.

Tanmateix hi havia un aspecte que llavors preocupava els químics i era que les substàncies orgàniques es podien convertir fàcilment en inorgàniques per escalfament o d'altres procediments, mentre que el canvi a l'inrevés era desconegut. Aquesta dificultat per a la síntesi de matèria orgànica a partir de la matèria mineral va fer que es considerara la vida com un fenomen especial que no obeïa les lleis de l'univers tal com regien per al món inanimat. Aquesta creença s'anomenava vitalisme i suggeria que calia una influència especial, l'anomenada força vital, per a convertir els materials inorgànics en orgànics.

El problema el començà a resoldre un ajudant de Berzelius, el químic alemany Friedrich WÖHLER (1800-1882), que el 1828 va sintetitzar per primera vegada un compost orgànic, la urea, a partir del mineral isocianat d'amoni per escalfament prolongat segons l'equació:  $\text{NH}_4^+ (\text{O}=\text{C}=\text{N})^-$  (isocianat d'amoni)  $\rightarrow$   $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$  (urea).

Amb aquesta experiència encetava de forma simbòlica el camí transcendental de la síntesi orgànica, gràcies a la qual avui podem obtenir al laboratori i a la indústria nombroses substàncies que abans només es podien obtenir a partir de matèria viva. Un exemple n'és la síntesi d'un famós antibiòtic: la penicil·lina, aconseguida l'any 1957 per J. C. SHEEHAN, que ja havia estat aïllada a partir del cultiu d'un fong, el *Penicillium notatum*, per Alexander FLEMING el 1929. Igualment s'obria la possibilitat de sintetitzar substàncies orgàniques noves i d'altres que sense tenir relació amb el món viu, com els plàstics, les devem als coneixements adquirits en química orgànica.

Si pensem que la vida va aparèixer al nostre planeta quan tenia uns 1500 milions d'anys i que han calgut 3000 milions d'anys més per a aplegar a l'estat d'organització de la matèria viva actualment present, no ens ha d'estranyar que faça només uns cent anys que els humans hem après a sintetitzar productes orgànics a partir dels inorgànics.



- Q1. Comenteu altres exemples de teories que, com el vitalisme, al llarg de la història s'han oposat a una visió unitària del comportament de la matèria.
- Q2. Esbrineu quines substàncies orgàniques d'ús quotidià són d'origen sintètic i han substituït d'altres que abans s'obtenien de forma natural.
- Q3. Realitzeu un breu assaig sobre la vida i treballs de Friedrich Wöhler.

*FONT: Calatayud, M.L. et al. Química COU. Programas-guía de trabajo para la clase activa. ICE. Universitat de València. 1979.*

*OBJECTIUS: Evolució dels coneixements científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*L'inici de la química orgànica amb un enfocament que plantege els orígens d'aquesta singular branca del coneixement de les substàncies potser una ocasió interessant per a mostrar la forma com evoluciona la ciència. La persistència de velles hipòtesis com la de la força vital (vitalisme) representà un fre a l'entrada en l'immens camp de les substàncies orgàniques que, un colp vençut, aportà un dels episodis més fructífers de l'evolució de la química. Aquesta hipòtesi és un exemple més de les antigues concepcions que aplicaven esquemes conceptuals diferents a fenòmens sense relació aparent, com la separació aristotèlica del món terrestre i el món celeste, o l'antiga distinció entre els fenòmens elèctrics i els magnètics, que perviu en la dualitat de la nomenclatura.*

*La possibilitat de sintetitzar les substàncies com la urea significà un pas més cap a la visió unitària en el comportament de la matèria i l'accés a un nou món, com ara la imitació de la naturalesa en el disseny i producció de determinades substàncies especialment útils que tindria alguns dels efectes més beneficiosos en la producció de medicaments d'estructura molecular complexa, com la penicil·lina, més fàcilment accessibles des d'un laboratori o una instal·lació industrial que del conreu artesà a partir d'un fong. Podem aprofitar el cas per a mostrar l'enorme desenvolupament que ha fet falta per a millorar el coneixement detallat de l'estructura molecular, abans de poder arribar a reeixir en un propòsit tan complex com el que comentàvem d'imitar la natura. Per això, més enllà de mostrar simplement l'espectacularitat d'algunes aplicacions de la química orgànica, hem de ser conscients del volum i importància dels coneixements desenvolupats per a la caracterització correcta del bosc immens que representen les diverses funcions orgàniques i les complexes reaccions químiques en què s'hi veuen involucrades.*

**A.70.** *Llegiu i comenteu les següents referències biogràfiques del químic alemany Justus Liebig:*

#### **LIEBIG: UN ALUMNE DOLENT ESDEVÉ UN GRAN QUÍMIC**

*De petit JUSTUS LIEBIG (1803-1873) no fou pas un model massa digne d'imitar. Era entremaliat i les seues poques ganes de treballar desesperaven els seus mestres i els seus pares. Un dia enmig de la*

classe arribà a fer explotar fulminat de mercuri davant dels nassos del professor quan aquest provava de fer-lo fora.

Però aquest deixeble impetuós i rebel tenia passió per la química. A la biblioteca del seu poble (Darmstadt, Alemanya) devorava totes les obres que tractaven d'aquesta ciència. El seu entusiasme mai no va defallir i millorà de tal manera que aconseguí l'autorització de son pare per a anar a estudiar a París amb els millors químics de l'època (Gay-Lussac, Dulong, Thénard...) Liebig aprofità la seua estada a França en un moment d'esplendor de la química en aqueix país.

Liebig destacà en el disseny d'un nou mètode d'anàlisi que es troba a l'origen de l'expansió de la química orgànica. Es tracta de l'anàlisi per oxidació amb òxid de coure i mesura de les quantitats de diòxid de carboni i aigua que s'hi obtenen, a fi de determinar el seu contingut en carboni i hidrogen. També contribuí a descobrir el fenomen de la isomeria de les molècules orgàniques i a ell devem la primera idea de radical químic.

Però el camp preferit de Liebig fou la química aplicada i estudià els greixos i els albuminoides (nom antic de les proteïnes) i posà de moda els productes a base d'extractes de carn. Investigà l'origen de l'aroma dels vins, dissenyà un mètode d'emblanquiment de paper amb ozó i un procediment per argentar el vidre. Estudià també l'àcid úric, l'àcid tartàric i l'oxidació de l'alcohol a àcid acètic.

Tenia molts deixebles i creà un laboratori-escola a la universitat de Giessen, el primer d'Europa.

Malgrat ser un químic de prestigi, pel seu caràcter es barallà sovint amb la major part de col·legues i arribà al trencament de relacions amb Berzelius l'any 1844.

(Tret de Massain, Chimie et chimistes. Magnard. París. 1982)

- Q1. Liebig és un dels científics que podem anomenar pioners de la química orgànica. Indagueu quins altres científics de l'època contribuïren a desenvolupar aquesta branca de la química.
- Q2. Sovint tenim una imatge mitificada dels científics, com si no foren sers humans com els altres. Destaqueu alguns aspectes de la vida de Liebig que mostren el seu rostre més humà.

*FONT: Elaborat a partir de Massain, R. Chimie et chimistes. Magnard. París. 1982.*

*OBJECTIUS: Biografies de científics. Evolució de la ciència.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

Tot i que sovint les biografies dels científics es presenten a manera de vides exemplars, com en el llibre de Massain, podem aprofitar alguns aspectes positius d'aquests relats si els contextualitzem per mitjà del comentari que ha de servir per a fer reflexionar els alumnes. El cas de Liebig és interessant per a remarcar els seus trets

*més humans, que el mostren com a personatge amb una infantesa entremaliada, cosa gens extraordinària, però alhora apassionat per descobrir els coneixements sobre la química, a la que d'adult es dedicaria en plenitud. Els seus treballs revelen un home inquiet i entregat a la seua vocació científica, però també d'un caràcter difícil que el portà a enfrontaments estèrils amb els seus contemporanis i l'enemistà amb Dumas i, sobretot, amb Berzelius, un dels químics de major prestigi del seu temps.*

**A.71.** *Llegiu i comenteu aquest text on el químic alemany Friedrich August Kekulé (1829-1896) conta com se li acudiren algunes idees que després féu servir en els seus treballs:*

### LES CABÒRIES DE KEKULÉ

*Una vesprada agradable d'estiu tornava en el darrer òmnibus, "capficat", com era habitual, a través dels carrers de la ciutat, que en altres moments estaven tan plenes de vida. Em va venir el son i vaig somniar que els àtoms es bellugaven enjogassats davant dels meus ulls. Aquests éssers menudets sempre se m'havien aparegut en moviment; però fins aleshores mai no havia estat capaç de discernir la naturalesa del seu moviment. Emperò, ara veia com, sovint, dos àtoms petits s'unien i formaven una parella; com un de més gros n'abraçava a dos de més petits; com uns, encara més grossos, en subjectaven tres i fins a quatre dels més menuts mentre tot el conjunt es mantenia pegant voltes en una dansa sensual. Vaig veure com els majors formaven una cadena, arrossegant els més petits darrere d'ells, però només en els extrems de la cadena...*

*El crit del conductor "Clapham Road" em despertà del meu somni; però vaig emprar part de la nit en escriure en un paper almenys fragments de les formes somniades. Aquest fou l'origen de la teoria estructural.*

*Estava assegut escrivint al meu llibre de notes; però el treball no progressava, perquè tenia el cap en qualsevol altre lloc. Vaig girar la cadira cap al foc i em vaig endormiscar. De bell nou els àtoms saltironaven davant dels meus ulls. Ara els grups més petits es mantenien discretament en un segon pla. El meu ull mental, que havia esdevingut més agut per les visions repetides d'aquesta mena, ara podia distingir estructures majors de la configuració principal: cadenes llargues, de vegades a punt d'unir-se; totes pegant voltes i retorçant-se en un moviment com el d'una serp. Però ull! Què és això? Una de les serps es mossega la seua cua, i la forma en espiral fa befa davant dels meus ulls. Em vaig despertar en un llamp; i aquesta vegada també vaig emprar la resta de la nit analitzant les conseqüències de la hipòtesi.*

*Aprenquem, doncs, dels somnis, senyors; llavors potser trobarem la veritat... però tinguem cura de no publicar els nostres somnis abans de posar-los a prova per un enteniment despert.*

(Tret dels escrits de Kekulé (1890) titulats "El somni de Kekulé")

- Q1. Molt sovint es contenen anècdotes com la que relata el mateix Kekulé en aquest text. ¿Creieu que un simple somni pot ser l'origen d'una teoria científica? ¿Quina explicació lògica podríem donar als somnis de Kekulé?
- Q2. Expresseu la vostra opinió sobre el paper de l'atzar en les contribucions dels científics.

FONT: Text de Kekulé, A. "El sueño de Kekulé". Citat per Bailar, J. C. et al. *Química*. Vicens-Vives. Barcelona. 1983.

OBJECTIUS: Evolució de les idees científiques. Contextualització de les anècdotes.

NIVELLS: 16-18.

### COMENTARIS

El paper de l'atzar en l'evolució de la ciència o la magnificació de certs relats anecdòtics és un aspecte interessant per a reflexionar amb els alumnes. Tot sovint es magnifica la importància de determinats fets casuals que serien la base de nombrosos treballs, com la famosa caiguda de la poma de Newton. L'anècdota de Kekulé, sovint referida en molts llocs, té certa credibilitat, atès que es basa en aquest text autobiogràfic. Tanmateix és lògic explicar l'origen dels seus somnis i els seus capficaments, com ell mateix insinua i no és estrany que després de ballar-li pel cap moltes idees sobre com resoldre l'estructura de les molècules arribés a somniar en elles. No té tampoc res d'extraordinari que aquests somnis, sovint recordats, li serviren d'inspiració per a resoldre un problema en el que duria setmanes, o potser mesos, pensant. Així, una vegada més, l'atzar ajudaria especialment aquells que s'hi fiquen en el camí de resoldre un problema i li dediquen el temps suficient. Tot i això, no oblidem les darreres paraules del fragment, on el mateix Kekulé adverteix de la necessitat de reconsiderar-ho tot una vegada ben desperts.

**A.72.** Llegiu i comenteu aquesta biografia del químic Linus Pauling:

### LINUS PAULING, UN SEGLE DEDICAT A LA QUÍMICA

El químic nord-americà LINUS CARL PAULING nasqué a Portland (Oregon) amb el nou segle, l'any 1901, i ens ha deixat fa poc (1994). Estudià al California Institute of Technology i durant els anys 1922-1927 viatjà a Europa (Munic, Copenhaguen i Zuric), on es pogué relacionar amb l'avantguarda de la química i la física del moment (Schrödinger, Bohr,...).

En tornar als EUA fou director del CIT, ja esmentat, i de la prestigiosa American Chemical Society (1949). Introduí la mecànica quàntica a la química atòmica i elaborà una teoria de l'enllaç químic que reflecteix en la seua obra cabdal "La naturalesa de l'enllaç químic" (1939) de referència imprescindible. També publicà una "Química general", l'any 1947, molt remarcable. Sugerí la possibilitat que les molècules proteiques tingueren una estructura helicoidal i contribuí a l'estudi de l'hemoglobina anòmala que deforma els glòbuls

vermells i provoca la malaltia coneguda com a anèmia falciforme. L'any 1954 fou guardonat amb el Premi Nobel de Química.

Però, a banda de llurs inestimables contribucions al coneixement de l'estructura molecular, destaca la seua personalitat afable i la seua feroç i compromesa oposició al desplegament de la guerra atòmica, per la qual cosa organitzà nombroses campanyes contra els experiments nuclears. L'any 1952 va ser víctima de la persecució encetada per McCarthy contra intel·lectuals acusats d'antipatriotes i li fou retirat el passaport. En plena guerra freda, publicà "No More War!", l'any 1958. Això el convertí en una de les poques persones que tornava a rebre un Premi Nobel, ara d'un àmbit ben diferent, el de la Pau de 1962.

- Q1. A partir de l'exemple de Pauling, comenteu el paper de la ciència i els científics en la utilització de les noves tecnologies.
- Q2. Busqueu informació sobre científics que hagen adoptat postures pacifistes com la de Pauling i sobre d'altres hagen col·laborat obertament en la carrera armamentística.
- Q3. Esmenteu d'altres casos que conegueu de persecució de científics per motius ideològics.
- Q4. Busqueu informació sobre altres científics que hagen guanyat dues vegades el Premi Nobel.

*FONT: Grup "Jeroni Munyós" de Física i Química de la Ribera. 1996.*

*OBJECTIUS: Biografies contextualitzades. Implicacions socials de la ciència i els científics.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Linus Pauling és un exemple interessant de científic compromès amb la societat que exercí un carisma inestimable en la defensa del pacifisme. Fou un treballador incansable i agosarat en les seues propostes de modernització de les teories sobre l'enllaç químic, encara poc desenvolupades a principis d'aquest segle, quan inicià la seua*

*carrera professional. La seua personalitat, d'un humanisme a vessar, el fa destacar com una de les grans figures del segle que pràcticament ha viscut de cap a cap. Una vegada més podem aprofitar aquest exemple per a difondre una imatge positiva de la ciència contemporània i dels científics que, de vegades, només apareixen, com un nom més o menys difícil de recordar, al costat d'una magnitud.*

*El cas de Pauling és l'únic dels guanyadors de dos premis Nobel en àmbits diferenciats, com els treballs científics i la lluita pacifista. Però hi ha d'altres casos, com el de Marie Curie que guanyà el Nobel de Física l'any 1903, compartit amb Pierre Curie i Henri Becquerel, per llurs treballs sobre la radioactivitat, i tornà a rebre el Nobel de Química l'any 1911, per l'aïllament del radi pur. També hi ha el físic John Bardeen, l'únic que ha rebut dos premis Nobel de Física, l'any 1956, pels treballs sobre el transistor, compartit amb W. Shockley i W. H. Brattain, i l'any 1972, pels treballs sobre la superconductivitat amb L. Cooper i J. R. Schrieffer.*

*A banda de les ressenyes biogràfiques habituals, podem trobar més informació sobre la figura de Linus Pauling en un article d'ell mateix publicat al periòdic "El País" (14-9-1994, pàg. 32) i al número especial que li ha dedicat la revista "Journal of Chemical Education" el gener de 1996 (volum 73 (1), p. 2-32) amb diversos articles i una entrevista que li van fer George i Laurie Kauffman.*

**A.73.** Llegiu i comenteu el text següent:

### ELS COLORANTS I EL DESENVOLUPAMENT DE LA INDÚSTRIA QUÍMICA

*El segle XIX veié l'aparició de nombrosos pigments colorants nous, a mesura que els químics avançaren en el coneixement dels compostos i aprengueren a imitar els productes naturals. Paral·lelament s'hi produïren grans innovacions en la fabricació de tints per als teixits. La gran admiració que avui dia desperten els gran avanços tecnològics de l'electrònica i la informàtica, llavors era provocat per la incipient indústria dels colorants.*

*Però la indústria química dels colorants no hauria estat possible sense els avanços en el desenvolupament de la química orgànica. La difusió dels mètodes de tenyiment per tota Europa s'esdevingué alhora que s'hi estenien els nous principis químics. En la tasca d'aprofundiment de la química dels colorants hem d'esmentar la iniciativa de tres joves emprenedors: Perkin, Levinstein i Caro.*

*William Perkin (1838-1907) tenia 18 anys quan inicià els treballs que el conduïren a la síntesi d'un colorant a partir de l'anilina. El seu professor de química al Royal College de Londres, August Hofmann, l'encoratjà a sintetitzar la quinina, producte natural que curava la malària. A partir de la destil·lació del quitrà assajà l'obtenció de quinina sense gaire èxit. Llavors provà a partir d'una mostra més purificada, que contenia bàsicament anilina (fenilamina) i la reacció produí una substància de color porpra que tampoc no era quinina. En vista del fracàs, i com que el color porpra estava de moda, dirigí la investigació a verificar si aquell colorant aprofitava com a tint de la*

roba. Així aconseguí patentar el primer colorant artificial de la història i, amb l'ajut de son pare i el seu germà, es dedicà a la seua fabricació industrial. El procés que finalment va patentar començava amb l'obtenció de benzè per destil·lació del quitrà, la nitració del benzè i la reducció del nitrobenzè a fenilamina, que en oxidar-se produïa el porpra d'anilina. L'èxit del seu mètode revolucionà el món de la moda i el seu colorant experimentà una forta demanda, que alhora estendria la recerca de colorants artificials d'altres colors.

Un altre estudiant, l'alemany Ivan Levinstein (1845-1916), inicià a la Gewerbe Akademie de Berlín, la recerca de nous colorants basats en l'anilina. El 1864 començà a fabricar el verd d'anilina a nivell industrial. Traslladat a Manchester, un dels centres de la indústria tèxtil anglesa, obtingué un altre colorant, el vermell d'anilina. Anys més tard, el 1926, la companyia que havia fundat s'integrà en les naixents Imperial Chemical Industries (ICI), que esdevingué un dels grups industrials més importants de l'època.

També fou decisiva la intervenció d'un altre jove alemany, Heinrich Caro (1834-1910), que veié en la fabricació de tints un enorme potencial econòmic i, després de treballar durant 7 anys com a gerent d'una fàbrica de colorants a Manchester, tornà a Alemanya on s'uní a la recentment constituïda Badische Anilin und Soda Fabrik (BASF), una altra de les indústries químiques de primer rang que encara avui persisteix.

(Adaptat de *Salter's Advanced Chemistry Storylines*, p. 213-215).

- Q1. Busqueu informació sobre diferents substàncies naturals que tradicionalment s'han fet servir com a colorants i tints.
- Q2. Escriviu les reaccions que condueixen a l'obtenció de l'anilina a partir del benzè i expliqueu de quins tipus de reaccions es tracta en cada cas.
- Q3. En el text hem vist un cas històric d'influència de la ciència i la tècnica que ha estat fructífera per al progrés mutu. Esmenteu altres casos d'influència mútua que conegueu.

*FONT: Elaborat a partir de textos de Burton, G. et al. Salter's Advanced Chemistry. Chemical Storylines. 1994.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*La segona gran embranzida de la Revolució Industrial tingué lloc durant la segona meitat del segle XIX i estigué molt vinculada al desenvolupament de l'electromagnetisme, amb la substitució de la força del vapor per l'electricitat, i a la química industrial, desenvolupada sobretot gràcies al desplegament de coneixements que comportà la síntesi de productes orgànics, iniciada simbòlicament per Wöhler amb l'obtenció d'urea, i continuada per Hofmann i el seu deixeble Perkin, amb el desenvolupa-*

ment de la química del benzè i els derivats nitrogenats com l'anilina, a partir de la qual s'obtenen diversos colorants artificials de gran eficàcia com a tints. Aquest exemple pot servir per a abordar les influències mútues de la ciència i la tècnica, ací en el cas de la química, i, en general, les relacions CTS en un moment històric especialment significatiu, ja que representaria la consolidació d'Alemanya com a principal impulsora del desenvolupament de la química, estatus que mantindria fins a la desfeta posterior al nazisme i la II Guerra Mundial, i potència encara representada per indústries actuals de llarga tradició com la BAYER o la BASF.

**A.74.** Llegeix i comenteu aquest text sobre l'origen d'alguns medicaments:

### LES MEDECINES NATURALS

La farmàcia moderna té els seus orígens en la cultura popular i la història de la medicina està farcida d'herbolaris i remeis casolans. Molts d'ells s'expliquen en el llenguatge científic actual i la indústria farmacèutica moderna burxa en les antigues contalles de l'àvia per veure si menen a la troballa de noves medicines.

Una d'aqueixes velles històries s'anomena la "Doctrina de les Sintònies" que proposa que les malalties sovint es poden curar si fem servir plantes que hi estiguen relacionades. Un exemple senzill és l'ús de fulles de paradella, herba que creix prop de les ortigues, per a curar la picor de l'ortiga. Tanmateix no s'ha trobat que això tinga cap validesa científica.

Es pensava que els terrenys pantanosos produïen febres, per això la corfa i les fulles del salze ploró que sovint hi creix es feien servir com a remei contra la febre.

Cap al 400 a.C. Hipòcrates recomanava un beuratge de fulles de salze per a curar el dolor del part. L'any 1763 un clergue anglès anomenat Edmund Stone feia servir la corfa del ploró per a rebaixar la febre. Basant-se en la "Doctrina de les Sintònies" argumentava: "Com que aquest arbre creix molt bé en terrenys humits o molls, on abunden les febres malàries, només podia aplicar la màxima general que molts remeis no es troben massa lluny de llurs causes".

La "Doctrina de les Sintònies" no és pas una teoria actual de la farmàcia, però sabem que la corfa i les fulles de salze tenen un compost que té efectes en la curació de les febres.

El segle XVII a Anglaterra es féu famós l'herbari de Nicholas Culpeper (1616-1654) en plena moda de la botànica astrològica. Creia que les plantes pertanyien a certs planetes i estrelles. També creia que els objectes celestes causaven les malalties i que aquestes es podien curar administrant-hi les plantes posseïdes per cossos contraris, o de vegades, per cossos afins. Al seu herbari, publicat a partir de l'any 1640 amb diferents noms, conté moltes referències al poder curatiu del salze. Segons Culpeper les fulles masegades amb pebre negre i begudes amb vi, ajuden a curar les flatulències. El salze pertany



a la lluna i té nombrosos efectes curatius, contra les hemorràgies i els vòmits.

Actualment sabem que la corfa de salze és l'origen del principi actiu a partir del qual s'obté l'aspirina.

(Adaptat de *Salter's Advanced Chemistry Storylines*, p. 101-102).

- Q1. Esbrineu el nom científic del salze i aclariu l'origen del nom del seu principi actiu i de l'aspirina.
- Q2. Escriviu les fórmules químiques del principi actiu del salze i de l'aspirina i identifiqueu-hi els principals grups funcionals.
- Q3. Busqueu informació sobre altres medicaments moderns que tinguen l'origen en algun remei casolà.

*FONT: Elaborat a partir de textos de Burton, G. et al. Salter's Advanced Chemistry. Chemical Storylines. 1994.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història. Evolució dels coneixements.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat es planteja reflexionar sobre l'origen popular de la potent indústria farmacèutica. Els remeis casolans, coneguts des de temps ancestrals, basats en el més pur empirisme, no han deixat per això de ser encertats en casos concrets, com el cas del salze, en què es feien servir com a vehicles per a principis químicament actius que modernament podem administrar de forma independent. L'àcid salicílic (àc. 2-hidroxibenzoic), així anomenat pel nom llatí del salze (*Salix alba*) o ploró, és la substància activa que s'extrau de la seua corfa i a partir d'ell es sintetitza l'àcid acetilsalicílic (àc. 2-acetobenzoic), un dels fàrmacs més populars conegut amb el nom comercial d'aspirina i usat pels seus efectes analgèsics, antipirètics i antireumàtics, en consonància amb l'ampli ús que se'n feia antigament. L'àcid salicílic també té aquest efectes però a més és tòxic i no es pot usar directament. La síntesi d'aquests fàrmacs la devem als treballs de Felix Hofmann desenvolupats per a l'empresa química Bayer. Quan l'ús de l'àcid salicílic començà a mostrar efectes secundaris no desitjats, Hofmann modificà la molècula d'àcid salicílic per aconseguir eliminar-ne els efectes nocius. El reuma de son pare li serví de banc de proves i finalment l'any 1898 obtingué l'aspirina. El nom significa: "a" d'àcid, i "spirin" de la paraula alemanya "spirsäure", àcid de la planta reina dels prats (*Spirea ulmaria*) d'on s'extraigué per primera vegada l'àcid salicílic l'any 1835.*

*Exemples d'altres substàncies conegudes popularment hi ha els extractes de quina, rics en quinina, o els efectes cardiotònics de la digitalina, obtinguda de les diferents varietats de digitals, a banda dels nombrosos opiacis, com la carabasseta de cascall, que antigament es feia servir per a tranquil·litzar els nadons quan ploraven massa.*

**A.75.** *Llegiu i comenteu aquest text sobre la importància de l'obtenció i difusió dels materials anomenats plàstics:*

### **ELS PLÀSTICS ENCETEN L'ERA DELS NOUS MATERIALS**

*Avui dia la investigació química es dirigeix a l'obtenció de noves substàncies sintètiques, és a dir, inexistents en la natura, que apleguen propietats interessants que de moment trobem en materials diferents. Un dels materials que s'investiga és l'obtenció de plàstics que siguin bons conductors del corrent elèctric. Però açò no seria possible sense el camí dut a terme des de començaments de segle en la producció creixent d'aquests materials artificials.*

*Amb el nom de plàstics identifiquem un garbuix de substàncies diferents (més de 60.000) amb propietats físiques i químiques característiques diverses però amb una coincidència: es tracta en tots els casos de substàncies polímeres, és a dir, formades per grans molècules que contenen una unitat bàsica repetida milers de vegades i que s'obtenen per síntesi en reaccions especials anomenades polimeritzacions.*

*En la natura també hi ha polímers com la cel·lulosa, el cotó, les gomes, o el cautxú i els plàstics s'han arribat a obtenir per imitació d'algunes d'aquestes substàncies. El primer plàstic produït de forma industrial fou el cel·luloide. L'impressor John Hyatt l'obtingué l'any 1869, a partir de la nitrocel·lulosa o cotó-pòlvora, però era força inflamable. La motivació fou una recompensa de 10.000 dòlars oferida per a trobar un substitut de l'ivori en la fabricació de boles de billar, però és evident que l'invent no resultava pràctic. Més tard s'obtingué la galatita (1897) a partir de la caseïna de la llet, però el primer polímer que imitava millor la natura l'obtidria Leo Hendrik Baekeland l'any 1909 i l'anomenà baquelita. La seua obtenció té lloc a partir de la polimerització del formaldehid. Des d'aleshores ençà la carrera per obtenir nous polímers no s'ha aturat: el 1915 s'obtingué l'acetat de cel·lulosa, el 1921 les resines ureiques, el 1928 les resines acríliques, el 1930 els poliestirens, el 1932 el poliacetat de vinil i el policlorur de vinil, el 1938 la buna, les poliamides i els poliuretans, el 1940 el polietilè de baixa densitat, el 1943 l'acronitril, el 1945 les silicones, el 1954 el polietilè d'alta densitat i el 1956 el polipropilè. Com a orientació, la producció anual de plàstics als EUA des del 1935 al 1985 s'ha multiplicat per 500.*

*Actualment la major part de materials que es fabriquen amb plàstics són d'un d'aquests sis productes: polietilè d'alta densitat, polietilè de baixa densitat, PVC (policlorur de vinil), poliestirè, polipropilè i tereftalat de polietilè (PET). La font actual de la majoria d'ells és el petroli o el gas natural.*

**Q1.** *Tracteu d'imaginar-vos la vostra habitació si de sobte desaparegueren totes les substàncies que estan formades per plàstics i feu una breu descripció dels canvis que s'hi produirien.*

- Q2. Recolliu alguns objectes de plàstic que tingueu per casa, com ara bosses, ampolles de begudes, bolígrafs, etc. i feu-ne una llista amb les propietats macroscòpiques més cridaneres: color, transparència, flexibilitat, elasticitat, duresa, resistència a l'estirament, etc. i assageu d'identificar quins objectes poden estar fets del mateix material.
- Q3. Escolliu un dels sis grans plàstics que actualment es fabriquen i féu un petit informe sobre la seua obtenció, les seues propietats i principals aplicacions.

*FONT: Elaborat a partir de materials de la G.E.C. (1a. Ed. vol. 11, article "plàstic") i de Schwartz, A. T., et al. Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society. WCB. Dubuque. 1994.*

*OBJECTIUS: Relacions CTS en la història.*

*NIVELLS: 16-18.*

### **COMENTARIS**

---

*Els plàstics són uns materials força coneguts que marquen la nostra època. Aquesta activitat pot servir d'iniciació a l'estudi detallat de les reaccions de polimerització i creiem que pot ser força motivadora. Les qüestions centren l'atenció en l'omnipresència d'objectes de plàstic en la nostra vida quotidiana, per a suggerir un primer contacte amb la varietat de substàncies que anomenem d'aquesta forma genèrica. Si escollim uns pocs objectes dels que normalment tenim a l'abast ens podem adonar de la varietat de propietats que presenten els plàstics de què estan fets. El text fa un breu repàs de la història dels polímers més importants. Proposem escollir-ne un o dos i aprofundir en la seua tecnologia, productes d'origen, reaccions de polimerització, etc. No obstant això, com que es tracta d'una activitat aïllada, el seu ús dependrà del que es considere més oportú en el tractament general de la química dels polímers.*



**ANNEX III :**  
**Curs de professors sobre Història de la Ciència**

En aquest annex presentem els materials del curs sobre Història de la Ciència elaborat per als professors, que constituïen un mòdul de 8 hores de duració dins d'un curs més ampli sobre les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat i el paper de la Història de la Ciència a l'ensenyament.

**Títol: L'ÚS DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA  
EN LA CLASSE DE FÍSICA I QUÍMICA**

D'una forma o altra, la Història de la Ciència està present en l'ensenyament de les ciències físico-químiques. La referència a l'evolució dels coneixements científics i l'esment dels personatges que hi han contribuït és inevitable. Tanmateix no sempre es té en consideració adequada quin hauria de ser l'ús que caldria fer de la Història de la Ciència en l'ensenyament. Per tal de plantejar-nos aquest problema, a tall de motivació, començarem fent de forma individual aquesta primera activitat:

**A.1** *Proposeu per escrit alguna activitat d'Història de la Ciència que podríeu fer en la vostra classe.*

**COMENTARIS**

---

*Aquesta activitat vol ser un primer pas cap a la sensibilització dels professors sobre quin paper podria jugar la Història de la Ciència en la classe de física i química. El fet que els proposem que es plantegen el problema concret de suggerir o dissenyar alguna activitat de tipus històric pot servir per tal que els professors comencen a explorar les seues pròpies idees sobre aquest tema i les posen en joc d'una forma pràctica. El comentari global de les propostes fetes, sense entrar en detalls, ens serveix de primer contacte amb el problema que volíem plantejar-nos: ¿quin ús fem habitualment de la Història de la Ciència a les nostres classes? i, sobretot, ¿quines repercussions té això en la imatge de la ciència que transmetem als alumnes i en la seua actitud envers el seu aprenentatge?*

**1. LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA EN L'ENSENYAMENT HABITUAL**

---

El paper que habitualment s'atorga als continguts de tipus històric en les classes de física i química sol estar força condicionat per la seua mateixa presència als llibres de text. A tall d'iniciar una reflexió sobre la validesa d'aquests enfocaments històrics, proposem l'activitat següent:

**A.2** *Analitzeu els textos següents -extrets de llibres d'ús habitual a les aules- i doneu la vostra opinió fonamentada sobre l'ús que s'hi fa de la Història de la Ciència.*

### **COMENTARIS**

---

*Per a la realització d'aquesta activitat distribuïm entre els professors tres fulls fotocopiats que contenen alguns fragments de textos, trets de llibres habituals, on apareixen usos inadequats d'aspectes històrics, com ara atribueixen tot el mèrit a un mateix científic, abunden en el formalisme matemàtic, usen la història de forma superficial i decorativa o comencen un tema per una experiència "crucial". Els professors disposen d'un temps per a revisar els materials i arribar a llurs pròpies conclusions que després es posen en comú. Es tracta, entre d'altres, d'aquests exemples:*

*Exemple 1r: Comença presentant la biografia de Newton i no en fa cap tractament didàctic específic, només conté informació ocasional i anecdòtica. En aquest llibre tots els temes comencen així. El mateix text també conté tergiversacions o errors com presentar la dinàmica que Newton va establir el segle XVII amb una formulació posterior sense cap especificació de més científics que hi contribuïren, cosa que també fan la major part de textos.*

*Exemple 2n: Afirma que l'inici real de la teoria atòmica tingué lloc a la fi del segle XIX, després d'haver esmentat que l'atomisme es remunta a l'any 500 a. C. El buit històric és evident, tot i que, certament, la teoria atòmica moderna és molt recent, però no es pot considerar pràcticament sorgida del no res. Aquest exemple conté una altra pàgina del mateix llibre que, a banda d'atribuir a Lavoisier l'autoria exclusiva de la llei de conservació de la matèria, comet l'error tan habitual de confondre una teoria amb una fórmula matemàtica, quan resumeix la teoria de la relativitat d'Einstein en la seua famosa equació.*

*Exemple 3r: Aquest exemple conté un dels usos més habituals que es dona a la història: el paper decoratiu. Sense cap relació amb el tema dels àcids i les bases s'hi inclou un gravat, molt bonic, d'un alambí antic, amb un extens fragment al peu de la figura sobre la tecnologia dels semiconductors, que tot plegat no sabem quin sentit se li vol donar, encara que la cita sembla treta d'un número de la revista "Science" dedicada al futur de la ciència. També conté una fotografia d'un manuscrit de Mendelejev, d'un altre llibre, de nou de caràcter decoratiu, i una al·lusió a la perspicàcia d'aquest autor com a font del seu fructífer treball científic.*

*Amb aquests breus exemples es planteja el caràcter simplement testimonial que es dona a la història, unit a la capacitat de tergiversació, per la superficialitat del tractament, i al paper decoratiu que sol ser el que predomina. L'absència d'un enfocament històric rigorós s'hi fa clarament palesa.*

Una vegada vist de forma succinta el paper que alguns llibres atorguen a la Història de la Ciència, reflexionarem sobre el que habitualment fem nosaltres com a professors, per això proposem aquesta activitat:

**A.3** *Comenteu si de forma habitual feu servir la Història de la Ciència a les vostres classes i expresseu per escrit per quines raons ho feu.*

**COMENTARIS**

---

*La finalitat d'aquesta activitat és suscitar el debat sobre les dificultats que pot representar l'ús de la història, a partir de l'experiència dels professors que, creiem, serà en general negativa. Per tant, es tracta d'explicitar algunes dificultats que impedeixen un ús diferent, més abundant, de l'orientació i continguts històrics. Al mateix temps creiem oportú reflexionar sobre els plantejaments pedagògics, les finalitats de l'ensenyament i les prioritats a l'hora de triar entre les diferents opcions possibles. No oblidem que cal ensenyar continguts conceptuals, però també procedimentals, com els aspectes metodològics, i actitudinals, incloure les relacions CTS, tan importants per a fer un ensenyament més pròxim a la realitat i els interessos dels alumnes i, ara, a més incloure una perspectiva històrica que, si més no, evite les tergiversacions i els errors. ¿Com resoldre-ho tot? Més endavant veurem una possible exemplificació, però convé aclarir les limitacions que se'ns plantegen de bell antuvi.*

Atès que constatem un ús escàs dels continguts històrics entre nosaltres, volem plantejar-nos si la presència d'aquests seria beneficiosa per a l'ensenyament de les ciències, per això proposem de fer aquesta activitat:

**A.4** *Expresseu breument per escrit quin paper creieu que pot jugar la Història de la Ciència en l'ensenyament de les ciències.*

**COMENTARIS**

---

*A l'activitat anterior haurem palesat les dificultats que, a la pràctica, menen a un ús més aviat escàs i testimonial de la història de la ciència a l'aula, que se solen concretar en la deficient formació del professorat en aquest tipus de coneixements, així com en el fort condicionament que imposa el seguiment d'uns programes molt carregats de continguts i un temps limitat per a impartir-los. Tanmateix, volem ara fer explícit el punt de partida de la nostra proposta concreta: ¿Quin paper creuen els professors que podria jugar la Història de la Ciència? Així, doncs, abans d'aventurar-nos a donar les solucions, podem sondejar quines perspectives tenen els professors quan se'ls planteja aquesta possibilitat concreta. Esperem que les respostes siguin abundoses i variades, la qual cosa ens permetrà, en el comentari global, promoure el debat sobre la importància que pot tenir aquesta perspectiva històrica absent de l'ensenyament habitual i així aplanarem el camí cap a una possible resposta al problema que tractem de resoldre.*

*L'anàlisi d'algunes respostes recollides dels professors a les activitats A.1, A.3 i A.4 l'hem feta al capítol 4 (Qüestionaris P1, P2 i P3).*

---

**2. LA IMATGE DE LA CIÈNCIA QUE ES TRANSMET ALS ALUMNES**

---

Abans ja hem vist una mostra qualitativa de la imatge de la ciència que mostren alguns llibres de text on la presència de continguts històrics és més aviat anecdòtica. Vegem, a l'activitat següent, un estudi detallat dels llibres de text més habituals sota la perspectiva del paper que atribueixen a la Història de la Ciència:

**A.5** *Presentació d'un qüestionari d'anàlisi de llibres de text de Física i Química i resultats sobre l'ús de la Història de la Ciència que s'hi fa habitualment.*

**COMENTARIS**

---

*La constatació que els llibres de text mostren una ciència tergiversada on els aspectes històrics no es tenen en consideració explícitament i, a més, implícitament, transmeten una imatge incorrecta de la ciència, ens mena a presentar al professorat la manera com hem explorat una mostra de llibres de text habituals. Això inclou l'explicació del disseny d'un qüestionari d'anàlisi de llibres de text i la presentació i comentari dels resultats obtinguts que confirmen la hipòtesi: la majoria de llibres no mostren biografies contextualitzades de científics i científiques, ni presenten el desenvolupament històric dels conceptes, llevat d'algunes excepcions; tampoc no presenten textos originals dels autors, ni mostren els problemes que originaren llurs investigacions. Molts llibres mostren implícitament una ciència inductivista i accentuen el caràcter formalista sense cap justificació. La majoria de llibres tampoc no mostra el caràcter col·lectiu de la ciència, presenta una visió acumulativa del seu creixement i no mostra el context històric-social en què es desenvolupen els coneixements científics. Finalment, la majoria de llibres ignora l'ús de la història a l'hora de proposar activitats concretes per al treball dels alumnes.*

*A banda dels ja exposats a l'activitat A.2, completem la informació amb alguns altres exemples que confirmen els diferents trets de la imatge tergiversada de la ciència i que ja hem esmentat al capítol 4, durant l'anàlisi dels resultats dels textos.*

Si tenim present el valor dels llibres de text, que en la pràctica representen el suport didàctic de nombrosos professors de ciències, comprendrem que la imatge de la ciència que mostren siga la que majoritàriament es transmet als alumnes a través de l'acció docent. Com a conseqüència d'això analitzem, tot seguit, quins trets característics d'aqueixa imatge deformada manifesten els nostres alumnes:

**A.6** *Presentació de qüestionaris sobre la imatge de la ciència que tenen els alumnes que fan un ensenyament habitual on els aspectes històrics són generalment ignorats. Comentari dels resultats i anàlisi de motius possibles d'aquesta imatge deformada de la ciència. Conclusions bàsiques i esbós de possibles alternatives.*

**COMENTARIS**

---

*Aquesta activitat té com a objectiu formular de forma clara el nucli del problema: l'escassa presència de la història produeix en els alumnes una imatge de la ciència incorrecta i deficient. Primerament podem proposar que els professors emeten algunes hipòtesis sobre quines conseqüències creuen que tindrà aquesta absència significativa de la història a l'ensenyament habitual. Després presentarem alguns qüestionaris elaborats per a detectar la imatge de la ciència en els alumnes i comentarem els resultats més significatius que hem obtingut. Es tracta dels qüestionaris i resultats ja mostrats en els capítols 3 i 4.*

*Remarquem, sobretot, la consideració de la ciència com a procés de descobriment i no de creació, el paper primordial del formalisme matemàtic i la visió acumulativa*



*del creixement de la ciència que, a més, comporta el desconeixement de l'existència de crisis i controvèrsies en la seua evolució. També s'ignoren els científics i científiques més destacats i llurs principals aportacions, especialment les fetes al nostre país, així com els problemes que originaren les investigacions i les nombroses repercussions socials dels treballs científics més importants.*

### **3. PRESENTACIÓ D'ACTIVITATS AMB ORIENTACIÓ HISTÒRICA**

---

Una proposta que permeta millorar l'escàs i deficient paper de la Història de la Ciència en l'ensenyament habitual exigeix la utilització de materials que incorporen aspectes històrics i els integren amb els continguts bàsics dels programes. En les activitats següents tindrem ocasió de conèixer algunes propostes concretes i analitzar la seua viabilitat per a ser usats habitualment a les nostres classes. Els materials presentats són una petita i variada mostra sobre diversos temes de física i de química. Les activitats seleccionades formen part d'un dossier més ampli que cobreix la major part dels temes habituals en els programes d'ensenyament secundari.

També és possible elaborar temes complets que integren en el fil conductor una perspectiva històrica, però ens limitarem, per manca de temps, a conèixer a fons aquesta mostra i realitzarem les activitats com ho faríem amb els nostres alumnes.

Convé no perdre de vista que aquesta proposta és una hipòtesi de treball que s'ha de contrastar en posar-la en pràctica amb els alumnes i verificar en quina mesura aquests milloren els aspectes deficients de la imatge de la ciència que tenen, segons hem discutit anteriorment. Així, doncs, es tracta primerament de fer en grups cada activitat i analitzar de forma constructiva els aspectes que considerem més vàlids i els inconvenients que se'ns plantegen. Més endavant tindrem ocasió de fer-ne una valoració detallada.

#### **A.7 Presentació, realització i comentaris d'una biografia contextualitzada de Galileu Galilei.**

##### **COMENTARIS**

---

*Facilitem al professorat el text complet de l'activitat sobre Galileu, que es troba a partir de la pàgina 260, i els comentaris per al seu ús a l'aula. Hem triat aquesta activitat com a exemple de biografia contextualitzada on es pot estudiar amb una mica més de detall la figura d'un científic, en aquest cas, molt conegut, amb l'objectiu fonamental de contribuir a la clarificació de les seues contribucions a la ciència i les repercussions socials dels seus treballs. Aquesta mena de biografies contrasta amb les habituals breus referències superficials on abunden les anècdotes, sovint falses, que no aporten res per transmetre una imatge correcta de la ciència.*

**A.8** Presentació, realització i comentaris del quadre “Espanya i la Revolució Científica”.

**COMENTARIS**

*Amb aquesta activitat (vid. pàg. 264) volem plantejar el tema de les contribucions a la ciència fetes des del nostre país, aspecte tan oblidat en la majoria de llibres, per no dir en tots i, consegüentment, ignorat per la majoria d'alumnes. La visió del context històric i social és fonamental per a entendre els diferents moments d'esplendor (com el que reflecteix aquesta activitat) i els subsegüents períodes de decadència, produïts sempre per una pila de circumstàncies hostils al lliure desenvolupament del pensament científic. L'absència d'un tractament de la ciència en el seu context històric-social propicia la ignorància sistemàtica d'uns fets tan cabdals i la difusió de tòpics que reforcen aquesta imatge incorrecta sobre l'escàs o nul valor de les aportacions fetes a la ciència a Espanya en diferents moments de la història.*

**A.9** Presentació, realització i comentaris sobre l'exposició de motius del “Plan Pidal” de 1845 referits al paper de les ciències en l'ensenyament secundari espanyol.

**LA CIÈNCIA A L'ENSENYAMENT  
SECUNDARI ESPANYOL DEL SEGLE XIX**

*En la exposición de motivos del Plan Pidal (el 17 de septiembre de 1845) para la ordenación de los estudios de segunda enseñanza elemental, lo que ahora entendemos como secundaria, se dice: "En lo antiguo fijaba casi exclusivamente la atención el estudio del latín, que con algunos conocimientos de filosofía escolástica venía a constituir nuestra segunda enseñanza. Echáronse luego de menos las ciencias exactas y naturales, cuyo abandono ha sido tan funesto a la industria española; y después de varios ensayos hechos con no muy feliz éxito, cayose en el extremo contrario, abandonándose casi del todo el estudio de las humanidades y pretendiendo convertir a los niños en puramente físicos y matemáticos. ¿Qué ha resultado de aquí? Sin conseguirse lo último han perdido los estudios clásicos y nuestra literatura actual se resiente, por desgracia, de tan fatal abandono".*

*Se llega a insinuar que la ciencia son: "estudios propios para los hijos del norte, más tardíos, sí, pero más atentos y meditabundos, no cuadran a ingenios vivos, ardientes y de imaginación fogosa, como son generalmente los que nacen en el mediodía (es decir, los españoles)".*

*(Cita d'Antonio Moreno en "Una ciencia en cuarentena. La física académica en España (1750-1900)" CSIC. 1988)*

**Q1.** *El text es refereix a la situació de l'ensenyament secundari espanyol de fa 150 anys, ¿creieu que actualment hom té una visió diferent del valor formatiu de les ciències o, ben al contrari, hi ha motius fonamentats per a pensar que persisteix aqueixa preferència per les humanitats?*

- Q2. *¿Creieu que encara hi ha qui opina, com l'autor del Pla Pidal, que "han perdut els estudis clàssics"? ¿Considereu fonamentada l'actual polèmica sobre el paper atribuït a les diferents àrees curriculars?*
- Q3. *¿El paper actual de les ciències ha de pretendre, tal com suggeria el text per a la seva època, convertir els nens i les nenes en físics i matemàtics o, ben al contrari, ha de tenir d'altres finalitats formatives?*
- Q4. *¿Es pot sostenir l'opinió segons la qual la ciència és més pròpia dels països nòrdics que no dels del sud? O el que és igual, ¿en quina mesura creieu que influeix el modus vivendi en l'activitat científica?*
- Q5. *¿Per què es diu que l'activitat científica "no cuadra a ingenios vivos, ardientes y de imaginación fogosa"? ¿Quina imatge de la ciència té qui està d'acord amb aquesta apreciació? ¿És correcta aqueixa imatge? ¿Per què?*

### **COMENTARIS**

*Aquesta activitat, dirigida primordialment al professorat, tracta de comprendre el per què d'una valoració tan pobra de l'aptitud i les aportacions dels científics espanyols, durant l'època de la famosa polèmica de la ciència espanyola que enfrontà dues visions oposades ideològicament. L'activitat pretén promoure la reflexió al voltant de la imatge tradicional que mostren habitualment la major part de llibres centrada en la ciència de les "grans figures" que ignora sistemàticament el caràcter col·lectiu de la ciència i no té en consideració les aportacions fetes per grups que es solen considerar minoritaris, paradoxalment la major part dels països que no es consideren potències científiques, o marginals, com les contribucions de les dones. Creiem el tractament adequat d'aquest temes és una bona ocasió per a plantejar les complexes interaccions CTS en la història.*

*La visió tradicional d'alguns sectors de la societat espanyola envers l'activitat científica i la seua importància, que reflecteix aquest text de 1845, sembla tornar a la palestra en situacions com la que vivim actualment immersos en un procés de reforma dels ensenyaments secundaris. Darrerament s'han alçat nombroses veus en contra del suposat predomini de les àrees científico-tecnològiques i, tanmateix, s'ha fet poc ressò de les respostes que plantegen revisar la tradicional divisió del saber en ciències i humanitats, i mostren que el temor sense fonament envers un excés de ciències és més aviat exagerat (Hernández i Solbes 1995), fruit d'una imatge distorsionada d'aquesta parcel·la del saber humà.*

**A.10** *Presentació, realització i comentaris dels diàlegs imaginaris entre Newton i Huygens al voltant de la controvèrsia sobre la naturalesa de la llum, a partir d'un text d'Albert Einstein i Leopold Infeld.*

### **COMENTARIS**

*El text complet i els comentaris d'aquesta activitat es troben a partir de la pàgina 293. L'objectiu que pretenem és mostrar un exemple de controvèrsia científica i aprofitar un text prou conegut (Beltrán et al. 1976) tret de l'obra d'Einstein i Infeld "L'evolució de la física". L'activitat es complementa amb qüestions per a facilitar la lectura i comprensió de tot el text, l'originalitat del qual rau en la recreació que fan*

*els autors, a imitació dels coneguts diàlegs de Galileu, d'una conversa imaginària entre un personatge partidari de les hipòtesis corpusculars de Newton i un partidari de les hipòtesis ondulatòries de Huygens. Ambdós contertulians aportaran llurs arguments i plantejaran dubtes i objeccions a les aportacions de l'adversari. Considerem que es tracta d'una activitat enriquidora que pot contribuir a generar un debat semblant al nivell limitat de l'aula on la fem servir i estimular els alumnes en la recerca d'arguments a favor i en contra d'una determinada postura, la qual cosa els permetrà d'entendre millor com es construeixen els conceptes científics.*

**A.11** Presentació, realització i comentari de quatre activitats successives sobre el procés de descobriment dels elements químics a partir d'un capítol en vídeo de la Universitat Oberta.

### COMENTARIS

---

*Per tal de mostrar de quina manera es pot utilitzar la perspectiva històrica en l'elaboració d'un tema com a fil conductor, hem seleccionat quatre activitats que formen part d'un tema complet sobre la construcció del concepte d'element químic, que ja ha estat presentat i comentat al capítol 6.*

*Aquestes activitats concretes (vid. p. 126, 127, 129 i 132) parteixen del vídeo "Descobrint elements" de l' Open University i es centren en l'aparició gradual i massiva de nous elements arran de l'establiment del nou concepte empíric de Boyle i Lavoisier que conceben l'element com el darrer terme de l'anàlisi química. El conjunt de les activitats vol palesar la viabilitat de seguir un fragment de la història d'un concepte químic que ajuda a comprendre el complex procés de construcció d'aquest i les diferents barreres conceptuals i tecnològiques, entre d'altres, que calgué superar fins al seu establiment definitiu.*

*També hem seleccionat aquestes activitats a fi de mostrar la varietat metodològica que permet l'ús de la història, que no sempre s'ha de circumscriure a la lectura de textos i referències biogràfiques més o menys extenses. Ací proposem activitats que impliquen la utilització d'un vídeo d'uns 25 minuts de duració, amb unes qüestions per a facilitar l'atenció dels alumnes, i l'aprofundiment en alguns aspectes amb l'elaboració d'una gràfica sobre el procés de creixement del nombre d'elements coneguts, que ací facilitem resolta als professors per a abreujar la presentació. El comentari de la rica informació que proporciona el nomenclàtor dels elements i la llista dels descobridors i descobridores pot ajudar a contextualitzar tot el procés de construcció del concepte d'element i mostrar un altre exemple on s'expliciten les complexes relacions entre la ciència, la tècnica i la societat al llarg de la història.*

**A.12** Presentació, realització i comentari d'un text d'Antoine Lavoisier sobre el principi de conservació de la matèria i un text sobre les contribucions de Marie Lavoisier.

### COMENTARIS

---

*En aquestes dues activitats, que presentem conjuntament, mostrem les contribucions del famós químic francès Antoine Laurent Lavoisier i el paper de la seua dona Marie Paulze. El primer text (vid. pàg. 343) és un exemple de la possibilitat d'utilitzar algun text original d'un autor científic. Es tracta del fragment on apareix el cèlebre enunciat de la llei de conservació de la massa i ens aprofita per a matisar i contex-*

*tualitzar el significat d'aquesta aportació. El segon text (vid. pàg. 345) és un breu recull de les aportacions de Marie Lavoisier, figura normalment ignorada a causa de la seua condició femenina. Amb això volem exemplificar la presentació del paper de les dones en la ciència, que, com ja hem comentat, es sol considerar irrellevant o inexistent en la majoria de casos.*

**A.13 Presentació, realització i comentari d'un text sobre les repercussions socials de la síntesi de Haber-Bosch de l'amoníac.**

**COMENTARIS**

---

*Acabem aquesta breu mostra d'activitats amb una orientació històrica amb aquest exemple que planteja una reflexió sobre les repercussions socials d'un treball científic, com és el cas de la síntesi industrial de l'amoníac, segons el mètode de Haber i Bosch. Es tracta d'un text (vid. pàg. 350) tret del curs de l' Open University sobre "Ciència i societat" i conté diverses qüestions per al seu comentari. Amb aquesta activitat hem pogut constatar, en algunes sessions del curs, que els mateixos professors que coneixen amb tota mena de detall aquesta reacció química i el consegüent procés industrial, al mateix temps ignoren les importants repercussions que tingué en la seua època, tal com mostra el text. Aquesta situació és fruit, òbviament, de la formació bàsicament academicista que s'imparteix habitualment que no té en compte la importància de les relacions entre la ciència, la tècnica i la societat en la història i el seu paper en la formació dels futurs científics i, el que és més greu, dels futurs ensenyants de ciències.*

**4. VALORACIÓ DE LA PROPOSTA I RECURSOS BIBLIOGRÀFICS**

---

Després de completar la reflexió sobre el paper de la Història de la Ciència a l'ensenyament de la física i la química i conegudes algunes propostes concretes per a la seua millora cal que expressem les nostres opinions sobre les possibilitats d'utilitzar en classe aquesta mena d'activitats i manifestem quins aspectes satisfactoris i no satisfactoris hi trobem, per tal d'enriquir aquesta proposta.

**A.14 Qüestionaris sobre valoració de les activitats proposades anteriorment.**

**COMENTARIS**

---

*Als professors que han participat en aquesta reflexió, els plantegem la resolució del Qüestionari E, presentat al capítol 6, amb la finalitat que contribueixen, amb llurs opinions i suggeriments, d'una banda a corroborar la viabilitat de la nostra proposta i, de l'altra, a enriquir-la amb llurs crítiques i aportacions. Els resultats recollits d'aquestes respostes ja els hem mostrat i comentat al capítol 7.*

La constatació que la manca de referències bibliogràfiques sobre Història de la Ciència assequibles al professorat pot ser un dels motius que n'impedeix un ús més sovintejat ens mena, a manera de conclusió, a concloure la nostra reflexió amb el comentari d'alguns materials que ens poden aprofitar tant per a ampliar els coneixements

sobre aspectes concrets d'Història de la Ciència, com per a elaborar les nostres pròpies activitats per a l'ús amb els alumnes i adaptar-les als seus interessos i necessitats, segons els diferents nivells i contextos.

**A.15** *Comentari de recursos bibliogràfics i materials per a poder posar en pràctica l'ús de la Història de la Ciència.*

**COMENTARIS**

---

*La major part de la informació sobre Història de la Ciència la podem trobar en diferents textos publicats els darrers anys, tot i que sovint podem trobar informació dispersa i variada en enciclopèdies i diccionaris biogràfics elaborats rigorosament. També és una font important d'informació l'abundosa bibliografia existent en revistes de caràcter didàctic que darrerament han incrementat de forma significativa la presència d'articles sobre aquest tema i fins i tot s'hi han dedicat de forma quasi-bé exclusiva. En castellà podem esmentar les revistes *Alambique* i *Enseñanza de las Ciencias*, en francès destaquen les revistes *Aster* i *Didaskalia* i, com sol ser habitual, en anglès trobem, entre d'altres: *Education in Chemistry*, *Interchange*, *International Journal of Science Education*, *Journal of Chemical Education*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Physics Education*, *Science Education*, *Science & Education*, etc.*

*Tot seguit mostrem una variada selecció bibliogràfica que hem classificat en tres grups: a) bibliografia bàsica sobre Història i Filosofia de la Ciència, orientada a la formació del professorat en aspectes concrets d'aquestes matèries; b) recull d'alguns recursos didàctics existents en el mercat que ja contenen materials elaborats amb una orientació històrica i poden servir de base per a desenvolupar la iniciativa i creativitat dels professors; c) relació d'alguns materials audiovisuals que contenen informació interessant per a ser utilitzada en el context de determinades activitats elaborades pel professorat de forma semblant a algunes ja exposades com a exemple.*

<b>SELECCIÓ BIBLIOGRÀFICA</b>
-------------------------------

---

a) Bibliografia bàsica sobre Història i Filosofia de la Ciència:

---

ASIMOV, I., 1975. *Breve historia de la química*. (Alianza: Madrid).

ASIMOV, I., 1987. *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología*. (4 vols.) (Alianza: Madrid).

ASIMOV, I., 1992. *Moments estel·lars de la ciència*. (La Magrana: Barcelona).

BERNAL, J., 1989. *Historia social de la ciencia*. (2 vols.) (Península: Barcelona).

CHALMERS, A., 1982. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo XXI: Madrid).

EINSTEIN, A. i INFELD, L., 1984. *L'evolució de la física*. (Edicions 62: Barcelona).

- GAMOW, G., 1983. *Biografía de la física*. (Alianza: Madrid).
- HOLTON, G. y BRUSH, S., 1976. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. (Reverté: Barcelona).
- KRANZBERG, M. y PURSELL, C., 1981. *Historia de la tecnología*. (2 vols.) (G. Gili: Barcelona).
- LAKATOS, I., 1982. *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*. (Tecnos: Madrid).
- LAVOISIER, A., 1982. *Tratado elemental de química*. (Clásicos Alfaguara: Madrid).
- LÓPEZ PIÑERO, J., 1982. *La ciencia en la historia hispánica*. "Temas Clave" núm. 94. (Aula Abierta Salvat: Barcelona).
- LÓPEZ PIÑERO, J. et al. 1983. *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. (2 vols.) (Península: Barcelona).
- LÓPEZ PIÑERO, J. i NAVARRO, V., 1995. *Història de la ciència al País Valencià*. (Edicions Alfons el Magnànim. I.V.E.I.: València).
- MASON, S., 1984. *Historia de las ciencias*. (5 vols.) (Alianza: Madrid).
- NICOLAU, F., 1995. *Els elements que componen el cosmos*. (Claret: Barcelona).
- ROSMORDUC, J., 1993. *Una història de la física i la química*. (La Magrana: Barcelona).
- SÁNCHEZ RON, J. M., 1992. *El poder de la ciencia*. (Alianza: Madrid).
- SERRES, M., 1991. *Historia de las ciencias*. (Cátedra: Madrid).
- TATON, R., 1985. *Historia general de las ciencias*. (5 vols.) (Destino: Barcelona).
- TRUESDELL, C., 1975. *Ensayos de historia de la mecánica*. (Tecnos: Madrid).

---

b) Recursos didàctics:

---

- CALATAYUD et al., 1990. *La construcción de las ciencias físico-químicas. Programas-guía de trabajo para la clase activa*. (Nau Llibres: València).
- CALATAYUD et al., 1995. *Física y química 1º Bachillerato*. (Octaedro: Barcelona).
- ESCRIBÀ, G. i MARTÍ, M., 1992. *Lectura i anàlisi de textos científics*. (Generalitat de Catalunya: Barcelona).
- GIL et al., 1991. *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. (ICE Horsori: Barcelona).
- GIORDAN, A., 1982. *La enseñanza de las ciencias*. (Siglo XXI: Madrid).

GRUP RECERCA FARADAY, 1988. *Física Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric*. (Teide: Barcelona).

GRUP RECERCA FARADAY, 1988. *Química Faraday: un enfocament conceptual, experimental i històric*. (Teide: Barcelona).

IZQUIERDO, M. i IZQUIERDO, A., 1994. *Or per a la llibertat*. Projecte "Solaris" (Edicions del Bullent: Picanya).

MARCO, B., 1992. *Historia de la ciencia*. (Narcea MEC: Madrid).

SOLBES, J. y TARÍN, F., 1996. *Física 2º Bachillerato*. (Octaedro: Barcelona).

---

c) Material audiovisual i multimèdia:

---

BEVILACQUA, F., 1992. *Coulomb and electrostatics: a hypermedial approach to history of physics in education*. (CD-ROM) Presentació en *Europhysics Conference Abstracts, 16 G*, p. 2-5. (Congreso Internacional de Historia de las Ciencias Físico-Matemáticas y Enseñanza de las Ciencias. Madrid).

BURKE, J. *El dia que va canviar l'Univers. (Història de la tecnologia)*. BBC-TV. (\*)

GIROUD, F., 1990. *Marie Curie, une femme honorable*. (3 capítols). Mars International Productions - FR3. (\*\*)

GOODSTEIN, D. L., 1986. *El Universo Mecánico y más allá*. California Institute of Technology. (\*\*)

IGLESIS, L. *Albert Einstein*. (4 capítols). TVE, S.A. (\*\*)

OPEN UNIVERSITY, 1978. *Curs de fonaments de la ciència*. BBC-TV. (\*)

OPEN UNIVERSITY, 1980. *El segle XVII a Anglaterra: una cultura que canvia (1618-1689)*. BBC-TV. (\*)

OPEN UNIVERSITY, 1983. *Tecnologia i canvi (1750-1914)*. BBC-TV. (\*)

---

(\*) Sèrie emesa per TV3 - Televisió de Catalunya.

(\*\*) Sèrie emesa per TVE.



**ANNEX IV :**  
**Llibres utilitzats en l'anàlisi de textos**

**LLISTAT DE REFERÈNCIES DELS LLIBRES DE 2n I 3r DE BUP  
EMPRATS PER A L'ANÀLISI DE TEXTOS**

- ALSINA, J. et al., 1988. **Gamma. Física i Química 2n BUP.** (Barcanova: Barcelona).
- ARRIOLA, A. et al., 1991. **Energía 2. Física y Química 2º BUP.** (SM: Madrid).
- BELTRÁN, J. et al., 1981. **Física y Química 2º BUP.** (Anaya: Madrid).
- BELTRÁN, J. et al., 1982. **Física y Química 3º BUP.** (Anaya: Madrid).
- BLANCH, J. i VIDAL, A. M., 1991. **Quantum. Física i Química 3r BUP.** (Barcanova: Barcelona).
- BUENDÍA, M. et al., 1981. **Física y Química 3º BUP.** (SM: Madrid).
- CAAMAÑO, A. et al., 1991. **Física i Química 2n BUP.** (Teide: Barcelona).
- CANDEL, A. et al., 1987. **Física y Química 3º BUP.** (Anaya: Madrid).
- CANDEL, A. et al., 1989. **Física y Química 2º BUP.** (Anaya: Madrid).
- DOU, J. M. et al., 1989. **Física y Química 2º BUP.** (Casals: Barcelona).
- ESCUADERO, P. et al., 1991. **Física y Química 2º BUP.** (Santillana: Madrid).
- LASHERAS, A. L. i CARRETERO, M. P., 1989. **Protó. Física i Química 3r BUP.** (Vicens-Vives: Barcelona).
- LASHERAS, A. L. y CARRETERO, M. P., 1989. **Positrón. Física y Química 2º BUP.** (Vicens-Vives: Barcelona).
- LATORRE, M. et al., 1992. **Física y Química 3º BUP.** (Edelvives: Zaragoza).

- LOZANO, J. J. et al., 1989. **Física y Química 2º BUP.** (Alhambra: Madrid).
- MARÍN, F. y NEGRO, J. L., 1982. **Física y Química 3º BUP.** (Alhambra: Madrid).
- MARTÍNEZ LORENZO, A., 1989. **Fase II. Física i Química 2n BUP.** (Bruño: Sant Adrià de Besòs).
- MARTÍNEZ LORENZO, A. et al., 1987. **Fase III. Física y Química 3º BUP.** (Bruño: Madrid).
- MIRALLES, L. et al., 1987. **Física y Química 2º BUP.** (ECIR: València).
- MIRALLES, L. et al., 1988. **Física y Química 3º BUP.** (ECIR: València).
- OLARTE, M. A. et al., 1985. **Física y Química 3º BUP.** (SM: Madrid).
- ONTAÑÓN, G. y MARTÍNEZ, A., 1991. **Láser 3. Física y Química 3º BUP.** (Bruño. Madrid).
- PASCUAL, R. et al., 1986. **Física y Química 3º BUP.** (Santillana: Madrid).
- SENDRA, F. y ENCISO, E., 1991. **Física y Química 2º BUP.** (ECIR: València).

**LLISTAT DE REFERÈNCIES DELS LLIBRES DE FÍSICA I DE QUÍMICA  
DE COU EMPRATS PER A L'ANÀLISI DE TEXTOS**

- AGUILAR, J. et al., 1980. **Física COU.** (Anaya: Madrid).
- ALONSO, P. et al., 1990. **Química COU.** (McGraw-Hill: Madrid).
- ALSINA, J. et al., 1990. **Física COU.** (Teide: Barcelona).
- BLANCH, J. M., 1990. **Quantum. Física COU.** (Barcanova: Barcelona).
- CAAMAÑO, A. et al., 1993. **Química COU.** (Teide: Barcelona).
- CANDEL, A. et al., 1988. **Física COU.** (Anaya: Madrid).
- CASANOVA, J. et al., 1983. **Física COU.** (Santillana: Madrid).

- CATURLA, E. y VIDAL F., 1980. **Quark. Física COU.** (Vicens-Vives: Barcelona).
- DEL BARRIO, J. I. y BELMONTE M., 1992. **Reacción. Química COU.** (SM: Madrid).
- ENCISO, E. et al., 1978. **Química COU.** (Noguer: Madrid).
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. et al., 1992. **Energía. Física COU.** (SM: Madrid).
- MARÍN, F., 1981. **Física COU.** (Alhambra: Madrid).
- MARTÍNEZ LORENZO, A. et al., 1990. **Física COU.** (Bruño: Madrid).
- MARTÍNEZ LORENZO, A. et al., 1990. **Química COU.** (Bruño: Sant Adrià de Besòs).
- MASJUAN, M. D. et al., 1991. **Química COU.** (Casals: Barcelona).
- MIRALLES, L. et al., 1978. **Química COU.** (ECIR: València).
- MORCILLO, J. y FERNÁNDEZ, M., 1990. **Química COU.** (Anaya: Madrid).
- OLARTE, M. A. et al., 1982. **Física COU.** (SM: Madrid).
- PEÑA, A. y GARZO, F., 1989. **Física COU.** (McGraw-Hill: Madrid).
- POMER, F. et al., 1991. **Física COU.** (ECIR: València).
- POZAS, A. et al., 1993. **Curso de Química COU.** (McGraw-Hill: Madrid).
- ROYO, P. et al., 1982. **Química COU.** (Santillana: Madrid).
- SAURET, M., 1991. **Química COU.** (Bruño: Sant Adrià de Besòs).
- VICHÉ, J., 1988. **Química COU.** (J. Viché: València).