

---

Universitat de València  
Departament de Didàctica de les Ciències  
Experimentals i Socials



# MODELS ATÒMICS I ENLLAÇ QUÍMIC EN L'ENSENYAMENT SECUNDARI

---

Treball d'Investigació de Tercer Cicle

Autora: VERÒNICA SILVESTRE ALARCÓN

Directors: Dr. JORDI SOLBES MATARREDONA

Dr. CARLES FURIÓ MÁ

SETEMBRE, 2009

## **AGRAÏMENTS**

No hauria sigut capaç de realitzar aquest treball d'investigació de no ser pel suport que desinteressadament m'han donat totes les persones que a continuació citaré:

A la meua família per l'ànim, el recolzament i l'alegria que em brinden per seguir endavant. Especialment a la meua mare Tere per ensenyar-me l'amor a l'estudi i suportar el meu geni; al meu pare Paco, per fer-me entendre la vida amb positivisme i alegria; a la meua germana Maite, per la seua invaluable ajuda quan més la necessite, sobre tot aquesta última recta final.

Un agraïment molt especial a María, Manolo, Vicente i Manola, els meus avis que m'han ensenyat valors i que amb l'esforç podem aconseguir allò que volem.

Als meus directors de tesi, el Dr. Jordi Solbes Matarredona i el Dr. Carles Furió Más, per la seua paciència i gràcies als quals he pogut realitzar en definitiva el present treball.

A les meues amigues i amics...

***GRÀCIES!***

Verònica Silvestre Alarcón.

## ÍNDEX

---

<b>1. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA DIDÀCTIC.</b>	<b>1 - 3</b>
1.0. Introducció.	2
<b>2. FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA HIPÒTESI.</b>	<b>4 - 38</b>
2.0. Introducció.	5
2.1. Formulació de la hipòtesi.	5
2.2. Fonamentació de la hipòtesi.	6 - 36
2.2.1. Breu fonamentació històrica.	6 - 26
2.2.1.1. L'escola de Böhr.	7 - 13
2.2.1.2. La mecànica ondulatoria de Schrödinger.	13 - 14
2.2.1.3. Desenvolupaments fonamentals: l'espín i les partícules idèntiques.	14 - 19
2.2.1.4. Aplicacions de la mecànica quàntica a la química.	19 - 25
2.2.1.5. Implicacions didàctiques de la fonamentació històrica.	25 - 26
2.2.2. Fonamentació epistemològica i didàctica de la nostra hipòtesi.	26 - 36
2.2.2.1. Visions deformades sobre la natura de la ciència i de l'activitat científica que es solen transmetre en l'ensenyament d'Estructura atòmica i Enllaç químic.	27 - 29
2.2.2.2. Mancances axiològiques, conceptuals, epistemològiques i metodològiques a l'ensenyament convencional.	30 - 36
2.3. A títol de recapitulació.	36 - 38
<b>3. DISENYS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.</b>	<b>39 - 65</b>
3.1. Operativització de la hipòtesi.	40 - 41
3.2. Disseny per a contrastar la hipòtesi.	41 - 65
3.2.1. Preparació de qüestionaris.	41
3.2.2. Qüestionari per a l'anàlisi de llibres de text.	42 - 48
3.2.3. Qüestionari pel professorat.	48 - 53
3.2.4. Qüestionari per l'alumnat.	53 - 64
3.2.4.1. Criteris de valoració dels ítems del qüestionari d'alumnat de 4t ESO.	57 - 60

3.2.4.2. Criteris de valoració dels ítems del qüestionari d'alumnat de 1r BATX.	60 - 64
3.2.5. Grandària de les mostres i forma d'aplicació dels qüestionaris.	64 - 65
<b>4. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.</b>	<b>66 - 119</b>
4.0. Introducció.	67
4.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts de l'estudi dels texts.	67 - 73
4.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el qüestionari del professorat.	74 – 85
4.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el qüestionari de l'alumnat.	85 - 119
4.3.1. Anàlisi dels resultats obtinguts amb els qüestionaris de l'alumnat de 4t ESO.	85 - 101
4.3.2. Anàlisi dels resultats obtinguts amb els qüestionaris de l'alumnat de 1r BATX.	101 - 119
<b>5. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES.</b>	<b>120 – 125</b>

ANNEX I

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

# **CAPÍTOL I**

## **PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA DIDÀCTIC**

## **CAPÍTOL I.- PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA DIDÀCTIC.**

### **1.0. INTRODUCCIÓ.**

Anteriors treballs realitzats en el camp d'estudi de la Química moderna, han permès conèixer les pautes habitualment utilitzades en el seu ensenyament i facilitar alternatives de treball que permeten facilitar considerablement el seu estudi a l'alumnat (Solbes et al., 1987; Gil i Solbes, 1993; Solbes i Vilches, 1991)

Seguint les teories de la Filosofia de la Ciència [Kuhn (1975), Lakatos (1975 a i b)] envers com pren lloc el desenvolupament científic, tenim que avança travessant crisis que conflueixen en un canvi de paradigma.

Traslladant això al cas de la Química moderna trobem que la seua acceptació per part de l'alumnat haurà de passar per un canvi conceptual i metodològic, que haurà de mostrar com la Química clàssica no va ser capaç d'explicar determinats problemes, el que va provocar la seua crisi i ressorgiment de la Química moderna. El nou paradigma haurà de ser capaç d'explicar i resoldre totes les experiències i fets físico-químics que li siguen presentats, partint de les preconcepcions de l'alumnat (Carrascosa i Gil, 1985). Preconcepcions que haurien de prendre com a pilans el comportament macroscòpic de la matèria i les seues propietats físiques per després intentar veure el perquè a nivell microscòpic.

Malgrat això, després d'una somera observació de com pren lloc l'estudi de l'estructura de la matèria, ens trobem amb la inexistència d'una continuïtat en l'aplicació dels principis de la Química moderna des del concepte d'àtom a l'estudi de l'enllaç químic d'estructures sòlides, molècules i fases condensades.

Això sembla ser un exemple més de la desestructuració que acompanya a l'estudi de pràcticament qualsevol tema que tinga una relació directa amb conceptes de Física i Química moderna, els quals són contínuament rebutjats per gran part del professorat, que considera que són massa complicats perquè l'alumnat puga comprendre'ls.

En conseqüència, arribem al plantejament del nostre problema, que se centra en dos qüestions fonamentals:

- a) Quines dificultats tenen els estudiants i les estudiants en la comprensió de l'àtom i els seus enllaços?
- b) Quines són les principals mancances de l'ensenyament de l'àtom i l'enllaç que entrebanca la comprensió dels estudiants?

Ambdós punts presenten un gran interès metodològic, conceptual, però vorem que també actitudinal.

Des del punt de vista metodològic, és molt important l'assentament consecutiu d'uns conceptes sobre altres, per eliminar les errades conceptuais i facilitar l'aprenentatge dels nous conceptes, doncs no pot haver-ne un canvi conceptual si no és envers un canvi metodològic (Gil, Carrascosa, 1985).

Presentem a continuació els quatre punts que constitueixen els fonaments de les qüestions que presenten el plantejament del nostre problema i un dilema en l'ensenyament de l'àtom i l'enllaç químic, o bé, constitueixen un problema didàctic. A partir d'aquests quatre punts es tindrà lloc la fonamentació del que serà la nostra hipòtesi i que anirem tractant al llarg del següent capítol II:

1) A nivell de la naturalesa i la història de la química, què permet donar una imatge més correcta de com es desenrotlla la ciència? Què és un model? Com es canvia d'un a l'altre? Etc.

2) A nivell conceptual, és de gran importància entendre el concepte d'àtom perquè és la base de coneixement necessària per a una interpretació adequada del SP, de la valència i de l'estructura de la matèria i les seues propietats.

3) Abordar les relacions CTSA, donada la creixent importància de les aplicacions de la química moderna en la nostra societat (nous materials, nanotecnologia, etc.).

4) A nivell actitudinal perquè als alumnes els interessin no sols les aplicacions, sinó també aspectes més teòrics i per tant, millorar l'aprenentatge de la física, atès que aquest està limitat si l'estudiant no veu connexió amb els seus interessos personals.

## **CAPÍTOL II**

### **FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA HIPÒTESI**



## **CAPÍTOL II.- FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA HIPÒTESI.**

### **2.0. INTRODUCCIÓ.**

Després d'haver presentat en el capítol anterior el problema didàctic consistent en trobar alguna solució a les principals dificultats d'aprenentatge que tenen els alumnes en la comprensió de l'àtom i l'enllaç químic, canvis i, en particular, fixant-nos en els models atòmics i d'enllaç químic, cal una reflexió fonamentada sobre quins són els motius pels quals no es superen aquestes dificultats. I com que el factor extern que més pot influir en l'aprenentatge és l'ensenyament, en aquest capítol es tractarà d'establir en quina mesura l'ensenyament habitual és parcialment responsable del fracàs dels estudiants en aquest domini científic.

Així doncs, el capítol II constarà de dues parts relacionades entre sí. En la primera d'elles es formularà com a presentació del problema didàctic una hipòtesi que es fonamentarà teòricament. I, en la segona part, es tractarà de lligar les dificultats d'aprenentatge amb l'ensenyament rebut.

### **2.1. FORMULACIÓ DE LA HIPÒTESI.**

Tenint en compte les principals preguntes esmentades en el capítol anterior que volem respondre en aquest treball, caldrà fonamentar possibles respostes mitjançant una hipòtesi didàctica que presente la relació entre la manca d'eficàcia de l'ensenyament habitual i les dificultats d'aprenentatge bé degudes a l'existència de concepcions alternatives en els estudiants (sobre els conceptes bàsics d'àtom i enllaç químic) o bé degudes a formes de raonament de sentit comú al relacionar les seves idees. A continuació es presenta redactada aquesta hipòtesi principal que tracta de ser el naixement per donar solució al problema de l'aprenentatge dels temes d'àtom i enllaç químic en grups d'estudiants que acaben els seus estudis d'Educació Secundària Obligatòria i que inicien l'estudi del Batxillerat:

**Hipòtesi:** *“La introducció dels models d'àtom i enllaç en l'ensenyament convencional de la Química es fa sense tindre en compte els resultats de la recerca didàctica sobre les dificultats de l'alumnat i els nous models d'ensenyament aprenentatge i això farà que no s'afavoreixen en els estudiants de secundària la comprensió de la estructura de l'àtom i dels seus enllaços.”*

Passem, doncs, a fonamentar teòricament aquesta suposició.

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

La fonamentació de la hipòtesi es basarà en dos apartats, un d'ells de tipus històric i epistemològic on es farà un èmfasi especial en els problemes conceptuals i epistemològics que la ciència ha hagut de superar per adaptar els diferents models atòmics i d'enllaç a les diferents teories vigents. El segon apartat es destinarà a fer una anàlisi crítica de l'ensenyament habitual de les ciències contextualitzat en el domini concret de l'estructura atòmica i l'enllaç químic, que es basarà en el cos teòric de la didàctica de les ciències i, en particular, en fer una anàlisi crítica de l'ensenyament habitual on es presentaran les visions deformades de la ciència que es transmeten a l'aula i les mancances didàctiques degut a que no es tenen en compte les noves orientacions constructivistes dels models d'ensenyament-aprenentatge de la química (National Research Council, 2000; Phye, 1997; Furió 2001a i 2000b; Leach & Scott, 2003; Guisasola, Furió i Ceberio, 2008).

Tant els arguments històrics i epistemològics com els didàctics tractaran de mostrar com, en l'ensenyament d'aquests temes, el professorat no té en compte els components conceptual, epistemològic, metodològic i axiològic necessaris per aconseguir un aprenentatge significatiu d'aquestes construccions científiques.

### **2.2.1. Breu fonamentació històrica.**

Les històries més recents de la ciència acostumen a presentar alhora la història "interna" (els científics i els seus descobriments) com la "externa" (les relacions amb la tecnologia i la societat) (Solbes y Traver, 1996 y 2003). Ací ens hem centrat en major extensió a la primera perquè a partir dels obstacles que es manifesten al llarg de la història de la ciència es pot extraure informació sobre les dificultats dels estudiants, si bé la idea d'un paral·lelisme estricte entre elles ha estat qüestionada (Saltiel y Viennot, 1985; Driver et al. 1989). Però s'utilitzarà aquesta història externa en la proposta dels estudiants, ja que la recerca didàctica ha posat de manifest el seu caràcter motivador (Matthews, 1991; Solbes y Traver, 1996 y 2003).

Hem dividit aquest apartat en 4 parts:

-La primera tracta l'escola de Bohr, l'explicació dels espectres i malgrat que no s'ensenyen, les regles de quantificació per a sistemes amb molts graus de llibertat, que porten al model de Sommerfeld.

-La segona tracta el desenvolupament de la mecànica ondulatoria que va resoldre les dificultats del model de Bohr - Sommerfeld.

-La tercera tracta sobre els desenvolupaments fonamentals que completaren la mecànica quàntica, l'espín de l'electró i el postulat de simetrització, i que permeten la comprensió dels àtoms polieletrònics.

-La quarta sobre les primeres aplicacions de la mecànica quàntica a les diferents branques de la química (espectroscòpia molecular, enllaç químic, sòlids).

Quant a la bibliografia utilitzada trobem, per una part, recopilacions d'articles originals (Cavendish, 1776; Butler et al, 1972, on es poden trobar articles de Dalton, Brown, J. J. Thomson, Nagaoka, Millikan, Rutherford, Geiger i Mardsen, Bohr, Moseley, de Broglie, Uhlenbeck y Goudsmit y Chadwick), llibres d'història de la ciència (Asimov, 1975; Kragh, 2007; Mason, 1985; Sanchez Ron, 2007; Taton, 1973; Bensaude-Vincent, B. i Stengers, I., 1998; De la Selva, 1993; Delgado Castillo, 2004; Gribbin, 2003; Jaffe, 1964), llibres de text, clàssics com el de Pauling (1971) i més moderns, amb referències històriques (Atkins, 1985; Centellas et al, 1992; Casabó i Gispert, J., 1997); llibres d'implicacions de la quàntica en la tecnologia (Pimentel, 1994) i, fins i tot, llibres de divulgació (Navarro, 2009).

### **2.2.1.1. L'escola de Bohr.**

#### **i. Antecedents al model de Bohr.**

##### Espectroscòpia i ratlles espectrals.

El paper fonamental de l'espectroscòpia respecte a l'estructura de l'àtom es deu al fet que aquesta no pot ser-nos revelada més que pels fenòmens observables a la nostra escala que en són conseqüència. Per exemple, les ratlles espectrals.

Els començaments de l'espectroscòpia atòmica se situen en 1.859 amb Bunsen i Kirchhoff, que estudien els primers espectres d'emissió: Van començar a classificar-se les ratlles obtingudes en sèries, l'estructura de les quals presentava grans analogies en els diferents elements, trobant-se que les freqüències presenten entre sí relacions regulars. La més famosa d'aquestes relacions empíriques és la Llei de Balmer (1.885) per a les línies visibles de l'hidrogen:

$$\lambda = c \left( \frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

la forma usual de les quals és:  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$

L'estudi de les ratlles espectrals va portar en 1.908 al principi de combinació de Ritz: "Per a cada espècie d'àtoms és possible trobar una successió de números

anomenats termes espectrals tals que la freqüència de cada ratlla siga igual a la diferència de dos d'eixos termes”.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

On R és la constant de Rydberg.

Aquest mateix any Paschen va trobar tres ratlles de la sèrie que porta el seu nom.

També es van estudiar les variacions de freqüència de les línies espectrals sota l'acció de camps exteriors. Zeeman (1.896) va descobrir desdoblaments en camps magnètics que van ser interpretats per Lorentz. Però l'efecte Zeeman anòmal i l'efecte Paschen-Back (1.912), així com l'efecte Smark (1.913) (desdoblaments produïts per camps elèctrics) no van poder ser correctament explicats. Per a això era necessari la introducció del espín (com veurem a l'apartat 2.2.1.3).

#### Models d'estructura atòmica.

A principis de segle apareixen els primers models atòmics:

- i. Perrin (1.901) imagina a l'àtom format per una partícula positiva al voltant de la qual giren com a xicotets planetes electrons que compensen la càrrega total.
- ii. Nagaoka (1.904) proposa un model més concret en el que els electrons equidisten del nucli, movent-se amb velocitat angular comuna.
- iii. J. J. Thomson (Phil. Mag. 6 (1.903) 673) descriu a l'àtom com una esfera carregada positivament amb electrons oscil·lant respecte al seu centre. Este model era l'únic capaç de conduir a ratlles espectrals les freqüències del qual estaven associades amb les d'oscil·lació.
- iv. E. Rutherford (Phil. Mag. 21 (1.911) 669) va analitzar les experiències de col·lisió de partícules  $\alpha$  sobre làmines d'Au i Ag. Els resultats experimentals afavorien un model atòmic en què tota la càrrega elèctrica positiva i pràcticament tota la massa estigueren concentrades en un xicotet volum de l'espai anomenat nucli, al voltant del qual i a grans distàncies en comparació amb el seu grandària es movien d'alguna forma els electrons. D'altra banda, Rutherford i els seus deixebles van demostrar que el model de Thomson no podia explicar la dispersió de partícules  $\alpha$ .

La dificultat del model de Rutherford va aparèixer en estudiar el seu comportament envers la teoria electromagnètica de Maxwell i la mecànica de Newton. Si l'energia de l'electró és negativa, este descriu una el·lipse amb el nucli en un dels

seus focus. D'acord amb l'electrodinàmica clàssica, l'electró que està accelerat emet radiació composta per una sèrie d'ones monocromàtiques de freqüència  $n$  igual a la freqüència de gir de l'electró o a un dels seus harmònics.

Aquest procés de radiació ocasiona pèrdua d'energia per part de l'electró, produint-se una caiguda d'aquest cap al nucli en un temps  $t \sim 10^{-10}$  s, originant una emissió contínua de radiació.

## ii. L'àtom de Bohr.

Bohr, deixeble de Rutherford a Manchester, va tractar de buscar una teoria que compatibilitzara el model planetari amb l'estabilitat de l'àtom i l'existència de ratlles espectrals.

En 1.913 publica la seua teoria: "Sobre la constitució d'àtoms i molècules" (Phyl. Mag. 26 (1.913) 1, 476 i 857), en la que introdueix les hipòtesis següents:

*"En la present memòria ens hem esforçat a desenrotllar una teoria de la constitució dels àtoms i de les molècules sobre la base de les idees introduïdes per Planck amb l'objecte d'explicar la radiació del cos negre i la teoria de l'estructura dels àtoms proposada per Rutherford per a explicar la dispersió de partícules  $\alpha$  per la matèria.*

*Per a això, introduïm les hipòtesis següents:*

1. *L'energia de radiació no és emesa (o absorbida) de forma contínua, com admet l'electrodinàmica clàssica, sinó només en el curs de la transició d'un estat estacionari del sistema a un altre estat estacionari.*

2. *L'equilibri dinàmic d'un sistema, en els seus estats estacionaris, està regit per les lleis de la mecànica ordinària, però estes lleis no valen en el trànsit d'un estat estacionari a un altre.*

3. *La radiació emesa en el curs de la transició d'un sistema d'un estat estacionari a un altre és monocromàtica: la relació entre la seua freqüència i l'energia total emesa està donada per  $E = h\nu$ .*

4. *Els diferents estats estacionaris d'un sistema constituït d'un electró girant al voltant d'un nucli carregat positivament són determinats per la condició següent: l'aportació d'energia total necessària per a realitzar una configuració donada del sistema a la freqüència mecànica  $\omega$  del moviment de rotació de l'electró és un múltiple sencer de "h".*

$$\frac{E}{\omega} = n \frac{h}{2}$$

Si s'admet que l'òrbita del sistema és circular, esta condició és equivalent a la següent: el moment cinètic de l'electró és un múltiple sencer de  $\hbar$ .

L'estat permanent (o fonamental) de tot sistema, és a dir, este que correspon al màxim d'energia emesa, està determinat per la condició que el moment cinètic de cada electró al voltant de la seua òrbita siga  $\hbar$ ."

En els seus càlculs Bohr va utilitzar el model de les òrbites circulars (amb un sol grau de llibertat) perquè en 1.913 encara no s'havia desenrotllat el mètode per a quantificar sistemes de n graus de llibertat.

Va reproduir així la Llei de Ritz,

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} z^2 \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

On veiem que la constant R s'expressa per mitjà de les constants fonamentals: e,  $m_e$  i h.

### iii. Evidències experimentals dels models de Bohr.

#### Evidències espectroscòpiques.

Bohr va advertir la perfecta concordança entre la seua llei de freqüències amb la sèrie empíricament obtinguda per Balmer en 1.885 a  $n_2=2$ .

La sèrie corresponent a  $n_2=1$ , les ratlles de la qual pertanyen a l'ultraviolada, va ser observada per Lyman en 1.914.

La sèrie corresponent a  $n_2=3$  va ser observada per Brackett, així com la sèrie corresponent a  $n_2=4$ . Les altres sèries (pfund) se situen en l'infraroig llunyà.

A més, Bohr va estendre la seua teoria als àtoms hidrogenoides (heli ionitzat) trobant-se que en la llei de freqüències apareixia la constant de Rydberg multiplicada per quatre. Algunes ratlles de la sèrie  $n_2=2$  han sigut observades per Lyman.

La sèrie  $n_2=3$  va ser observada per Fowler, Paschen i Evans entre 1.912 i 1.916.

La sèrie  $n_2=4$  es desplega igualment, donant d'una banda la sèrie de Balmer i, d'una altra, una sèrie que Pickering havia descobert en 1.896 en l'espectre d'una estrella i que equivocadament va atribuir a l'hidrogen.

D'altra banda, es va trobar que la R de l'hidrogen no coincidia amb la de l'heli. Per a tindre en compte la diferència basta considerar que el nucli no és rigorosament immòbil, la qual cosa condueix, com Bohr mateix ha mostrat a multiplicar la R pel

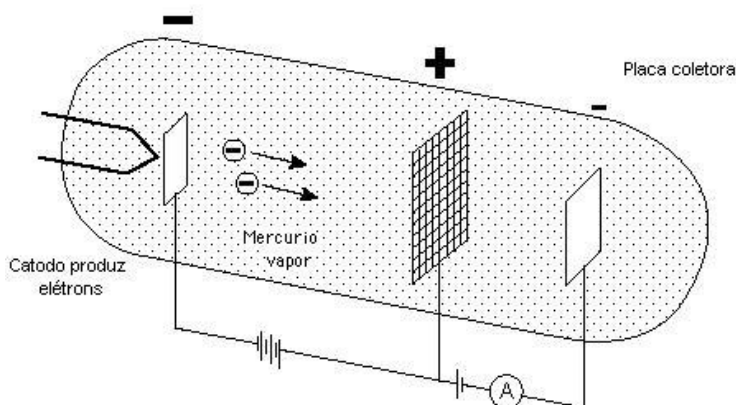
factor  $\frac{M}{m+M}$ .

Es pot així com han fet Fowler i Paschen, comparant els espectres del H i de l'He determinar la relació  $m/(m+M)$  en el H. El resultat és igual a  $1/1.840$ , en perfecte acord amb la determinació directa que havia donat Millikan.

### L'experiment de Franck i Hertz.

La interpretació dels espectres atòmics va establir sense cap dubte, però de forma indirecta, l'existència en els àtoms d'una sèrie de nivells d'energia estacionaris d'acord amb la hipòtesi de Bohr.

Van ser Franck i Hertz (Verh. Deut. Phys. Ges. 16 (1.914) 457 i 512), els que en una sèrie d'experiments van donar una confirmació directa de la seua existència.



Quan el potencial,  $V$ , és igual a zero, els electrons provinents del filament calent no tenen energia suficient per a arribar a la placa col·lectora al no poder vencer la diferència de potencial entre la reixeta i la placa. A mesura que  $V$  augmenta, arribaran més electrons a la placa, i molts d'ells hauran xocat en el seu camí amb àtoms de Hg, sense haver transferit pràcticament energia (col·lisió elàstica).

Si s'admet l'existència real dels estats estacionaris, és d'esperar que quan  $V=5$  volts, els electrons comencen a patir col·lisions inelàstiques, deixant algun àtom en el seu primer estat excitat i perdent, per tant, quasi tota la seua energia s'ha d'observar a partir de  $V=5$  volts, ja que el primer estat excitat dista del fonamental uns  $4,86$  eV, una caiguda brusca del corrent. Si es continua augmentant  $V$  els electrons després del xoc inelàstic, té encara energia suficient per a arribar a la placa i el corrent augmentarà de nou fins que  $V$  siga igual a  $10$  volts, moment en què els electrons podran xocar dos vegades inelàsticament i s'observarà una nova caiguda de la intensitat del corrent.

**iv. Regles de quantificació per a sistemes amb molts graus de llibertat.**

La teoria de Bohr no va tardar a atraure l'atenció general dels físics, convertint-se el seu desenrotllament en una obra col·lectiva. Així el model inicial de Bohr es va estendre a sistemes mecànics més complexos.

En la seua teoria, Bohr havia establert el teorema següent:

*“En tot sistema compost d'electrons i nuclis en què els nuclis són fixos i els electrons descriuen òrbites circulars (amb  $V < 0$ ), l'energia cinètica és igual a  $\frac{1}{2}$  l'energia potencial”.* Inspirant-se en aquest resultat W. Wilson va establir les condicions de quantificació per a un sistema conservatiu de  $n$  graus de llibertat, establint que:

$$\oint p_k dq_k = n_k h$$

L'any següent (1.916) Epstein, Schwarzschild i Sommerfeld van estudiar les condicions de quantificació per a sistemes quasiperiòdics de variables separables (diverses variables varien periòdicament amb períodes diferents, els que permet descompondre la integral d'acció en diverses integrals dependents d'una variable).

Com a aplicació de les regles de quantificació es va estudiar l'àtom hidrogenoide. Es va trobar que a més de quantificar-se l'energia (obtenint la fórmula de Bohr), es quantifica el mòdul del moment angular i el seu tercera component.

$$L_z = m\hbar \qquad m: n_{re} \text{ quàntic magnètic}$$

$$L = n_{\psi} \hbar \qquad n_{\psi} : n_{re} \text{ quàntic azimuthal}$$

Aquest resultat es coneix com a quantificació espacial. Des del punt de vista clàssic, esta quantificació és absurda mentre no existisca un agent extern que determine una direcció privilegiada de l'espai (per exemple, un camp magnètic uniforme).

Al nivell associat al número quàntic principal “ $n$ ” li corresponen  $n$  tipus d'òrbites quantitzades, caracteritzades pels valors del número quàntic azimuthal “ $n_{\psi}$ ” = 1, ...,  $n$ . Per a cada un d'ells l'òrbita té  $2n_{\psi} + 1$  orientacions espacials.

**v. Estructura fina.**

Un dels èxits més espectaculars i que més van ajudar a acceptar les regles de quantificació va ser l'estudi realitzat per Sommerfeld (Ann. Phys. (Leipzig) 51 (1.916) 1 i 125) dels àtoms hidrogenoides en el marc de la teoria de la relativitat i que li va permetre donar una explicació teòrica de l'estructura de l'àtom de H (descoberta per Michelson en 1.991).



Anteriorment ja Bohr s'havia ocupat del tractament relativista del seu model atòmic i havia proposat considerar els doblets de l'espectre de H com un efecte d'orde  $v^2/c^2$ . però el desenrotllament sistemàtic d'esta teoria va ser el de Sommerfeld: va trobar que l'energia depenia de "n" i "n<sub>ψ</sub>".

$$E_{nm_\psi} = -\frac{1}{2} m e^2 \frac{z^2 \alpha^2}{n^2} \left[ 1 + \frac{z^2 \alpha^2}{n} \left( \frac{1}{n_\psi} - \frac{3}{4n} \right) \right] \quad \alpha : \text{constant d'estructura fina}$$

Esta fórmula descompon l'energia en dos termes: un corresponent a l'energia de Bohr i un altre associat a la correcció relativista.

No sols li va permetre explicar l'estructura fina de h, sinó que també estava d'acord amb les mesures de Paschen en l'àtom d'He ionitzat.

L'acord d'esta equació amb els resultats experimentals va fracassar en àtoms no hidrogenoides (els resultats exactes només s'obtenen amb l'equació de Dirac).

**vi. Crítica a la teoria de Bohr.**

El mateix Bohr era conscient que el seu model era una aliança estranya entre teories clàssiques i mètodes quàntics introduïts "ad hoc" per a restringir el nombre d'òrbites clàssiques possibles.

D'altra banda, només era capaç de calcular la freqüència de les ratlles emeses però no la seua intensitat ni el seu estat de polarització.

A més, Kramers, al calcular el potencial de ionització de l'àtom d'He va obtindre resultats en desacord amb l'experiència.

També cal consignar el fracàs de Sommerfeld en els àtoms complexos.

**2.2.1.2. La mecànica ondulatoria de Schrödinger.**

Einstein recalca la importància dels treballs de Louis de Broglie, i Schrödinger en Zurich partint de la idea fonamental d'aquest ("l'òptica geomètrica és a l'òptica ondulatoria com la mecànica clàssica ha de ser a la mecànica ondulatoria"), escrigué els seus famosos articles base de la mecànica ondulatoria (Ann. Phys. 79 (1926) 109, 361, 437 i 489).

El primer d'ells Schrödinger va obtindre l'equació

$$\left[ -\frac{\hbar}{2m} \nabla^2 + V \right] \Psi = E \cdot \Psi$$

que es coneix amb el nom de "equació d'Schrödinger per a estats estacionaris".

Per demostrar l'elegància i el poder del seu nou esquema resolgué, en un altre article, el problema de l'àtom d'hidrogen, el de l'oscil·lador harmònic i els efectes de Stark i Zeeman.

Per a l'àtom d'hidrogen trobà que no existeixen solucions que satisfan les condicions de contorn més que per a certes energies de l'electró, que són els valors propis de l'equació i coincideixen amb els resultats de Bohr; encara que la degeneració corresponent a un nivell energètic no coincideix amb la del model de Sommerfeld ja que els valors possibles per al moment angular no són  $n_\psi = 1, \dots, n$  sinó  $l = 0, \dots, n-1$  i per tant la degeneració és  $\sum(2l+1) = n^2$ .

Quant a l'oscil·lador lineal obtingué que l'energia és igual a

$$E = \left( n + \frac{1}{2} \right) h\nu$$

com semblaven indicar els fenòmens físics en què intervenia la quantificació de l'oscil·lador (per exemple, els espectres de bandes de les molècules diatòmiques). En l'antiga teoria dels quants, el valor de l'energia era  $E = nh\nu$

Respecte als efectes Stark i Zeeman, va introduir per a estudiar-los un mètode de pertorbacions anàleg a les de la mecànica celeste ja que  $\vec{E}$  i  $\vec{B}$  són molt febles en relació als camps dels sistemes atòmics. Cal, per tant, calcular la modificació molt feble que el camp pertorbador imprimeix als valors quantificats. No va poder explicar l'efecte Zeeman anòmal per no introduir l'espín  $\vec{S}$  de l'electró.

També es va preocupar del sentit físic de  $\Psi$ : considerà que l'electró estava difós en l'àtom i que la seua càrrega estava repartida de forma contínua, de manera que

$$e\Psi^* \Psi$$

és la densitat de càrrega. Tot passa com si aquella distribució que varia amb el temps irradiara segons les lleis clàssiques.

Sobre aquest punt va tindre una sèrie de discussions en Munich (on fou invitat per Sommerfeld per donar un col·loqui) que es resolgueren amb l'abandó d'aquesta concepció, ja que el procés d'emissió per transmissions quàntiques és massa discontinu perquè pugua representar-se per l'emissió clàssica d'una distribució.

### 2.2.1.3. Desenvolupaments fonamentals: l'espín i les partícules idèntiques.

#### i. L'espín: Antecedents històrics.

La mecànica quàntica no està completa si no es tenen en compte l'espín i el postulat de simetrització (ambdós van haver de ser introduïts "ad hoc").

Com ja hem vist, quedaven una sèrie de fets d'orde espectroscòpic i magnètic que no havien pogut ser explicats: entre ells les estructures fines dels àtoms complexos, l'efecte Zeeman anòmal, l'efecte Stern i Gerlach i les anomalies giromagnètiques.

Estos fets només van poder ser explicats amb la introducció del *espín*. Estudiarem detingudament els fenòmens i les hipòtesis.

#### Estructura fina i anomalies giromagnètiques.

Com ja vam veure la teoria de Sommerfeld preveia les estructures fines dels àtoms hidrogenoides, però era incapaç d'explicar la dels àtoms més complexos.

D'altra banda, Einstein i D'Hass primer, i Burnett després, van estudiar les anomalies giromagnètiques: si s'imaña una barra de ferro cilíndrica suspesa per un punt del seu eix, ha de posar-se a girar; i recíprocament, si es fa girar, es crea un moment magnètic. La relació entre el moment magnètic i l'angular era el doble de la prevista. Açò feia suposar que tot el magnetisme no tenia el seu origen en el moment angular.

#### Evidències espectroscòpiques.

En 1897 Zeeman va descobrir que la presència de camps magnètics externs inflüen en el procés d'emissió de llum pels àtoms, a l'observar que en un camp magnètic, **B** de 32 kg la línia blava del cadmi, de longitud d'ona 4800 Å, donava origen a un triplet de línies equidistants, coincidint la línia central del triplet amb la posició de la línia original.

Immediatament es va observar el mateix efecte en algunes altres línies del zinc i del cadmi que no presentaven estructura fina, i es va trobar que la separació entre les línies del multiplet era proporcional a B i independent de l'àtom considerat.

Este efecte, conegut com a efecte Zeeman normal, va ser explicat clàssicament per Lorentz en 1897.

Va suposar que el moment magnètic de l'àtom era proporcional al moment angular dels electrons

$$\overline{M} = \frac{e}{2mc} \overline{L}$$

Quan es col·loca l'àtom en un camp magnètic interactua el seu moment magnètic amb el B exterior, per tant el camp agrega a l'electró una energia.

Però a finals de 1897, Preston va deixar ja patent que hi havia casos en què el desdoblament era diferent del que havia observat Zeeman.

Experiències posteriors van permetre afirmar que cada una de les ratlles espectrals de l'estructura fina, en presència de B donaven multiplets de molt variades multiplicitats, i que si bé les línies que s'originaven eren equidistants, les distàncies entre les mateixes no sols depenien del camp magnètic, sinó també de la ratlla espectral considerada.

Aquest nou efecte es va denominar efecte Zeeman anòmal, el qual només pot ser explicat quan es considera l'acoblament *espín -òrbita*.

Efecte Stern-Gerlach.

En 1.922 Stern i Gerlach van trobar l'efecte que porta el seu nom.

En primer lloc, van produir un feix d'àtoms de plata evaporant este metall en un forn i deixant que un feix d'ells isqueren col·limats a través d'una sèrie d'obertures. Este feix dirigit segons l'eix x, es feia entrar en un recipient amb un buit elevat i en el que s'havia establert un camp magnètic, no homogeni, segons la direcció z.

Com els àtoms de plata són paramagnètics, posseeixen un moment magnètic permanent  $\mu_z$ , per tant, interaccionaran amb el camp.

Al final de l'imant, un àtom qualsevol (que descriurà una trajectòria aproximadament parabòlica) es desviarà lleugerament en la direcció x un angle

$$\theta \approx \left( \mu_z \frac{L}{2Ec} \right) \left( \frac{\partial B}{\partial z} \right)$$

Per tant, la reflexió del feix és proporcional a la component del moment magnètic segons la direcció z. Si  $\mu_z$  poguera prendre qualsevol valor en l'interval, els impactes dels àtoms sobre una pantalla, formaran una taca allargada en la direcció z. Però, en canvi, Stern i Gerlach van observar dos taques, precisament els cantells superiors i inferiors de la que clàssicament cabria esperar.

Açò demostra clarament la quantització de  $\vec{S}$ . I com, d'acord amb la teoria de la susceptibilitat paramagnètica de Langevin, el moment magnètic ha de considerar-se proporcional al moment angular, el resultat de l'experiment provava directament la quantificació del moment angular.

Pensem, no obstant això, que si el moment angular fóra un múltiple sencer de n de "h", com indiquen les regles de quantificació de Sommerfeld, llavors sempre apareixeran un número imparell  $(2n_\psi + 1)$  de taques i mai un número parell com passava en el cas de la plata. Esta contradicció només podrà ser superada amb la introducció del espín.

Però atès que l'àtom de plata a l'hora d'ara no es coneixia molt bé, en 1.927 Philips i Taylor, van realitzar el mateix experiment amb l'àtom d'hidrogen que al ser conegut permetia prediccions sense ambigüitats.

Si l'electró de l'hidrogen es troba en el seu estat fonamental "s", llavors la tercera component de l'oment angular serà nul·la i, per tant, segons la teoria de Lagevin, el feix no hauria de dividir-se. Al contrari, Philips i Taylor van trobar que el feix també es dividia en dos components simètriques. Evidentment açò implica l'existència d'algun moment magnètic en l'àtom que fins llavors no s'havia considerat.

## **ii. La hipòtesi de l'espín: Pauli i Uhlenbeck i Goudsmith.**

Uhlenbeck i Goudsmith van introduir la idea de l'espín estudiant un article de Pauli en el qual formulava el seu principi d'exclusió i en què, per primera vegada se li assignaven quatre números quàntics a l'electró.

Segons les seues pròpies paraules:

*"Açò estava fet d'una manera massa formal [...] Per a nosaltres estava clara la proposició que cada número quàntic correspon a un grau de llibertat i, d'altra banda, la idea d'un electró puntual, que òbviament només té tres graus de llibertat, implicava que no hi havia lloc per a un quart número quàntic. Només podíem entendre aquest considerant a l'electró com una xicoteta esfera que poguera girar..."*

*"Algun temps després Erhenfest va dirigir la nostra atenció cap a un article d'Abraham en el que podia entendre's clàssicament el necessari factor 2 en el moment magnètic ( $g = 2$ ) per a una esfera giradora amb superfície carregada. Açò ens va animar però el nostre entusiasme es va reduir notablement quan vam veure que la velocitat de gir en la superfície de l'electró hauria de ser diverses vegades la velocitat de la llum."*

*"La nostra idea ens va parèixer tan especulativa que no teníem la intenció de publicar res, màxima quan Bohr, Heisenberg i altres autoritats mai havien proposat res semblant. Però Erhenfest complagut pel caràcter visual de la nostra hipòtesi ens va animar a continuar cridant la nostra atenció sobre diversos punts com per exemple, sobre el fet que en 1921 Compton havia suggerit ja la idea d'un electró girador com a possible explicació de la unitat natural de magnetisme, dient-nos finalment, que ja fora quelcom important o un sense sentit havíem de publicar-ho."*

Posteriorment, amb l'ajuda de Lorentz van trobar que la imatge de l'electró girador podria produir dificultats molt serioses. En efecte, l'energia magnètica seria tan gran que a causa de l'equivalència massa - energia, l'electró hauria de tindre una massa més gran que la del protó.

**iii. Sistemes de partícules idèntiques. Principi d'exclusió de Pauli.**

Ja hem introduït l'espín; ara per completar la mecànica quàntica hem de tindre en compte que així com clàssicament dues partícules de la mateixa natura eren idèntiques, en mecànica quàntica cal renunciar completament a la possibilitat de distingir dos partícules de la mateixa natura d'un mateix sistema i veure com identificar dos estats d'un sistema que no difereixen l'u de l'altre més que per la permutació d'aquestes dues partícules.

Aquesta permutabilitat té conseqüències molt importants. Així, si permutant les coordenades de dues partícules d'un sistema, la funció d'ones no canvia el seu valor, diem que és simètrica en relació a aquestes partícules.

Per altra banda, si permutant-les canvia de signe, diem que és antisimètrica.

Això ens porta que donat un sistema físic de partícules idèntiques, les funcions d'ona que descriuen els seus estats han de ser totes simètriques o totes antisimètriques.

Empíricament s'havia trobat que els nivells energètics es saturen successivament per l'agregació de nous electrons: la regla d'Stoner ens indicava el nombre màxim d'electrons que cada nivell energètic podia rebre.

Aquesta saturació es deguda a la impossibilitat per dos electrons de posseir estats quàntics rigorosament idèntics: això es coneix amb el nom de principi d'exclusió de Pauli (1925). És equivalent a dir que pels electrons els únics estats realitzats en la natura són els antisimètrics.

**iv. Aplicacions.**

La consideració de l'espín i el principi de Pauli ha conduït a nombrosos èxits, entre els quals cal destacar:

Interpretació de l'espectre d'heli.

Experimentalment es coneixia que les ratlles d'heli es dividien en dos categories separades, corresponents a termes que en primera aproximació no es combinaven. Aquests dos sistemes de ratlles reberen el nom d'espectres de l'ortoheli i del paraheli.

Això, com va explicar Heisenberg en la seua memòria de 1925, és degut a que els electrons de l'àtom d'heli segueixen el principi d'exclusió i, per tant, les seues funcions d'ona deuen ser antisimètriques amb relació a les coordenades i a l'espín, però poden ser-ho de dos modes: simètriques respecte a les coordenades i antisimètriques respecte a l'espín o viceversa.

Hi ha dos categories de funcions d'ona, i per tant de termes espectrals: va identificar una amb l'ortoheli i altra amb el paraheli.

També va explicar l'estructura fina d'ambdós: les ratlles del paraheli són simples i les de l'ortoheli donen origen a triplets.

#### La molècula d'hidrogen.

Les teories clàssiques permetrien comprendre l'origen del vincle que uneix els àtoms d'una molècula heteropolar (per tracció entre ions) però no així el de l'homopolar. És la mecànica quàntica qui, gràcies a la introducció de les energies d'intercanvis, que són termes que apareixen al costat de les interaccions conegudes (nucli amb electró i electrons entre sí) unit a la possibilitat de permutar les partícules idèntiques, qui ho ha pogut comprendre.

A més, no hi ha energia d'intercanvi més que quan dos partícules idèntiques tenen probabilitat no nul·la de trobar-se en una mateixa regió de l'espai.

En 1927 W. Heitler – F. London van estudiar el cas més simple: la molècula  $H_2$ , amb sols dos electrons, trobant que si els espins dels electrons tenen el mateix sentit, l'energia d'intercanvi correspon a una repulsió entre àtoms i no pot formar-se cap molècula. Per contra, si els espins són de sentit contrari, l'energia d'intercanvi correspon a una atracció entre àtoms.

Com el parell d'electrons amb espins oposats té gran estabilitat serveix de vincle entre els dos àtoms.

Això permet donar una explicació de la noció de valència.

Això pot ser generalitzat per la formació de totes les molècules diatòmiques: els electrons desaparellats d'un àtom tenen tendència a unir-se als electrons en idèntiques condicions d'altre àtom per formar un parell.

#### **2.2.1.4. Aplicacions de la mecànica quàntica a la química.**

Donada l'amplitud del tema és pràcticament impossible esbrinar totes les aplicacions que ha tingut en les diverses rames de la química la mecànica quàntica.

Per això, sols anem a estudiar les primeres i més importants, és a dir, aquelles que donaren inici al punt de vista quàntic de cada disciplina.

##### **i. Espectroscòpia d'àtoms amb molts electrons i espectroscòpia molecular.**

Per sistemes amb varies partícules sabem establir l'equació d' Schrödinger, però no resoldre-la rigorosament. Ens veiem reduïts així a mètodes d'aproximació: per electrons en àtoms una aproximació satisfactòria consisteix a considerar a cada electró com sotmès a un camp central, creat pel nucli i per la distribució mitjana dels altres electrons. És el que s'anomena camp autoconsistent de Hartree (1928).

Els nombres quàntics  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ ,  $m_s$  serveixen per definir els estats dels àtoms, no obstant això, l'energia d'estats no depèn més que dels nombres "m" i "l". En una segona aproximació hem de considerar la diferència que existeix entre el camp central i el real, utilitzant el moment orbital i el moment d'espín de l'electró com vectors ordinaris. S'obté així un model vectorial de l'àtom, en què es determina el moment angular total  $J$  mitjançant les regles d'addició de vectors. Hi ha dos mètodes:

i) Acoblament de Russel i Saunders, per àtoms lleugers que consisteix en calcular

$$\sum_i \vec{l}_i = \vec{L}; \sum_i \vec{s}_i = \vec{S} \Rightarrow \vec{L} + \vec{S} = \vec{J} (i = n^{\circ} d' e^{-})$$

ii) Acoblament j-j per àtoms pesats que consisteix en

$$\vec{l}_i + \vec{s}_i = \vec{j}_i \Rightarrow \sum_i \vec{j}_i = \vec{J}$$

Una última aproximació dona compte de les accions mútues entre  $S$  i  $L$ : acoblament espín -òrbita responsable de l'escissió en multiplets dels nivells  $n_l$ . Permet explicar els efectes Zeeman anòmals i la fórmula de Landé.

Si es tenen en compte que les propietats magnètiques dels nuclis exerceixen influència sobre els espectres òptics, podem explicar l'estructura hiperfina.

A finals del S. XIX es coneixien espectres d'absorció i emissió de vapors de molècules. En el visible i en l'ultraviolat aquests espectres tenien un nombre major de línies que els atòmics fins el punt de poder agrupar-se en bandes. En 1885 Deslanhes va establir d'una forma empírica una fórmula per explicar la distribució de les línies en les bandes.

Posteriorment es van descobrir els espectres de les molècules en el infraroig llunyà Czerny (1925) i en microones (1940), que eren més senzills que l'ultraviolat. Aquests espectres van ser explicats per Born i Oppenheimer en 1927 suposant que existien bandes electròniques, bandes de rotació i bandes de vibració.

## ii. Química quàntica.

Encara que de natura essencialment física, les noves concepcions sobre l'estructura de l'àtom, foren aplicades ràpidament a la química, fonamentalment al problema de l'enllaç.

En 1927 W. Heitler i F. London van abordar el problema de la molècula d'hidrogen. Aquesta teoria va ser estesa a molècules més complexes per Pauling, Slater, Born, Weyl, etc. Aquesta concepció denominada "teoria de l'enllaç de valència" es refereix a la concentració d'electrons aparellats entre àtoms enllaçats, a les



propietats direccionals dels enllaços i a l'estructura molecular, assenyalant la importància de la natura atòmica original del sistema.

El mètode de l'orbital molecular va ser introduït per Burrau en 1927 i desenrotllat per Hund, Mulliken i Lennard-Jones en 1932. Es formen les molècules mitjançant un sistema d'orbitals que van sent ocupats pels electrons seguint les mateixes regles dels àtoms.

Bethe i Kramers desenrotllen la teoria del "camp cristal·lí". Consideren les molècules complexes com sistemes electrostàtics formats per càrregues puntuals i dipols.

Van Vleck va demostrar en 1935 que aquestes tres interpretacions eren equivalents. Malgrat tot, van conèixer un èxit desigual: de 1930 a 1940 la teoria de l'enllaç de valència va tindre gran acollida pels químics, després de 1945 gràcies a l'estudi dels electrons excitats de les molècules, els orbitals moleculars i el camp cristal·lí van aconseguir més èxit. Els orbitals moleculars explicaven el paramagnetisme i el diamagnetisme de les molècules, que havien estat estudiats macroscòpicament per Langevin i Curie. La interpretació del ferromagnetisme va ser donada per Heisenberg en 1928, qui va atribuir a l'energia d'intercanvi (de la qual ja hem parlat) l'origen dels camps moleculars de Weiss.

El concepte de ressonància, introduït per Heisenberg en 1926 en el seu estudi de l'àtom d'heli, va ser aplicat per Pauling, Huckel i Slater a les molècules, doncs una senzilla fórmula estàtica no pot explicar les seues propietats.

Slater va ser junt amb Pauling qui més va contribuir a l'establiment de la química quàntica com a disciplina, independentment que fóra físic, ja que mai va considerar l'estructura molecular i la física de l'estat sòlid com dos camps separats. Es va formar a Europa. Va intentar conciliar la teoria dels quants de llum amb l'electrodinàmica i va col·laborar amb Bohr i Kramers en l'article de 1924 on es qüestionava la conservació de l'energia en els processos individuals microscòpics (desintegració  $\beta$ ), de la qual cosa es va exculpar repetidament. La seua principal contribució són els determinants de Slater, utilitzats per a què la funció d'ones total d'un sistema d'electrons siga antisimètrica (segons exigeixen el principi d'exclusió i el postulat de simetrització).

Pauling va estar de 1926 a 1928 a Europa, primer a Munic, on va conèixer a Heitler i London, la teoria de la qual va començar a aplicar a molècules més complexes, publicant un breu article en 1928. Després a Zuric amb Schrödinger. En 1931, estimulat per Slater, va publicar una descripció detallada de la mecànica quàntica de l'enllaç covalent. Estos treballs van culminar en el tractat *The nature of*

*chemical bond* de 1939. També va publicar una *Química general*, l'any 1947, molt remarcable i reeditada. Va suggerir la possibilitat que les molècules proteiques tingueren una estructura helicoïdal, avançant-se als descobriments que van fer Watson i Crick en el ADN, i va contribuir a l'estudi de l'hemoglobina anòmala que deforma els glòbuls rojos i provoca la malaltia coneguda com l'anèmia falciforme. L'any 1945 va ser guardonat amb el Premi Nobel de Química.

Però, a més de les seues inestimables contribucions al coneixement de l'estructura molecular, destaca la seua personalitat afable i la seua compromesa oposició al desplegament de la guerra atòmica, per la qual cosa va organitzar nombroses campanyes contra els experiments nuclears. L'any 1952 va ser víctima de la persecució iniciada per McCarthy contra intel·lectuals acusats d'antipatriotes i li va ser retirat el passaport. En plena guerra freda, l'any 1958, va publicar *No More War!*. Això el va convertir en una de les poques persones que va tornar a rebre un Premi Nobel, ara en un àmbit diferent, el de la Pau de 1963.

### **iii. Estat sòlid.**

Anem a ressenyar a continuació les aplicacions de la vella teoria quàntica i de la mecànica quàntica a:

#### Metalls, aïllants i semiconductors.

L'antiga teoria dels electrons de Drude i Lorentz tractava d'explicar les propietats dels metalls, especialment la seua aptitud per conduir calor i electricitat. Va suposar que els àtoms estaven ionitzats i que aquesta ionització donava origen a un gas d'electrons lliures. Malgrat això, aquesta teoria tenia dificultats: una de les més importants va ser la de la calor específica dels metalls.

En 1926 Sommerfeld aplica els electrons lliures del metall l'equació d'Schrödinger per un potencial periòdic i l'estadística de Fermi i Dirac obtenint així nivells energètics discrets i la distribució d'equilibri dels electrons (veient com es afectada per camps elèctrics, variacions de temperatura i de concentració). La seua teoria explica la llei de Wiedeman-Franz (la relació entre les conduccions tèrmica i elèctrica és constant a una temperatura donada) i la llei de Richardson per l'extracció d'electrons en metalls.

En 1928 Frenkel, Houston i Bloch estudien el problema de la conducció reduint-lo a la difusió d'ones electròniques per la xarxa cristal·lina, de manera anàloga a la dispersió de raigs X descoberta per Von Laue en 1912 i interpretada posteriorment per Bragg. Van trobar que a zero kelvin no hi ha dispersió, sols reflexió selectiva d'ones que satisfan la llei de Bragg

$$n\lambda = 2dsen\theta$$

A temperatura ambient hi ha agitació tèrmica proporcional a la temperatura i, per tant, dispersió, de forma que la longitud d'ona és proporcional a la temperatura i la conductibilitat a la inversa de la temperatura. També van trobar que els nivells no estan esglaonats regularment com havia obtingut Sommerfeld.

La “Teoria de bandes” fou entrevista per Strout en 1927 i desenrotllada poc després per Brillouin, Peierls i Morse. El moviment dels electrons en un cristall com a conseqüència de la periodicitat de la xarxa compleix que la seua energia està compresa en certes bandes, els límits de les quals corresponen a longituds d'ona que satisfan les condicions de Bragg. Entre bandes primitives existeixen bandes prohibides, la qual cosa permet la distinció entre aïllants i semiconductors, electrons lligats i semillliures.

### Sòlids iònics.

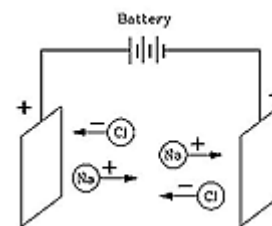
La gran diferència de comportament de conductors i aïllants s'havia observat abans del descobriment de la conducció elèctrica. Gilbert havia classificat els materials segons la facilitat per ser electrilitzats. Als que va poder electrilitzar els va anomenar *elèctrics*; als que no (metalls i altres materials), els va anomenar *no elèctrics*. Quan Gray va descobrir la conducció, Du Fay va demostrar que tots els materials podien electrilitzar-se però que havia de tindre's cura d'aïllar del sòl (o de l'experimentador) els no elèctrics de Gilbert perquè no s'escapara ràpidament la càrrega. Emprant únicament la sensació fisiològica per la detecció l'excèntric Cavendish –no comptava amb instruments adequats per les seves investigacions, així que mesurava la força d'un corrent elèctric sotmetent-se al mateix i calculava la seva intensitat pel mal que li provocava- va comparar les possibilitats conductores de moltes substàncies.

*“A partir d'uns experiments, de què em propose presentar en breu una relació davant aquesta Societat, sembla ser que l'alam de ferro condueix 400 milions de vegades millor que l'aigua de pluja o l'aigua destil·lada –és a dir, l'electricitat no troba més resistència per travessar un tros d'alam de ferro de 400000000 polzada de longitud que per travessar una columna d'aigua de tan sols una polzada de longitud. L'aigua de mar, o una solució d'una part de sal en 30 d'aigua, condueix 100 vegades, o una solució saturada de sal marina 720 vegades, millor que l'aigua de pluja.”*

Va estar la primera vegada que s'assenyalava que la conductivitat de l'aigua augmentava dissolent una sal.

La noció d'ió va sorgir per vegada primera en química. Com ja hem introduït, en el segle XIX era ben conegut que l'aigua on es dissolien sals (o àcids, o bases) conduïa

l'electricitat i que un corrent elèctric podia separar les substàncies dissoltes en els seus components. La resposta al perquè d'aquest comportament la va donar en 1884 Svante Arrhenius, moment en què va publicar la seua tesi sobre conductivitat elèctrica en solucions salines; va proposar que quan es dissol en aigua un compost com la sal



comuna NaCl (clorur sòdic), es divideix en els seus "ions" (en grec "aquells que es mouen") carregats elèctricament  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ . Les forces elèctriques fan que el ion  $\text{Na}^+$  es moga en una adreça i el ion  $\text{Cl}^-$  en l'oposada i que és així com es transporta el corrent elèctric. Encara que al principi va semblar una idea estranya, des que en 1887 va publicar un treball sobre dissociació iònica on introduí el concepte d'ió, avui s'entén perfectament; i la classificació de sòlids iònics no resulta gens estranya. Es formen moltes molècules quan els àtoms comparteixen electrons, però les molècules com les del NaCl són diferents. Allí, l'àtom de sodi (Na) cedeix un al clor (Cl), creant ions  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , que en la sal sòlida estan units per la seva atracció elèctrica. L'aigua, no obstant això, afebleix granment aquesta atracció (a escala microscòpica), permetent als ions moure's lliurement en el moment que la sal es dissol en l'aigua i permeten que l'aigua es faça conductora de l'electricitat.

### Sòlids covalents.

El descobriment de l'estructura electrònica dels àtoms, la descripció del model nuclear i dels estats estacionaris dels electrons en l'embolcall atòmic, i la formulació d'una nova llei periòdica per a les propietats dels elements químics basada en la càrrega nuclear dels àtoms van constituir premisses per a penetrar en la naturalesa de l'enllaç químic que esperava per una coherent explicació des de mitjans del segle passat.

En 1916 es publiquen els treballs del físic alemany W. Kossel i del químic físic de la Universitat de Califòrnia G. N. Lewis, que van presentar una notable ressonància en el tractament posterior d'aquest problema. Kossel, des de la Universitat de Munich, va anar el primer a postular la possible transferència electrònica des d'un àtom electropositiu cap a altre electronegatiu com mecanisme de formació de l'anomenat enllaç iònic, que suposa la seva fortalesa per la força electrostàtica desenvolupada entre les espècies carregades amb signe oposat. La idea de la possible existència de dos tipus de compostos amb enllaços polars i apolars exposada inicialment per Lewis en 1916, va ser complementada en els anys següents quan formula la tesi que l'enllaç en les substàncies moleculars és el resultat del compartiment d'un parell d'electrons per part dels àtoms units, que expressen tendència a arribar a la configuració

electrònica del gas noble que li succeeix en la Taula Periòdica dels elements. Aquests models són una primera visió sobre enllaç químic. Però el necessari aprofundiment va arribar a partir de 1927 quan s'introdueixen en el pensament químic les idees de la mecànica quàntica. En 1927, un any després de la publicació de l'article de Schrödinger en el qual va ser proposada l'equació d'ona que duu el seu nom, el físic alemany W. Heitler i el físic anglès F. London, abans esmentats, van desenvolupar el càlcul mecànic quàntic de la molècula d'hidrogen, que va donar una explicació quantitativa de l'enllaç químic. En essència el càlcul va venir a demostrar que durant l'acostament de dos àtoms amb electrons d'espins oposats ocorre un augment de la densitat del núvol electrònic en l'espai entre els nuclis, que s'acompanya amb una disminució considerable de l'energia del sistema. Sorgeix l'enllaç amb la formació així d'un sistema més estable.

Començaria a desenvolupar-se un nou sistema de categories per a explicar les característiques de l'enllaç químic. Alguns dels conceptes que emergeixen amb un contingut qualitativament distint són els de orbital atòmic i orbital molecular que ara designen regions que amb determinada probabilitat es troba el núvol d'electrons; les nocions d'energia d'enllaç per a indicar la seva fortalesa, ràdio o distància internuclear terme mitjà per a assenyalar les posicions relatives dels nuclis, densitat electrònica relativa per a denotar l'existència dels llocs actius responsables de la reactivitat, i ordre d'enllaç per a advertir la multiplicitat que presenten els àtoms a l'enllaçar-se.

#### **2.2.1.5. Implicacions didàctiques de la fonamentació històrica.**

Hem fet un anàlisi de la història per detectar les diferents dificultats a què s'ha enfrontat la comunitat científica al llarg de la història. S'esmenten a continuació, entre d'altres, algunes d'aquestes dificultats:

- Dificultats quant a la substitució d'uns models atòmics per altres degut a l'aparició de fets que no explicava el model anterior, però que, així i tot, deixen coses sense explicar,
  - Acceptació inicial de les òrbites per Bohr i Sommerfeld malgrat saber que eren completament clàssics. Això ha plantejat un fort debat didàctic sobre la conveniència o no de la seua introducció, que abordarem en el següent apartat.
  - Problemes amb la unificació dels models d'enllaç: inicialment s'utilitzen models clàssics per a l'enllaç iònic i metàl·lic (ions com esferes carregades) i, per contra, models prequàntics o quàntic pel covalent.
  - Intentar mantenir un model, el de Lewis, malgrat les seues limitacions amb hipòtesi ad hoc (ressonància, teoria de repulsió de parells electrònics de la capa de

valència, TRPECV), com es va fer, per exemple, en el model geocèntric (epícles, deferents).

- Prevalença inicial del model derivat de la Mecànica Quàntica, el model d'electrons de valència (EV) front al model d'orbitals moleculars (OM) per la seua semblança amb parells de Lewis, malgrat que el segon resulta més explicatiu.

- Problemes amb la unificació dels models quàntics d'enllaç.

### **2.2.2. Fonamentació epistemològica i didàctica de la hipòtesi.**

La segona fonamentació teòrica de la hipòtesi consistirà en posar en qüestió el procés d'ensenyament de l'àtom i l'enllaç químic que es fa habitualment ja que no té present els avanços de la didàctica de les ciències en els darrers vint anys. En particular, caldrà tindre en compte els resultats aportats, entre d'altres, per la línia de recerca sobre les concepcions alternatives dels estudiants (que va suposar, a nivell teòric, un seriós revulsiu al model hegemònic de transmissió-recepció dels coneixements científics ja construïts) i pel moviment 'Ciència, Tecnologia, Societat i Ambient, (CTSA), que pretén una educació científica més social i comprensiva per a tothom. És a dir, aquest moviment de científics i filòsofs pretén una alfabetització científica i tecnològica dels futurs ciutadans i ciutadanes a fi d'arribar a una comprensió pública de la ciència i així podran prendre decisions fonamentades respecte als problemes socials derivats de l'ús de la ciència i la tecnologia (Solbes i Vilches, 1989 i 1997; Edwards et al 2002). Així doncs, en aquest apartat presentarem les principals mancances de l'ensenyament convencional dels conceptes i models que no ajuden a la comprensió dels estudiants quan hagen d'aplicar-los en l'explicació de les propietats macroscòpiques de la matèria.

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

**2.2.2.1. Visions deformades sobre la natura de la ciència i de l'activitat científica que se solen transmetre en l'ensenyament d'Estructura atòmica i Enllaç químic.**

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

- **la visió descontextualitzada socialment de la ciència** que ha mostrat el moviment investigador de les interaccions CTSA on s'ha vist la necessitat de fer una educació científica més social que mostre els problemes del desenvolupament científic i de les seves conseqüències tant positives com negatives. Aquesta contextualització de l'ensenyament científic en els problemes anteriors i actuals de la comunitat científica i de la societat en la que està inserida és necessària per despertar l'interès i la motivació dels estudiants cap a les ciències i el seu aprenentatge (Solbes i Vilches 1989, 1992 i 1997; Vilches i Gil 2003). Precisament en l'ensenyament de l'estructura atòmica és fàcil trobar situacions problemàtiques d'interès personal i social des del plantejament de temes transversals com l'Educació per la Pau, eixint al pas de situacions d'índole política com durant la presidència d'Eisenhower als USA en l'anomenat programa Àtoms per la Pau (Sánchez Ron, J.M. (2007) 830-834), o d'Educació no sexista, eixint al pas amb l'exemple de dones que destacaren en aquests estudis com Marie Curie, etc.;
- **la visió empirista i ateòrica** del professorat de ciències prou investigada en la didàctica (Matthews 1994a i 1994b) i on es prioritza l'anomenat per Piaget '*el mite sensorial en la construcció dels coneixements científics*'. Com diu Lopez-Gay (2001) en la seva tesi doctoral: '*...hay que tener en cuenta que la visión fuertemente empirista que caracteriza nuestro pensamiento implica que uno encuentra plausible un modelo mental cuando se puede relacionar (e identificar) con un objeto real fuertemente interiorizado. Así es como funciona nuestra mente (...) ligando ideas o estructuras mentales ya establecidas en nuestro pensamiento...*'. Eixa pot ser la raó per la qual alguns conceptes científics es

l·liguen fàcilment amb definicions procedimentals de baix nivell cognitiu i no ho fan amb definicions relacionals del mateixos conceptes de major nivell. Per exemple, la introducció conceptual del model atòmic planetari de Rutherford no presenta cap dificultat pels estudiants, que també acaben d'entendre la substitució pel model de Bohr, però, en canvi, si en té l'enteniment dels fets experimentals que no podien explicar. El mateix passa amb els models atòmics, tenen bastants problemes de comprensió de la vertadera natura de les unions entre àtoms, és a dir, de la interacció electromagnètica i, en canvi, resulta molt més fàcil l'explicació de l'enllaç mitjançant el model iònic; dotant d'un formulisme incorrecte l'àtom;

- **la visió rígida i massa formalista dels coneixements científics** com el que ocorre habitualment en la introducció dels models d'enllaç on s'abusa d'un operativisme cec que, de vegades, arriba a ser dogmàtic. És freqüent en aquest domini derivar matemàticament un concepte sense tindre prèviament alguna idea o una representació qualitativa (Toulmin 1977) o sense presentar abans els problemes, fenòmens o referents empírics que es volen explicar amb aquell concepte científic. Per exemple, està el cas de la introducció del concepte d'enllaç iònic sense haver mostrat prèviament el covalent. Això fa que l'alumnat no tinga clar que els enllaços són una aproximació a través de models que poden ajustar-se més o menys a la realitat física; per exemple, treballen amb el model de Lewis, fins i tot, per a l'enllaç iònic. La investigació didàctica en el domini de la Química ja ha ressaltat aquestes deficiències, en general (Johnstone 1993), o en temàtiques més específiques com, per exemple, en la neutralització d'àcids i bases i en la hidròlisi de sals (Furió et al 2003);
- **la visió ahistòrica i aproblemàtica en la introducció dels conceptes i teories científiques** que no mostra com, per exemple, l'origen d'un concepte és la resposta hipotètica donada pel cos teòric a un o varis problemes existents en un moment donat. És habitual veure com l'ensenyament de les ciències oblida el caràcter problemàtic i històric dels conceptes, és a dir, que aquests naixen intentant solucionar problemes, es desenvolupen, canvien i, inclòs, poden arribar a desaparèixer. Un exemple prototípic d'evolució conceptual en l'estructura atòmica és, novament, l'explicació dels diferents models atòmics que històricament s'han donat sense explicar en alguns casos el perquè de les seves substitucions. No explicar, per exemple, l'efecte fotoelèctric o els espectres atòmics entre el model de Bohr i la química quàntica;



- **la visió acumulativa lineal dels conceptes i teories científiques** que també es pot observar en l'ensenyament dels models atòmics. Per exemple, la mistificació i hibridació de models com Bohr-quàntic, on l'alumnat confon òrbites amb orbitals. Nogensmenys, en l'actualitat la major part dels llibres de text no presenten explicacions submicroscòpiques i quan les presenten ho fan superposant aquest nivell submicroscòpic d'interpretació amb el nivell macroscòpic mitjançant l'ús de models que no acaben d'especificar. Això implica que no tenen clars els límits dels models clàssics que marquen el seu domini de validesa i el camí cap a la química quàntica. Cal establir unes correctes relacions macro-submicro que, a més a més, donen coherència al cos teòric. Aquesta superposició dels nivells macro i submicro es presenta sovint en l'ensenyament de la Química (Gabel 1998, Furió et al 2003) i es justifica en base al desconeixement de la història de la ciència (Kuhn 1971) i en el caràcter acrític i poc reflexiu de la formació del professorat de Ciències (Gil i Solbes 1993, Fernández et al 2002);
- **la visió excessivament analítica de les construccions científiques** oblidant que la ciència cerca explicar el món i, en particular, els distints fenòmens naturals amb el mínim nombre d'hipòtesis i, per això, tracta de realitzar grans síntesis de cossos de coneixements teòrics com, per exemple, fou la mecànica newtoniana en el segle XVII que trencà les barreres entre la física del cel i la de la terra. En el cas que ens ocupa, la Química quàntica va unificar els cossos teòrics Química clàssica.

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

#### **2.2.2.2. Mancances axiològiques, conceptuals, epistemològiques i metodològiques a l'ensenyament convencional.**

La major part de les visions deformades de la ciència i de l'activitat científica exposades en el subapartat anterior hem dit que tenen la seva repercussió en la

imatge que tenim els professors i professores sobre l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències i molt possiblement es poden trobar relacions en les mancances didàctiques que anem a exposar a continuació i que hem dividit, per simplificar, en tres grups de deficiències: i) axiològiques; ii) conceptuals i epistemològiques; iii) metodològiques.

**i. Deficiències en la dimensió axiològica de l'ensenyament aprenentatge.**

A mitjan els 80, es va constatar un descens de l'interès dels alumnes cap a l'aprenentatge de les ciències (especialment, la física i la química) i, en conseqüència, un abandó del seu estudi (Yager i Penick, 1986; Matthews, 1991). Per això, les propostes dels anys 90 proposen aconseguir no només canvis conceptuals i procedimentals, sinó també axiològics i actitudinals (Aikenhead, 1985; Solbes i Vilches, 1997; Duschl i Gitomer, 1991). En treballs recents es constata que aquest desinterès no ha fet més que augmentar (Solbes, Monserrat i Furió, 2007; Vázquez i Manassero, 2008). Per tant, el principal canvi actitudinal és interessar, motivar als estudiants cap a l'aprenentatge de les ciències.

No hem d'oblidar que la motivació i l'interès dels estudiants solen estar lligats als problemes socials que els envolten (Solbes y Vilches, 1997) i, per altra part a l'autoestima i la confiança que els dona tindre unes expectatives positives d'avanç i de comprensió de les ciències.

Molt lluny, l'ensenyament convencional propicia un descens d'actituds favorables en els alumnes envers les ciències basada en una visió descontextualitzada des del punt de vista social de la ciència que tenim els professors. A l'ensenyament convencional és habitual presentar el concepte d'àtom, als temes de la constitució de la matèria, sense cap relació amb els principals problemes que tenim avui al voltant dels conflictes entre països per motius energètics i d'altres, i consegüent implicació d'armes químiques, bombes atòmiques, així com de l'aprofitament i investigació en energies nuclears. La no implicació en els problemes amb l'absència de situacions problemàtiques obertes d'interès per als alumnes, o la no introducció d'aspectes històrics relatius a quins varen ser els principals problemes científics i tecnològics que es resolgueren a l'introduir aquell concepte, fa que les actituds dels estudiants envers l'aprenentatge de les ciències siguin passives quan no negatives. És a dir, aquesta manca de relació entre els conceptes i les teories científiques i els problemes de la vida quotidiana o del nostre passat que se sol donar en l'ensenyament són deficiències actuals de tipus axiològic que està mostrant la recerca en didàctica de les ciències, recerca que encara no ha tingut un impacte notable en el desenvolupament

professional de la majoria del professorat de Física o de Química (Gilbert et al. 2004; Furió 2006).

**ii. Deficiències en la dimensió conceptual del procés d'ensenyament-aprenentatge de les Ciències.**

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

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

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

- Presentar els conceptes de forma arbitrària sense indicar quins problemes volen resoldre.
- No es tenen en compte els possibles obstacles conceptuals i epistemològics dels estudiants, deguts a les seues concepcions alternatives (per exemple, no saber que els estudiants en la vida quotidiana solen identificar calor i temperatura), al poc domini de prerequisits conceptuals (per exemple, el càlcul de la calor o del treball fet) o a l'existència de formes de raonament simples com, per exemple, el reduccionisme funcional. En aquest tipus de raonament de 'sentit comú' se simplifica l'anàlisi de la dependència d'una funció de varies variables reduint-la a sols una d'elles sense oblidant-se de controlar la resta de variables (Viennot 1996; Furió, Calatayud, et al 2000 i Furió, Azcona i Guisasola 2000).
- S'utilitzen directament les definicions operatives dels conceptes sense donar-li un significat físic o químic qualitatiu previ. És a dir, el professor prefereix presentar una definició matemàtica cega a una conceptualització física o química amb sentit (Barlett i Mastrot 2000).
- No es té en compte el camp de validesa dels conceptes o de les lleis (Vasini i Donati 2005).

A més a més, la recerca està mostrant el poc ús i aplicació dels conceptes subatòmics que es fa a l'analitzar les propietats físiques de les substàncies en l'ensenyament (per exemple, en el cas dels sòlids iònics sempre es parla de la seua fragilitat en base a la representació de càrregues de signe oposat alternades que s'enfronten). Un altre cas més particular és en el camp de la termodinàmica, que es fa a l'analitzar situacions energètiques en l'ensenyament. Per exemple, en els pocs anàlisis energètics dels fenòmens tèrmics que es fan, s'utilitzen tractaments macroscòpics i no se solen acompanyar de les oportunes interpretacions atomistes.

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

Hi ha dificultats que responen a formes de raonament de "sentit comú", en particular, quan els estudiants han de relacionar idees, en activitats més complexes com, per exemple, la resolució de problemes. Aplicar, per exemple, l'equació del moviment uniforme en la forma  $v = e/t$  en qualsevol problema cinemàtic és una tasca que solen fer molts alumnes però que no respon a l'existència d'una idea alternativa concreta sinó a una tendència a aplicar immediatament fórmules que relacionen dades

amb incògnites, sense preocupar-se del seu camp de validesa. Aquest tipus de raonament estratègic de “sentit comú” que hem denominat “fixació funcional” pot trobar-se fàcilment tant en raonaments quantitius com en qualitius. Per exemple, apareix quan els estudiants responen majoritàriament que no li passa gens a l'estat d'equilibri d'un sistema químic al que se li afegeix un gas inert o quan apliquen irreflexivament el principi de Le Chatelier (Furió et al., 2000). Altres tipus de raonament anàlegs detectats en la investigació són la “reducció funcional” i el “raonament seqüencial lineal” (Viennot, 1996). La reducció funcional és un tipus de causalisme simple bastant freqüent en la vida quotidiana en el qual l'alumne redueix injustificadament el nombre de variables de les quals depèn una funció a una solament. El raonament seqüencial lineal s'ha detectat en l'estudi de circuits elèctrics (Pontes i De Pro, 2001) i consisteix a anar fent una anàlisi pas a pas dels elements que hi ha en cada branca del circuit sense tenir en compte com poden influir els elements de les altres branques en la globalitat del sistema. O sigui, l'estudiant tracta de solucionar el problema raonant de forma local més simple sense pensar en una estratègia més complexa de tipus holístic on es tinga en compte tot el sistema.

Per això el nou model didàctic deuria, doncs, enfocar l'aprenentatge, no solament com a canvi conceptual, sinó també com a canvi metodològic. Els alumnes únicament arribaran a canviar les seves formes usals de raonament i a superar les seves tendències metodològiques usals de treure conclusions precipitades i a generalitzar acríticament a partir d'observacions merament qualitatives si són posats reiteradament en situació d'aplicar la metodologia científica, és a dir, en situació de plantejar-se problemes, emetre hipòtesis a la llum dels coneixements previs, dissenyar experiments, realitzar-los, analitzar els resultats, que verifiquen o falsegen la hipòtesi, etc. (Gil et al., 1991; González, 1992).

I a més, aquest plantejament d'ajustar l'ensenyament a les característiques de la metodologia científica és necessari, no només perquè la familiarització dels alumnes amb el treball científic siga un objectiu per si mateix, sinó perquè els canvis conceptuals durables es veuen afavorits per canvis metodològics en l'alumne (Gil i Carrascosa, 1985).

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

aprenentatge del professorat basada en la transmissió/recepció dels coneixements científics ja construïts.

És a dir, en l'ensenyament convencional el professor té una epistemologia de sentit comú sobre com aprenen els estudiants i com s'han d'ensenyar els conceptes i les teories científiques (Carnicer i Furió, 2002). La tasca del professor fonamental consisteix en explicar el més clarament possible el cos de coneixements i, en tot cas, la participació de l'alumnat va a consistir, fonamentalment, en aplicar el coneixements transmès mitjançant algun exercici o problema. Pel contrari, els resultats de la recerca mostren que l'assimilació dels conceptes pels estudiants s'afavorirà si aquestos s'enfronten als problemes i, per tant, s'ha de canviar les metodologies emprades a l'aula. Açò només serà possible si ajudem als alumnes al tractament científic de situacions problemàtiques obertes que siguen d'interès, utilitzant les estratègies emprades en la investigació científica, com per exemple, acostumar als estudiants a fer l'anàlisi qualitatiu d'aquestes situacions problemàtiques fins a arribar a problemes acotats de les interaccions entre sistemes, afavorir l'emissió d'hipòtesi per solucionar les situacions, proposar als estudiants que facen el disseny dels experiments per posar a prova les hipòtesis, que analitzen els resultats obtinguts, veure les aplicacions científiques i tecnològiques que es deriven dels coneixements construïts sempre afavorint les relacions CTSA, això com impulsar la participació dels estudiants en la classe mitjançant el treball cooperatiu de grup i la interrelació dels diferents grups de la classe, etc.(Gil et al 1991; National Research Council, 1996; Furió, 1997; Rocard et al, 2007).

En resum, totes aquestes mancances docents a l'hora de proposar l'ensenyament de l'àtom molt possiblement no afavoreixen l'aprenentatge d'aquest tema i ajudaran molt poc a la comprensió de l'enllaç químic. Nogensmenys, caldrà definir clarament quan podem dir que els estudiants comprenen i apliquen aquests coneixements científics.

#### **iv. Deficiències en l'ensenyament aprenentatge sobre Àtom i Enllaç Químic.**

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

Hi ha prerequisits físics importants que faciliten la comprensió dels models atòmics i de l'enllaç, en concret de nivells energètics, estabilitat d'àtoms i molècules. Aquests són la comprensió de l'energia i de la interacció elèctrica, així com la comprensió de les càrregues i de la interacció entre elles; prerequisits que constitueixen greus

dificultats als alumnes i que fan que hi haja una barreja de models atòmics, tal i com es va trobar en l'anàlisi de textos de BUP i COU (Solbes et al. 1987) i d'enllaç químic (Solbes y Vilches, 1992).

Mentre que molta de la literatura d'investigació emfatitza diferents models de l'àtom, diferents autors defineixen i categoritzen models de manera diferent; alguns se centren explícitament en els models històrics (Blanco i Níaz, 1998; Justi i Gilbert, 2000), d'altres ho fan centrant l'atenció en models d'estudiants (Petri i Niedderer, 1998), d'altres ho fan distingint entre els dos (Monk i Duschl, 2005; Harrison et al., 2000) i, per últim, hi ha qui crea models híbrids per l'ensenyament (Budde et al., 2002 a i b).

Per exemple, Fischler i Lichtfeldt assumeixen que la única explicació correcta per l'estabilitat dels àtoms està en el principi d'incertesa de Heisenberg. Justi i Gilbert assumeixen que allò que s'anomena com model de de Broglie és una barreja inadequada del model d'òrbita i el model mecanoquàntic. Harrison i Treagust assumeixen que és correcta la descripció de núvol electrònic com "un conjunt d'electrons que es mouen molt ràpidament al voltant del nucli" i que un model "pluja" és més sofisticat que un model "escorça" (sense definir cap d'aquests dos termes).

Tots atribueixen la dificultat a l'ensenyança d'idees errònies i, alguns es manifesten contra l'ús del model de Bohr per evitar una descripció de l'àtom que incloga òrbites (Fischler i Lichtfeldt, 1992 a i b). Nosaltres pensem que cal es manifestar-se en sentit contrari per les següents raons (McKagan et al., 2008; Navarro y Solbes, 1989):

- Per familiaritzar els alumnes amb la forma de treball dels científics, que elaboren models per a explicar els problemes fins que sorgeixen dificultats que obliguen a canviar-los. Els experts reals són capaços d'emprar diferents models simultàniament, reconeixent les virtuts i limitacions de cadascú i aplicant-los adequadament (Ireson, 2000; Brookes, 2006; Brookes i Etkina, 2007; Grosslight et al., 1991). En conseqüència, evitar el model de Bohr privaria l'alumnat d'una ferramenta que els científics consideren útil.
- L'interès didàctic de la utilització de models. Segons els estàndards de la U.S. National Science Education (National Research Council, 1996), *"Els models són esquemes o estructures provisionals que es corresponen amb objectes reals, situacions, o tipus de situacions, amb un poder explicador. Els models ajuden els científics i enginyers a entendre com funcionen les coses"*. Així que són utilitzats com a explicació de forma esquemàtica i senzilla de fenòmens que, altrament, requeririen una descripció complicada. No obstant, apareix un inconvenient: molts

textos presenten les aproximacions d'un model com a descripció real i correcta, ignorant que tot model té les seues limitacions i que només és útil si s'és conscient d'elles.

- Els alumnes, com a resultat de les informacions dels mitjans de comunicació, de l'ensenyança rebuda en l'educació primària, etc. Posseeixen una representació atòmica mitjançant òrbites, que proposem explicitar per a canviar-la seguidament, mostrant els límits tant teòrics com experimentals del model. Petri i Niedderer (Petri i Niedderer, 1998) pensen que el model de Bohr constitueix un pas necessari en el camí de l'aprenentatge de l'estudiant. Tal i com també ho veuen com un pas històric important per entendre els àtoms (Blanco i Níaz, 1998; Justí i Gilbert, 2000).
- Perquè per l'aprenentatge significatiu de la mecànica quàntica requereix del contrast amb la visió intuïtiva del prequàntic model de Bohr, model estimat per alguns (Müller i Wiesner, 2002; Kalkanis et al. (2003) com una ferramenta útil per redefinir la visió quàntica dels àtoms. És a dir, permet introduir de forma senzilla, encara que reduït al cas particular d' un electró lligat a un nucli, el concepte d'estat, caracteritzat pels valors definits d'unes magnituds, l'energia i el moment angular. A més, permet veure que estes magnituds no poden prendre tots els valors possibles, sinó que estan quantitzades per un número quàntic.

### **2.3. A TÍTOL DE RECAPITULACIÓ.**

En aquest capítol s'ha donat una fonamentació hipotètica al suposat problema del poc aprenentatge significatiu que aconseguixen els estudiants quan s'enfronten a la interpretació submicroscòpica de les propietats físiques i químiques que presenta la matèria. Aquesta hipòtesi atribueix aquestes dificultats discents, entre d'altres, a les mancances conceptuals, epistemològiques, metodològiques i aixològiques de l'ensenyament de l'àtom i l'enllaç químic. A continuació s'ha fonamentat la hipòtesi basant-se en els coneixements actuals de filosofia i història de la ciència i, sobre tot, en els resultats que se'n deriven de l'aplicació de la didàctica de les ciències al domini específic de l'ensenyament d'aquests temes.

A partir de les dificultats històriques i les didàctiques que s'han analitzat al llarg d'aquest capítol ha tingut lloc l'elaboració del disseny experimental, que es tractarà en el capítol III. A la següent taula es presenten els objectius de què, segons el currículum, es pretén comprovar que el nostre alumnat presenta, relacionats amb les



## CAPÍTOL II. FORMULACIÓ I FONAMENTACIÓ DE LA HIPÒTESI

corresponents dificultats que la nostra hipòtesi vol detectar; dificultats que s'aniran especificant al llarg del següent capítol:

<b>OBJECTIUS</b>	<b>DIFICULTATS</b>
1. Conèixer les idees prèvies sobre l'àtom.	Barreja de models.
2. Utilitzar la idea de model per a conèixer com treballen els científics i com evoluciona la ciència.	No tindran clars els límits dels models clàssics, que marquen el seu domini de validesa, i el camí cap a la química quàntica.
3. Escriure configuracions electròniques i classificar els elements d'acord a la configuració electrònica.	Memoritzen configuracions electròniques q no facilita deduir a partir d'elles la posició de l'element en el sistema periòdic i justificar les valències.
3. Comprendre que alguns elements poden combinar-se amb altres (o amb ells mateixos) per formar enllaços degut a la interacció electromagnètica.	Desconeixement de la causa comuna que presenten els àtoms perquè es produïska la formació d'un enllaç, és a dir, de l'explicació de l'enllaç com a resultat de la interacció electromagnètica.
5. Predir, donada la posició en el sistema periòdic, quina classe d'enllaç és més probable que es done entre 2 elements donats.	No tindran clar q els enllaços són d'una aproximació a través de models que poden ajustar-se més o menys a la realitat física. Treballen amb els models de Lewis fins i tot per a l'iónic i el metàl·lic.
6. Saber si l'enllaç format entre 2 àtoms tindrà o no caràcter polar.	Dificultat per entendre la polaritat com un continu entre apolars i iònics .
7. Comprendre les forces de Van der Waals i els ponts d'hidrogen en les substàncies moleculars.	Distingir entre enllaç intramolecular i intermolecular.
8. Comprendre la importància que tenen les propietats físiques i químiques en la identificació d'una substància i explicar a partir de les propietats macroscòpiques el tipus d'enllaç.	No veuran les connexions de la Química quàntica amb la tecnologia i la societat.

TAULA 2.2.2.

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

## **CAPÍTOL III**

# DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI

## **CAPÍTOL III.- DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.**

### **3.1. Operativització de la hipòtesi.**

Per obtindre la visió que existeix de l'àtom segons l'ensenyament habitual, així com les conseqüències que produeix a l'alumnat, es pot tindre com a referència la literatura escrita i les preguntes a alumnat i professorat.

No s'ha d'oblidar que l'alumnat no te conceptes previs quan de Química moderna parlem, sinó que tot el que sap prové dels mitjans de comunicació o del propi ensenyament rebut.

Tant als llibres de text com a l'alumnat s'espera trobar:

- a) Una mancança de continuïtat entre les nocions de Química moderna apreses i aplicades a l'àtom i als diferents models d'enllaç estudiats, amb les implicacions negatives que això comporta.
- b) Confusió entre els diferents models d'enllaç, no especificant-se si es tracta de models clàssics, pre-quàntics o quàntics, existint tanmateix una absència de relació entre tots ells de l'única causa de formació comuna: la interacció electromagnètica.
- c) Els models d'enllaç estudiats, no solen assenyalar-se com aquests, i no aniran acompanyats de les seues corresponents limitacions. No es matisa que es tracta de un model, és a dir, d'una aproximació amb validesa a soles per a un cert rang.
- d) Les propietats de les substàncies s'expliquen a partir dels models, però sense "mencionar" les extrapolacions realitzades. Mai es parla de la no concordança entre els valors esperats de determinades magnituds amb el valor dels resultats experimentals. Per exemple, quan s'explica la conductivitat dels metalls, normalment es fa amb el model clàssic de Drude-Lorentz del "mar d'electrons", encara que els resultats obtinguts segons aquest model donen valors anormalment alts per a la resistivitat (Tipler, 1985).
- e) L'aparició d'errades conceptuals, generades sobre tot per ser habitual l'ús de models ja caducs que s'han anat transmetent per acceptació acrítica del que està escrit (Lehrman 1982). Per exemple, la interpretació de l'orbital atòmic com regió de l'espai encara s'aplica als orbitals moleculars, i també s'arriba, de vegades, a donar-li a les bandes dels sòlids una interpretació espacial.

- f) No hi ha cap tipus de relació entre el nou marc teòric a assumir que és la Física Moderna, la tècnica i la societat, el que fa que aquesta teoria romanga com una simple entelèquia, perdent el seu significat i resultant a totes llums, inútil per a l'alumne, per això es mostra reticent a assumir-lo i consegüentment a estudiar-lo.

### **3.2. Disseny per a contrastar la hipòtesi.**

Per a contrastar la hipòtesi de treball:

- Hem contat amb un anàlisi quantitatiu de textos, que s'han elaborat a partir de qüestionaris sobre l'àtom (Solbes et al, 1987) i l'enllaç (Solbes i Vilches, 1989), actualitzant-los amb el nou currículum i amb els objectius de la present investigació,
- Hem realitzat un anàlisi qualitatiu dels textos, construint els diferents esquemes conceptuals seguits al desenvolupament del tema, els que també mostraran la veracitat de les premisses utilitzades en la hipòtesi,
- Hem passat qüestionaris de opinió al col·lectiu de professorat per a saber com es valora l'ensenyament habitual de aquestos temes en comparació amb altres possibles perspectives,
- Hem elaborat qüestionaris per a l'alumnat de 4t d'ESO i de 1r de BAT i se'ls ha passat, i per últim,
- Hem realitzat el tractament estadístic habitual.

#### **3.2.1. Preparació de qüestionaris.**

En la preparació dels qüestionaris s'ha tingut en compte les següents tècniques usuals d'investigació educativa (Serramona, 1980; Open University, 1979; Fox, 1981; Welkowitz, 1981), és a dir:

- elaboració d'un primer esborrany que examinaran experts;
- realització d'un assaig pilot per analitzar la validesa del qüestionari revisat; i
- reelaboració del qüestionari a la llum dels resultats del assaig pilot.

L'anàlisi quantitatiu de textos s'ha realitzat independentment per dos investigadors, amb objecte de contrastar la validesa dels resultats obtinguts.

Presentem a continuació els qüestionaris aplicats a 13 llibres i a 196 alumnes, així com l'enquesta passada a 39 professors.

### 3.2.2. Qüestionaris per a l'anàlisi de texts.

A continuació adjuntem el qüestionaris que s'han elaborat per l'anàlisi de llibres de texts relatiu a l'àtom (Quadre 3.2.2.1) i enllaç (Quadre 3.2.2.2). Es tractava inicialment d'un extens qüestionari que en conseqüència vam decidir dividir; com a resultat van sorgir-ne dos. El primer es tracta del qüestionari més pesat ja que consta de qüestions creuades que ens poden ser útils per al tractament estadístic del futur treball.

**QUADRE 3.2.2.a. QÜESTIONARI PER L'ANÀLISI DE L'ÀTOM EN LLIBRES DE TEXT**

1. Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?	a) Actitudinals. Que impulsen l'interès o la utilitat del tema. b) Que exploren les idees prèvies. c) La seqüenciació dels continguts del tema. d) La introducció directa de models atòmics, nous conceptes, etc.
2. Com introdueix els espectres atòmics?	a) Els tracta com problemes que no pogueren ser explicats. b) Els tracta sense mostrar la ruptura amb la química clàssica. c) No els tracta. d) Altres.
3. Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?	a) Sí. b) No. (Per tal de veure si hi ha relació MACRO-SUBMICRO)
4. Es presenten clarament diferenciats els models?	a) Sí. b) No.
5. A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?	a) Rutherford.      c) Sommerfeld. b) Bohr.              d) Schrödinger.
6. S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?	a) Sí. b) No.
7. Es diferencia clarament que els models de...?	a) Thomson y Rutherford són clàssics. b) Bohr y Sommerfeld són pre-quàntics. c) Schrödinger és quàntic. d) No es diferencia.
8. Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament del model pre-quàntic de Bohr?	a) Sí, perquè hi ha una sèrie de conceptes posteriors als models d'òrbites que plantegen una nova visió de l'àtom. b) Sí, però no parlen d'orbitals. c) No.
9. Com s'introdueixen els nivells d'energia?	a) Com a capes electròniques (regions de l'espai). b) A partir dels espectres atòmics. c) A partir del model de Bohr. d) A partir de l'experiència de Franck-Hertz.

CAPÍTOL III. - DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.

	e) S'entra directament a parlar d'aquests, sense cap introducció.
10. Com s'introdueixen els nombres quàntics $n$ , $l$ , $m$ ?	<p>a) Com a mitjà per identificar els nivells d'energia.</p> <p>b) Mitjançant el model de Sommerfeld.</p> <p>c) Amb les solucions de l'equació d'Schrödinger.</p> <p>d) S'entra directament a parlar d'aquests, sense cap introducció.</p>
11. Significat del nombre quàntic $n$ .	<p>a) Determina l'energia de l'electró.</p> <p>b) Determina el tamany dels orbitals.</p> <p>c) Determina el tamany de les òrbites.</p> <p>d) Determina l'energia de l'orbital.</p> <p>e) No ho explica.</p>
12. Significat del nombre quàntic $l$ .	<p>a) Determina <math>L</math>.</p> <p>b) Determina la forma de l'òrbita.</p> <p>c) Determina la forma de l'orbital.</p> <p>d) Determina el nombre de subnivells dins d'un nivell.</p> <p>e) No ho explica.</p>
13. Significat del nombre quàntic $m$ .	<p>a) Determina <math>L_z</math>.</p> <p>b) Determina l'orientació de l'òrbita.</p> <p>c) Determina el desdoblament dels nivells sota un camp magnètic.</p> <p>d) Determina l'orientació de l'orbital respecte a una direcció donada.</p> <p>e) No ho explica.</p>
14. S'introdueix el concepte d'orbital?	<p>a) És la funció d'ona o d'estat d'un electró en un àtom.</p> <p>b) És la regió de l'espai on existeix una probabilitat de trobar l'electró.</p> <p>c) Altres.</p> <p>d) No.</p>
15. Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:	<p>a) Els orbitals estan associats a propietats dels electrons i no tenen existència independent.</p> <p>b) Els orbitals existeixen independentment dels electrons.</p> <p>c) Altres.</p> <p>d) No es parla d'orbitals.</p>
16. Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?	<p>a) Postula l'ordenació d'orbitals, que després s'ocupen.</p> <p>b) A partir dels espectres.</p> <p>c) A partir de les energies d'ionització.</p> <p>d) No s'explica.</p> <p>e) Altres.</p>
17. Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir del nombre atòmic?	<p>a) Sí.</p> <p>b) No.</p>

Presentem a continuació els criteris de valoració d'aquest primer qüestionari de texts:

Ítem 1 [Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?]

Amb l'ítem 1 es tracta de veure com s'introdueix als llibres de text el tema que els estudiants es disposen a estudiar; es pretén saber si emfatitzen aspectes actitudinals i d'adquisició de concepció preliminar. És a dir, si entren a impulsar l'interès o la utilitat de l'estudi que va a desenrotllar-se al llarg dels temes o bé suposen una orientació per tindre una concepció preliminar de les idees prèvies de l'alumnat.

És a dir, volem saber si s'afavoreixen actituds positives envers l'aprenentatge del tema, com seria el cas de les respostes a i b, o bé es mostra una presentació a mode de d'una seqüència de continguts (resposta c) o la directa introducció de continguts (resposta d).

Ítem 2 [Com introdueix els espectres atòmics?]

Amb l'ítem 2 volem saber si als llibres de text s'ix al pas d'una visió empirista de la ciència. Si es dona el cas, quan es tracten els espectres atòmics, ens interessa veure si s'introdueixen com fets que no es podien explicar amb les teories vigents del moment (a), o bé "s'ensenya" com un concepte totalment deformat empíricament.

Ítem 3 [Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?]

Amb aquest ítem es pretén comprovar si, els llibres de text marquen el camí cap a l'àtom. És a dir, es pretén esbrinar si fan reflexionar l'alumnat perquè es done compte que l'àtom és el resultat de l'estudi de les propietats de la matèria, de la mateixa forma que els enllaços químics. En conseqüència, aquesta qüestió suposa una reflexió l'alumnat al voltant de les relacions macro-submicro que prenen lloc en la matèria.

Ítem 4 [Es presenta clarament que és un model?]

Volem comprovar si es fa èmfasi que el que es presenta és una cosa que es correspon a un objecte real i l'ús del qual té una finalitat explicadora d'un comportament; en aquest clar del comportament de l'àtom.

Ítem 5 [A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?]

Pretenem esbrinar si es fa menció de la mecànica quàntica, com la teoria actualment vigent, a tots els nivells o si, per contra, la visió que es dona de l'àtom es tracta d'una visió mecanicista o prequàntica que no indica que existeix una teoria més fidel.

Ítem 6 [S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?]

Volem comprovar si, seguint la fonamentació de la nostra hipòtesi, no es dona una visió a l'alumnat dels canvis de models i l'evolució o substitució d'unes teories per altres com a conseqüència de la crisi perquè passaren en un moment donat degut a que no es podien explicar una sèrie de problemes.

Ítem 7 [Es diferencia clarament que els models de...?]

Es pretén discutir si als llibres de text es fa èmfasi o no en la distinció per etapes de les diferents concepcions de l'àtom, les idees clàssiques, les idees prequàntiques i les idees quàntiques.

Ítem 8 [Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament del model prequàntic de Bohr?]

Amb aquest ítem es pretén comprovar novament el mateix que es pretenia a l'ítem 6 i veure si es justifica el sorgiment d'un nou model com a resposta a problemes existents en el seu moment.

Ítem 9 [Com s'introdueixen els nivells d'energia?]

Es pretén veure a partir de quin fet experimental s'introdueix el concepte de nivell d'energia i per tant, de l'energia dels electrons dins d'un àtom.

Ítem 10 [Com s'introdueixen els nombres quàntics  $n$ ,  $l$ ,  $m$ ?]

Amb aquest ítem es vol comprovar en quina mesura s'explica el pas de les òrbites de Bohr als orbitals de Schrödinger. Si es dona una explicació coherent del canvi de model o simplement s'enuncia a base de definicions.

Ítem 11 [Significat del nombre quàntic  $n$ ]

Ítem 12 [Significat del nombre quàntic  $l$ ]

Ítem 13 [Significat del nombre quàntic  $m$ ]

Amb els ítems 11, 12 i 13 es vol comprovar si els relacionen amb les magnituds físiques. Cal dir que no s'espera trobar resposta als llibres corresponents a nivells d'ESO.

Ítem 14 [S'introdueix el concepte d'orbital?]

Es tracta d'una qüestió merament informativa. No esperem ni pretenem que es done una resposta matemàtica de l'equació d'Schrödinger, ja que els nivells no són aptes per aquesta competència, però, lamentablement, sí que esperem trobar-nos amb respostes híbrides del model de Bohr-quàntic, respostes errònies que recolzen la nostra hipòtesi.

Ítem 15 [Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:]

Amb l'ítem 15 volem veure si, erròniament (b), es parla d'orbital com a espais definits que tenen una existència per se, és a dir, que existeixen independentment de si estan o no ocupats per electrons. Es tracta d'una matisació de la 14.



Ítem 16 [Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?]

Pretenem esbrinar si novament s'explica el canvi de model en base a uns fets impossibles d'explicar i entendre amb l'antic.

Ítem 17 [Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir del nombre atòmic?]

Volem saber si les activitats que es plantegen impliquen l'aprenentatge significatiu del sistema periòdic dels elements d'acord a l'estructura interna dels àtoms que els constitueixen. És a dir si saben explicar el sistema periòdic mitjançant la deriva de la capa de valència d'un àtom a partir del nombre atòmic i del principi de construcció.

Vists els criteris de valoració dels ítems corresponents al primer qüestionari de texts, passem a presentar el segon qüestionari de texts i seguidament els corresponents criteris de valoració:

**QUADRE 3.2.2.b. QÜESTIONARI PER L'ANÀLISI DE L'ENLLAÇ EN LLIBRES DE TEXT**

1. Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?	a) Actitudinals. Que impulsen l'interés o la utilitat del tema. b) Que exploren les idees prèvies. c) La seqüenciació dels continguts del tema. d) La introducció directa de models atòmics, nous conceptes, etc.
2. Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar dels models d'enllaç?	a. Sí. b. No.
3. Planteja una visió unitària de l'enllaç?	a. Sí, primer desenvolupa el model covalent. b. No, presenta els tres tipus de models d'enllaç.
4. Quin model o models utilitza per a l'enllaç iònic?	a. Iònic. b. Covalent polaritzat.
5. Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?	a. Model de Lewis conjuntament amb el model de RPECV o ressonàncies. b. Model de Heitler i London. c. Orbitals moleculars.
6. Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?	a. Núvol/gas electrònic. b. Teoria de bandes.
7. Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?	a. sí. b. No.
8. La seqüenciació dels continguts segueix l'ordre "àtom -sistema periòdic - enllaç"?	c. Sí. d. No.

Ítem 1 [Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?]

De la mateixa forma que a l'ítem 1, volem trobar si els llibres de text afavoreixen actituds positives envers l'aprenentatge del tema abans d'encetar-lo, com seria el cas de les respostes a i b, o es mostra una presentació a mode de d'una seqüència de continguts (resposta c) o directa introducció de continguts (resposta d).

Ítem 2 [Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar dels models d'enllaç?]

De la mateixa forma que a l'ítem 3, amb aquest ítem es pretén comprovar si, en encetar el tema, es fa reflexionar l'alumnat al voltant de les relacions macro-submicro que prenen lloc en la matèria.

Ítem 3 [Planteja una visió unitària de l'enllaç?]

Amb aquest ítem es pretén demostrar que als llibres de text no donen una visió unitària de l'enllaç. És a dir, no s'hi especifica que siga la interacció electromagnètica entre els electrons dels diferents àtoms del sistema periòdic, com a cerca d'estabilitat de les substàncies que formen, la causant de l'enllaç entre àtoms i entre molècules.

Ítem 4 [Quin model o models utilitza per a l'enllaç iònic?]

Amb aquest ítem (al igual que amb els ítems 5 i 6) l'objectiu no es trobar una explicació descriptiva. Volem saber si a banda de l'ús del model iònic amb la corresponent explicació per ions es dona una visió d'aquest tipus de substàncies com la d'aquelles que posseeixen un enllaç extrem del covalent amb polarització.

Ítem 5 [Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?]

Es pretén veure si, en un intent de salvar les dificultats que en la seua època van donar-se amb aquest model, es fa ús de "afegits" al model (ressonàncies, de la teoria de repulsió dels parells d'electrons de la capa de valència, TRPECV). O bé es fa ús de la teoria d'enllaç de valència (EV) de Heitler i London o dels orbitals moleculars (OM).

Ítem 6 [Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?]

Amb aquest ítem es pretén veure si hi ha cap llibre que faça ús de la teoria de bandes, cosa absolutament impensable per aquests nivells, o bé del núvol o gas electrònic.

Ítem 7 [Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?]

Amb aquest ítem es pretén veure si als llibres de texts es fa la relació macro-submicro pertinent.

Ítem 8 [La seqüenciació dels continguts segueix l'ordre "àtom -sistema periòdic - enllaç"?)

Amb l'ítem 8 es pretén senzillament esbrinar si la seqüenciació dels continguts segueix l'ordre adequat per a una incorporació seqüenciada també dels nous conceptes a l'alumnat.

### **3.2.3. Qüestionari pel professorat, QP.**

Amb la finalitat de conèixer les idees que té el professorat en actiu respecte l'ensenyament de l'estructura atòmic-molecular i l'enllaç seguint les directrius de la Química moderna, es va dissenyar un qüestionari de valoració amb preguntes obertes (mire's quadre 3.2.3.).

Les qüestions valoren per un costat la metodologia proposada i per altre els continguts o conceptes de la Química moderna.

Els resultats obtinguts amb el present qüestionari s'analitzen en el següent capítol.

#### QUADRE 3.2.3. QÜESTIONARI PEL PROFESSORAT

1. Quins aspectes o activitats creus que interessa proposar quan s'inicia el tema d'àtom i enllaç en una classe de Química d'ESO i de Batxillerat?
2. Quines creus que són les principals dificultats que poden tindre els alumnes a l'hora de tractar en classe el tema d'àtom i enllaç?
3. Exposa una relació dels continguts que proposaries per a desenvolupar el tema d'àtom i enllaç?
4. Quins objectius (o competències) importants consideres que poden servir com a indicadors que l'estudiant ha comprés el tema a què ens referim?
5. Com explicaries una visió unitària de l'enllaç?
6. Proposa, a títol d'exemples, dues qüestions o problemes que proposaries a l'alumnat per avaluar el tema?

A continuació detallarem els criteris de valoració emprats en cada ítem.

Ítem 1 [Quins aspectes o activitats creus que interessa proposar quan s'inicia el tema d'àtom i enllaç en una classe de Química d'ESO i de Batxillerat?]

Amb l'ítem 1 es tracta de veure com s'inicia l'ensenyament del tema; es pretén saber si fan èmfasi en aspectes actitudinals i d'adquisició de concepció preliminar del tema. S'han establert tres categories per la classificació de les respostes del professorat d'aquest ítem: positives, negatives i "no sap, no contesta" (NS/NC).

Es consideren positives aquelles respostes que:

- 1.1 Entren a impulsar l'interés o la utilitat de l'estudi que van a començar, és a dir, que impliquen afavorir actituds positives envers l'aprenentatge del tema.
- 1.2 Suposen una orientació per part del professorat perquè els estudiants arriben a tindre una concepció preliminar de l'estudi del tema. Això no significa que el professor o professora entre directament a plantejar la introducció dels conceptes.
- 1.3 Exploren les idees prèvies que tenen els estudiants abans de començar el tema.

Es consideren negatives les següents respostes:

- 1.4 On es mostra una presentació magistral de la lliçó en forma de seqüència de continguts.
- 1.5 Que posen de manifest que el professor o professora entén que ensenyar consta en primer lloc de l'explicació del model, explícita o implícitament, i en segon lloc d'una proposta d'activitats per veure si s'han après els continguts explicats.
- 1.6 Altres que facen referència a la directa introducció de models, materials, etc. On es pose de manifest que creuen que mostrant imatges aprendran els continguts sense treballar-los.

Ítem 2 [Quines creus que són les principals dificultats que poden tindre els alumnes a l'hora de tractar en classe el tema d'àtom i enllaç?]

Amb l'ítem 2 es tracta de veure quines són les principals dificultats que es van a trobar en l'alumnat; es pretén saber si el professorat és conscient de les vertaderes dificultats que cal salvar perquè l'aprenentatge siga assolit. S'han establert tres categories per la classificació de les respostes del professorat d'aquest ítem: positives, negatives i "no sap, no contesta" (NS/NC).

Es consideren positives aquelles respostes que donen, com a mínim, una de les dificultats que es presenten a continuació:

- 2.1 La dificultat de relacionar clarament entre el món submicroscòpic (model atòmic) i el macroscòpic (les propietats de les substàncies).
- 2.2 L'alumne o alumna no sap diferenciar entre la realitat i el model construït, és a dir, que parlen de l'abstracció del tema.
- 2.3 Els costa tenir una visió unitària de l'enllaç.
- 2.4 Que els estudiants tenen dificultat en diferenciar partícules com àtoms, nucleons i electrons. O bé, en diferenciar models atòmics, en particular el de Bohr i el quàntic.

Es consideren negatives les següents respostes:

- 2.5 Aquelles que donen una visió empirista de la ciència. Pertanyen a aquest tipus aquelles on indiquen que l'alumnat té dificultats de comprendre allò que no poden veure o que té una mancança d'imaginació. També aquelles que parlen sense més aprofundiment de l'abstracció del tema.
- 2.6 Que consideren prerequisits conceptuals necessaris, que en realitat no ho són, com les dificultats de tipus matemàtic, de visió espacial, etc.
- 2.7 Altre tipus de respostes que presenten una seqüència de continguts.
- 2.8 Respostes tals com el desinterès de l'alumnat envers el tema.

La resta de respostes en blanc es classificaran com no sap, no contesta (NS/NC).

Ítem 3 [Exposa una relació dels continguts que proposaries per a desenvolupar el tema d'àtom i enllaç?]

Amb l'ítem 3 es demana al professorat una seqüenciació de continguts.

S'accepta que aquesta seqüenciació pot ser variable i, al mateix temps eficaç. Ara bé, es considera que per ser una seqüenciació coherent perquè hi haja un aprenentatge significatiu seria aquella que reuneix les següents condicions:

- a) Primer hi ha de desenvolupar els models atòmics i després es pot avançar la part del tema relativa a l'enllaç. És a dir, en primer lloc anirien preguntes del tipus "com està estructurat l'àtom?" i a continuació d'altres del tipus "com s'uneixen els àtoms?"
- b) En explicar l'enllaç químic, es proposa en primer lloc la introducció de l'enllaç covalent i posteriorment l'estudi dels extrems d'enllaç: l'iónic i el metàl·lic. També s'ha de parlar de les forces intermoleculares o de Van der Waals.
- c) S'acaba amb l'explicació de les propietats de les substàncies a través dels enllaços químics. És a dir, es fa la relació sumricro-macro.

Ítem 4 [Quins objectius (o competències) importants consideres que poden servir com a indicadors que l'estudiant ha comprés el tema a què ens referim?]

La resposta correcta per aquest ítem serà aquella que responga a la pregunta "què han de saber i saber fer els estudiants?"

Considerem que les competències que l'alumnat hauria d'haver assimilat estan donades pels següents indicadors:

- Pel que fa a l'àtom:
  - ✓ Saber les diferències i la distribució entre partícules elementals a l'àtom (capes electròniques, en particular la de valència, i nucleons).
  - ✓ Saber les diferències entre models atòmics i, en particular, tindre una nova visió, la quàntica, de l'àtom i dels electrons (orbitals).
  - ✓ Saber derivar la capa de valència d'un àtom a partir de  $z$  i del principi de construcció. En conseqüència, saber explicar el sistema periòdic dels primers 20 elements per a un nivell d'ESO i de la resta per a un nivell de Batxillerat.
- Pel que fa a l'enllaç químic:
  - ✓ Saber que la unió d'àtoms s'explica amb la interacció electromagnètica.
  - ✓ Saber que un únic model electromagnètic (que podríem considerar el covalent) és el responsable de l'enllaç químic entre els àtoms per a formar les substàncies. Que existeixen altres models que deriven d'aquest com el model de forces de Van der Waals, així com altres models (l'iónic i el

metàl·lic) “extrems” d’enllaç que depenen de la variable “deslocalització electrònica”.

- ✓ Saber explicar les propietats d’algunes substàncies prototípiques (metalls, sòlids iònics, substàncies moleculars covalents i sòlids covalents) mitjançant els diferents models d’enllaç de què disposen.

Ítem 5 [Com explicaries una visió unitària de l’enllaç?]

Amb l’ítem 5 es pregunta directament al professorat què és el que entén per enllaç químic. Es pretén demostrar que el professorat no té una visió unitària del mateix.

S’han establert tres categories per la classificació de les respostes del professorat d’aquest ítem: positives, negatives i “no sap, no contesta” (NS/NC).

Es consideren positives aquelles respostes que donen una de les que es presenten a continuació :

- 5.1 La interacció electromagnètica entre els electrons dels diferents àtoms del sistema periòdic com a cerca d’estabilitat de les substàncies que formen.
- 5.2 Aquella resposta que implique parlar de interacció entre els electrons més externs dels àtoms per satisfer la configuració electrònica d’aquests.
- 5.3 Aquella resposta que implique parlar d’una compartició d’aquests electrons per satisfer la configuració electrònica d’aquests.

Les respostes incorrectes favorables a la nostra hipòtesis les dividirem en tres grups:

- 5.4 Aquelles en què es parla d’una unió d’àtoms, sense explicar què provoca aquesta unió, per aconseguir una estabilitat.
- 5.5 Aquelles en què es fa una classificació no unitària de l’enllaç, presentant diferents tipus d’enllaç.
- 5.6 Aquelles que abusen del formulisme: utilitzen un model d’esferes, representen mitjançant els símbols i ratlles un enllaç i altres incorreccions.

La resta de respostes en blanc es classificaran com no sap, no contesta (NS/NC).

Ítem 6: [Proposa, a títol d’exemples, dues qüestions o problemes que proposaries a l’alumnat per avaluar el tema?]

Les respostes correctes per aquest ítem estan directament relacionades amb les competències que parlàvem a l'ítem 4. És a dir, les qüestions que caldria proposar a l'alumnat per tal de veure si ha assolit una comprensió del tema seran aquelles on aconseguirem saber si han après:

- Pel que fa a l'àtom:
  - ✓ Quines són les diferències i la distribució entre partícules elementals a l'àtom (capes electròniques, en particular la de valència, i nucleons).
  - ✓ Quines són les diferències entre models atòmics i, en particular, tindre una nova visió, la quàntica, de l'àtom i dels electrons (orbitals).
  - ✓ A saber derivar la capa de valència d'un àtom a partir de  $z$  i del principi de construcció. En conseqüència, saber explicar el sistema periòdic dels primers 20 elements per a un nivell d'ESO i de la resta per a un nivell de Batxillerat.
- Pel que fa a l'enllaç químic:
  - ✓ Que la unió d'àtoms s'explica amb la interacció electromagnètica.
  - ✓ Que un únic model electromagnètic (que podríem considerar el covalent) és el responsable de l'enllaç químic entre els àtoms per a formar les substàncies. Que existeixen altres models que deriven d'aquest com el model de forces de Van der Waals, així com altres models (l'iónic i el metàl·lic) "extremes" d'enllaç que depenen de la variable "deslocalització electrònica".
  - ✓ A saber explicar les propietats d'algunes substàncies prototípiques (metalls, sòlids iònics, substàncies moleculars covalents i sòlids covalents) mitjançant els diferents models d'enllaç de què disposen. És a dir, conèixer els diferents models d'enllaç que expliquen les propietats macro de la matèria.

#### **3.2.4. Qüestionari per l'alumnat.**

Per fer-ne una valoració dels coneixements que adquireix l'alumnat al voltant de l'àtom i els seus enllaços i de la desestructuració que existeix entre l'aprenentatge d'aquests coneixements, s'ha elaborat dos qüestionaris (quadres 3.2.4.1. i 3.2.4.2.) un per al darrer curs de l'ESO, 4t d'ESO, i altre per a 1r BAT.



### CAPÍTOL III.- DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.

L'ús dels qüestionaris com manera d'obtenir informació sobre les preconcepcions de l'alumnat (Halloun i Hestenes, 1985; Treagust, 1988) es un mitjà emprat cada vegada més pels autors.

És habitual presentar preguntes obertes que deixen a l'alumnat amb una total llibertat d'expressió, cosa que permet detectar errors conceptuals; la dificultat radica que costa més concretar l'avaluació.

Per contra, amb l'ús de preguntes tancades amb elecció de múltiples respostes pot aparèixer un factor d'aleatorietat en la resposta que dona l'alumnat.

Amb aquesta valoració, s'ha optat per la majoria de preguntes obertes, amb la finalitat d'obtenir resultats menys aleatoris i aprofitar les respostes d'alumnat per anar confeccionant tests de respostes tancades (Treagust, 1988).

#### Test de 4t d'ESO, QA4t.

Consta de 8 preguntes, set de caràcter obert i la número 8 de caràcter tancat, amb la qual cosa, com ja s'ha esmentat, es pot detectar de forma general algunes de les errades conceptuals més comunes en aquest àmbit.

#### QUADRE 3.2.4.1. QÜESTIONARI DE 4t D'ESO.

1. Dibuixa un àtom d'hidrogen i explica el dibuix.
2. Quins són els límits del model de Rutherford, és a dir, quins són els fets que no va poder explicar amb aquest model?
3. Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un no metall? (exemple: Cl-Cl).
4. Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un metall? (exemple: Li).
5. Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un metall i un no metall? (exemple: NaCl).
6. Tracta d'explicar a què són deguts els d'enllaços que uneixen els àtoms per a formar les substàncies.
7. Explica amb els diferents tipus d'enllaços estudiats:
  - a. L'estabilitat del nitrogen.
  - b. La conductivitat del Cu.
  - c. La fragilitat del clorur de sodi.
8. De les següents representacions de molècules corresponents a substàncies covalents, indica en quines hi ha una polaritat de l'enllaç que formen els seus àtoms. Indica també si es tracta de molècules

Amb l'ítem 1 es demostra la barreja de models que pren lloc en l'ensenyament, la qual cosa dona com a resultat el desconeixement de qualsevol d'ells, així com de les limitacions que tenen. (OBJECTIU 1)

Amb l'ítem 2, s'intenta demostrar la falta d'un fil conductor en l'aprenentatge dels conceptes de Química moderna, el desconeixement de les raons fonamentals per què es va produir el canvi de paradigma existent en la ciència al segle XX. (OBJECTIU 2)

Demanat l'alumnat que contesten les preguntes 3, 4, 5 i 6 es detecta el desconeixement que posseeix de la causa comuna que presenten els àtoms perquè es produïska la formació d'un enllaç, és a dir, de l'explicació de l'enllaç com a resultat de la interacció electromagnètica. (OBJECTIU 4) Es pretén constatar el fet que cada alumne separa per cada model els àtoms, pensant en esferes carregades per l'iónic i potser el metàl·lic, i àtoms lligats pel covalent no apareixent mai la paraula "model" o anàloga, ni que aquesta explicació presenta limitacions.

Amb l'ítem 6 es pretén, a més a més, saber si tenen consciència que l'explicació dels enllaços pren lloc a través de models que poden ajustar-se més o menys a la realitat física. També s'espera que la majoria treballi amb els models de Lewis i Kossel, fis i tot per a l'iónic i metàl·lic. (OBJECTIU 2 i 5)

Amb l'ítem 7 es pretén comprovar si l'alumnat comprèn la importància que tenen les propietats físiques i químiques en la identificació d'una substància i si sap explicar a partir de les propietats macroscòpiques el tipus d'enllaç. S'espera comprovar que no veuen aquest tipus de connexió de la Química amb la tecnologia i la societat. (OBJECTIU 8)

Per últim, amb l'ítem 8 es vol detectar si saben que l'enllaç format entre dos àtoms tindrà o no caràcter polar i la dificultat per entendre la polaritat com un continu entre apolars i iònics. (OBJECTIU 6)

### Test de 1r de Batxiller, QA1r.

Consta de 10 preguntes, totes de caràcter obert.

QUADRE 3.2.4.2. QÜESTIONARI DE 1r DE BATXILLER.

1. Dibuixa un àtom d'hidrogen i explica el dibuix.
2. Quins són els límits del model de Rutherford, és a dir, quins són els fets que no va poder explicar amb aquest model?
3. Com explica el model de Bohr els espectres discontinus?
4. Quins creus que són els principals problemes que té el model de Bohr?
5. Indica a quins períodes i grup pertanyen els següents elements: F-9, Ca-20, S-16. Justificar les seues possibles valències.
6. Quin tipus d'enllaços poden formar entre sí els àtoms del sistema periòdic? Explica-ho breument.
7. Tracta d'explicar en general a què són deguts els enllaços que uneixen els àtoms per a formar les substàncies.
8. Respecte als enllaços de Van der Waals i de hidrogen, tracta d'explicar si hi ha diferències entre aquests i els enllaços iònic, covalent o metàl·lic?
9. Explica amb els diferents tipus d'enllaços estudiats:
  - a) la poca reactivitat del nitrogen
  - b) la conductivitat del Cu
  - c) la fragilitat del clorur de sodi.
10. De les següents representacions de molècules corresponents a substàncies covalents, indica en quines hi ha una polaritat de l'enllaç que formen els seus àtoms. Indica també si es tracta de molècules polars o no.

El primer ítem, al mateix que al qüestionari anterior, té la finalitat de detectar diversos punts, com si saben què és un model; que el que ells estudien són diferents representacions de l'estructura de l'àtom; la idea que tenen de la seua constitució, la "visualització" d'un àtom, etc. (OBJECTIU 1)

Amb les preguntes 2, 3 i 4, volem assenyalar la falta d'un fil conductor en l'aprenentatge a l'ensenyament de l'àtom i els seus enllaços, així com la no especificació que els models de Bohr i Rutherford són, valga la redundància, "models" i, per tant, tenen unes limitacions. (OBJECTIU 2)

Amb la pregunta 6, d'igual manera que es pretenia amb els ítems 3, 4 i 5 del qüestionari anterior, mostra el desconeixement que el que s'utilitzen són models

aproximats. L'alumne no relaciona cap tipus d'enllaç a través de la causa comuna de formació: la interacció electromagnètica, aferrant-se a les típiques explicacions clàssiques sense cap matisació. (OBJECTIUS 2 i 5)

L'ítem 7, també preguntat a l'alumnat de 4t d'ESO, pretén detectar, com ja he comentat, la ignorància generalitzada del perquè s'enllacen qualsevol àtoms entre sí, com resultat de la interacció electromagnètica. (OBJECTIU 4)

Amb l'ítem 8 es pretén esbrinar si l'alumnat comprèn les forces de Van der Waals i els ponts d'hidrogen en les substàncies moleculars. Es veu, tanmateix, que ni tan sols sap distingir entre enllaç intramolecular i intermolecular. (OBJECTIU 7)

Amb l'ítem 9 es pretén comprovar el mateix que a l'ítem 7 del qüestionari anterior. (OBJECTIU 8)

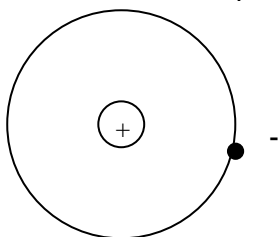
Per últim, amb l'ítem 10 es vol detectar el mateix que a l'ítem 8 del qüestionari anterior. (OBJECTIU 6)

#### **3.2.4.1. Criteris de valoració dels ítems del qüestionari d'alumnat de 4t ESO.**

S'exposa a continuació els criteris de valoració dels ítems del qüestionari de 4t d'ESO proposat a l'alumnat:

Ítem 1.- [Dibuixa un àtom d'hidrogen i explica el dibuix.]

Posat que parlem del darrer curs de l'educació secundària obligatòria, considerem correcta la resposta si s'ajusta al model de Rutherford o al de Bohr, independentment si s'especifica el model utilitzat. És a dir, quan realitzen una representació anàloga a la que segueix:



Les respostes es classifiquen en correctes i incorrectes, havent de dos tipus; incorrectes (a) i del tipus no sap no contesta (b).

Ítem 2.- [Quins són els límits del model de Rutherford, és a dir, quins són els fets que no va poder explicar amb aquest model?]

Es considera correcta la resposta si contesten les següents respostes, ja que es demanen els límits en plural i no un d'ells:

- Que no podia explicar l'existència d'espectres discontinus.

### CAPÍTOL III.- DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.

- Que segons les bases de la física clàssica, l'àtom tal i com es concep s'autodestruiria i no ho feia.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes), b (incompletes) i c (no sap, no contesta)

Ítem 3. [Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un no metall? (exemple: Cl-Cl).]

Es consideren correctes les respostes que almenys donen dos de les següents explicacions:

- Que inclouen el model de Lewis.
- Que parlen de la compartició d'electrons entre àtoms, encara que no s'especifique el nombre d'electrons que es comparteixen ni que no es parli de la regla de l'octet.
- Que fan un dibuix representatiu de Lewis.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes), b (incompletes) i c (no sap, no contesta).

Ítem 4.- [Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un metall? (exemple: Li).]

Les respostes considerades correctes responen al model del "gas", "mar" o "núvol" electrònic, encara que no especifiquen el menut nombre d'electrons que tenen tots els metalls en al seua capa de valència).

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

Ítem 5.- [Com es produeixen els enllaços entre àtoms d'un metall i un no metall? (exemple: NaCl).]

Es considera correcta les respostes del tipus: "L'element no metàl·lic (Cl) té tendència a acceptar electrons i el metàl·lic (Na) a cedir-los" amb la incorrecció conceptual que això suposa.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

Ítem 6.- [Tracta d'explicar a què son deguts els d'enllaços que uneixen els àtoms per a formar les substàncies.]

Es consideren correctes les respostes que facen referència a:

- Les interaccions electromagnètiques
- L'intent d'acompliment de la regla de l'octet dels àtoms dels elements per a aconseguir una estabilitat.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

Ítem 7.- [Explica amb els diferents tipus d'enllaços estudiats:

- a) L'estabilitat del nitrogen.
- b) La conductivitat del Cu.
- c) La fragilitat del clorur de sodi.]

Es consideren correctes les respostes del tipus:

- a) El nitrogen forma un triple enllaç covalent molt difícil de trencar i per tant és poc reactiu.
- b) El coure forma un enllaç metàl·lic i, per tant, els electrons es queden formant un núvol que es pot desplaçar fàcilment per formar un corrent elèctric.
- c) Si s'aplica una força transversal a un cristall iònic d'aquest tipus, donat que es tracta d'un empaquetament d'ions amb alternança de signe, apareix una repulsió entre cations-cations i anions-anions i la conseqüent fractura del cristall.

Molt benignament, es donen per correctes aquelles respostes que contesten bé a dos dels tres ítems demanats.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

Ítem 8.- [De les següents representacions de molècules corresponents a substàncies covalents, indica en quines hi ha una polaritat de l'enllaç que formen els seus àtoms. Indica també si es tracta de molècules polars o no.

- a) H<sub>2</sub>
- b) H<sub>2</sub>O

c) CCl<sub>4</sub>]

Degut al nivell que tractem es consideren respostes correctes:

- Les que s'arreglen a la següent graella:

	Enllaç	Molècula
H <sub>2</sub>	Apolar	Apolar
H <sub>2</sub> O	Polar	Polar
CCl <sub>4</sub>	Polar	Apolar
CHCl <sub>3</sub>	Polar	Polar

- Aquelles que responen únicament al tipus d'enllaç indicant que d'aquest es tracta.
- Aquelles que responen únicament al tipus de molècula indicant que d'aquesta es tracta.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

### **3.2.4.2. Criteris de valoració dels ítems del qüestionari d'alumnat de 1r BATX.**

Ítem 1.- [Dibuixa un àtom d'hidrogen i explica el dibuix.]

Considerem com a resposta vàlida d'aquesta pregunta oberta el dibuix d'un nucli amb una càrrega positiva, i un electró o càrrega negativa al seu voltant (model de Bohr) o en un orbital "s" (diagrama de contorn o de densitat de càrrega) per a l'estructura 1s<sup>1</sup>. A més a més, han de donar una explicació del dibuix fet i indicar de què es tracten les partícules subatòmiques implicades.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta)

Ítem 2.- [Quins són els límits del model de Rutherford, és a dir, quins són els fets que no va poder explicar amb aquest model?]

Es considera correcta la resposta si donen les següents respostes, ja que es demanen els límits en plural i no podem acceptar un a soles:

- Que no podia explicar l'existència d'espectres discontinus.
- Que segons les bases de la física clàssica, l'àtom tal i com es concep s'autodestruiria i no ho feia.

### CAPÍTOL III.- DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes), b (incomplets) i c (no sap, no contesta)

Ítem 3. [Com explica el model de Bohr els espectres discontinus?]

Es considera correcta, i per tant, desfavorable a la nostra hipòtesi, la resposta que menciona l'existència de nivells energètics a l'àtom i la producció de radiació (molts parlen d'emissió de llum) per canvis interns dels electrons d'uns nivells a altres.

Ítem 4.- [Quins creus que són els principals problemes que té el model de Bohr?]

La resposta es pren com correcta sempre que donen almenys un dels límits del model:

- La multiplicitat de línies que apareixen amb millors espectroscopis.
- L'empirisme del model.
- La presentació com a límit de conceptes superats amb models posteriors, com per exemple la incorrecció de la idea d'òrbita de l'electró.

És a dir, s'accepta la resposta sempre que presenten almenys un fet que entre en contradicció amb les premisses del model, encara que es tracte de coneixements posteriors al seu naixement.

Les respostes incorrectes es classifiquen en incorrectes i en NS/NC.

Ítem 5.- [Indica a quins períodes i grup pertanyen els següents elements: F-9, Ca-20, S-16. Justificar les seues possibles valències. ]

Es consideren correctes les respostes que s'arreglen en la següent graella:

	PERÍODE	GRUP	VALÈNCIES
F-9	2n	VII	-1
Ca-20	3r	II	+2
S-16	3r	VI	-2 y/o +2,4,6

S'admet com a respostes correctes que justifiquen les "valències" aquelles que donen una explicació basada en l'intent d'adquisició d'una configuració electrònica de major estabilitat o de gas noble.

Ítem 6.- [Quin tipus d'enllaços poden formar entre sí els àtoms del sistema periòdic? Explica-ho breument.]



Prenem com a vàlides les respostes que utilitzen la següent classificació per explicar l'enllaç:

- Enllaç iònic: Aquell que pren lloc entre un metall i un no metall. El metall “perd” electrons, en un intent d’aconseguir una estabilitat electrònica que s’assemble a un gas noble, i el no metall els “guanya” amb la mateixa finalitat.
- Enllaç metàl·lic: Aquell que pren lloc entre àtoms metàl·lics. L’explicació que utilitzen un dels models es pren com la vàlida.
- Enllaç covalent: Aquell que pren lloc entre àtoms d’elements no-metàl·lics. Es consideren correctes les respostes del tipus:
  - Que inclouen el model de Lewis.
  - Que parlen de la compartició d’electrons entre àtoms, encara que no s’especifique el nombre d’electrons que es comparteixen ni que no es parli de la regla de l’octet.
  - Que fan un dibuix representatiu de Lewis.

Ítem 7.- [Tracta d’explicar en general a què són deguts els enllaços que uneixen els àtoms per a formar les substàncies.]

Prenem com a vàlida la única resposta possible: la interacció electromagnètica entre els electrons dels diferents àtoms del sistema periòdic com a cerca d’estabilitat de les substàncies que formen. També es pren com a correcta la resposta que impliqui parlar de forces elèctriques.

Les respostes incorrectes favorables a la nostra hipòtesis les dividirem en tres grups:

- a) Aquelles que donen una explicació incompleta del tipus:
  - Basada en la regla de l’octet i contesten que per a tenir vuit electrons en la seua última capa, adquirir configuració de gas noble, o anàloga; sense parlar de l’estabilització com a conseqüència.
  - “Perquè minve l’energia del sistema o per augmentar-ne l’estabilitat”; i no facen l’anterior introducció.
- b) Altres respostes errònies.

- c) No sap, no contesta.

Ítem 8.- [Respecte als enllaços de Van der Waals i de hidrogen, tracta d'explicar si hi ha diferències entre aquests i els enllaços iònic, covalent o metàl·lic?]

Es considera com a resposta correcta la que torna a prendre com a explicació la interacció electromagnètica entre àtoms de diferents molècules i que conflueixen en una cohesió intermolecular, més feble que l'existent entre els àtoms que integren les molècules. Indicant o no que la natura dels altres tipus d'enllaç és intramolecular.

Ítem 9.- [Explica amb els diferents tipus d'enllaços estudiats:

- a) la poca reactivitat del nitrogen
- b) la conductivitat del Cu
- c) la fragilitat del clorur de sodi.]

Es consideren correctes les respostes del tipus:

- a) El nitrogen forma un triple enllaç covalent molt difícil de trencar i per tant és poc reactiu. Malgrat no parlen de les interaccions intermoleculars existents.
- b) El coure forma un enllaç metàl·lic i, per tant, els electrons es queden formant un núvol que es pot desplaçar fàcilment per formar un corrent elèctric.
- c) Si s'aplica una força transversal a un cristall iònic d'aquest tipus, donat que es tracta d'un empaquetament d'ions amb alternància de signe, apareix una repulsió entre cations-cations i anions-anions i la consegüent fractura del cristall.

Molt benignament, es donen per correctes aquelles respostes que contesten bé a dos dels tres ítems demanats.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

Ítem 10.- [De les següents representacions de molècules corresponents a substàncies covalents, indica en quines hi ha una polaritat de l'enllaç que formen els seus àtoms. Indica també si es tracta de molècules polars o no.

- a) H<sub>2</sub>

- b) H<sub>2</sub>O
- c) CCl<sub>4</sub>
- d) CHCl<sub>3</sub>

Les respostes correctes són les que s'arreglen a la següent graella:

	Enllaç	Molècula
H <sub>2</sub>	Apolar	Apolar
H <sub>2</sub> O	Polar	Polar
CCl <sub>4</sub>	Polar	Apolar
CHCl <sub>3</sub>	Polar	Polar

- Aquelles que responen únicament al tipus d'enllaç indicant que d'aquest es tracta.
- Aquelles que responen únicament al tipus de molècula indicant que d'aquesta es tracta.

Les respostes incorrectes es classifiquen en apartats a (incorrectes) i b (no sap, no contesta).

### **3.2.5. Grandària de les mostres i forma d'aplicació dels qüestionaris.**

En la realització del treball seguim els criteris de la Open University (1979) que demana que l'alumnat siga un mínim de 30 a 50, perquè el mateix resulte estadísticament significatiu. Per tant, hem complert aquest requisit parcialment, és a dir, la mostra analitzada corresponent al qüestionari per l'anàlisi dels texts és inferior al mínim de 30 establert per considerar el tractament estadísticament significatiu. Deixem, doncs, per la següent fase de la investigació l'anàlisi en profunditat d'aquests texts i, en definitiva, tota la posada a prova del qüestionari.

A més, hem abordat el problema des de diferents perspectives (alumnes, texts) i recavant l'atenció del professorat per la reconsideració d'aquests temes: Química Moderna i Teoria de l'Enllaç.

El caràcter aleatori de la mostra queda assegurat pel nombre d'alumnes enquestats (121 de 4t d'ESO i 75 de 1r de BATX) i per la seua pertinença a diferents instituts (9) de set ciutats.

Quant a la forma d'aplicació dels qüestionaris d'alumnat, han sigut passats després que a aquests se'ls hagueren impartit els temes d'Estructura atòmica i Enllaç químic i sense que el professorat de la matèria tinguera coneixement del seu

### CAPÍTOL III.- DISSENY EXPERIMENTAL PER AL CONTRAST DE LA HIPÒTESI.

contingut. Després d'explicar l'alumnat que no es tractava de cap examen, que el qüestionari consta d'un nombre determinat de preguntes i que les respostes han de ser breus, se'ls dona tot el temps necessari (cap va necessitar més de 50 minuts per a la seua realització).

Respecte al qüestionari de professorat, se'ls va passar durant la realització del curs de capacitació docent i a aquells en actiu durant el curs acadèmic 2008-2009.

## **CAPÍTOL IV**

PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS  
EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA  
HIPÒTESI

## **CAPÍTOL IV.- PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.**

### **4.0. Introducció.**

Recordem que a fi de posar a prova les conseqüències de la nostra hipòtesi s'idearen un conjunt de dissenys que s'havien d'aplicar a grups aleatoris d'estudiants, a una mostra de llibres de text i de professors en actiu i en formació.

En el present apartat presentarem i analitzarem els resultats experimentals que s'han obtingut en aplicar aquells dissenys i, per això, es dividirà en tres grans apartats. En el primer d'ells es presentaran i analitzaran els resultats derivats de l'anàlisi de llibres de text. En el segon es presentaran i analitzaran els resultats obtinguts quant a la metodologia emprada pel grup de professorat en aquests temes. En el tercer, es presentaran i analitzaran els resultats en l'aprenentatge de l'alumnat.

### **4.1. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts de l'estudi dels texts.**

Els qüestionaris que havíem dissenyat per l'anàlisi dels llibres de text s'han passat a una petita mostra de 13, dels quals 11 són de 1r de Batxillerat i els dos restants de 4t d'ESO, amb la finalitat d'obtenir una primera indicació qualitativa –que ampliarem en la tesi doctoral- al voltant de les mancances existents front a l'aprenentatge significatiu de l'alumnat.

Les respostes que s'han obtingut ítem a ítem amb cada llibre de text, són les que s'arreglen en les taules 4.2.2.a. i 4.2.2.b. que es presenten a l'annex I, taules que presentem a per tal de tindre memòria de l'anàlisi per al futur treball.

A cada taula va vinculat un quadre resum, degudament referenciat, que recull el total de respostes diferents atorgades a cada ítem. Quadre resum que presentarem abans de fer els comentaris degudament argumentats de cada un dels dos qüestionaris elaborats.

Per tal de no haver d'esmentar-lo a l'anàlisi de cada ítem, direm que ens ha cridat especialment l'atenció el cas d'un dels llibres analitzats, quant que no tracta en cap moment els temes objecte d'estudi, així doncs, el tractament i anàlisi del present capítol es basa realment en la mostra N-1. També esmentar que l'altre llibre de 4t d'ESO, no respon en cap moment als ítems 10-16 del qüestionari 3.2.2.a. i per tant es

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

tracta de qüestions pròpies de nivells superiors. Així, queden aclarides les respostes afegides als quadres resum de llegenda “No tracta cap dels temes”.

Com hem esmentat amb anterioritat, presentem a continuació el quadre resum dels resultats corresponent a l'anàlisi de les respostes del Quadre 3.2.2.a. i a continuació la lectura del mateix i anàlisi atenent als criteris de valoració establerts en l'anterior capítol, i que recordarem en el present.

LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT		RESPUESTAS a	RESPUESTAS b	RESPUESTAS c	RESPUESTAS d	RESPUESTAS e	No tracta cap dels temes
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?	2	5	4	1	-	1
2	Com introdueix els espectres atòmics?	4	8	0	0	-	1
3	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?	1	11	-	-	-	1
4	Es presenta clarament què és un model?	2	10	-	-	-	1
5	A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?	0	5	2	5	-	1
6	S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?	8	4	-	-	-	1
7	Es diferencia clarament que els models de...	2	0	1	9	-	1
8	Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament de Bòhr?	6	0	6	-	-	1
9	Com s'introdueixen els nivells d'energia?	3	1	10	0	1	1
10	Com s'introdueixen els nombres quàntics n, l, m?	4	0	1	6	-	2
11	Significat del nombre quàntic n	5	2	1	1	3	2
12	Significat del nombre quàntic l	0	1	3	7	1	2
13	Significat del nombre quàntic m	0	4	2	2	3	2
14	S'introdueix el concepte d'orbital?	0	8	1	3	-	1
15	Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:	1	8	0	3	-	1
16	Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?	4	2	0	5	1	1
17	Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir de z?	2	10	-	-	-	1

Quadre resum 4.2.2.a.

Ítem 1: Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?

Amb l'ítem 1 s'ha trobat que 2 llibres posen èmfasi en l'aspecte actitudinal de l'ensenyament (a) i 5 en el plantejament d'unes qüestions per a reflexionar al voltant del tema a tractar o d'adquisició de concepció preliminar (b). Dels 6 restants que presenten deficiències en la dimensió conceptual de l'aprenentatge, entrant directament a l'explicació dels continguts (c), ens crida l'atenció el cas d'un que ni tan

sols presenta la seqüenciació dels mateixos (d); existeix, per tant, una mancança conceptual i epistemològica en aquests llibres.

Ítem 2: Com introdueix els espectres atòmics?

4 llibres de text els introdueixen com fets que no es podien explicar amb les teories vigents del moment (a), sent majoritària la introducció d'aquest concepte de manera empírica (b) i per tant, transmetent una visió deformada del mateix en l'alumnat.

Ítem 3: Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?

La resposta negativa a aquesta qüestió es correspon amb una clara majoria, 11 llibres. Tan sol un de la mostra fa aquesta reflexió al voltant de les relacions macro-submicro que prenen lloc en la matèria.

Ítem 4: Es presenta clarament què és un model?

Clarament no s'explica la finalitat explicadora del comportament de l'àtom que tenen els diferents models atòmics; dotze respostes b i cap d'a.

Ítem 5: A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?

S'arriba fonamentalment al model de Bohr (cinc ítems amb la resposta b), però es fa menció a la mecànica quàntica de Schrödinger, d'una manera introductòria, en 5 d'ells (d). Crida l'atenció que trobem dos respostes que apunten a Sommerfeld (c).

Ítem 6: S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?

És un bon resultat que en vuit ítems la resposta siga afirmativa (a), quant que hem considerades correctes les explicacions senzilles des fets experimentals que no podia explicar un model antic, substituït pel nou. Malgrat tot, en quatre no es veu cap canvi de model i l'evolució o substitució d'unes teories per altres com a conseqüència de la crisi perquè passaren

Ítem 7: Es diferencia clarament que els models de...?

Dos llibres parlen dels models de Thomson y Rutherford com de models clàssic exclusivament (a). En cap d'ells es parla dels models de Bohr i Sommerfeld com de prequàntics (b), és més, hem trobat a un llibre de text que es parla d'ells com de



models quàntics. En un dels llibres es parla del model quàntic de Schrödinger (c). I en els 9 restants no es diferencia cap etapa diferenciadora de models.

Ítem 8: Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament del model pre-quàntic de Bohr?

Tots dotze ítems justifiquen la necessitat d'introduir-los perquè hi havia una sèrie de conceptes posteriors als models d'òrbites que no es podien explicar amb aquest, però no entren cap d'ells en els detalls. A més, 6 d'ells no parlen tan sols d'orbitals (c).

Ítem 9: Com s'introdueixen els nivells d'energia?

Tres llibres els introdueixen com a capes electròniques i a partir del model de Bohr simultàniament (a i c), un, a més a més, ho fa partir dels espectres atòmics, el model de Bohr (a, b i c) i els restants 10 expliquen directament en què consisteix el model de Bohr i a posteriori introdueixen els models.

Ítem 10: Com s'introdueixen els nombres quàntics  $n$ ,  $l$ ,  $m$ ?

Quatre llibres els introdueixen com a mitjà per identificar els nivells d'energia (a), amb la qual cosa es posa de manifesta la visió empirista de la realitat, a banda de la visió ahistòrica i aproblemàtica en la seua introducció, quant que els nivells quàntics són posteriors al model de Bohr i s'intenten explicar amb un model anterior al seu "naixement". En un llibre s'intenta explicar en què consisteixen definint-los com allò que va sortir de la solució de l'equació d'Schrödinger (c). La resta, sis llibres, no els introdueixen i s'expliquen sense cap referència.

Ítem 11: Significat del nombre quàntic  $n$

En cinc llibres la resposta és la a, donen per tant l'explicació física del mateix. Però existeixen 2 respostes b (determina el volum dels orbitals, dotant-los per tant d'existència física), 1 resposta a (totalment incorrecta, quant que fa referència al radi de les òrbites) i en els 3 restants no s'explica.

Ítem 12: Significat del nombre quàntic  $l$

Amb aquest ítem 12 trobem que s'accentua la hibridació del model quàntic amb el de Bohr. La majoria de les respostes fan referència al nombre de subnivells dins d'un nivell (7 respostes d). Tres llibres donen la c (forma de l'orbital) com la vàlida. I, per

últim, un dels llibres assigna com a correcta la resposta b, totalment incorrecta, quant que fa torna a parlar d'òrbites, encara que aquesta vegada de la seua forma.

Ítem 13: Significat del nombre quàntic m

Tornem a trobar respostes on pren lloc la hibridació del model quàntic amb el de Bohr: en quatre es parla de l'orientació de l'òrbita (b) i en dos es parla del desdoblament dels nivells (c). Hi ha dos llibres on es diu que el significat de m està en la determinació de l'orbital respecte a una direcció donada. Tres llibres no introdueixen aquest concepte.

Ítem 14: S'introdueix el concepte d'orbital?

Hem trobat 8 respostes b, l'orbital és la regió de l'espai on existeix una probabilitat de trobar l'electró, respostes que porten a la incorrecció de considerar l'orbital com un recinte on hi deu estar l'electró, que existeix amb independència d'aquest. Una resposta (c) també reconeix l'orbital amb el mateix criteri que la b però es matisa el perquè de la probabilitat: *"El término orbital se refiere a la zona del espacio que rodea el núcleo donde existe mayor probabilidad de encontrar al electrón. Ya que, de acuerdo con el principio de indeterminación de Heisenberg, no es posible conocer con exactitud y simultáneamente la posición y la cantidad de movimiento (momento lineal) de un electrón."* En altres tres (d) la resposta és negativa.

Ítem 15: Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:

Sols un llibre de text dona una visió coherent d'un orbital. Vuit llibres, en canvi, presenten els orbitals, tal i com hem esmentat a l'ítem anterior, com un lloc que existeix amb independència dels electrons (b). I novament, tres (d) no parlen d'orbitals.

Ítem 16: Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?

A quatre llibres s'expliquen els àtoms polieletrònics mitjançant orbitals que van ocupant-se segons siga el nombre atòmic dels mateixos (a). Els espectres s'empren com a causa, que no explicació de l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics, en dos llibres (b). Els sis restants són llibres on no es veu aquest punt.

Ítem 17: Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir de z?

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISIDELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

Únicament dos llibres presenten aquest tipus d'activitats d'aprenentatge significatiu (a). A la resta (10) les activitats presentades consisteixen saber donar la configuració electrònica de diferents elements, dels quals es donen els corresponents nombres atòmics, és a dir, no es demana per exemple a partir d'una determinada posició en la taula periòdica aquesta configuració.

Fet l'anàlisi de les respostes del qüestionari 3.2.2.a. procedim a la presentació del quadre resum dels resultats del qüestionari 3.2.2.b. i a continuació la lectura del mateix i anàlisi atenent als criteris de valoració establerts en l'anterior capítol, i que recordarem en el present

LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT		RESPUESTAS a	RESPUESTAS b	RESPUESTAS c	RESPUESTAS d	No tracta cap dels temes
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?	0	5	4	3	1
2	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models?	2	10	-	-	1
3	Planteja una visió unitària de l'enllaç?	0	12	-	-	1
4	Quin model utilitza per a l'enllaç iònic?	12	0	-	-	1
5	Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?	12	0	0	-	1
6	Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?	12	0	-	-	1
7	Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?	12	0	-	-	1
8	La seqüenciació dels continguts és coherent? (àtom - S.Periòdic - enllaç químic)	12	0	-	-	1

Quadre resum 4.2.2.b.

Ítem 1: Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?

Amb aquest ítem s'ha trobat que cap dels llibres analitzats posen èmfasi en l'aspecte actitudinal de l'ensenyament (a) i que solament 5 ho fan en el plantejament d'unes qüestions per a reflexionar al voltant del tema a tractar o d'adquisició de concepció preliminar (b). En quatre es presenten deficiències en la dimensió conceptual de l'aprenentatge, entrant directament a l'explicació dels continguts (c) i hi ha tres en què tampoc presenta la seqüenciació dels mateixos (d); existeix, per tant, una mancança conceptual i epistemològica en aquests llibres.

Ítem 2: Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar dels models d'enllaç?

Solament hi ha 2 respostes afirmatives (a) i 10 negatives (b). Amb la qual cosa trobem una manca de connectivitat inicial amb les relacions CTSA.

Ítem 3: Planteja una visió unitària de l'enllaç?

Rotundament no. Els 12 llibres de text coincideixen en la seua rotunditat en amagar la interacció electromagnètica com a única causa dels enllaços. Ni tan sols es fa una seqüenciació de l'enllaç covalent prèvia als "extrems d'enllaç".

Ítem 4: Quin model o models utilitza per a l'enllaç iònic?

Troblem que la única visió que els llibres de text donen de l'enllaç iònica està en l'ús del model iònic, posat hi ha coincidència absoluta de respostes a (12).

Ítem 5: Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?

Cap llibre fa ús de la teoria d'enllaç de valència (EV) de Heitler i London o dels orbitals moleculars (OM). L'única resposta que els 12 llibres de text presenten està en el model de Lewis amb els corresponents "afegits" (resposta a).

Ítem 6: Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?

Com era d'esperar a tots els llibres de text analitzats la resposta és la a.

Ítem 7: Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?

12 respostes a; encara que siga a títol de quadre resum es presenta en acabar el tema d'enllaç químic a tots els llibres de text analitzats la relació macro-submicro pertinent, relacionant-se la natura de l'enllaç de substàncies tipus amb les propietats físiques que presenten.

Ítem 8: La seqüenciació dels continguts segueix l'ordre "àtom -sistema periòdic - enllaç"?

Efectivament, 12 de 12 responen afirmativament a la pregunta corresponent a aquest ítem 8, però malauradament tots 12 no atorguen la preferència de l'enllaç covalent front els altres.

#### **4.2. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el qüestionari del professorat.**

El qüestionari del professorat s'ha passat a una mostra de 39 professors, dels quals 15 estan en actiu, a centres públics i concertats, i 24 en formació.

Presentem a continuació l'anàlisi dels resultats del test en qüestió atenent als criteris de valoració establerts a l'anterior capítol, i que recordarem en el present.

Ítem 1: Quins aspectes o activitats creus que interessa proposar quan s'inicia el tema d'àtom i enllaç en una classe de Química d'ESO i de Batxillerat?

Un 30,8% (s = 7,4) de les respostes donades pel professorat respon que els aspectes amb què convé encetar el tema deuen ser actitudinals i d'adquisició de concepció preliminar.

Atenent a les tres categories establertes a l'apartat anterior, concretament al punt 3.2.3, exemplifiquem a continuació aquestes respostes:

S'han considerat positives:

1.1 Les respostes que impulsen l'interès o la utilitat de l'estudi que van a començar. Respostes que impliquen treballar amb el component actitudinal de l'aprenentatge. Un exemple és el que segueix a continuació: *"Activitats que puguin resultar motivadores. Per exemple: Com explicaries que el gas clor siga és un gas verdós que és tòxic (o verinós) i el sodi metall reaccione violentament amb l'aigua quan la sal comuna (NaCl (s)) està formada per aquests dos elements i presenta unes propietats totalment diferents?"* (P.12)

1.2 Respostes que suposen una orientació perquè els estudiants arriben a tindre una concepció preliminar de l'estudi del tema com la següent: *"Personalment considere imprescindible, sobre tot a l'enllaç químic, plantejar alguna activitat per contextualitzar-lo. És a dir, no m'agrada començar a parlar directament dels models d'enllaç, sense haver reflexionat sobre la importància que té per a determinar l'estructura de la matèria i, en conseqüència, sobre les propietats macroscòpiques de les substàncies."* (P.16)

1.3 Respostes que exploren les idees prèvies que tenen els estudiants. Un bon exemple és el de P.35: *"Com podem explicar les propietats de la matèria atenent a la seua estructura interna? L'objectiu és determinar quina és l'estructura interna de la matèria, però, davant la impossibilitat d'observar-la directament no ens queda més remei que intentar relacionar l'estructura microscòpica amb el comportament macroscòpic de les substàncies. Cal, per tant, determinar quines són les*

*característiques que volem explicar, proposar possibles estructures de la matèria a tall d'hipòtesis per intentar explicar-les i determinar mecanismes per destriar les hipòtesis correctes i les incorrectes. Les activitats de principi de tema poden anar dirigides a classificar diferents tipus de substàncies d'acord amb aquells criteris que es consideren més convenients; establir, a grans trets, quina serà l'estratègia per determinar l'estructura interna de la matèria; recordar quins avanços s'han fet fins el moment, en temes anteriors, per assolir aquest objectiu; plantejar-nos quina utilitat pot tindre conèixer l'estructura interna de la matèria..."*

Malgrat tot, algunes de les respostes considerades en aquest apartat són pobres d'explicació, com per exemple les donades per P.4 y P.5: *"Que diguen les idees que tenen sobre l'àtom. Que el "dibuixen"*

S'han considerat negatives les respostes:

1.4 On es mostra una presentació magistral de la lliçó en forma de seqüència de continguts. Tal és el cas de: *"ESO: Són dos temes diferents i separats, per descomptat, per desenrotllar l'enllaç fa falta conèixer l'àtom i es pot anar d'un a l'altre com una anàlisi des d'allò "menut" (l'àtom) fins a allò "gran" (la matèria) o de la "gran casa" al taulell que la construeix.*

*BATX: Si ho tenen assumit des de l'ESO, s'ha de fer una introducció seriosa i rigurosa, plantejant que els àtoms estan ahí i que per necessitats s'uneixen. L'àtom és un article de fe, es creu o no es creu."* (P.13)

1.5 Que posen de manifest que el professor o professora entén que ensenyar consta en primer lloc de l'explicació del model, explícita o implícitament, i en segon lloc d'una proposta d'activitats per veure si s'han après els continguts explicats. Pertanyen a aquest tipus:

*"ESO: - Introduir idees històriques envers el grau de divisibilitat de la matèria.*

*Idem sobre l'ús de la balança (Lavoisier) i la constància de les proporcions de diferents elements químics en la composició de certes substàncies (compostos).*

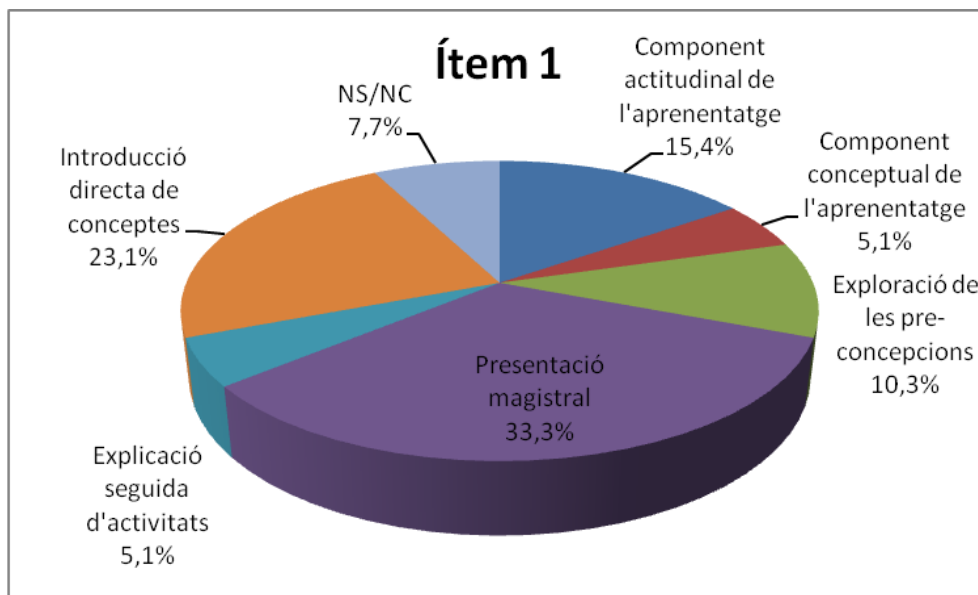
*BATX: - Introduir idees de quantització per abordar el model atòmic de Bohr i els nivells d'energia en el model de "capes" (P.1).*

*"Conèixer les parts de l'àtom proposant l'alumnat que pensen sobre la seva estructura i components (e-, p+, n). Explicar els estats d'oxidació dels àtoms (valència) i proposar construir els diagrames de Lewis de varis àtoms" (P.10).*

1.6 Altres de natura empirista on es posa de manifest que creuen que mostrant imatges aprendran els continguts sense treballar-los. Un exemple seria la resposta

donada per P.11: "Utilitzar models moleculars i muntar diferents molècules. Utilitzar programes informàtics per poder visualitzar les molècules i els enllaços."

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



Ítem 2: Quines creus que són les principals dificultats que poden tindre els alumnes a l'hora de tractar en classe el tema d'àtom i enllaç?

Amb l'ítem 2 es tracta de veure quines són les principals dificultats que es van a trobar en l'alumnat; es pretén saber si el professorat és conscient de les vertaderes dificultats que cal salvar perquè l'aprenentatge siga assolit.

Es presenten a continuació exemples dels diferents tipus de respostes considerades, segons els criteris de valoració.

2.1 Que no saben relacionar clarament entre el món submicroscòpic (model atòmic) i el macroscòpic (les propietats de les substàncies). "Tractar els àtoms com a esferes i no entendre com actua l'enllaç. Les dimensions de què s'està parlant." (P.6)

Una dada significativa és que només un professor o professora ha respost segons tots quatre criteris de valoració, és a dir, el 2.1 (explicat en el paràgraf anterior), el 2.4 (del qual es posa un exemple més tard) i els 2.2 i 2.3 que recordem a continuació:

2.2 L'alumne o alumna no sap diferenciar entre la realitat i el model construït, és a dir, que parlen de l'abstracció del tema.

2.3 Els costa tenir una visió unitària de l'enllaç.

El cas de què estem parlant és el de P.12, que respon d'aquesta manera:

"No tenen clars conceptes bàsics i moltes vegades els confonen (àtom-element-ió-molècula-compost...)"

*No tenen clar que és i per què serveix un model.*

*No veuen la relació entre el model (microscòpic) i la realitat (macroscòpic)."*

2.4 Que els estudiants tenen dificultat en diferenciar partícules com àtoms, nucleons i electrons. O bé, en diferenciar models atòmics, en particular el de Bohr i el quàntic. *"Confonen, en parlar d'enllaç, àtoms amb electrons i àtoms amb molècules."* (P.3)

En total, existeix únicament un 12,8 % (s = 5,4) de respostes positives, del tipus que acabem de presentar, amb la qual cosa podem concloure que el professorat no és conscient de les vertaderes dificultats que cal salvar perquè l'aprenentatge siga assolit per part de l'alumnat.

S'han considerat negatives les següents respostes:

2.5 Les que donen una visió empirista de la ciència. *"No entenen el que passa a nivell microscòpic. Els falta imaginació."* (P.5). Pertanyen a aquest grup el 53,8 % (s = 8,0) de les respostes, el que constitueix el grup més nombrós. Per tant, es manifesta com a conseqüència una visió empirista de la ciència per part del mateix professor.

2.6 Que consideren prerequisits conceptuals necessaris, que en realitat no ho són, com les dificultats de tipus matemàtic, de visió espacial, etc. *"La dificultat físico-matemàtica de conceptes i procediments bàsics per explicar idees sobre l'àtom. Aspectes com probabilitat, moment angular, etc. no són accessibles a una majoria d'alumnes, tant en 3r ESO com en 1r BATX."* (P.1)

2.7 Altre tipus de respostes que presenten una seqüència de continguts. És el cas de P.9, que enumera els següents ítems:

*"El concepte de càrrega positiva/negativa.*

*L'acció a distància.*

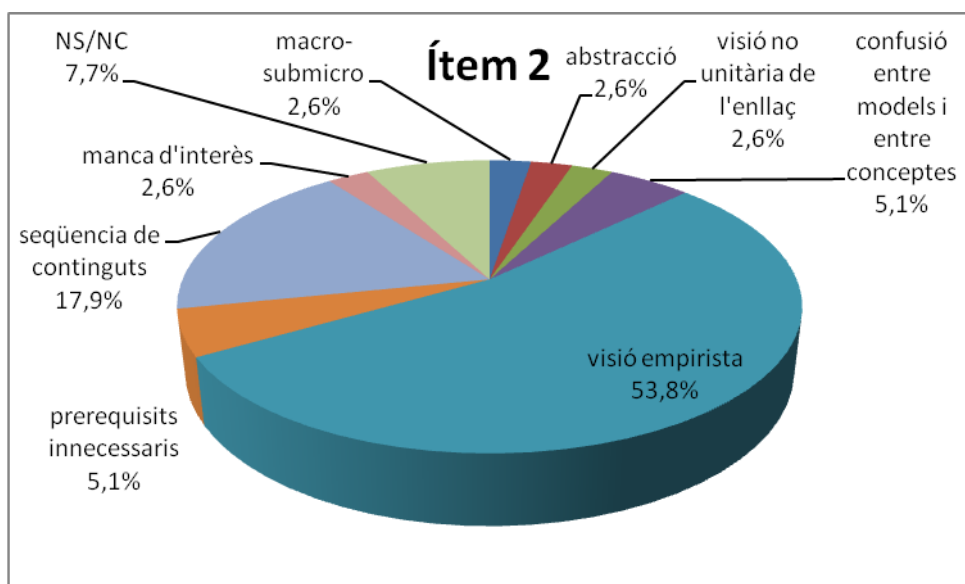
*El concepte de força entre càrregues.*

Com es "col·loquen" els electrons dins dels àtoms.

2.8 La resposta que dona P.13-*"Les dificultats són de "interès" en el tema. Solen "passar" d'aquest. Per altra banda, no tenen imaginació per atrofia de la mateixa i la dificultat està en que no són capaços de veure en la seua ment el que no es pot veure amb els ulls."*- també ha sigut considerada com incorrecta.

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





Ítem 3: Exposa una relació dels continguts que proposaries per a desenvolupar el tema d'àtom i enllaç?

Havíem considerat com a seqüenciació coherent de continguts la que es presenta a continuació:

a) En primer lloc, el desenvolupament dels models atòmics i després del tema relatiu a l'enllaç. Un 23,1 % (s = 6,7) de les respostes corresponen a aquesta primera part de la seqüenciació desitjada. P.2 és un exemple d'aquestes respostes:

Àtom: *Introducció històrica, fins Dalton.*

*Model de Thomson.*

*Model de Rutherford.*

*Isòtops i ions.*

*Model de Bohr.*

*Model mecanoquàntic.*

*Configuracions electròniques.*

*Situació en el sistema periòdic.*

Enllaç: *Natura de l'enllaç.*

*Tipus d'enllaç: iònic, covalent, metàl·lic.*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

*Forces intermoleculares: de dispersió de London, de Van der Waals, per pont d'hidrogen.*"

b) En explicar l'enllaç químic, es proposa en primer lloc la introducció de l'enllaç covalent i posteriorment l'estudi dels extrems d'enllaç: l'iónic i el metàl·lic. També s'ha de parlar de les forces intermoleculares o de Van der Waals.

P.12 respon atenent a este criteri i a més de acomplir el primer, és a dir, el criteri a: *"Diferents models atòmics (Thomson, Rutherford, Bohr)*

*Taula periòdica (elements representatius, metalls, no metalls, concepte d'ió, valència, estructura electrònica, regla de l'octet, estabilitat electrònica i energètica...)*

*Concepte d'enllaç*

*Enllaç per compartició d'e- (covalent)*

*Extrems: enllaç iònic (transferència d'e-); enllaç metàl·lic (deslocalització electrònica)"*

El mateix passa amb P.25, el que constitueix un 5,1 % (s = 3,5) del total de les respostes.

c) S'acaba amb l'explicació de les propietats de les substàncies a través dels enllaços químics. És a dir, es fa la relació sumricro-macro.

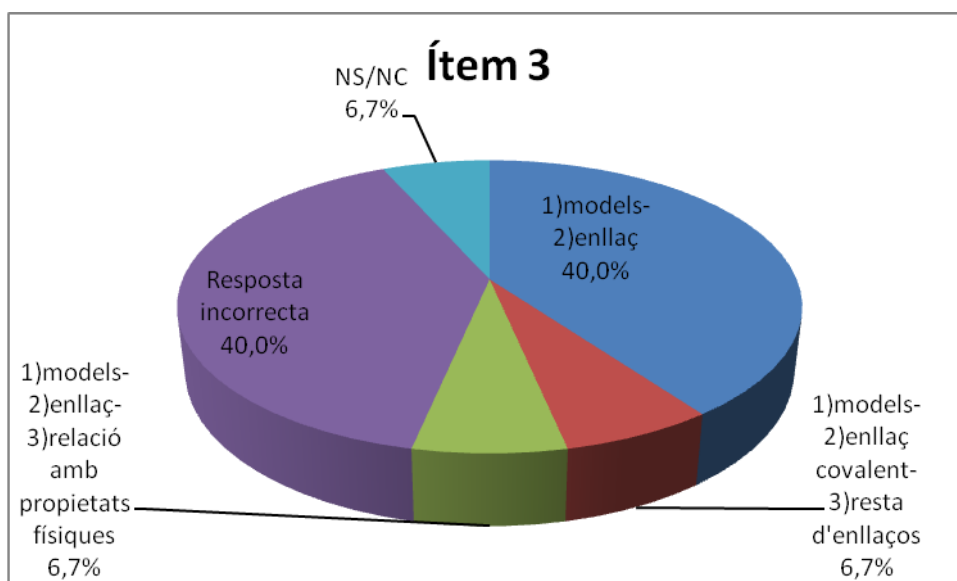
P.1 i P.6 inclouen aquest darrer criteri en la seqüenciació, junt amb el criteri a. Posem l'exemple de P.1: *"Àtom: Introducció històrica fins Dalton en 3r i Bohr en 4t d'ESO. En 1r BATX. Fins el model mecanoquàntic, configuració electrònica i capes.*

*Enllaç: Presència de diferents composts i elements en la natura. Propietats físiques característiques i adjudicació a tres models bàsics explicats com l'enllaç metàl·lic, iònic i covalent."*

Pel que fa a les respostes que no inclouen ni tan sols un dels tres apartats de què hauria de consistir la seqüenciació, hi ha un 40,0 % de respostes "negatives", i per tant, favorables a la nostra hipòtesi.

El 6,7 % restant correspon a respostes de NS/NC.

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



**Ítem 4:** Quins objectius (o competències) importants consideres que poden servir com a indicadors que l'estudiant ha comprés el tema a què ens referim?

De totes les sis competències que hem considerat a l'apartat anterior que l'alumnat hauria d'assimilar, únicament s'han trobades tres. Això indica que el professorat no considera important la resta d'indicadors que, per legislació, i per tal d'arribar a un aprenentatge significatiu es demanen. Enumerem a continuació aquestes respostes:

- Pel que fa a l'àtom:

Saber les diferències i la distribució entre partícules elementals a l'àtom (capes electròniques, en particular la de valència, i nucleons). P.13 i P.38 són els individus de la mostra que es corresponen amb aquesta competència.

- Pel que fa a l'enllaç químic:

Saber que un únic model electromagnètic (que podríem considerar el covalent) és el responsable de l'enllaç químic entre els àtoms per a formar les substàncies. Que existeixen altres models que deriven d'aquest com el model de forces de Van der Waals, així com altres models (l'iónic i el metàl·lic) "extremes" d'enllaç que depenen de la variable "deslocalització electrònica". Podem incloure en aquest tipus de resposta la donada per P.12: *"Conèixer les limitacions de cada model i entén el que explica. Saber-se l'estructura de la taula periòdica i els elements (ubicació) representatius. Entendre el concepte d'àtom, element, compost, enllaç, estabilitat electrònica i energètica, valència, ió, molècula... Veure que sol hi ha un model d'enllaç (covalent) i que l'iónic i el metàl·lic són dels extrems d'aquest model."*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

✓ Saber explicar les propietats d'algunes substàncies prototípiques (metalls, sòlids iònics, substàncies moleculars covalents i sòlids covalents) mitjançant els diferents models d'enllaç de què disposen. A este apartat corresponen 9 de les 39 respostes de la mostra. És el cas de P.4, malgrat el poc desenvolupament de la resposta: *"Explicar les propietats de les substàncies en funció del tipus d'enllaç"*.

P.14 i P.37 donen aquestes dos darreres respostes alhora.

P.14 per su parte indica: *"Que l'alumne fora capaç de conèixer els distints models atòmics: les seues aportacions i limitacions. Distingir les parts de l'àtom diferenciant les partícules que el componen.*

*Emprar amb soltura conceptes de nombre atòmic, nombre màssic, massa atòmica...*

*Que siga capaç de relacionar les propietats de les substàncies amb el tipus d'estructura i enllaç que presenten."*

I P.37: *"Àtom: -comprendre l'evolució dels diferents models.*

*-relacionar els experiments i evidències científiques amb els models proposats.*

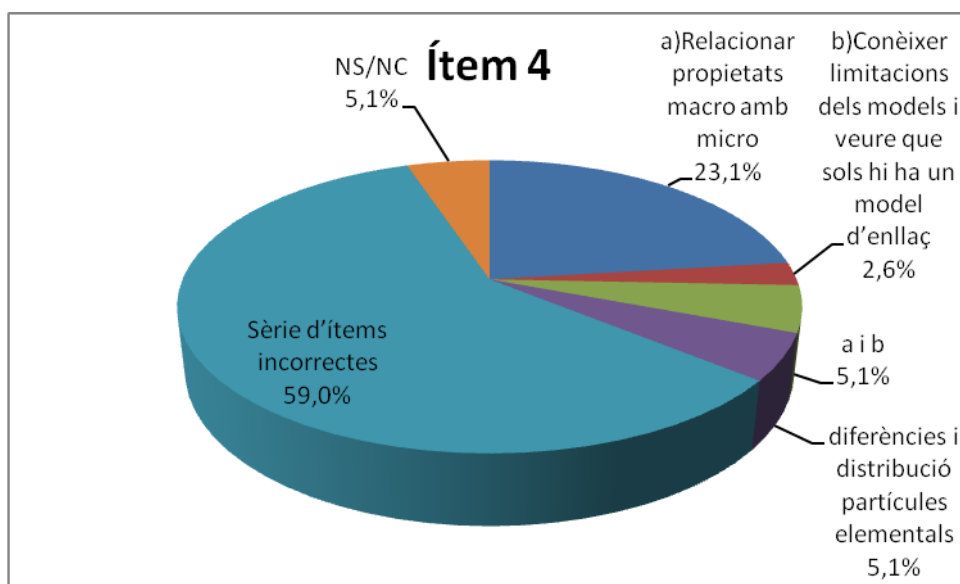
*-entendre les diferències entre element i isòtop.*

*Enllaç:-dibuixar les estructures de Lewis de diferents molècules i la seua geometria.*

*-comprendre les propietats de les diferents substàncies a partir del tipus d'enllaç."*

Pel que fa a la resta de respostes, el 59,0 % (s = 7,9) són totalment favorables a la nostra hipòtesi, i hi ha un 5,1 % (s = 3,5) de respostes NS/NC.

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



Ítem 5: Com explicaries una visió unitària de l'enllaç?

Atenent a la classificació feta a l'apartat anterior com a respostes correctes i en conseqüència desfavorables a la nostra hipòtesi, arrepleguem a continuació algunes de les respostes agrupades segons aquesta:

5.1 La interacció electromagnètica entre els electrons dels diferents àtoms del sistema periòdic com a cerca d'estabilitat de les substàncies que formen. P.8 diu: *"Tant molècules com àtoms abans de ser molècules s'agrupen amb el fi d'estabilitzar-se, tant químicament com energèticament. I aquesta és la força que fa que apareixen primer les molècules i després tots els compostos que es coneixen. I explicaria que aquestes forces són sempre elèctriques siga quin siga el tipus d'enllaç que es forme, és a dir, l'enllaç té el seu origen en atraccions i repulsions elèctriques."*

5.2 Aquella resposta que implique parlar de interacció entre els electrons més externs dels àtoms per satisfer la configuració electrònica d'aquests.

5.3 Aquella resposta que implique parlar d'una compartició d'aquests electrons per satisfer la configuració electrònica d'aquests.

P.22 pertany al tipus de resposta 5.2 o 5.3 tan paregudes: *"Començant per la teoria atòmica, distribució dels electrons en els orbitals, configuracions electròniques, tipus d'ions, estructures de Lewis segons la configuració electrònica, enllaç com unió de 2 o més àtoms amb els electrons de la capa de valència adequats per satisfer la configuració electrònica de cada àtom."*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLIS DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

Les respostes incorrectes favorables a la nostra hipòtesis, que havíem dividit en tres grups, constitueixen el 79,5 % (s = 6,5) del total de les respostes. Recordem, sense exemplificar, en què consistien aquestes.

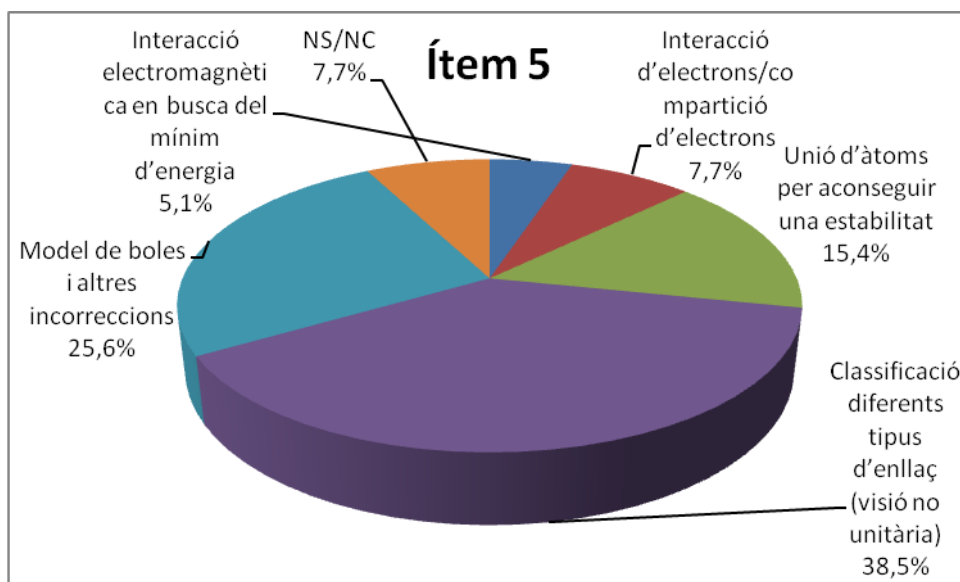
5.4 Aquelles en què es parla d'una unió d'àtoms, sense explicar què provoca aquesta unió, per aconseguir una estabilitat.

5.5 Aquelles en què es fa una classificació no unitària de l'enllaç, presentant diferents tipus d'enllaç.

5.6 Aquelles que abusen del formulisme: utilitzen un model d'esferes, representen mitjançant els símbols i ratlles un enllaç i altres incorreccions.

La resta de respostes, el 7,7 % (s = 4,3) corresponen a NS/NC.

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



**Ítem 6:** Proposa, a títol d'exemples, dues qüestions o problemes que proposaries a l'alumnat per avaluar el tema?

Les respostes correctes per aquest ítem estan directament relacionades amb les competències que parlàvem a l'ítem 4. És a dir, les qüestions que caldria proposar a l'alumnat per tal de veure si ha assolit una comprensió del tema considerades com a correctes són:

✓ Quines són les diferències i la distribució entre partícules elementals a l'àtom (capes electròniques, en particular la de valència, i nucleons). Un exemple podria ser P.24:

*“Explicar què és un àtom i les seues partícules constituents.*

*Com es formen els enllaços químics?"*

✓ A saber derivar la capa de valència d'un àtom a partir de  $z$  i del principi de construcció. En conseqüència, saber explicar el sistema periòdic dels primers 20 elements per a un nivell d'ESO i de la resta per a un nivell de Batxillerat. L'únic professor que planteja una activitat d'aquest tipus és P.2; a continuació es presenta l'activitat proposada:

*"Donats els elements  $A(z=20)$ ,  $B(z=36)$ ,  $C(z=17)$  i  $D(z=47)$ , determinar raonadament:*

- a) les seues configuracions electròniques i la situació a la taula periòdica*
- b) els 4 nombres quàntics de l'últim electró de cada element*
- c) Quin tipus d'enllaç formarà A amb B?*
- d) Quin tipus d'enllaç formarà A amb C?*
- e) Escriu les propietats que es poden esperar d'aquest últim compost degut al tipus d'enllaç que presenta."*

- Pel que fa a l'enllaç químic:

✓ A saber explicar les propietats d'algunes substàncies prototípiques (metalls, sòlids iònics, substàncies moleculars covalents i sòlids covalents) mitjançant els diferents models d'enllaç de què disposen. És a dir, conèixer els diferents models d'enllaç que expliquen les propietats macro de la matèria. P.26 posa un exemple d'aquest tipus d'activitat:

*"Classifica aquestes substàncies segons el seu tipus d'enllaç. NaCl, diamant, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, butà..."*

*Relaciona aquestes propietats amb el tipus d'enllaç:*

- Substància soluble en aigua.*
- Condueix l'electricitat.*
- De fàcil fractura.*
- Enllaç molt fort.*

P.36 és un altre exemple:

*"- donades unes quantes substàncies (fórmula) justificar el tipus d'enllaç*

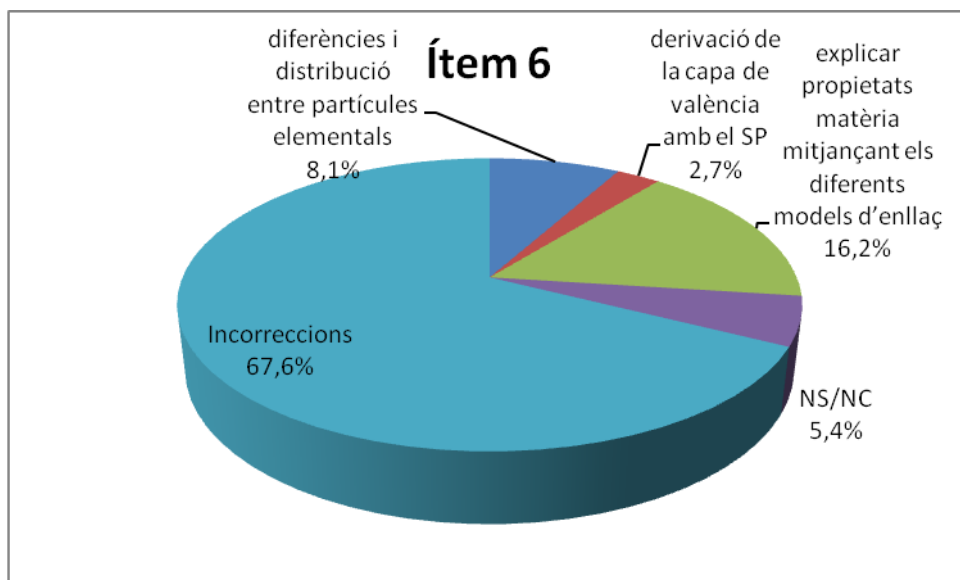
*- justificar algunes propietats macroscòpiques (T<sub>f</sub>, T<sub>e</sub>, estat d'agregació...)  
d'algunes substàncies en funció del tipus d'enllaç"*

El total de respostes considerades correctes, és a dir, d'activitats que comportarien una bona avaluació de l'alumnat és del 25,6 % (s = 7,0).

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

La resta de respostes estimades com a incorrectes constitueix el 64,1 %, i el 5,1 % de NS/NC.

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



#### 4.3. Presentació i anàlisi dels resultats obtinguts amb el qüestionari de l'alumnat.

##### 4.3.1. Anàlisi dels resultats obtinguts amb els qüestionaris de l'alumnat de 4t ESO.

El qüestionari de 4t d'ESO s'ha passat a una mostra de 121 alumnes de 4t d'ESO de centres públics i concertats triats a l'atzar.

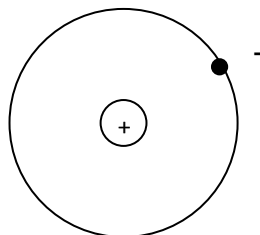
Presentem a continuació l'anàlisi dels resultats del test en qüestió atenent als criteris de valoració establerts a l'anterior capítol, i que recordarem en el present.

ÍTEM 1. DIBUIXA UN ÀTOM D'HIDROGEN I EXPLICA EL DIBUIX.	%Concepció adequada	S.D
	15,0	3,3

Únicament un petit percentatge (15,7 %) té un concepte adequat del que és un àtom d'hidrogen, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, és a dir, si



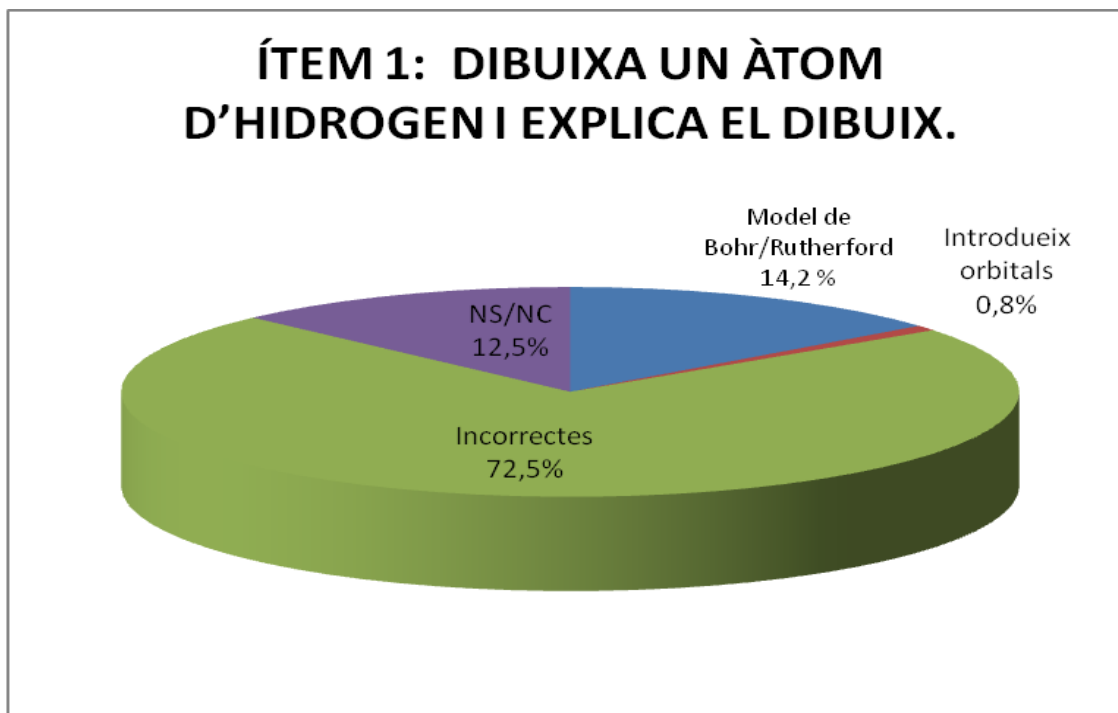
s'ajusta al model de Rutherford o al de Bohr i realitzen una representació anàloga a la que segueix:



Únicament dos alumnes han introduït el concepte d'orbitals de la mecànica quàntica, el que constitueix un mínim percentatge (1,7 %).

En la resta hi ha un 12,4% de NS/NC i un 71,9% d'incorrectes.

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

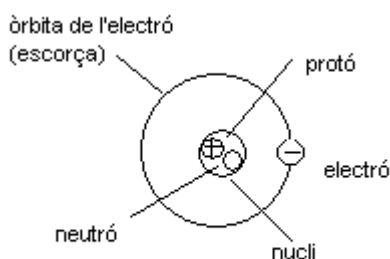


GRÀFICA 1.

En resum, podem considerar que el 84,3% de les mostres són favorables a la nostra hipòtesi, i es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat és quasi inexistent.

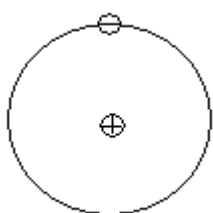
A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la primera pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 1:**

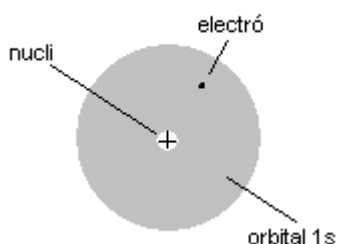


*“L'hidrogen posseeix un neutró i un protó que constitueixen el seu nucli i l'electró gira en una òrbita anomenada “escorça”. El seu nombre atòmic és 1.” (Alumne A.1)*

Com es veu hem considerat correcta la resposta que dona un dibuix d'un dels isòtops de l'hidrogen sense especificar-lo.



*“L'àtom d'hidrogen té un sol electró, ja que el seu nombre atòmic és 1. està format per un nucli amb càrrega positiva i un electró girant al voltant del nucli.” (A.38)*



*“L'àtom d'hidrogen té un protó i un electró. Té càrrega 1+ perquè com a soles té un electró a l'última capa, té tendència a perdre'l.” (A.57)*

Malgrat la inconnexió entre allò que es demana i allò que s'explica, acceptem com a bona aquesta resposta, posat que tracta el concepte d'orbital atòmic.

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 1:**

Mostrem a continuació alguns exemples del 72,5% de les incorreccions que hem trobat, que són, en alguns casos, molt greus; com quan dibuixen més partícules atòmiques de les que hi ha, com és el cas de l'alumne A.67, que dibuixa 4 protons i 6 neutrons al nucli i 2 electrons en una òrbita el·líptica; com és el cas d'A.65, que dibuixa sobre una òrbita un protó, etc.:

*“Un àtom està format per un electró i un protó perquè l'hidrogen té un àtom” (A.5)*

*“Un àtom d'hidrogen és un alcalí, per tant sols té un electró de valència en una capa i es tracta d'un no metall” (A.29)*

*“H· Ho dibuixe així perquè (H) és el símbol de l'hidrogen i el (·) és el símbol de l'electró.” (A.94)* Aquesta darrera resposta, donada per un 12 alumnes representa a la perfecció la mala visualització de l'àtom que presenten i la barreja indiscriminada de

models que fan habitualment, dificultat directament connectada amb l'objectiu 1, enunciat del qual és "conèixer les idees prèvies sobre l'àtom"

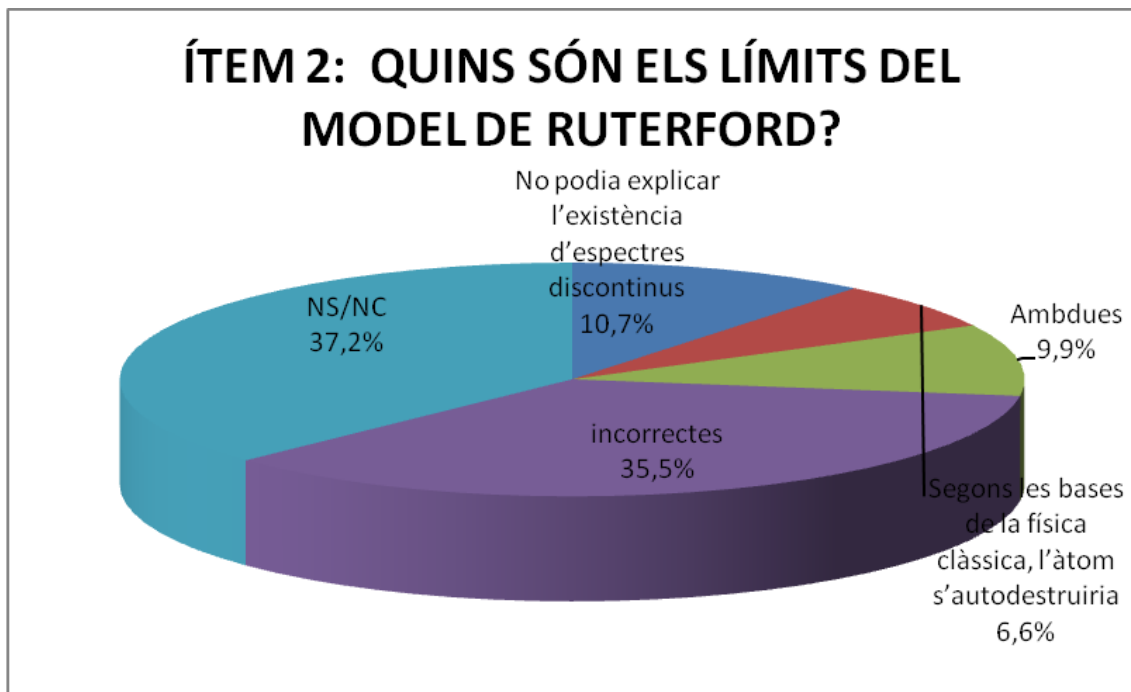
<b>ÍTEM 2. QUINS SÓN ELS LÍMITS DEL MODEL DE RUTHERFORD, ÉS A DIR, QUINS SÓN ELS FETS QUE NO VA PODER EXPLICAR?</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>9,9</b>	<b>S.D</b> <b>2,7</b>
---	--	--------------------------

Únicament un petit percentatge (9,9 %) té clars els límits del model en qüestió, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, és a dir, que no podia explicar l'existència d'espectres discontinus i que, segons les bases de la física clàssica, l'àtom tal i com es concep s'autodestruiria i no ho feia.

Si haguérem considerat correctes aquelles respostes que donaren una de les dues acceptades com a bones, aquest percentatge tampoc haguera sigut massa esperançador; sols un 27,3% haguera falsejat la nostra hipòtesi de partida.

En la resta hi ha un 37,2% de NS/NC i un 35,5% d'incorrectes. Existeix per tant un 90,1% de la població favorable a la nostra hipòtesi i que falseja l'objectiu número 2, segons el qual, haurien d'utilitzar la idea de model per conèixer com treballen els científics i com evoluciona la ciència.

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



GRÀFICA 2.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la segona pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes en l'ítem 2:**

*“No explicà l'espectre d'alguns àtoms ni tampoc el moviment en les capes dels electrons” (A.37)*

Les respostes següents són dos explicacions que s'han considerat correctes, la primera un poc més argumentada. La segona s'ha considerat correcta encara que l'estudiant no explicita en què consisteix allò de l'estabilitat de l'àtom.

*“Els electrons tenien que dividir-se en diferents nivells, no podien donar voltes contínuament i aleatòriament. No va poder explicar els diferents espectres” (A.58)*

*“Que no explica els espectres atòmics ni l'estabilitat de l'àtom” (A.70)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 2:**

Algunes de les incorreccions són conseqüència del que deriva d'una mala comprensió de la pregunta, com per exemple explicar el model de Rutherford; així i tot no són bones explicacions del model:

*“Els àtoms no eren esferes massisses i la major part de la massa de l'àtom estava concentrada al centre, quedant una zona buida entre el centre i el que l'envoltava” (A.2)*

*“L'única cosa que va fer Rutherford fou llançar les partícules alfa contra làmines d'or i va observar que:*

- *la major part dels àtoms passaven la làmina*
- *altres poques es desviaven*
- *altres retrocedien*

*Crea el primer model d'àtom.” (A.114)*

Altres considerades com a incorrectes són aquelles incompletes, és a dir, que donen un sol límit del present model:

- Sols donen com a límit la impossibilitat de que no es poguera explicar la no AUTODESTRUCCIÓ de l'àtom:

*“No va poder explicar com si els electrons giraven al voltant del nucli creant una inestabilitat ja que aquests generen energia” (A.35)*

*“No explica perquè l'electró no s'aproxima al nucli” (A.36)*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

*“No va poder explicar que l'e- no perdia energia ni que no xocava amb el nucli, que és el que hauria de passar segons la teoria” (A.48)*

- Sols donen com a límit que no podia explicar els espectres:

*“El model de Rutherford explicava el comportament elèctric de la matèria i donava unes bases per l'ordenació periòdica però era inconsistent amb la teoria electromagnètica clàssica i no podia explicar els espectres atòmics.” (A.120)*

Per tant, podem concloure que la gran majoria de l'alumnat no té clars els límits de la química i dels models clàssics que marquen el seu domini de validesa i el camí cap a la química quàntica.

<b>ÍTEM 3. COM ES PRODUEIXEN ELS ENLLAÇOS ENTRE ÀTOMS D'UN NO METALL? (EXEMPLE: Cl-Cl)</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>18,3 %</b>	<b>S.D</b> <b>3,5</b>
--	---	--------------------------

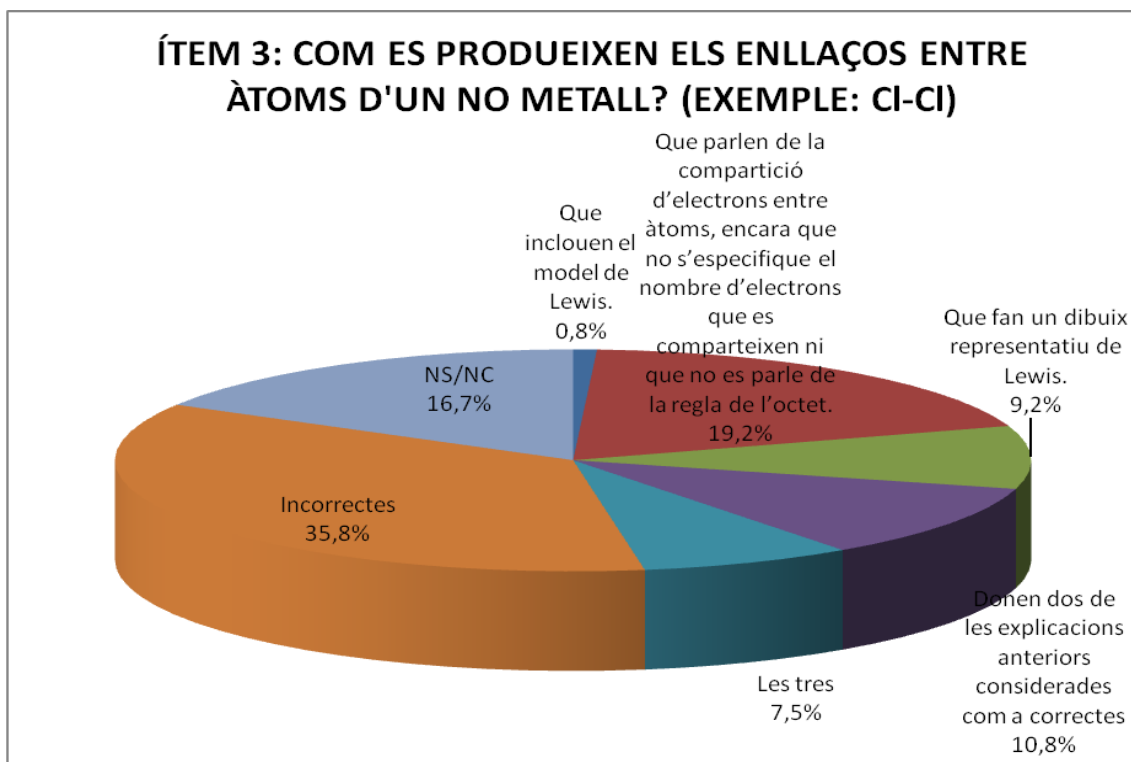
Únicament un petit percentatge (18,3 %; la suma dels dos tipus de respostes considerades correctes) ha donat una explicació coherent, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, és a dir, aquells que han donat dos de les següents explicacions (10,8%):

- Que inclouen el model de Lewis.
- Que parlen de la compartició d'electrons entre àtoms, encara que no s'especifique el nombre d'electrons que es comparteixen ni que no es parli de la regla de l'octet.
- Que fan un dibuix representatiu de Lewis.

O totes tres (7,5%)

En la resta d'explicacions hi ha un 16,7% de NS/NC i un 35,8% d'incorrectes.

La resta de percentatges queden reflectits en la següent gràfica i seran comentats més avant.



GRÀFICA 3.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és incomplet, no arriben a saber donar una bona explicació.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la tercera pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.


• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 3:**

- Algunes de les 9 respostes acceptades que donen una explicació completa a la pregunta plantejada són del tipus:

“Mitjançant un enllaç covalent, és a dir, comparteixen els seus electrons de capa de valència:  $:\ddot{\text{Cl}}-\ddot{\text{Cl}}: \Rightarrow |\ddot{\text{Cl}}-\ddot{\text{Cl}}|$ ”

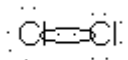
Quan els comparteixen completen l'última capa i aconsegueixen complir la regla de l'octet” (A.37)

“Es produeix mitjançant l'enllaç covalent, és a dir, els àtoms comparteixen parells d'electrons per arribar a tindre 8 electrons en l'última capa.

Exemple:  (A.77)

- Algunes de les 13 respostes acceptades com correctes però que donen una explicació semi-completa a la pregunta plantejada són del tipus:

*“Consisteix en que els àtoms es cedeixen electrons perquè hi hagen 8 en cada ú i*

*s’acomplisca la llei de conservació de la massa:*  (A.7)

*“Són els enllaços covalents. Els àtoms comparteixen electrons fins arribar a 8 electrons entre ambdós” (A.92)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l’ítem 2:**

Hem considerat incorrectes, tal i com es plasma a la gràfica, aquelles respostes que no enfonsen en l’explicació, tals com:

- Aquelles que fan menció de Lewis sense entrar en els detalls (0,8 %)
- Aquelles que parlen de la compartició d’electrons entre àtoms, encara que no s’especifique el nombre d’electrons que es comparteixen ni que no es parli de la regla de l’octet (19,2 %)
- Aquelles que tan sols fan un dibuix representatiu de Lewis, sense cap explicació (9,2 %)

Algunes d’elles impliquen afirmacions que desvetllen greus errors conceptuals, tals com:

*“Metà·lic. Els enllaços d’aquests àtoms es produeixen per “reaccions químiques”. Si és un sòlid major seran els seus enllaços, si és líquid menor, si és gas, menor encara” (A.1)*

*“Xocant entre sí” (A.9)*

*“Es produeixen perquè s’atrauen els electrons” (A.59)*

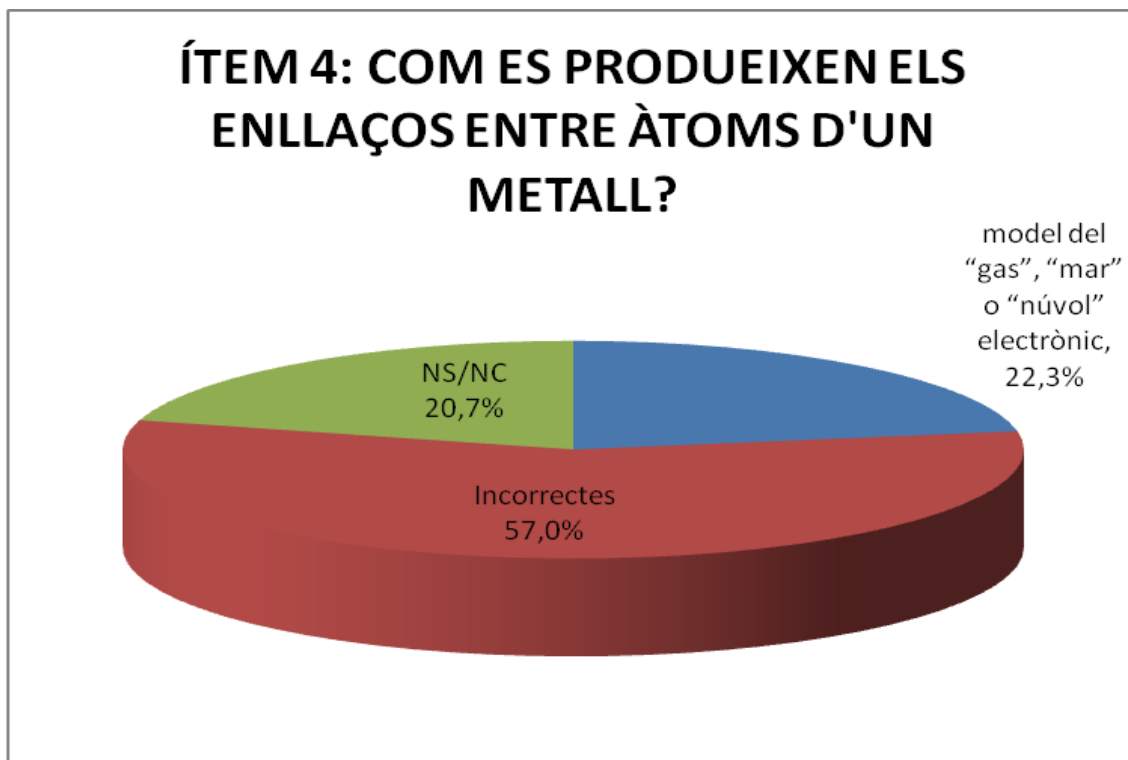
Així doncs, un 81,7 % de l’alumnat no ha complit l’objectiu número 3 i, per tant, no ha comprés que alguns elements poden combinar-se amb altres, o amb ells mateixos, per formar enllaços degut a la interacció electromagnètica. Presenten en conseqüència un desconeixement de la causa comuna que presenten els àtoms perquè es produísca la formació d’un enllaç.

<b>ÍTEM 4. COM ES PRODUEIXEN ELS ENLLAÇOS ENTRE ÀTOMS D’UN METALL? (EXEMPLE: Li)</b>	<b>%Concepció adequada</b>	<b>S.D</b>
	<b>22,3 %</b>	<b>3,8</b>

Un percentatge del 22,3% ha donat una explicació coherent que responga al model del “gas”, “mar” o “núvol” electrònic, el que constitueix una petita part.

En la resta hi ha un 20,7% de NS/NC i un 57,0% d'incorrectes.

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



GRÀFICA 4.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és molt baix y que un percentatge del 79,3 % de l'alumnat no compleix l'objectiu 4, esmentat a l'ítem anterior.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la quarta pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 4:**

*“Compartint tots els àtoms un núvol d'electrons” (A.24)*

*“Es produeix un enllaç metàl·lic i els electrons estan deslocalitzats formant un núvol, ja que els metalls tendeixen a donar electrons” (A.32)*

*“En l'enllaç metàl·lic el nucli i els electrons més interns formen una xarxa metàl·lica i estan units pels electrons de l'última capa” (A.75)* Encara que no menciona que



aquests darrers electrons tenen llibertat per tota la xarxa, acceptem com a vàlida l'explicació.

- **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 4:**

Una gran part de l'alumnat (A.38-A.46, A.48-A.56, A.61-A.64, A.67-A.70 entre altres) dona com a resposta únicament "Mitjançant un enllaç metàl·lic", respostes que no expliquen res i, per tant, s'han considerades com incorrectes.

Altres respostes inclouen errors conceptuals greus:

*"És un enllaç metàl·lic on protons i electrons s'agrupen formant una estructura metàl·lica"* (A.13) I fa el dibuix d'un octaedre amb un empaquetament de boletes amb alternança de signes positiu i negatiu.

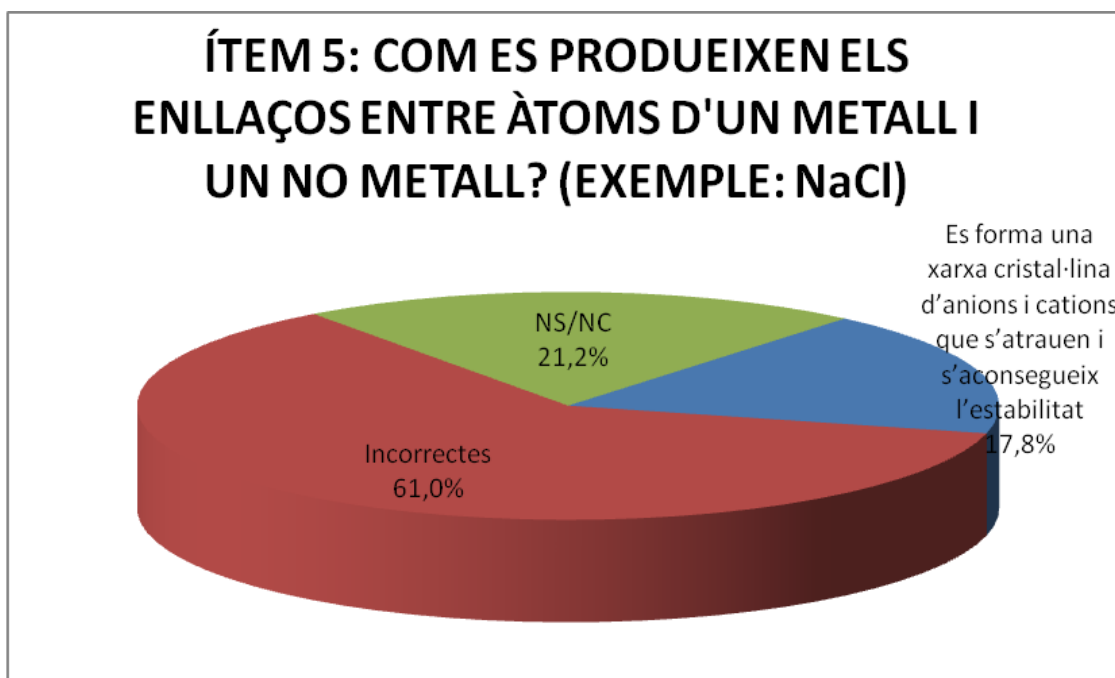
*"De forma iònica, se cedeixen electrons"* (A.96)

<b>ÍTEM 5. COM ES PRODUEIXEN ELS ENLLAÇOS ENTRE ÀTOMS D'UN METALL I UN NO METALL?(EXEMPLE: NaCl)</b>	<b>%Concepció adequada 16,9 %</b>	<b>S.D 3,4</b>
--	---------------------------------------	--------------------

Un petit percentatge (16,9%) ha donat una explicació coherent, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, és a dir, respostes del tipus: "L'element no metàl·lic (Cl) té tendència a acceptar electrons i el metàl·lic (Na) a cedir-los".

En la resta hi ha un 21,2% de NS/NC i un 61,9% de respostes incorrectes.

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



GRÀFICA 5.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és molt baix.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la cinquena pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.

- **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 5:**

*"Es deuen a l'atracció elèctrica entre ions + i -, és a dir, s'efectua un "regal d'electrons" (A.1) Acceptem aquesta com a correcta, amb criteris molt benignes i, per tant contraris a la nostra hipòtesi, malgrat no especifique qui regala a qui.*

*"Com els metalls tendeixen a perdre e- i els no-metalls a guanyar-ne, es formen dues càrregues de signe oposat que s'atrauen per la força electrostàtica i formen l'enllaç iònic." (A.26)*

- **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 5:**

Una gran part de l'alumnat (A.52-A.58 A.88-A.95, A.99-A.103, A.115-A.121 entre altres) dona com a resposta *"Mitjançant un enllaç iònic", "Mitjançant transferència electrònica", "Mitjançant ions + i -"*, etc., respostes que s'han considerades com incompletes, un exemple és la resposta d'A.7: *"Els enllaços iònics s'intercanvien*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

*electrons*” Es tracta d’una altra resposta que no aprofundeix en l’explicació que es demana.

Altres respostes que considerem incompletes són:

“*El metall cedeix e- convertint-se en catió i el metall capta e- convertint-se en anió*” (A.72), resposta que no acaba d’explicar que pren lloc una atracció electrostàtica entre aquestes càrregues de signe contrari...

“*El metall cedeix e- i es queda carregat positivament i el no metall capta e- i es queda carregat negativament*” (A.75) Però no arriba a explicar com es produeix...

Algunes respostes amb errors conceptuals greus són:

“*és covalent, comparteixen e. Pot ser un enllaç simple, doble, triple...*” (A.13)

“*Es produeix un enllaç iònic, el no metall dóna els e- de l’última capa i el metall agafa els e- que li falten per a arribar a 8 e- en l’última capa*” (A.31)

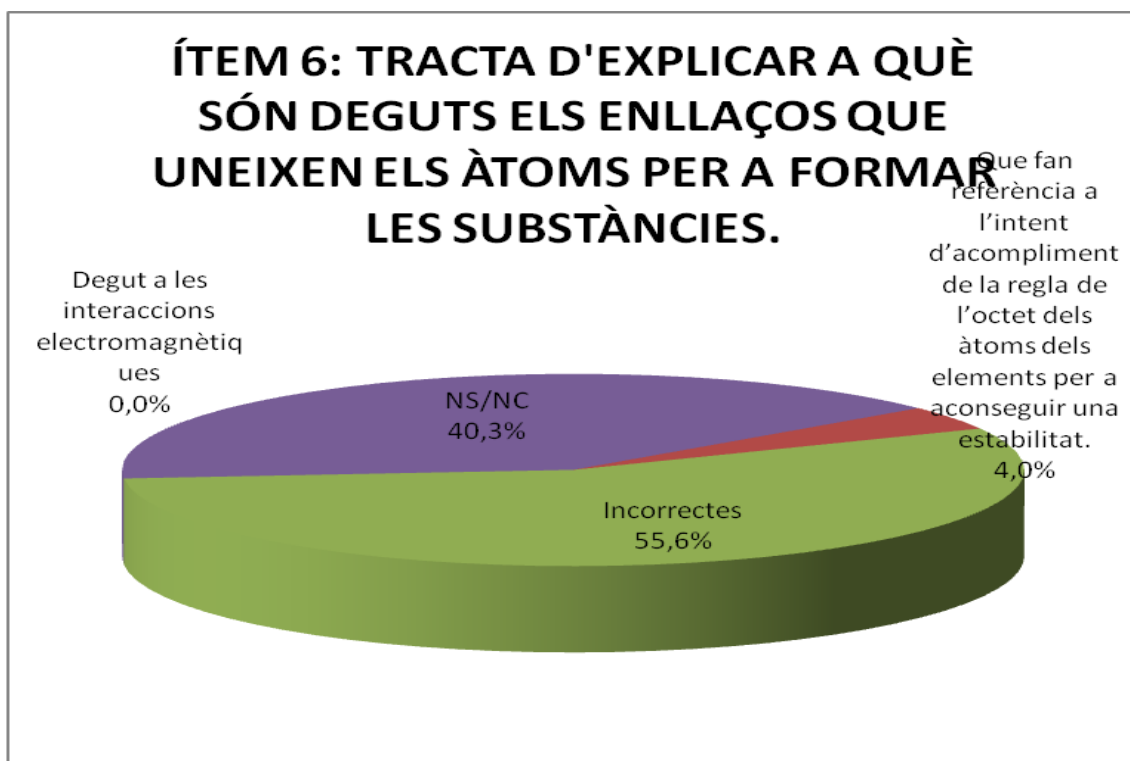
Aquest ítem, relacionat amb l’objectiu 4, posa de manifest, una vegada més el desconeixement de la interacció electromagnètica com a causa comuna de la formació d’un enllaç pel 83,1 % de l’alumnat.

<b>ÍTEM 6. TRACTA D’EXPLICAR A QUÈ SÓN DEGUTS ELS ENLLAÇOS QUE UNEIXEN ELS ÀTOMS PER A FORMAR LES SUBSTÀNCIES.</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>3,3 %</b>	<b>S.D</b> <b>1,6</b>
--	--	--------------------------

Un mínim percentatge (3,3%) ha donat una explicació coherent, d’acord amb els criteris establerts al capítol anterior on es consideren correctes les respostes que fan referència a les interaccions electromagnètiques (cap alumne ha fet referència a aquesta que és la que realment es considera la més adequada) o a l’intent d’acompliment de la regla de l’octet dels àtoms dels elements per a aconseguir una estabilitat.

En la resta hi ha un 40,7% de NS/NC i un 56,1% de respostes incorrectes.

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



GRÀFICA 6.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que una minoria té un aprenentatge significatiu del que és allò anomenat com enllaç químic, i hi ha un 96,7 % favorable a la nostra hipòtesi.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la sisena pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 6:**

Presentem a continuació les úniques quatre respostes considerades correctes:

*“Els àtoms tendeixen a seguir la llei de l'octet, és a dir, tendeixen a aconseguir vuit electrons en la seua capa de valència. Això passa perquè necessiten l'octet per assemblar-se als gasos nobles i la seua estabilitat” (A.118)*

*“Aquest és un dels problemes de la química. Els enllaços es deuen a que els àtoms tendeixen a adquirir la configuració electrònica de gas noble (acomplir la regla de l'octet), pel que s'uneixen formant agregats de relativa estabilitat.” (A.120)*

De les quatre dos són quasi correctes:

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

*“Es deu a que els elements busquen omplir la seua última capa amb el nombre d’electrons de valència dels gasos nobles i per a fer-ho necessiten combinar-se.”*  
(A.50)

*“Son deguts a la regla de l’octet, que ens diu que els àtoms han de romandre en estabilitat d’electrons”* (A.6)

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l’ítem 6:**

Amb l’anàlisi de les respostes d’aquest ítem, relacionat amb els objectius 1, 4 (recordats en respostes anteriors) i 5 (predir quina classe d’enllaç és més probable que es done entre 2 elements qualsevol), veiem com es verifica una vegada més la nostra hipòtesi.

La gran part de les respostes són incompletes, és a dir, aquelles on es fa referència a la regla de l’octet no menciona que la finalitat està en aconseguir una estabilitat, i a l’inrevés.

*“A la seua atracció i a la llei de l’octet que intenta que tots els àtoms tinguin 8 e- en la seua última capa”* (A.2) No parla d’estabilitat i per tant no la donem com correcta.

*“Per estabilitzar-se. Si a un àtom li falta un e- en la seua última capa i altre té un sols e-, s’uneixen”* (A.24)

Altres són directament incorrectes:

*“Degut a l’atracció entre càrregues positives i negatives”* (A.14)

*“Per adquirir configuració de gas noble”* (A.71)

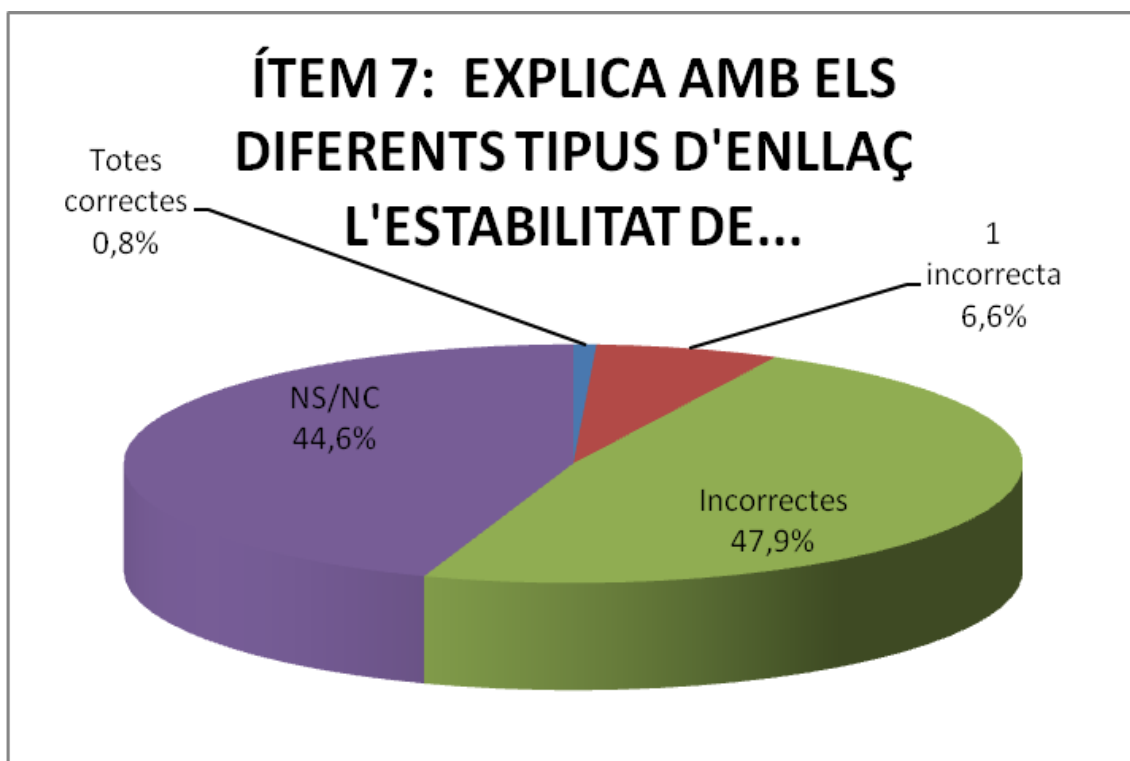
*“Perquè tinguin e- a la capa de valència”* (A.44)

<b>ÍTEM 7. EXPLICA AMB ELS DIFERENTS TIPUS D’ENLLAÇOS ESTUDIATS:</b>	<b>%Concepció adequada</b>	<b>S.D</b>
<b>a) L’ESTABILITAT DEL NITROGEN.</b>	<b>7,4%</b>	<b>2,4</b>
<b>b) LA CONDUCTIVITAT DEL COURE.</b>		
<b>c) LA FRAGILITAT DEL CLORUR DE SODI.</b>		

Un mínim percentatge (7,4%) ha donat una explicació coherent de dos casos, d’acord amb els criteris establerts al capítol anterior i solament un alumne ha contestat correctament a totes les explicacions demanades, el que constitueix un percentatge del 0,8%.

En la resta hi ha un 44,6% de NS/NC i un 47,9% de respostes incorrectes.

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



GRÀFICA 7.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que una minoria té un aprenentatge significatiu del present ítem, íntimament relacionat amb l'objectiu 8, i que per tant no comprenen la importància que tenen les propietats físiques i químiques en la identificació d'una substància ni saben explicar a partir de les propietats macroscòpiques el tipus d'enllaç. El 92,5 % de l'alumnat no veu les connexions de la Química quàntica amb la tecnologia i la societat, i per tant es torna a confirmar la nostra hipòtesi.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la setena pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 7:**

Presentem a continuació l'única resposta completament correcta, corresponent a l'alumne A.120:

*"a. Als enllaços covalents l'atracció electrostàtica és tan fort que es necessita moltíssima energia per trencar els parells electrònics enllaçants.*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

b. *Els enllaços metàl·lics es defineixen com un empaquetament de cations, entre els que hi ha partícules negatives (núvol electrònic) que es mouen lliurement. La conductivitat és alta degut a aquests espais buits*

c. *Per aplicació de forces transversals en xarxes iòniques, s'enfronten càrregues d'igual signe, que es repel·leixen, deixant espais lliures i fent que l'atracció siga menor, pel que la fragilitat és més gran"*

La resta de les respostes acceptades com a correctes són en realitat quasi correctes, ja que només responen a dos de les tres preguntes plantejades o bé sols ho fan bé a dos d'aquestes.

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 7:**

La gran part de les respostes són incompletes, és a dir, responen correctament una de les tres plantejades, o bé dos però s'equivoquen en una d'elles.

Altres són directament incorrectes, com la que es presenta a continuació:

*"a. El N és més estable perquè és un element diatòmic i al ser un no metall forma un enllaç iònic on es regalen electrons.*

*b. Forma un enllaç metàl·lic que fa que l'agrupació de càrregues + i – puguin passar electricitat.*

*c. És un enllaç covalent." (A.13)*

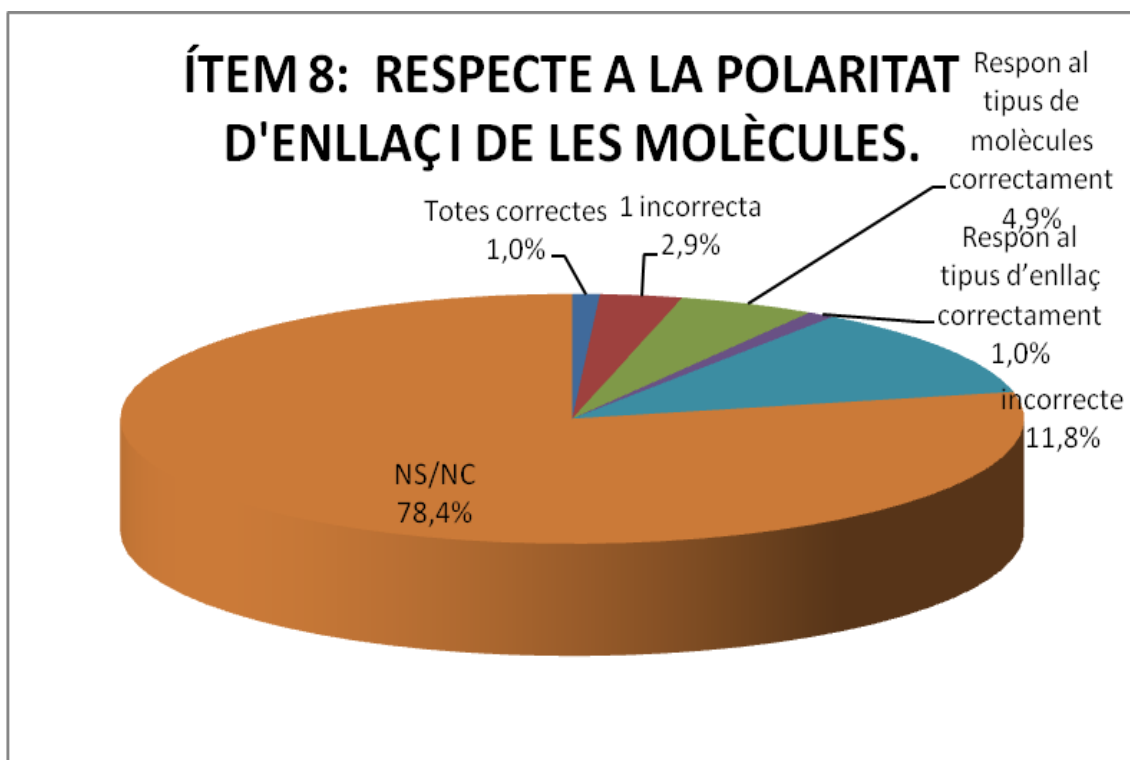
ÍTEM 8. DE LES SEGÜENTS REPRESENTACIONS DE MOLÈCULES CORRESPONENETS A SUBSTÀNCIES COVALENTS, INDICA EN QUINES HI HA UNA POLARITAT DE L'ENLLAÇ QUE FORMEN ELS SEUS ÀTOMS. INDICA TAMBÉ SI ES TRACTA DE MOLÈCULES POLARS O NO.	%Concepció adequada	S.D
a) H <sub>2</sub> b) H <sub>2</sub> O c) CCl <sub>4</sub>	9,8%	2,7

Un mínim percentatge (9,8%) ha donat una explicació coherent, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, de entre els quals, solament un alumne ha contestat correctament a totes les explicacions demanades, el que constitueix un percentatge del 1,0%.

En la resta hi ha un 78,4% de NS/NC i un 11,8% de respostes incorrectes. És preocupant per tant l'alt grau de desconeixement d'aquest ítem, o bé de desídia entre l'alumnat en no contestar al mateix.

Així doncs, un 90,2 % de l'alumnat no aconsegueix l'objectiu 6, no sap per tant si l'enllaç entre 2 àtoms té o no un caràcter polar.

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



GRÀFICA 8.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que una minoria té un aprenentatge significatiu del present ítem.

#### 4.3.2. Anàlisi dels resultats obtinguts amb els qüestionaris de l'alumnat de 1r BATX.

El qüestionari de 1r de Batxillerat s'ha passat a una mostra de 75 alumnes de 1r de BATX de centres públics i concertats triats a l'atzar.

Presentem a continuació l'anàlisi dels resultats del test en qüestió atenent als criteris de valoració establerts a l'anterior capítol, i que recordarem en el present.

ÍTEM 1. DIBUIXA UN ÀTOM D'HIDROGEN I EXPLICA EL DIBUIX.	%Concepció adequada	S.D
	30,7	5,3

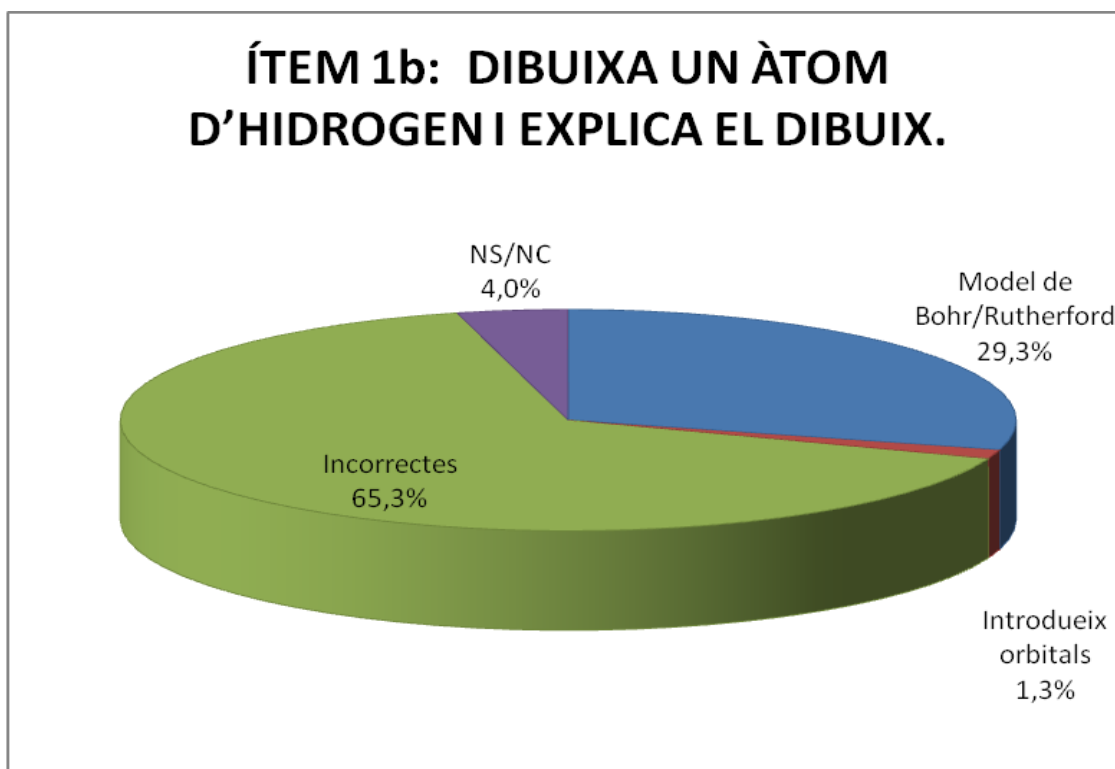


El percentatge d'alumnat amb un concepte adequat del que és un àtom d'hidrogen, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, en aquesta ocasió és considerable (30,7%). Si tenim en compte que es tracta d'un nivell superior al de 4t d'ESO, on el percentatge de respostes correctes en aquesta mateixa qüestió era d'un 15,0%, era d'esperar aquest resultat, ja que els criteris continuen sent el dibuix de l'àtom segons el model de Bohr o el d'un orbital "s" (diagrama de contorn o de densitat de càrrega) per a l'estructura  $1s^1$ . A més a més, han de donar una explicació del dibuix fet i indicar de què es tracten les partícules subatòmiques implicades.

El més inesperat és que tan sols un 1,3% de l'alumnat introdueix el concepte d'orbitals de la mecànica quàntica, ja que en aquest nivell ja haurien de pensar en l'electró com aquella partícula que compleix el principi d'incertesa de Heisenberg.

En la resta hi ha un 4,0% de NS/NC i un 65,3% d'incorrectes.

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



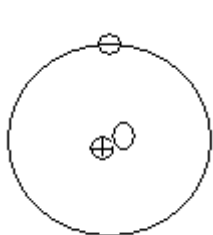
GRÀFICA 1b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és més gran que en nivells inferiors, però no suficient donades el tipus de respostes considerades correctes. Un 69,3 % de l'alumnat confirma la nostra hipòtesi i no compleix l'objectiu 1, fent una barreja de models atòmics impròpia d'aquest nivell.

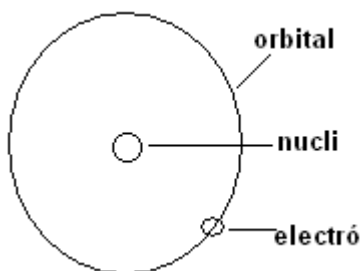
A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la primera pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 1:**

Com es veu hem considerat correcta la resposta que dona un dibuix d'un dels isòtops de l'hidrogen sense especificar-lo.



*“Bohr: Sols té un electró en la capa s, al nucli hi són el protó i el neutró.” (A.1)*



Hem considerat correcta una resposta que, malgrat fa referència a l'orbital, fa el dibuix d'una òrbita de Bohr: *“El nucli concentra la càrrega positiva i quasi la totalitat de la massa de l'àtom. Al voltant d'ell es troba l'electró en el lloc de major probabilitat per trobar-lo (orbital)” (A.19)* A més, en quàntica el valor esperat del radi  $\langle r \rangle = \int \psi^* r \psi dr = a$  (radi de Bohr)

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 1:**

Mostrem a continuació alguns exemples del 65,3% de les incorreccions que hem trobat, que són, en alguns casos, molt greus; com quan parlen de l'àtom d'hidrogen com un àtom amb més partícules atòmiques de les que té, com són els casos d'A.17 i A.18:

*“Format per un nucli amb protons i neutrons i una capa amb 1 electró” (A.17)*

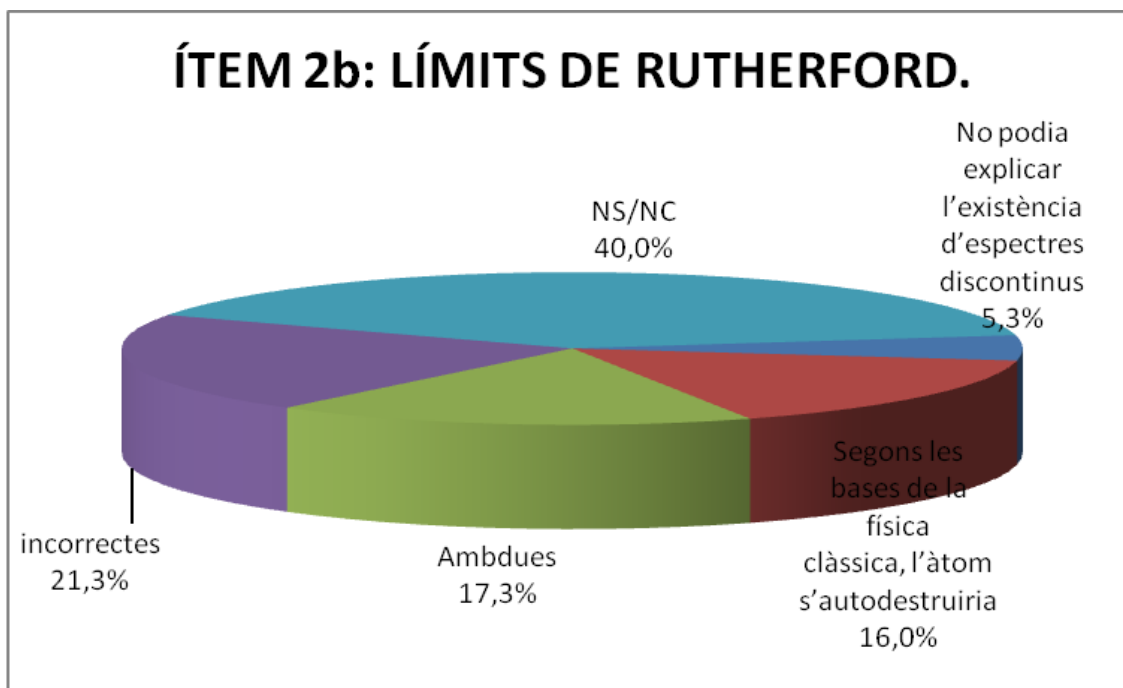
*“Nucli amb càrrega positiva envoltat d'un orbital al voltant del qual es troben electrons de càrrega negativa” (A.18)*

ÍTEM 2: QUINS SÓN ELS LÍMITS DEL MODEL DE RUTHERFORD, ÉS A DIR, QUINS SÓN ELS FETS NO VA PODER EXPLICAR?	%Concepció adequada	S.D
	17,3	4,4

Un petit percentatge (17,3 %) té clars els límits del model en qüestió, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior i que són els mateixos que en el qüestionari de 4t d'ESO.

En la resta hi ha un 40,0% de NS/NC i un 21,3% d'incorrectes.

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



GRÀFICA 2b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és molt baix i, per tant, recolzen la nostra hipòtesi de partida, no acomplint-se l'objectiu número 2, segons el qual no saben utilitzar la idea de model, o ho fan malament, per conèixer com treballen els científics i com evoluciona la ciència.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la segona pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

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

*“El model de Rutherford és autodestructiu, segons la llei de la conservació de l'energia ja que si els electrons sempre estan gastant energia orbitant es caurien cap al nucli. Tampoc pogué explicar els espectres discontinus.” (A.66)*

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISIDELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

*“Rutherford va explicar l’estructura de l’àtom, és a dir, va explicar que estava compost per un nucli fort i uns electrons que es movien seguint unes òrbites al voltant del nucli positiu atrets per ell; però no va poder explicar la seua estabilitat: els espectres d’absorció i emissió de llum com va fer Bohr.” (A.74)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l’ítem 2:**

Aquelles que responen únicament a un dels límits del present model:

*“El model de Rutherford no és possible perquè es tracta d’un model “autodestructiu”, ja que ell proposava que l’electró feia òrbites al voltant del nucli, i si açò fóra cert, per la llei de conservació de l’energia l’electró hauria de caure al nucli quan es quedara sense energia. No va poder explicar per què l’electró no queia al nucli” (A.73)*

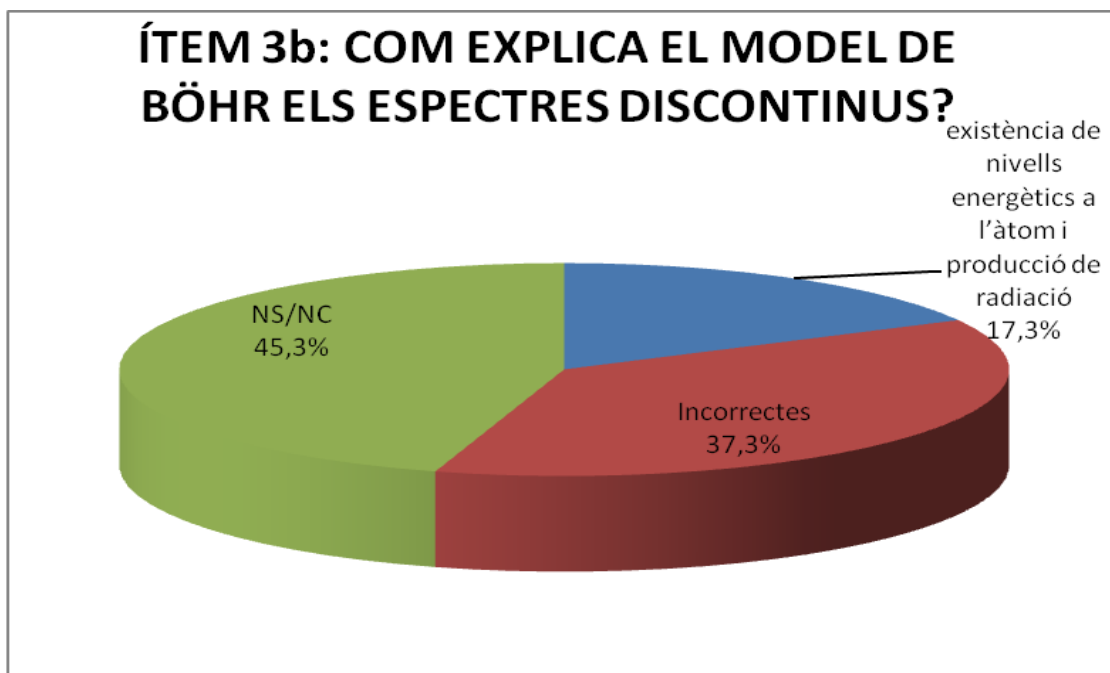
*“No explicava alguns fenòmens descoberts en la primera meitat del segle XX, com l’espectre d’emissió dels àtoms i l’efecte fotoelèctric” (A.41)*

<b>ÍTEM 3: COM EXPLICA EL MODEL DE BOHR ELS ESPECTRES DISCONTINUS?</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>17,3</b>	<b>S.D</b> <b>4,4</b>
--	---	--------------------------

Únicament un petit percentatge (17,3%) ha parlat de l’existència de nivells energètics a l’àtom i la producció de radiació per canvis interns dels electrons d’uns nivells a altres de l’àtom, tal i com es va establir com criteri d’acceptació com correcta la resposta d’aquest ítem. Per tant, sols aquest percentatge té clars els límits de la química i dels models clàssics que marquen el seu domini de validesa i el camí cap a la química quàntica.

En la resta hi ha un 45,3% de NS/NC i un 37,3% d’incorrectes.

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



GRÀFICA 3b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és reduït.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la tercera pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 3:**

Encara que no especifica que els espectres són conseqüència d'aquesta emissió d'energia de la qual es parla i encara que no diferencia entre espectres d'emissió i d'absorció, acceptem com a correcta la següent resposta: "Bohr passa de parlar d'òrbites a orbitals o nivells d'energia. En ells, l'energia està quantitzada. Els e- sols emeten energia en tornar al nivell d'energia que estiga més prop del nucli, és a dir, emeten la mateixa energia que la subministrada per a canviar d'orbital." (A.19)

*"Diu que els electrons poden passar d'un estat energètic a un altre alliberant energia o absorbint-la. Aquesta energia són fotons. Però només hi ha uns estats permesos. Els fotons que són absorbits apareixen com ratlles obscures en un fons lluminós i els que són alliberats apareixen com a ratlles de colors en un fons negre."* (A.67) Resposta que considerem correcta malgrat no distingeix entre espectres d'absorció i emissió.

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 3:**

La següent resposta incorrecta ho és per no explicar en absolut el que es demana en el present ítem, únicament parla dels fonaments en què es basen els espectres:

*“L'electró d'un àtom sols pot moure's en determinades òrbites, en cada òrbita té una E i, per tant, sols són possibles determinats nivells d'energia. El nivell d'energia més baix correspon a l'òrbita més pròxima al nucli i a mesura que vas allunyant-te, augmenta l'energia” (A.25)*

Per contra, la següent resposta és totalment incorrecta, ja que enuncia que en proporcionar energia els electrons emeten energia: *“En donar-li energia als àtoms els electrons s'exciten i “salten” a altres nivells d'energia més elevats, emetent energia.” (A.27)*

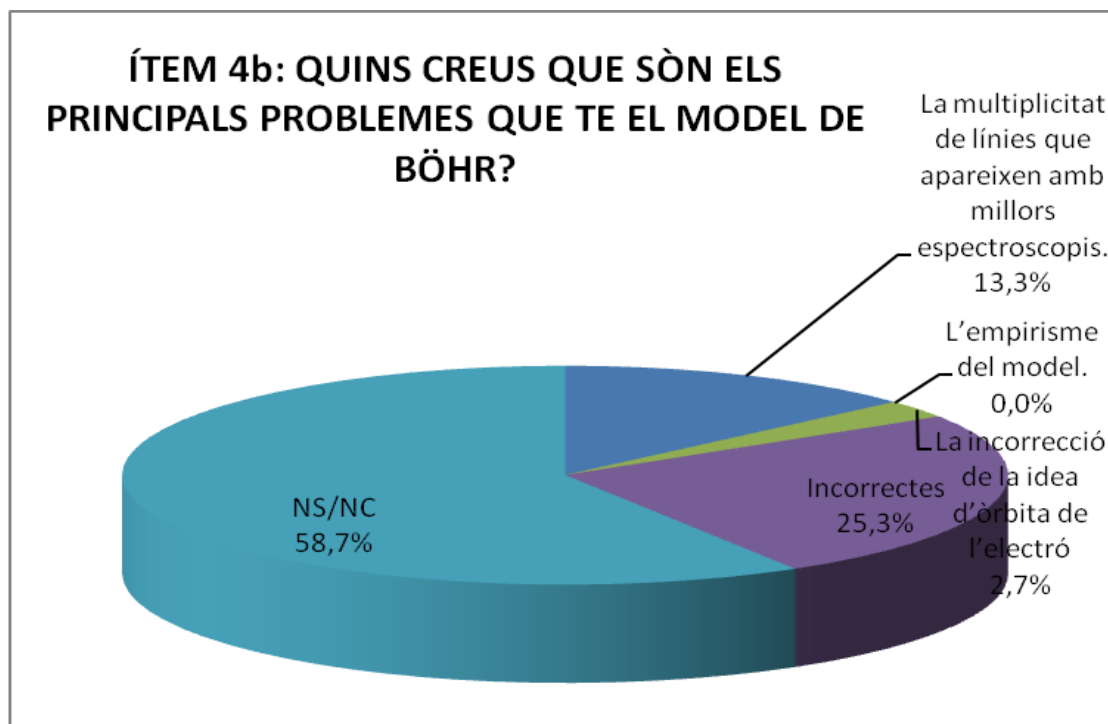
<b>ÍTEM 4: QUINS CREUS QUE SÓN ELS PRINCIPALS PROBLEMES QUE TE EL MODEL DE BOHR?</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>16,0</b>	<b>S.D</b> <b>4,2</b>
--	---	--------------------------

Únicament un petit percentatge (16,0 %) respon correctament a un dels problemes que presenta el model de Bohr. Malgrat es demanen els principals problemes en plural s'accepta com correcta la resposta on es done almenys un dels límits del model:

- La multiplicitat de línies que apareixen amb millors espectroscopis. (13,3 %)
- L'empirisme del model o el seu caràcter “ad hoc”. (0 %)
- La presentació com a límit de conceptes superats amb models posteriors, com per exemple la incorrecció de la idea d'òrbita de l'electró. (2,7 %)

Hi ha un 58,7% de NS/NC i un 25,3% d'incorrectes. Això és un 84,0 % favorable a la nostra hipòtesi i confirmatori que l'objectiu 2 (el bon ús de la idea de model) no s'ha assolit.

Veiem en la següent gràfica amb més claredat aquests resultats.



GRÀFICA 4b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és quasi inexistent.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la quarta pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 4:**

*“Els electrons no tenen unes òrbites clarament definides, sinó que es mouen en els orbitals, regions de l'àtom on la probabilitat de trobar l'electró és màxima.” (A.20)*

*“Que sols explicava l'espectre d'hidrogen i quan es construïren els espectroscopis es va comprovar que cada ratlla dels espectres, era en realitat un conjunt de línies molt pròximes.” (A.34)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 4:**

*“No va tindre en compte la hipòtesi de Planck, els espectres atòmics i l'explicació de l'efecte fotoelèctric” (A.40)*

Un exemple de resposta incompleta és: *“No pogué explicar els àtoms que tenen més d'un electró” (A.45)*

<b>ÍTEM 5: INDICA A QUÈ PERIODE I GRUP PERTANYEN ELS SEGÜENTS ELEMENTS: F-9, Ca-20, S-16. JUSTIFIQUEU LES SEUES POSSIBLES VALÈNCIES.</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>10,7</b>	<b>S.D</b> <b>3,6</b>
--	---	--------------------------

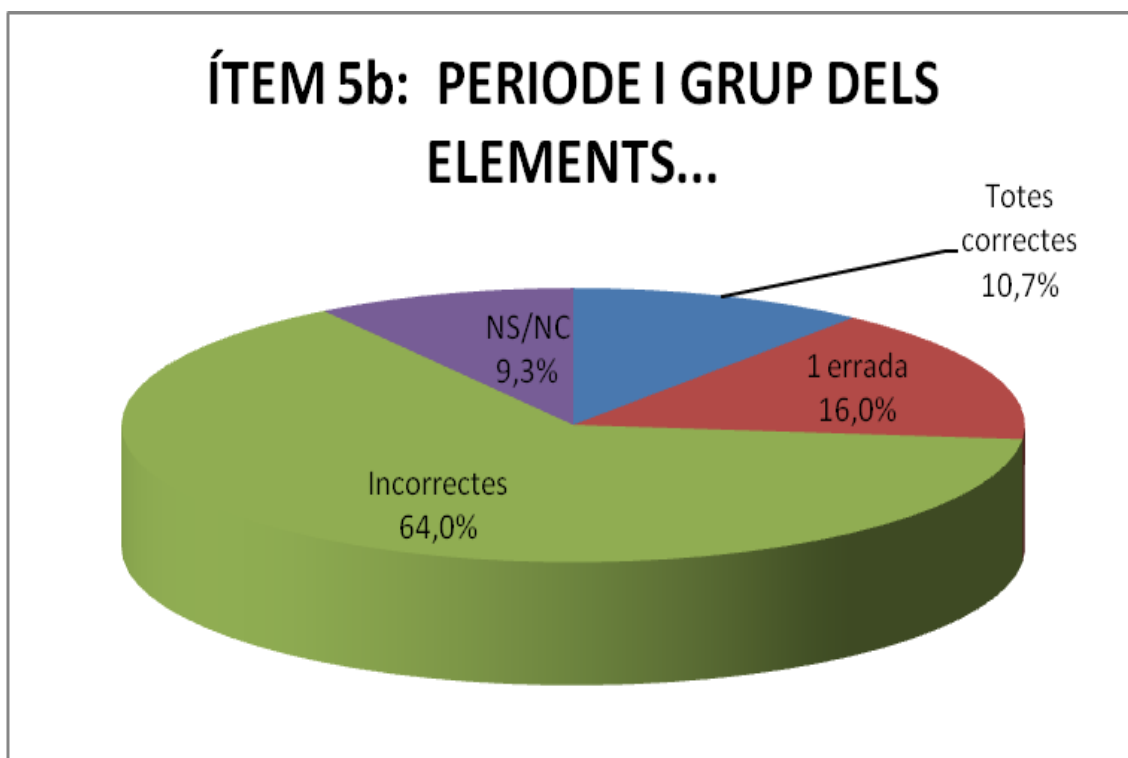
Únicament un petit percentatge (10,7%) respon correctament a tots els apartats de la qüestió, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, que recordem a la següent graella:

	PERÍODE	GRUP	VALÈNCIES
F-9	2n	VII	-1
Ca-20	3r	II	+2
S-16	3r	VI	-2 y/o +2,4,6

En aquest nivell, no considerarem correctes les respostes que tinguen una errada, és a dir, 2 respostes correctes, encara que si fóra el cas, el percentatge de respostes correctes ascendiria únicament a un 26,7%, el que continuaria constituint un baix percentatge.

En la resta hi ha un 9,3% de NS/NC i un 64,0% d'incorrectes.

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



GRÀFICA 5b.



CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que sols un 10,7 % de les mostres manifesten un aprenentatge significatiu. La resta no compleix l'objectiu número 3 (escriure configuracions electròniques i classificar els elements d'acord a la mateixa) i per tant manifesten com a dificultat el no saber deduir a partir de les configuracions electròniques la posició dels elements en el sistema periòdic ni justificar les seues valències.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la cinquena pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

- **Exemples de respostes explicatives considerades en l'ítem 5:**

Donat el nivell de l'alumnat hem desestimat com correctes les respostes que cometen una errada; d'aquesta manera el percentatge de respostes favorables a la nostra hipòtesi és prou elevat.

Un exemple de resposta correcta és la d'A.6: "F-9: No metall/halogen, val=-1, període 2; Ca-20: Metall/alcalinoterrí, val=+2, període 4; S-16: No metall, val=-2, període 3"

- **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 5:**

Hem considerat com a incorrectes les respostes que assignen valències +1, +3, +5 i +6 al fluor, com les d'A.50-52, A.55, A.56, entre altres.

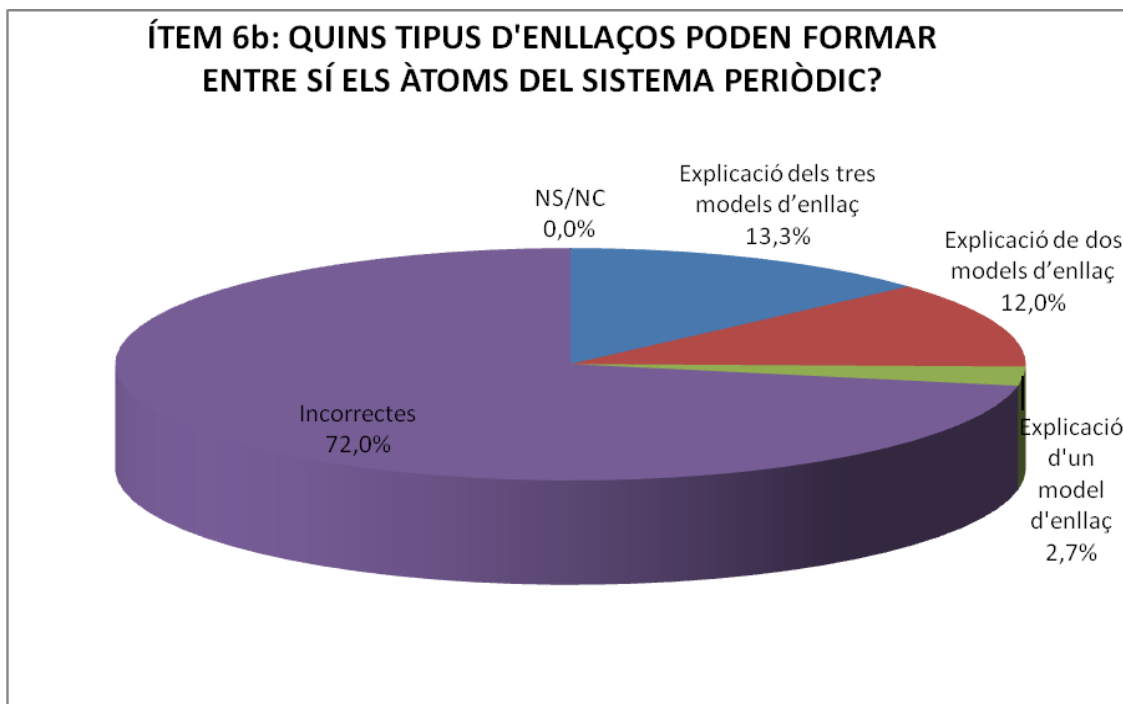
També aquelles que deixen un element o dos per explicar.

<b>ÍTEM 6: QUINS TIPUS D'ENLLAÇOS PODEN FORMAR ENTRE SI ELS ÀTOMS DEL SISTEMA PERIÒDIC?</b>	<b>%Concepció adequada</b>	<b>S.D</b>
	<b>25,3</b>	<b>5,0</b>

Únicament un percentatge del 25,3 % han explicat correctament, d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior, els quals recordem en exemplificar algunes de les respostes considerades com a correctes, el demanat en aquesta qüestió.

En la resta hi ha un 74,7% d'incorrectes, entre les quals trobem un 2,7 % de respostes on s'ha donat únicament 1 resposta correcta de les tres demanades i la resta (el 72,0 %) correspon a respostes totalment incorrectes. Una dada significativa és que hi ha un 0% de NS/NC.

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



GRÀFICA 6b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és molt xicotet.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la sisena pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 6:**

Hem pres com a vàlides les respostes que expliquen l'enllaç de la següent manera:

*“Metàl·lics: es produeix entre dos metalls, que alliberen els seus electrons de valència. Iònics: es produeixen entre un metall i un no metall. El metall cedeix un electró al no metall. Covalents: es produeixen entre dos elements no metàl·lics, cadascú comparteix un o més electrons.” (A.36)*

*“Enllaços forts: Iònics; metall-no metall, es produeix una atracció entre pol + i -. Covalents; no metall-no metall, 2 metalls comparteixen electrons. Metàl·lic; metall-metall, es crea una espècie de núvol electrònic que els fa conductors. Enllaços febles: Ponts d'hidrogen, dipol-dipol, dipol instantani.” (A.72)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 6:**

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISIDELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

Mostrem a continuació alguns exemples de contestacions incorrectes:

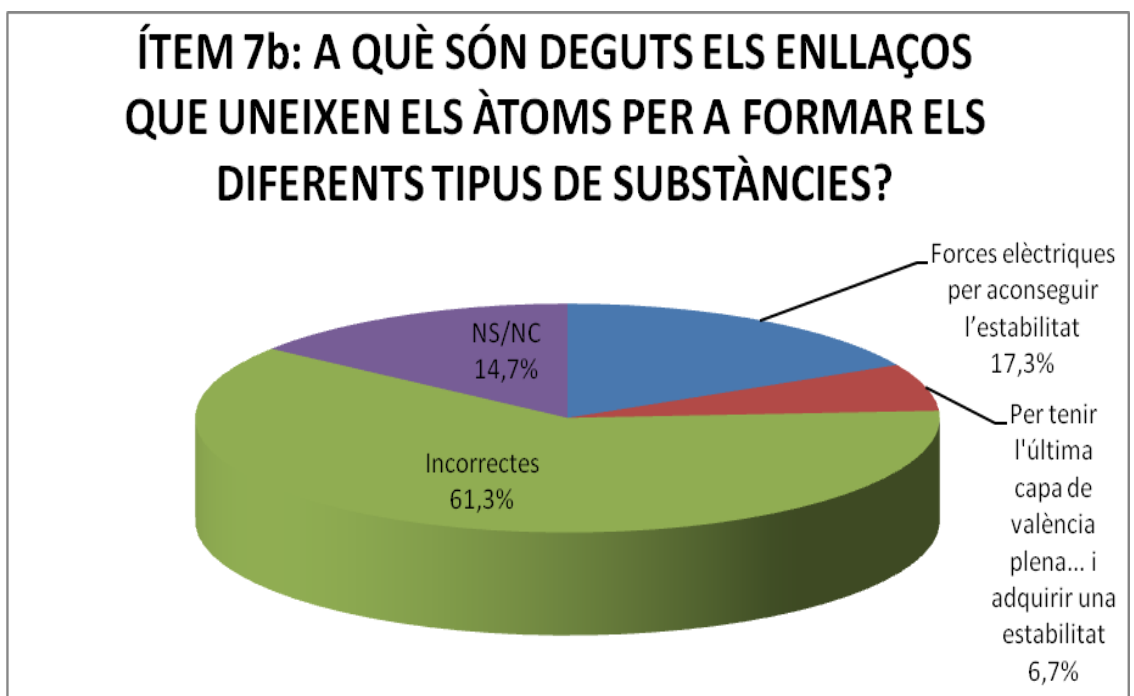
- Aquelles que no entren en els detalls i es limiten a dir que hi ha tres tipus d'enllaç: *“Enllaç iònic: entre un metall i un no-metall, metàl·lic: entre dos metalls, covalent: entre dos no metalls”* (A.6)
- Aquelles que directament són incorrectes: *“Enllaç iònic: es dona entre dos àtoms: metàl·lic i no metàl·lic. Consisteix en donar o rebre electrons fins aconseguir una configuració estable. Enllaç covalent: es dona entre dos àtoms no metàl·lics i comparteixen ?”* (A.30)

<b>ÍTEM 7: TRACTA D'EXPLICAR EN GENERAL A QUÈ SÓN DEGUTS ELS ENLLAÇOS QUE UNEIXEN ELS ÀTOMS PER A FORMAR ELS DIFERENTS TIPUS DE SUBSTÀNCIES.</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>17,3</b>	<b>S.D</b> <b>4,4</b>
--	---	--------------------------

Únicament un petit percentatge (17,3 %) dona una explicació completa a la pregunta basada en la interacció electromagnètica entre els electrons dels diferents àtoms del sistema periòdic com a cerca d'estabilitat de les substàncies que formen.

En aquest nivell donarem per incorrectes aquelles respostes que no parlen de forces elèctriques, encara que indiquen la pretensió d'adquirir la configuració electrònica de gas noble o tenir plena l'última capa (6,7 %). Per tant, hi ha un 14,7% de NS/NC i un 68,0% d'incorrectes.

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



GRÀFICA 7b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que és poc l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la setena pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

• **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 7:**

Les respostes d'aquells alumnes que han assolit l'objectiu 4 i que, per tant, han comprés que alguns elements poden combinar-se amb altres per formar enllaços degut a la interacció electromagnètica són:

*"L'enllaç químic són les forces que mantenen units els àtoms, són forces de caràcter electrostàtic. L'enllaç es produeix quan les forces d'atracció entre un àtom i els e- d'altre s'igualen amb les forces de repulsió nucli-nucli, electró-electró..." (A.28)*

• **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 7:**

Pertanyen a aquest grup les respostes que parlen de l'intent d'arribar a una estabilitat però no fan menció a l'existència de forces elèctriques; és el cas de: A.7-A.9, A.14 i A.74.

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER  
CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

S'han considerat incorrectes aquelles respostes que fan referència a la regla de l'octet però no parlen d'estabilitat o forces elèctriques; és el cas de: A.16-A.23, A.25-A.27 entre altres. Aquests desconeixen que és la interacció electromagnètica la causa comuna dels àtoms perquè formen un enllaç.

Altres respostes incorrectes són les següents: “A les forces intermoleculars” (A.44), “Degut a que la natura de l'enllaç químic és de tipus elèctric i totes les espècies químiques s'enllacen perquè la part positiva d'ells atrau a la part negativa de l'altra.” (A.47).

<b>ÍTEM 8: RESPECTE ALS ENLLAÇOS DE VAN DER WAALS I D'HIDROGEN, TRACTA D'EXPLICAR SI HI HA DIFERÈNCIES ENTRE AQUESTS I ELS ENLLAÇOS IÒNIC, COVALENT O METÀL·LIC.</b>	<b>%Concepció adequada</b> <b>8,0</b>	<b>S.D</b> <b>3,1</b>
--	--	--------------------------

Únicament un percentatge del 8,0% (6 alumnes de 75) sap explicar les diferències entre els enllaços indicats a l'ítem.

De respostes incompletes, i per tant incorrectes, podem diferenciar entre les següents:

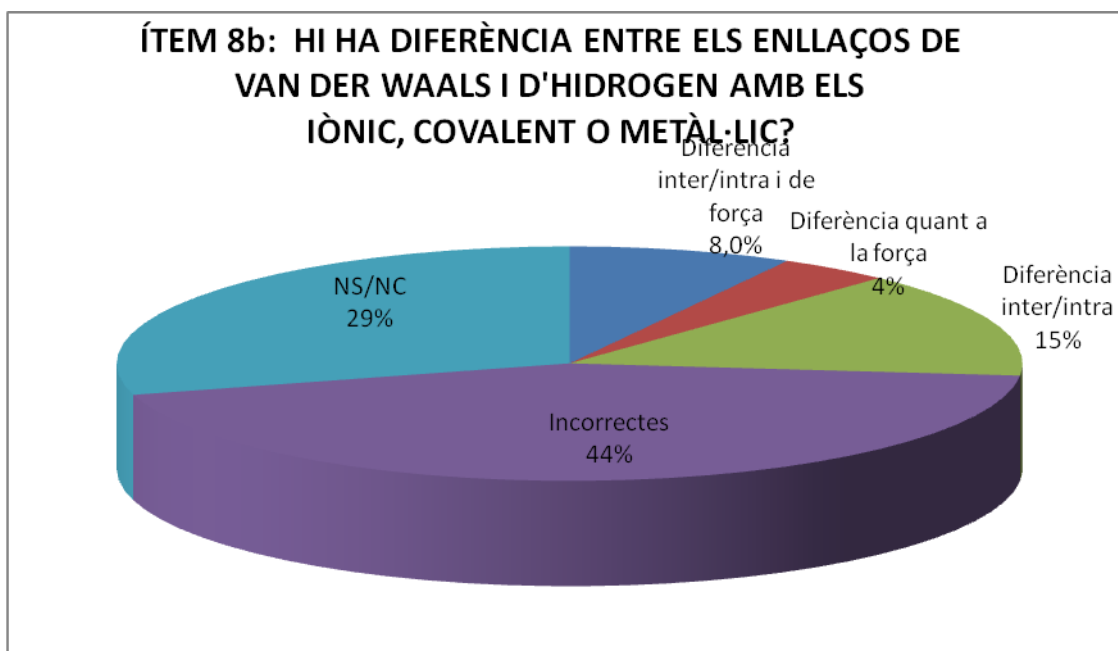
✓ 3 alumnes de 75 (un 4,0%) responen que la diferència entre un i altre tipus d'enllaç està en la força.

✓ 11 del total (14,7%) centren els seus arguments en la diferència intermolecular/intramolecular dels dos tipus d'enllaç.

Existeix, per tant, un 44,0% de respostes incorrectes.

En la resta hi ha un 29,3% de NS/NC.

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



GRÀFICA 8b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és quasi inexistent.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la vuitena pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

- **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 8:**

*“Els enllaços de Van der Waals i d'hidrogen s'estableixen entre molècules i són més febles que les forces existents entre els àtoms, és a dir, entre els enllaços de tipus covalent, iònic o metàl·lic.” (A.41)*

*“Els primers són intermoleculars i els últims intramoleculars. Els primers són febles i els últims més forts” (A.73)*

Aquestes respostes constitueixen exemples d'alumnes que han assolit l'objectiu 7 dels plantejats al capítol 2 del present document, segons el qual han de comprendre les forces de Van der Waals i els ponts d'hidrogen en les substàncies moleculars, així com distingir entre un enllaç intramolecular i un altre d'intermolecular.

- **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 8:**

Hem considerat incorrectes, entre altres, les respostes incompletes, és a dir:

CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

- aquelles que fan menció a la diferència inter/intra sense parlar de la força de l'enllaç: *“Van der Waals i d'hidrogen uneixen molècules i els enllaços iònics i covalents uneixen àtoms.”* (A.56)
- aquelles que fan menció a la força d'enllaç sense parlar de la diferència inter/intra: *“Aquests es diferencien en que els enllaços tenen forces més febles.”* (A.45)

<b>ÍTEM 9: EXPLICA AMB ELS DIFERENTS TIPUS D'ENLLAÇOS ESTUDIATS: A) LA POCA REACTIVITAT DEL NITROGEN, B) LA CONDUCTIVITAT DEL COURE, C) LA FRAGILITAT DEL CLORUR DE SODI.</b>	<b>%Concepció adequada 20,0</b>	<b>S.D 4,6</b>
---	---	--------------------

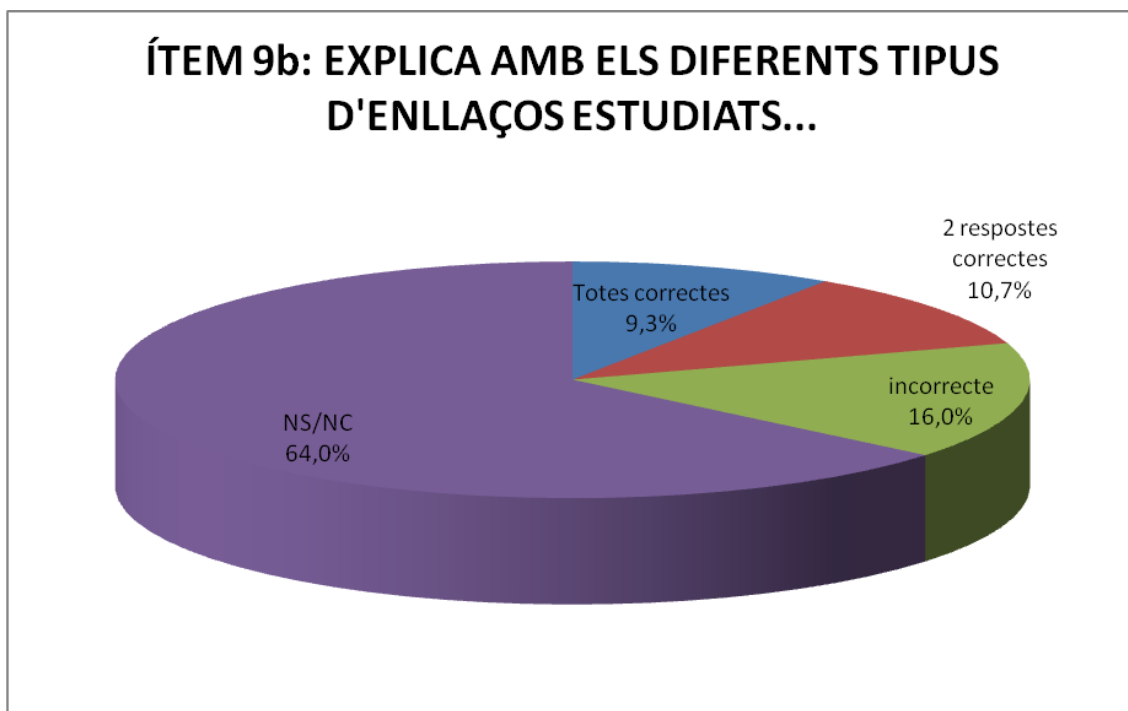
Únicament un petit percentatge (20,0%) respon d'acord amb els criteris establerts al capítol anterior la qüestió que recordem a continuació:

- a) El nitrogen forma un triple enllaç covalent molt difícil de trencar i per tant és poc reactiu. Malgrat no parlen de les interaccions intermoleculares existents.
- b) El coure forma un enllaç metàl·lic i, per tant, els electrons es queden formant un núvol que es pot desplaçar fàcilment per formar un corrent elèctric.
- c) Si s'aplica una força transversal a un cristall iònic d'aquest tipus, donat que es tracta d'un empaquetament d'ions amb alternança de signe, apareix una repulsió entre cations-cations i anions-anions i la conseqüent fractura del cristall.

Molt benignament, es donen per correctes aquelles respostes que contesten bé a dos dels tres ítems demanats (el 10,7 % del total, inclòs dins del percentatge esmentat anteriorment).

En la resta hi ha un 64,0% de NS/NC i un 16,0% d'incorrectes. Alumnat que no ha assolit l'objectiu 8 i que, per tant, no saben explicar a partir de les propietats macroscòpiques d'una substància el tipus d'enllaç que presenta, ni tampoc veuen les connexions de la química amb CTSA.

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



GRÀFICA 9b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és quasi inexistent.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la primera pregunta del qüestionari QA4t que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

- **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 9:**

*“El N és poc reactiu perquè les seues forces d'atracció són molt fortes. El Cu condueix perquè és metall i els e- estan solts entre els protons. En NaCl és fràgil perquè és un enllaç iònic per tant al pegar-li un colp es queda de la mateixa (+ - + -) polaritat dalt i baix i es trenca” (A.11)* (- +- +)

També s'han considerat correctes aquelles respostes que tan sols donen dos de les tres explicacions, és el cas de: A.20, A.21, A.27, A.30... entre altres.

- **Exemples de respostes explicatives considerades incorrectes en l'ítem 9:**

Mostrem algunes de les respostes incorrectes:

*“a) El N és una substància covalent. b) la conductivitat del coure es deu a que és un metall i aquests tenen una conductivitat elèctrica. c) la fragilitat del sodi es deu a que té un enllaç iònic.” (A.58)*



CAPITOL IV. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DELS RESULTATS EXPERIMENTALS PER CONTRASTAR LA HIPÒTESI.

“a) Perquè té un enllaç covalent molt fort. b) Perquè té un núvol d'electrons que li permet ser conductor pel seu enllaç metàl·lic. c) Perquè el seu enllaç és iònic.” (A.69)

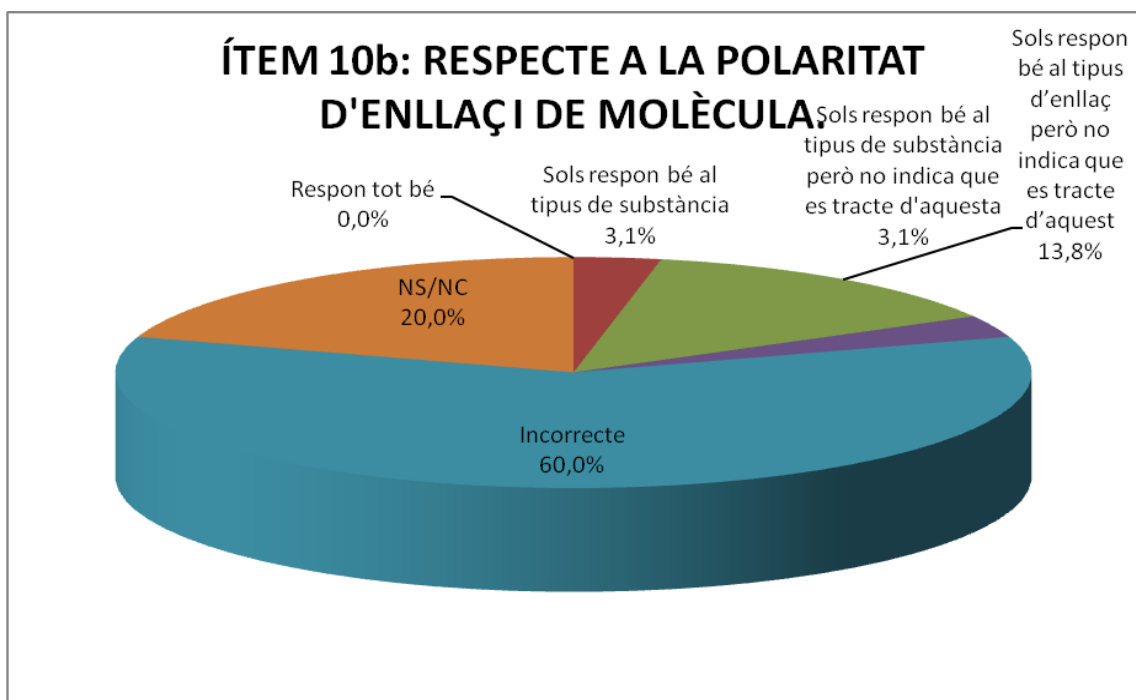
<p><b>ÍTEM 10: DE LES SEGÜENTS REPRESENTACIONS DE MOLÈCULES CORRESPONENTS A SUBSTÀNCIES COVALENTS, INDICA EN QUINES HI HA UNA POLARITAT DE L'ENLLAÇ QUE FORMEN ELS ÀTOMS. INDICA TAMBÉ SI ES TRACTA DE MOLÈCULES POLARS O NO.</b></p> <p><b>A. H<sub>2</sub></b>  <b>B. H<sub>2</sub>O</b>  <b>C. CCl<sub>4</sub></b>  <b>D. CHCl<sub>3</sub></b></p>	<p><b>%Concepció adequada</b></p> <p><b>3,1</b></p>	<p><b>S.D</b></p> <p><b>2,1</b></p>
---	---	-------------------------------------

Únicament un percentatge menyspreable (3,1 %) té un concepte correcte, molt benignament donat per adequat, d'aquest ítem. Ja que si haguérem sigut rigorosos aquest percentatge seria del 0%, posat que cap alumne ha respost el que s'arplega en la taula elaborada en el capítol anterior, que recordem a continuació:

	Enllaç	Molècula
H <sub>2</sub>	Apolar	Apolar
H <sub>2</sub> O	Polar	Polar
CCl <sub>4</sub>	Polar	Apolar
CHCl <sub>3</sub>	Polar	Polar

En la resta hi ha un 20,0% de NS/NC i un 60.0% d'incorrectes. Fins arribar al 100% s'inclouen altres respostes incorrectes però que podrien haver estat considerades com correctes si l'alumnat haguera concretat a què es referia en la seua resposta.

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



GRÀFICA 10b.

En resum, es pot dir que els resultats mostren que l'aprenentatge significatiu manifestat en aquestes mostres és quasi inexistent, i per tant, molt favorable a la nostra hipòtesi de partida. Existeix un 96,9 % de la totalitat de l'alumnat que no ha assolit l'objectiu 6 i que, per tant, presenta dificultats per entendre la polaritat com un continu entre substàncies polars i apolars.

A continuació es presenten alguns exemples de contestacions a la última pregunta del qüestionari QA1r que s'han considerat com respostes explicatives correctes o quasi correctes encara que poden contenir concepcions alternatives.

- **Exemples de respostes explicatives considerades correctes o quasi correctes en l'ítem 10:**

Sols s'han considerat correctes les dos respostes indicades a continuació:

*"a) apolar, b) polar, c) apolar, la polaritat s'anul·la, d) polar"* (A.21) Sols respon bé al tipus de substància, com parla pel cas del  $\text{CCl}_4$  que la polaritat s'anul·la, considerem com correcta la resposta.

*"a) enllaç covalent apolar, b) molècula polar, c) molècula apolar, d) molècula polar"* (A.41)

- No posarem exemples de respostes incorrectes ja que són obvis, en ser respostes tancades.

## **CAPÍTOL V**

### **CONCLUSIONS I PERSPECTIVES**

## **CAPÍTOL V.- CONCLUSIONS I PERSPECTIVES.**

Els resultats obtinguts amb l'estudi i anàlisi dels dissenys experimentals que s'han desenvolupat per contrastar la nostra hipòtesi ens han permès arribar a les següents conclusions:

**1.- Després de l'anàlisi dels resultats obtinguts amb l'aplicació de la xarxa d'anàlisi de llibres de text, podem concloure globalment, que presenten característiques que no afavoreixen el correcte aprenentatge de l'àtom i l'enllaç químic.** Pot afirmar-se que els llibres de text transmeten una imatge de l'àtom i l'enllaç caracteritzada per la falta de connexió entre els dos conceptes el que provoca una desestructuració entre els conceptes estudiats. A més, no expliquen el perquè de la cohesió dels àtoms i sí estudia els models més característics de l'enllaç. Tot això, afegit amb l'elevat nombre d'errades conceptuals, especialment per al cas de l'estructura atòmica recolza la nostra hipòtesi de partida.

Sostenim aquesta afirmació, com acabem de dir, atenent a l'estudi dels resultats obtinguts en els diferents ítems proposats, dels quals destaquem els més significatius:

- La minoria de llibres (2/13) dels llibres estudiats posen èmfasi en l'aspecte actitudinal de l'ensenyament en iniciar l'estudi de l'àtom i cap dels llibres en iniciar l'estudi de l'enllaç. Únicament es presenten en alguns llibres (5/13) qüestions per a reflexionar al voltant del tema a tractar, que ben tractades podrien servir al professorat d'adquisició de concepció preliminar-
- Pocs llibres (4/13) mostren els espectres atòmics com problemes que no podien ser explicats, en canvi, més de la meitat (8/13) els introdueixen sense mostrar la crisi i ruptura amb la química clàssica.
- Tan sols en dos dels llibres (2/13) s'exposa clarament en què consisteix un model.
- Com a dada positiva, més de la meitat de llibres (8/13) donen una explicació, encara que siga a títol de dada explicativa, de la substitució d'uns models atòmics per altres.
- Cap dels llibres (0/13) diferencien clarament quins models són clàssics, quins prequàntics i quin quàntic. Únicament dos (2/13) diuen que Thomson i Rutherford són clàssics i un (1/13) que Schrödinger ho és quàntic, però no en conjunt.

- Més de la meitat dels llibres (7/13) atribueixen el significat del nombre quàntic l als subnivells dins d'un nivell, barrejant la mecànica quàntica amb el model prequàntic de Bohr.
- Sols dos llibres (2/13) parlen del nombre quàntic m com d'allò que determina l'orientació de l'orbital respecte a una direcció donada. A la resta pren lloc en major o menor mesura una hibridació de models.
- Pel que fa als orbitals, la major part dels llibres (8/13) assenyalen que existeixen independentment dels electrons.
- Sols hi ha dos llibres (2/13) que presenten activitats per saber explicar el sistema periòdic derivant la capa de valència d'un àtom a partir del nombre atòmic.
- Cap del llibres (0/13) plantegen una visió unitària de l'enllaç, no presentant cap d'ells una alternativa, ni tan sols a mode d'introducció, als tradicionals models (iònic, Lewis i del gas electrònic).
- Una altra dada positiva és que en tots ells la seqüenciació dels continguts segueix l'ordre establert com coherent, però en cap d'ells es prioritza l'enllaç covalent.

**2.-Sintetitzant els resultats obtinguts amb l'anàlisi del qüestionari del professorat , la pràctica habitual no afavoreix un aprenentatge significatiu.** El professorat introdueix de forma acrítica els conceptes, des d'orientacions epistemològiques distorsionades i sense comptar amb els resultats de la investigació didàctica.

Basem aquesta conclusió en l'anàlisi dels resultats obtinguts en els ítems proposats al qüestionari de professors i professores, que resumim en les observacions següents:

- Únicament el 15,4 % dels docents fan una introducció que treballa les actituds de l'alumnat i, per tant, els motiva front l'estudi dels temes. Hi ha un 5,1 % que incideixen en l'aspecte conceptual de l'aprenentatge i un 10 % que s'interessa en explorar les idees prèvies.
- És molt el percentatge de docents que posseeixen una visió empirista dels temes objecte d'estudi, el 53,8 % transmet, en conseqüència, aquesta visió deformada de la ciència als estudiants.

- Molt significatiu és que tan sols el 6,7 % dels docents facen una seqüenciació dels continguts tractats coherent per tal de donar una visió unitària de l'enllaç. És a dir, sols 2 professors (o professores) (2/37) fan la seqüenciació models atòmics – enllaç covalent – enllaç iònic i metàl·lic – propietats de les substàncies.
- El 64,1 % del professorat no saben detectar les competències importants que poden servir per veure si l'estudiant ha comprès el tema. Sols el 2,6 % apunta com a competència important el coneixement de les limitacions dels models d'enllaç i entendre que sols existeix un tipus d'enllaç.
- Sols un 23,1 % reconeix com a competència important la relació macro-submicro.
- També significativa és la dada que sols el 5,1 % dels docents done com a visió unitària de l'enllaç la interacció electromagnètica en busca del mínim d'energia. I que tan sols el 7,7 % ho faça com a resultat de la interacció o compartició d'electrons.
- Quant a les activitats d'avaluació:
  - o Sols el 2,7 % planteja activitats de derivació de la capa de valència d'un àtom a partir del nombre atòmic i del principi de construcció.
  - o Sols el 16,2 % planteja l'explicació de les propietats de la matèria basada en l'enllaç
  - o I tan sols un 8,1 % preguntaria per les diferències i la distribució entre partícules elementals a l'àtom.

**3.- També podem concloure que, com a conseqüència de l'ensenyament rebut, l'alumnat mostra un aprenentatge escassament significatiu i es consoliden poc les noves concepcions. Tampoc desenvoluparan significativament actituds positives cap a la ciència i el seu aprenentatge.**

- Es constata el problema que té l'alumne respecte a l'obtenció d'una idea de la representació d'un àtom, la idea més bàsica de matèria; únicament el 15,0 % en 4t d'ESO i el 30,7 % en 1r de BATX. La barreja de models que es fa en una explicació, sense aclarir cap d'ells, fa que al cap i a la fi siga incapaç de representar de cap manera un àtom.

- Quant als límits que tenen els models, sols 9,9 % en 4t d'ESO saben quin són els fets que el model de Rutherford no va poder explicar i el 17,3 % en 1r de BATX.
- En Batxillerat, referent a models, sols el 17,3 % de l'alumnat sap donar una explicació als espectres discontinus segons el model de Bohr, i sols un 16,0 % entén les carències del mateix.
- També en 1r de BATX, la concepció adequada relativa a la ubicació per períodes i grups de diferents elements químics en base al nombre atòmic és tan sols del 10,7 % del total.
- De la mateixa forma, no sap identificar les causes de formació d'enllaç; un 3,3 % en 4t d'ESO i un 17,4 % en 1r de BATX, cosa que ens dona un percentatge molt favorable a aquesta hipòtesi.
- Per últim, l'explicació de les propietats de substàncies tipus tant en 4t d'ESO com en 1r de BATX atenent a l'enllaç és positiva en un mínim percentatge de les mostres, del 7,4 % en ESO i del 20,0 % en BATX.

Aquests resultats confirmen la nostra hipòtesi. Malgrat això, considerem necessari, amb objecte d'aprofundir i ampliar el treball, desenvolupar varies línies d'investigació:

- ✓ Per una banda, per analitzar de forma més exhaustiva els problemes que representa per a l'alumne l'ensenyament habitual que es fa del àtom i els seus enllaços.
- ✓ Per altra banda, per a crear alternatives que ens permeten un estudi més crític de aquestos temes mitjançant el disseny que segueix:
  - L'elaboració d'unitats didàctiques que pretenen l'aprenentatge significatiu de l'alumnat,
  - La utilització d'aquestes unitats didàctiques amb l'alumnat per tal de comparar els seus resultats abans i després (disseny pre/post)
  - La presentació de les mateixes a professors i professores per tal de veure com les valoren.
- ✓ Finalment, l'ampliació de la mostra de llibres de text, revisió d'altres dissenys experimentals...

En definitiva, podem dir que la nostra hipòtesi de partida ha resultat verificada, a la llum de tot el que hem exposat al llarg d'aquest treball i que, tal i com hem enunciat al

plantejar el problema, pensem que és possible mitjançant un tractament que tinga en compte les idees de Química moderna arribar a comprendre els models de l'àtom y enllaç de un mode crític. Aquest tractament es realitzaria amb un enfocament constructivista, tant a nivell metodològic com conceptual, doncs necessàriament no pot tindre lloc aquest sense aquell, i tenint molt en compte les dimensions axiològiques de la ciència.



## **ANNEX I**

LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT

	<b>Santilana Física i química 1</b> CP:123597; Dipòsit legal: M-23.550-2008	<b>OXFORD Educació Física i química Batxillerat</b> ISBN: 978-84-673-3881-2	<b>EDITORIAL SM Física i química 1</b> ISBN: 978-84-675-2952-4	<b>BRUÑO FÍSICA Y QUÍMICA, 1</b> BACHILLERATO ISBN: 84-216-4312-9	<b>Mc Graw Hill, Física y Química 1º</b> ISBN: 84-481-3408-7	<b>Vicens Vives, Enlace 1</b> ISBN: 84-316-6444-4	<b>ANAYA, 1 BAT</b> ISBN: 86-667-1207-0	<b>BRUÑO, Física y Química.</b> Bachillerato ISBN: 978-84-216-5979-3	<b>EDELVIVES, Física y Química 1º</b> Bachillerat ISBN: 84-263-4776-2	<b>EDITORIAL SM Física i química 4t ESO</b> ISBN: 978-84-675-2866-4	<b>ECIR, Física y Química, 1º</b> Bachillerato ISBN: 84-7065-713-5	<b>EDEBÉ Física y Química,</b> Bachillerato ISBN: 978-84-236-8590-5	<b>TABARCA Libres Física y Química, 4t ESO</b> ISBN: 84-8025-128-X
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?	a	a	b	b	b	c	c	b	d	c	c	x
2	Com introdueix els espectres atòmics?	a	b	b	b	b	a	a	b	b	a	b	x
3	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?	b	b	b	b	b	a	b	b	b	b	b	x
4	Es presenta clarament què és un model?	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	x
5	A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?	d	d	d	c	b	b	d	c	b	b	d	x
6	S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?	a	a	b	a	b	a	a	a	a	b	a	x
7	Es diferencia clarament que els models de...	c	d	d	d	d	d	d	d	a	d	d	x
8	Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament de Böhr?	a	a	c	c	c	a	a	c	c	c	a	x
9	Com s'introdueixen els nivells d'energia?	a i c	c	a, b, c	c	c	c	c	c	a	c	e	x
10	Com s'introdueixen els nombres quàntics n, l, m?	a	d	a	d	a	d	d	a	d	x	d	x
11	Significat del nombre quàntic n	a	d	a, b	e	e	a	b	c	e	x	a	x
12	Significat del nombre quàntic l	d	c	c, d	e	d	d	d	b	d	x	d	x
13	Significat del nombre quàntic m	c	d	e	b	e	c	b	b	e	x	b	x
14	S'introdueix el concepte d'orbital?	b	b	b	b	d	b	b	c	d	d	b	x
15	Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:	b	b	b	b	d	b	b	b	d	d	a	x
16	Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?	b	a	a	b	d	d	a	e	d	d	d	x
17	Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir de z?	a	b	a	b	b	b	b	b	b	b	b	x

Taula 4.2.2.a. Anàlisi de l'enllaç en llibres de text

	LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT	RESPUESTAS a	RESPUESTAS b	RESPUESTAS c	RESPUESTAS d	RESPUESTAS e	No tracta cap dels temes
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema de l'àtom?	2	5	4	1	-	1
2	Com introdueix els espectres atòmics?	4	8	0	0	-	1
3	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models atòmics?	1	11	-	-	-	1
4	Es presenta clarament què és un model?	2	10	-	-	-	1
5	A quin model arriba en la introducció del concepte d'àtom?	0	5	2	5	-	1
6	S'expliquen les substitucions d'uns models atòmics per altres?	8	4	-	-	-	1
7	Es diferencia clarament que els models de...	2	0	1	9	-	1
8	Es justifica la necessitat d'introduir el model quàntic i el diferencia clarament de Böhr?	6	0	6	-	-	1
9	Com s'introdueixen els nivells d'energia?	3	1	10	0	1	1
10	Com s'introdueixen els nombres quàntics n, l, m?	4	0	1	6	-	2
11	Significat del nombre quàntic n	5	2	1	1	3	2
12	Significat del nombre quàntic l	0	1	3	7	1	2
13	Significat del nombre quàntic m	0	4	2	2	3	2
14	S'introdueix el concepte d'orbital?	0	8	1	3	-	1
15	Quan es parla d'orbitals es dona a entendre que:	1	8	0	3	-	1
16	Com explica l'estructura electrònica dels àtoms polieletrònics?	4	2	0	5	1	1
17	Es presenten activitats per saber explicar el SP derivant la capa de valència d'un àtom a partir de z?	2	10	-	-	-	1

Quadre resum 4.2.2.a

	LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT													
	Santillana Física i química 1 CP:123597; Dipòsit legal: M-23.550-2008	OXFORD Educación Física i química Batxillerat ISBN: 978-84-673-3881-2	EDITORIAL SM Física i química 1 ISBN: 978-84-675-2952-4	BRUÑO FÍSICA Y QUÍMICA, 1 BACHILLERATO ISBN: 84-216-4312-9	Mc Graw Hill, Física y Química 1º ISBN: 84-481-3408-7	Vicens Vives, Enlace 1 ISBN: 84-316-6444-4	ANAYA, 1 BAT ISBN: 86-667-1207-0	BRUÑO, Física y Química. Batxillerato ISBN: 978-84-216-5979-3	EDELVIVES, Física y Química 1º Batxillerat ISBN: 84-263-4776-2	EDITORIAL SM Física i química 4t ESO ISBN: 978-84-675-2866-4	ECIR, Física y Química, 1º Batxillerato ISBN: 84-7065-713-5	EDEBÉ Física y Química, Batxillerato ISBN: 978-84-236-8590-5	TABARCA Libres Física y Química, 4t ESO ISBN: 84-8025-128-X	
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?	c	b	c	b	d	b	b	c	d	d	b	c	x
2	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models?	b	b	b	b	b	a	a	b	b	b	b	b	x
3	Planteja una visió unitària de l'enllaç?	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	x
4	Quin model utilitza per a l'enllaç iònic?	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	x
5	Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	x
6	Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	x
7	Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	x
8	La seqüenciació dels continguts és coherent? (àtom - S.Periòdic - enllaç químic)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	x

Taula 4.2.2.b. Anàlisi de l'enllaç en llibres de text

LLIBRES DE TEXT 4t D'ESO I 1r BAT		RESPUESTAS a	RESPUESTAS b	RESPUESTAS c	RESPUESTAS d	No tracta cap dels temes
1	Quins aspectes es proposen en iniciar el tema d'enllaç químic?	0	5	4	3	1
2	Introdueix les propietats de les substàncies abans de parlar de models?	2	10	-	-	1
3	Planteja una visió unitària de l'enllaç?	0	12	-	-	1
4	Quin model utilitza per a l'enllaç iònic?	12	0	-	-	1
5	Quin model utilitza per a l'enllaç covalent?	12	0	0	-	1
6	Quin model utilitza per a l'enllaç metàl·lic?	12	0	-	-	1
7	Explica les propietats de les substàncies a partir dels enllaços?	12	0	-	-	1
8	La seqüenciació dels continguts és coherent? (àtom - S.Periòdic - enllaç químic)	12	0	-	-	1

Quadre resum 4.2.2.b

## **REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES**

## REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

AIKENHEAD, G. S. (1985). *Collective decision making in the social context of science*, Science Education, **69**, (4), 453-475.

ERSTE MITTEILUNG. (1926). Quantisierung als Eigenwertproblem. *Annals of Physics*, **79**, 361-376, 489-527.

VIERTE MITTEILUNG. (1926). Quantisierung als Eigenwertproblem. *Annals of Physics*, **81**, 109-139.

DRITTE MITTEILUNG. (1926). Quantisierung als Eigenwertproblem. *Annals of Physics*, **80**, 437-490.

ASIMOV, ISAAC (1999), *Breve historia de la química*, Madrid, España, Alianza Editorial.

ATKINS, P. W. (1985). *Fisicoquímica*. México: Fondo Educativo Interamericano.

BARLET, R. i MASTROT, G. (2000). L'algorithimisation-refuge, obstacle à la conceptualisation. L'exemple de la thermochimie en 1er cycle universitaire. *Didaskalia*, **17**, 123-159. [5, 6]

BENARROCH, A. (1999). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades*. Granada: Serv. Publ. Univ. Granada.

BENSAUDE-VINCENT, B i STENGERS, I. (1998). *Historia de la Química*. Madrid: Wesley Addison, U.A.M.

BLANCO, R. i NÍAZ, M. (1998). Baroque tower on a gothic base: A lakatosian reconstruction of students' and teachers' understanding of structure of the atom, *Sci. Educ.* **7**, 327.

BROOKES, D.T., Ph.D. thesis, Rutgers University, 2006.

BROOKES, D.T. i ETKINA, E. (2007). Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning, [Physical Review Special Topics - Physics Education Research](#) **3**, 010105-1 – 010105-16

BUDDE, M. Et. Al. (2002a). "Electronium:" a quantum atomic teaching model, *Physics Education*. **37**, 197 -203.

BUDDE, M. Et. Al. (2002b). The quantum atomic model "Electronium:" a successful teaching model, *Physics Education*. **37**, 204 -210

BUTLER, C., DAVIES, B. JACQUIER, M. & McCARTHY (Ed). (1972). *The concept of the atom*. Heineman Educational. Victoria.

CARNICER, J. i FURIÓ, C. (2002). La epistemología docente convencional como impedimento para el cambio. *Investigación en la Escuela*, **47**, 33-52.

CENTELLAS, F., BRILLAS, E., DOMÈNECH, X. y BASTIDA, R. M. (1992). Fonaments d'estructura atòmica i enllaç químic. Barcelona : Universitat de Barcelona i Barcanova.

DE LA SELVA, TERESA (1993), De la alquimia a la química. Ciudad de México, México, Fondo de Cultura Económica. Disponible en: <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/html/quimica.html>

DE BERG, K.C. (1997). The development of the concept of work: a case where history can inform pedagogy. *Science & Education*, **6**, 511-527.

DELGADO, R. (2004), *Historia de la Química*. Cuba. Editorial Rolando.

DRIVER, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, **4 (1)**, 3-15.

DRIVER, R. GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1989). *Ideas Científicas en la infancia y la adolescencia*, Madrid : Morata.

DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, **13 (1)**, 3-14.

DUSCHL, R. & GITOMER, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal Research in Science Teaching*, **28**, 839-858.

EDWARDS, M., GIL, D., VILCHES, A. VALDÉS, P., ASTABURUAGA, R. i ROMERO X. (2002). El desafío de preservar el Planeta: Un llamamiento a todos los educadores. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, Nº 2, Enero-abril.

FERNÁNDEZ, I., GIL, D., VILCHES, A., VALDÉS, P., CACHAPUZ, A., PRAIA, J. i SALINAS, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, **20 (3)**, 477-488.

FERNÁNDEZ, I. (2000). Análisis de las concepciones docentes sobre la actividad científica: una propuesta de transformación. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.

FERNÁNDEZ, I., GIL, D., CARRASCOSA, J. CACHAPUZ, A. i PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, **20 (3)**, 477-488.

FEYNMANN, R. (1972). *Física*. México: Ed. Fondo Educativo Interamericano. [9]

FISCHLER, H. i LICHTFELD, M. (1992a). *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*, editat per R. Duit, F. Goldberg, i H. Niedderer (IPN, Kiel.), 240-258.



FISCHLER, H. & LICHTFELD, M. (1992b). Modern physics and students conceptions, *International Journal of Science. Education*. **14 (2)**, 181-190.

FURIÓ GÓMEZ, C., 2009. L'ensenyament-aprenentatge de la termoquímica. Anàlisi crítica i proposta de millora. Tesis doctoral. Universitat de València.

FURIÓ, C. (2001). La enseñanza aprendizaje de las ciencias como investigación: un modelo emergente. En J.GUISASOLA & L. PÉREZ DE EULATE, (Eds.), *Investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales basadas en el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación orientada*. Bilbao: Servicio de Publicaciones de la U.P.V./E.H.U.

FURIÓ, C. Y VILCHES, A. (1997). Las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y las relaciones CTS, en Del Carmen (Coor): *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.

FURIÓ, C., SOLBES, J. Y CARRASCOSA, J. (2006). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. Resultados y perspectivas. *Alambique*, **48**, 64-78.

FURIÓ, C., AZCONA, R., GUISASOLA, J. i RATCLIFFE, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, **22** (129), 1285-1304).

FURIÓ, C., CALATAYUD, M.L., BÁRCENAS, S. i PADILLA, O.M. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Science Education*, **84 (5)**, 545-565.

FURIÓ-MÁS, C., CALATAYUD, M.L., GUISASOLA, J. i FURIÓ-GÓMEZ, C. (2003). Questioning inadequate epistemological views in textbooks: The case of the introduction of acid base reactions. En W. Hinrichs, G. Mübener & D. Schulz (Hg.), *Schulpraktische Studien. Ein Paradigm der Lehrerbildung*. Leipzig: Leipziger Universitätsverlag.

FURIÓ C., HERNÁNDEZ, J. & HARRIS, H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **64(7)**, 616-618.

GABEL, D.L. (1998). The Complexity of Chemistry and Implications for Teaching. En B.J. FRASER & K. G. TOBIN (Eds.), *International Handbook of Science Education*, Vol. I, 233-248 (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht) [1]

GARCÍA, A. Y GARRITZ, A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, **24 (1)**, 111-124.

GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTINEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: Horsori-ICE Universidad de Barcelona.

GIL, D. i SOLBES, J. (1993). The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, **15(3)**, 255-260.

GIL, D. i CARRASCOSA, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching, *Science Education*, **78 (3)**, 301-315.

GIL, D. i CARRASCOSA, J. (1985). Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, **7(3)**, 231-236. [9]

GIL-PÉREZ, D. (1996). New trends in Science Education. *International Journal of Science Education*, **18 (8)**, 889-901.

GIL-PÉREZ, D., GUIASOLA, J., MORENO, A., CACHAPUZ, A., PESSOA DE CARVALHO, A., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., SALINAS, J., VALDÉS, P., GONZÁLEZ, E., GENÉ, A., DUMAS-CARRÉ, A., TRICÁRICO, H. & GALLEGU, R. (2002). *Defending constructivism in science education*. *Science & Education*, **11**, 557-571.

GILBERT, J.K., JUSTI, R., VAN DRIEL, J.H., DE JONG, O. i TREAGUST, D.F., 2004. Securing a future for Chemical Education, *Chemical Education: Research and Practice*, **5 (1)**, 5-14.

GONZÁLEZ, E. (1992). ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, **10 (2)**, 206-211.

GRIBBIN, JOHN (2003) *Historia de la ciencia (1543-2001)*. Madrid, España, Editorial Crítica.

GROSSLIGHT, L. et. al. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts, *J. Res. Sci. Teach.* **28**, 799-822.

HARRISON, A. G. i TREAGUST, D.F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade II chemistry, *Sci.Edu.* **27**, 352-381.

HARRISON, A. G. & TREAGUST, D.F. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level, *American Journal of Physics*. **70**, 200-209.

HENRY CAVENDISH. (1776). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. **66**, 196-225.

HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, **8 (3)**, 229-249.

IRESON, G. (2000). The quantum understanding of pre-university physics students, *Phys, Educ.* **35**, 15-21.

JAFFE, BERNARD (1964) *La química crea un mundo nuevo*. Buenos Aires, Argentina, Eudeba.

JIMÉNEZ, E., BENARROCH, A. Y MARÍN, N. (2006). Evaluation of the Degree of Coherence Found in Students' Conceptions Concerning the Particulate Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, **43** (6), 577-598.

JOHNSTONE, A.H. (1993). Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, **70**, 701-703.

JUSTI, R. i GILBERT, J. (2000). History and philosophy of science trough models: Some challenges in the case of "the atom", *International Journal of Science Education*. **22** (9), 993-1009.

KALALI, F. (1998). Quelles conceptions de la motivation ont les enseignants de Biologie? *ASTER*, **26**, 59-63.

KALKANIS, G. Et. Al. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts, *Science Education*. **87** (2), 257-280.

KE, J.L. Et. Al. Learning introductory quantum physics: Sensori-motor experiences and mental models, *Int. J. Sci. Educ.* **27**, 1571 (2005).

KRAG, (2007) *Generaciones cuánticas*, Madrid, Akal.

KUHN, T.S., 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

LEACH, J. & SCOTT, P., 2003. Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, **12**, 91-113.

LOPEZ-GAY, R., 2001. La introducción y utilización del concepto de diferencial en la enseñanza de la Física. Análisis de la situación actual y propuesta para su mejora. Departamento de Física de la Materia Condensada. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

MASON S. F. (1986). *Historia de las ciencias, 5. la ciencia del siglo XX*, Alianza, Madrid.

MATTHEWS, M. R. (1994b). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, **12** (2), 255-277.

MATTHEWS, M. R. (1994a). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Rotledge.

MATTHEWS, M. R. (1991). *Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las Ciencias Comunicación, Lenguaje y Educación*, 11-12, 141-155.

McCOMAS, W.F. (2000). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and strategies*. London: Kluwer Academic Publishers.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1996). *National Science Education Standards* (National Academy, Washington, DC)

NAVARRO J. (2009). Una ecuación y un gato. Schrödinger. Nivola, Tres Cantos

PAULING, L. (1971). *Química general*, Madrid: Aguilar.

PETRI, J. i NIEDDERER, H. A learning pathway in high-school level quantum atomic physics, *International Journal of Science Education*. **20**, 1075 (1998).

PONTES, A. y DE PRO, A. 2001. Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, **19 (1)**, 103-122.

PIMENTEL, G. C. (1994). *Oportunidades en la Química. Presente y futuro*, México: McGraw Hill.

PORLÁN R. Et al. (2006): ¿Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de la ciencia?. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **48**, 92-99

PHYE, G. (1997). *Handbook of Academic Learning. Construction of knowledge* . San Diego: Academic Press.

QUINTANILLA, M. (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia En: Enseñar Ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas. Quintanilla, M. & Adúriz-Bravo (eds). Ediciones PUC, Santiago de Chile, 17-42, Cap.1.

RIVADULLA, A. (2006). Metáforas y modelos en ciencia y filosofía. *Revista de Filosofía* **31 (2)**, 189-202.

ROCARD, M. et al. (2007). *Science education Now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. European Communities: Belgium. [http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/reportrocard-on-science-education\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/reportrocard-on-science-education_en.pdf)

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)**, 137-144.

SÁNCHEZ RON J.M. (2007). *El poder de la ciencia*. Barcelona: Crítica.

SERRÉS, M. (Ed.) (1991). *Historia de las ciencias*. Madrid : Cátedra.

SOLBES, J. (2009a). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka: Enseñanza y Divulgación Científica*, **6 (1)**, 2-20. En línea en: <http://www.apac-eureka.org/revista>

SOLBES, J. (2009b). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (II): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka:*

Enseñanza y Divulgación Científica, **6 (2)**, 2-20, 190-212. En línea: <http://www.apac-eureka.org/revista>

SOLBES, J. i VILCHES, A. (1989). Interacciones ciencia/técnica/sociedad (CTS): un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, **7**, 14-20.

SOLBES, J. Y VILCHES, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas, *Enseñanza de las Ciencias*, **9 (1)**, pg. 53-58.

SOLBES, J. i VILCHES, A. (1992). El modelo constructivista y las relaciones ciencia/técnica/sociedad. *Enseñanza de las ciencias*, **10**, 181-187.

SOLBES, J. i VILCHES, A. (1997). STS interactions and the teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, **81 (4)**, 377-386.

SOLBES, J. (2009) Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (i): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación Científica*, **6 (1)**, 2-20.

SOLBES, J., MONTSERRAT, R. Y FURIÓ, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, **21**, 91-117.

SOLBES, J., CALATAYUD, M.L., CLIMENT, J.B., NAVARRO, J. (1987), Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos, *Enseñanza de las Ciencias*, **5 (3)**, 189-195.

SOLBES, J. y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química, *Enseñanza de las ciencias*, **14 (1)**, 103-112.

SOLBES, J. & TRAVER, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry Education, *Science & Education*, **12**, 703-717.

TATON R (Ed) (1973). *La ciencia contemporánea (s XX)*, Destino, Barcelona.

TOULMIN, C. (1977). *La comprensión humana. I: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Editorial.

VASINI, E. & DONATI, E. (2005). *Thermodynamics concepts: some considerations on their use in introductory courses of Chemistry*. The Journal of the Argentine Chemical Society, **93**, N° 1/3, 177-184.

VAZQUEZ, A. y MANASSERO, M<sup>a</sup>. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: Un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 2008, **5 (3)**, 274-292.

VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en Physique. La part du sens comun*. París: de Boeck & Larcier.

VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Paris: De Boek & Larcier s.a.

VILCHES, A. i GIL-PÉREZ, D. (2003). *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University.

YAGER,R.E. i PENICK,J.E. (1986). Perception of four age groups towards science classes, teachers and values of science, *Science Education*, **70**, 353-356.