

## **Capítol 3 – Bases de la investigació**

1. Consideracions inicials
2. La didàctica de les ciències experimentals
3. Problemes abordats des de la perspectiva de la didàctica
4. Model constructivista d'ensenyament-aprenentatge de les ciències
5. Didàctica de l'educació superior
6. Els mitjans didàctics
7. Didàctica de la química
8. Evolució dels mitjans audiovisuals en la didàctica de la química



### 3. Bases de la investigació

#### 3.1. Consideracions inicials

La didàctica és una disciplina de naturalesa pedagògica, orientada per les finalitats educatives i compromesa amb la consecució de la millora de tots els éssers humans mitjançant la comprensió i la transformació permanent dels fets sociocomunicatius, i l'adaptació i el desenvolupament apropiat del procés d'ensenyament-aprenentatge. Segons Antonio Medina Rivilla: «La didáctica es la disciplina o tratado riguroso de estudio y fundamentación de la actividad de enseñanza, en cuanto que propicia el aprendizaje formativo de los estudiantes en los más diversos contextos» (Medina, 2002).

El coneixement de la didàctica és essencial per al professorat, perquè representa una de les disciplines nuclears del corpus pedagògic, que s'ha centrat en l'estudi del procés d'ensenyament-aprenentatge. La didàctica ha evolucionat i ha tendit a millorar-ne la comprensió donant suport als estudiants en un esforç formatiu i als docents en la millora del desenvolupament professional. Però no n'hi ha prou amb una visió d'aquests processos des d'una perspectiva exclusivament didàctica. Cal tenir en compte les aportacions fetes des d'altres camps.

Així, des de la filosofia i la història de la ciència es mostra com s'han generat els coneixements científics i com han anat evolucionant en el transcurs de la història. Això és especialment important per entendre algunes de les dificultats amb què es troben els estudiants en el seu aprenentatge i veure quin és el model de coneixement científic que es vol transmetre als alumnes.

Des del camp de la psicologia cognitiva es té una visió de com aprenen les persones, quines són les diverses etapes a través de les quals van madurant les capacitats cognitives i com això pot influir en l'adquisició dels aprenentatges. Evidentment també cal tenir en compte que cada estudiant no aprèn de forma aïllada, per la qual cosa també cal tenir en compte la dimensió social de l'ensenyament. Cal comprendre com actuen els condicionaments socials en la motivació i l'atenció necessàries per a l'adquisició dels coneixements.

La didàctica és una disciplina pràctica, que s'enfronta amb problemes específics i que encara que manté relacions amb altres camps del saber no constitueix una simple juxtaposició d'idees o conceptes procedents dels camps de coneixement amb els quals està relacionada. Els problemes didàctics, el seu component interdisciplinari, així com la seva dimensió pràctica i aplicada, proporcionen a la didàctica un corpus epistemològic diferenciat.

Els treballs de recerca que s'han portat a terme en aquesta tesi doctoral es basen en la consideració de l'ensenyament-aprenentatge com un procés actiu i en un pluralisme metodològic emmarcat en el constructivisme, en una perspectiva integradora i interdisciplinària tenint en compte els coneixements procedents de la psicologia cognitiva, de la didàctica i de la filosofia de la ciència.

D'altra banda, definir la didàctica com a disciplina suposa determinar-ne l'objecte, és a dir, el contingut propi que la diferencia d'altres disciplines. Com a disciplina científica conté un corpus de coneixements —conjunt de conceptes i processos organitzats i sistematitzats— sobre un camp determinat que constitueix el seu objecte de coneixement. Aquest corpus es genera a través de la investigació a partir de la pràctica professional, que alhora reorienta aquesta pràctica.

Així, segons Bolívar i col·laboradors (2004) es pot considerar que els components fonamentals del camp de la didàctica des d'una perspectiva semàntica són els següents:

- *Acció o procés.* Desenvolupat entorn de la pràctica concebuda com una activitat relacional que implica com a mínim el professorat i l'alumnat, en un context determinat i intencional (amb una finalitat concreta). Inclou tres termes relacionats: ensenyament, aprenentatge i comunicació.
  - *Ensenyament:* és una activitat complexa i multidimensional que pot ser de transmissió d'informació o coneixements, transmissió cultural, adquisició de conductes o hàbits, entrenament, direcció o orientació de l'aprenentatge, producció de canvis conceptuals, etc. Es concep com una capacitat de prendre decisions en àmbits complexos. És l'activitat específica del professorat.
  - *Aprenentatge:* vinculat a l'ensenyament, sovint es diu que aquest darrer s'ha d'adequar a l'efectivitat de l'aprenentatge, ja que no sempre un ensenyament va seguit d'un aprenentatge efectiu. Depèn en gran manera de l'agent, és a dir, de l'estudiant com a aprenent que és.
  - *Comunicació:* tant l'ensenyament com l'aprenentatge es conceben com a parts integrants d'un procés comunicatiu, ja que tant el professor com l'estudiant poden fer el paper d'emissor i de receptor en la transmissió de missatges en el procés comunicatiu. Diversos autors (Rodríguez Diéguez, 1985; Ferrández, 1996) consideren que cal entendre la complexitat del procés comunicatiu, a causa de les limitacions de l'emissor (docent /discent) i del receptor (discent/docent) en l'acte comunicatiu, evolutiu i canviant, que depenen de: la matèria o àrea de coneixement i el seu enfocament unidisciplinari o pluridisciplinari, els mitjans didàctics i la seva adaptació, la naturalesa i significat de les activitats, el context sociocultural en què té lloc l'acció formativa, i els valors desenvolupats en el procés.
- *Finalitat.* Està relacionada amb el procés d'ensenyament-aprenentatge i correspon al fet de plantejar-se per què és necessari aprendre, quina intencionalitat té. Es relaciona d'una forma directa amb els continguts que cal aprendre. Dins d'aquest terme hi ha diferents accepcions que s'hi relacionen:
  - *Formació:* aconseguir un desenvolupament ple en l'àmbit personal.
  - *Educació:* formació dirigida al desenvolupament de les facultats físiques, morals i intel·lectuals de l'estudiant. Té un sentit similar al de la formació.
  - *Instrucció:* formació o desenvolupament intel·lectual que implica una preparació tècnica i especialitzada, una formació específica.
  - *Perfeccionament:* millorar, acostant-se tant com es pugui a la perfecció.

- ▶ *Context.* Els processos d'ensenyament-aprenentatge es desenvolupen en un context, que pot arribar a condicionar l'acció desenvolupada. Pot ser divers: aula, centre educatiu, sistema educatiu, comunitat social, família, amics, etc.

### 3.2. La didàctica de les ciències experimentals

Els antecedents de l'actual didàctica de les ciències es remunten als anys cinquanta i estan associats al desenvolupament institucional que va tenir lloc als països anglosaxons que va afectar el camp de la investigació i de l'experimentació de l'ensenyament en ciències, gràcies a les mesures politicoeconòmiques aplicades, que volien impulsar el creixement científic.

Des dels inicis dels anys vuitanta, aquesta disciplina ha experimentat un gran desenvolupament. Un indicatiu n'és, per exemple, el nombre de publicacions que genera. Segons Daniel Gil (1994, 1996), si s'analitza l'evolució de les revistes d'investigació en didàctica de la ciència (*science education*), es pot veure com van passar gairebé cinquanta anys des de l'inici de *Science Education* (Estats Units, 1916) fins al *Journal of Research in Science Teaching* (Estats Units, 1963), i nou anys més fins la publicació de *Studies in Science Education* (Regne Unit, 1972). A partir de 1980 van aparèixer nombroses revistes: *European Journal of Science Education* (Regne Unit, 1979, actualment s'anomena *International Journal of Science Education*), *Enseñanza de las Ciencias* (Espanya, 1983), *Australian Journal of Science Education* (1985), *Aster* (França, 1985), *Science and Technological Education* (Regne Unit, 1985), *Revista de Enseñanza de la Física* (Brasil, 1988), *Didaskalia* (França, 1993), *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Espanya, 1994).

N'hi ha que estan enfocades a aspectes específics, com ara *Science and Education* (Holanda, 1992), que estudia el paper de la història i la filosofia de les ciències. N'hi ha que tracten temes multidisciplinaris, incloent-hi l'ús de les noves tecnologies de la informació i la comunicació en l'ensenyament de les ciències, com ara: *Journal of Science Education and Technology* (Holanda, 1992), *The Journal of Educational Multimedia and Hipermedia* (1992) i *Pixel-Bit: Revista de Medios y Educación* (Espanya, 1994). També hi ha revistes que tracten continguts científics específics, que també publiquen articles sobre didàctica de la ciència: *American Journal of Physics* (Estats Units, 1933), *Bulletin de l'Union des Physiciens* (França, 1906), *La Física nella Scuola* (Itàlia, 1967), *Journal of Chemical Education* (Estats Units, 1924), *Foundations of Chemistry* (Holanda, 1999), *Education in Chemistry* (Regne Unit, 1964), *The Chemical Educator* (Estats Units, 1996).

A Catalunya, l'interès per la didàctica de les ciències es troba documentada, també, des de l'inici del segle XX; com a exemples emblemàtics es poden citar: *Les Ciències en la Vida de la Llar*, de Rosa Sensat (1923), *Les Lliçons de Coses en 650 Gravats*, de Colomb (1933) i *Ciències Físiques i Naturals*, d'Eduard Fontseré (1935). Aquestes publicacions presenten uns continguts científics i metodològics coherents amb documents actuals que es consideren innovadors. Actualment també hi ha moltes revistes electròniques o que ofereixen una versió electrònica de la versió impresa que es pot consultar en el web. En la majoria de casos es requereix un codi d'accés, ja que són de pagament. S'hi pot accedir a través dels serveis de les biblioteques universitàries que n'han pagat la subscripció.

A partir de finals de la dècada dels setanta, a les universitats espanyoles es van constituir grups i línies d'investigació més o menys estables. El nivell d'investigació en didàctica de les ciències experimentals a les universitats espanyoles és alt (Barcelona, A Coruña, Vigo, Extremadura, Sevilla, Múrcia, Huelva, Alacant, València, etc.), amb programes de doctorat de gran interès. Alguns han rebut la «Mención de calidad» que atorga el Ministeri d'Educació i Ciència: *Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas* (Interuniversitari: Universitat de Huelva, Universitat de Sevilla i Universitat d'Extremadura), *Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales* (Interuniversitari: Universitat de València i Universitat d'Alacant), *Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas* (Universitat Autònoma de Barcelona).

S'organitzen congressos periòdics que constitueixen un punt de trobada de la comunitat científica, com ara Encuentros sobre Didáctica de Ciencias Experimentales, que té lloc cada dos anys (inicialment era anual) i dels quals es va celebrar el vint-i-unè el mes de setembre del 2004 a Donostia. Cada quatre anys se celebra el Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, del qual està prevista la setena edició el mes de setembre del 2005 a Granada.

### 3.3. Problemes abordats des de la perspectiva de la didàctica

A partir de la segona meitat dels anys vuitanta la temàtica de la investigació en didàctica de les ciències experimentals s'ha centrat en el procés d'ensenyament-aprenentatge (Perales i Cañal, 2000). Un dels camps més abastament estudiat és el de les concepcions prèvies de l'alumnat. A més d'originar un gran nombre d'articles en revistes didàctiques, també hi va haver una gran diversitat terminològica a l'hora de designar-les: preconcepcions, errors conceptuals (*misconceptions*), esquemes alternatius, concepcions espontànies, ciència dels nens, teories de sentit comú, models personals de la realitat, etc. (Tilló, 2004). Encara que s'han fet anàlisis sobre les distincions subtils en l'ús d'aquests termes, no s'ha aconseguit cap consens per triar-ne un (Wandersee et al., 1994).

La recerca sobre concepcions alternatives va començar a mitjan anys setanta amb un fort èmfasi en àrees de contingut, en veure que l'ensenyament no era tan eficaç com s'havia assegurat fins aleshores. En el context de la didàctica de la ciència, aquests termes es refereixen a les idees que els estudiants tenen sobre els fenòmens naturals que són inconsistents amb les concepcions científiques i que reflecteixen la naturalesa complexa i les múltiples causes de les concepcions errònies tal com ho veuen els educadors.

S'han editat alguns llibres que es dediquen de forma exclusiva a recopilar tot el que s'ha publicat sobre concepcions alternatives (Pfund i Duit, 1994) o a comentar què són i a què es deuen (Serrano i Blanco, 1988; Driver et al., 1994). També es poden trobar revisions bibliogràfiques sobre un tema concret, com ara l'enllaç químic (Özmen, 2004). Algunes de les àrees conceptuals en què s'han dut a terme la majoria d'investigacions sobre temes relacionats amb la química són: element, compost i mescla, reaccions químiques, enllaç químic, equilibri químic, àtoms i molècules, àcids i bases, el concepte de mol, solubilitat i solucions, evaporació i condensació, i la naturalesa particular de la matèria.

Rafael Porlán (1998), en descriure quines són les línies d'investigació que s'haurien de desenvolupar, comenta que cal organitzar, revisar i sistematitzar la informació que s'ha produït en els últims anys per aprofitar-la en la pràctica, emprar tècniques qualitatives i quantitatives, fer rèpliques de tècniques ja dissenyades, i incrementar l'obertura interdisciplinària. Com a línia d'investigació consolidada hi ha la descripció i anàlisi del pensament dels alumnes. Com a línia d'investigació emergent hi ha les que es fan sobre el coneixement i la pràctica dels professors, els models i les estratègies que puguin afavorir el seu desenvolupament professional.

Precisament, l'interès per les concepcions dels professors és una àrea de recerca molt activa. Alguns exemples són les investigacions sobre els aspectes següents: la reflexió, la pràctica i el desenvolupament professional de professors de ciències experimentals en l'ensenyament secundari (Vázquez et al., 2004), la comprensió dels processos de canvi didàctic del professorat i dels aspectes que el faciliten o l'obstaculitzen (Mellado, 2003; Wamba, 2000), l'evolució de les concepcions i de les pràctiques dels professors sobre les idees dels alumnes, els continguts i la metodologia d'ensenyament (Porlán i Martín, 2004; Porlán et al., 1998; Martín, 1994).

També s'han configurat línies d'investigació per respondre als nous problemes i escenaris de canvi com l'impacte tecnològic, el disseny de materials didàctics i l'avaluació, entre d'altres. El disseny de materials didàctics innovadors, basats en les actuals tecnologies telemàtiques, és una àrea que es preveu que tindrà un gran desenvolupament. En aquest treball d'investigació es porta a terme una investigació sobre els mitjans audiovisuals de què pot disposar el professorat, tant en format analògic com digital, des d'una perspectiva didàctica. Es considera un pas previ molt important per a la seva possible integració en materials educatius innovadors, especialment en els que permetin el treball cooperatiu a través del web.

Una línia d'investigació molt innovadora, desenvolupada dins del grup de recerca en què se circumscriu aquesta tesi, és el del treball cooperatiu emprant l'entorn telemàtic interactiu BSCW (Llitjós et al., 2004; Puigserver et al., 2004; Sánchez et al., 2004). El BSCW ha estat emprat com a sistema de comunicació al llarg d'aquest treball d'investigació.

L'estudi del model constructivista de l'ensenyament de les ciències també ocupa una bona part de l'atenció dels investigadors. Per això en el proper apartat es fa una revisió de les idees generals subjacents en aquest model, ja que, tal com s'ha esmentat en les consideracions inicials, els treballs duts a terme en aquesta tesi s'inclouen en una perspectiva constructivista del procés d'ensenyament-aprenentatge.

### **3.4. Model constructivista d'ensenyament-aprenentatge de les ciències**

Al llarg del segle XX s'han anat succeint diversos corrents epistemològics que han tractat de fonamentar com es produeix el coneixement, però cap ha aconseguit esdevenir el corrent dominant durant molt temps. De tots, els que han exercit una major influència han estat els positivistes, que encara estan molt arrelats entre els professionals de l'educació.

Cal tenir en compte que han estat molt criticats perquè fomenten un aprenentatge bàsicament de tipus memorístic en el qual no es té en compte de manera adequada la comprensió i la reflexió dels processos o fets estudiats. Els enfocaments alternatius a l'ensenyament tradicional insisteixen en la necessitat que els alumnes tinguin un paper més actiu a la classe, basant-se en un model constructivista del coneixement.

De totes maneres, Daniel Gil i col·laboradors (1999) afirmen que no es poden considerar les propostes constructivistes de forma simplista i que no constitueixen una recepta. Per això afirmen:

L'estratègia que ens sembla més coherent amb l'orientació constructivista i amb les característiques del raonament científic és la que planteja l'aprenentatge com a *tractament de situacions problemàtiques obertes que els alumnes puguin considerar d'interès* (Furió i Gil, 1978; Driver i Oldham, 1986; Gil i Martínez-Torregrosa, 1987; Burbules i Linn, 1991; Gené, 1991; Gil et al., 1991; Duschl, 1990 i 1995; Wheatley, 1991; Pessoa de Carvalho i Gil, 1995; National Research Council, 1996; Guisasola i de la Iglesia, 1997; Furió i Guisasola, 1998; Jiménez, 1988, etc.).

Així doncs, pensen que un tractament amb aspiració científica s'ha de considerar una «*activitat científica, oberta i creativa, degudament orientada pel professor*», que inclogui, entre altres:

- La consideració del possible interès i rellevància de les situacions proposades que donin sentit al seu estudi i motivin els estudiants per dur-les a terme.
- L'estudi qualitatiu de les situacions problemàtiques i la presa de decisions, per acotar problemes i fer operatiu el que es busca.
- La invenció de conceptes i l'emissió d'hipòtesis.
- L'elaboració d'estratègies de resolució per sotmetre a prova les hipòtesis, tenint en compte el cos de coneixements de què es disposa.
- La resolució i l'anàlisi dels resultats, comparant-los amb els obtinguts per altres grups d'estudiants i per la comunitat científica.
- L'ús reiterat dels nous coneixements en una varietat de situacions, especialment en les relacions ciència-tecnologia-societat (CTS), afavorint les activitats de síntesis, l'elaboració de productes i la concepció de nous problemes.

Segons David Jonassen (2003), el constructivisme és la teoria sobre el desenvolupament de l'aprenentatge significatiu, que parteix d'una sèrie de supòsits:

- *El coneixement es construeix.* Les persones donen sentit als fets amb què s'enfronten construint representacions mentals on interpreten les vivències viscudes i les acomoden als seus esquemes de creences i coneixements existents.
- *La significació de la realitat té lloc a la ment de cada individu.* Cada interpretació de la realitat dona com a resultat un coneixement únic, ja que es basa en el conjunt d'experiències viscudes i en una combinació de creences sobre el món que també és única.



- *Hi ha múltiples perspectives del món.* Cada persona té un coneixement propi que afecten la forma en què es perceben les noves experiències viscudes.
- *Es construeix a partir de les nostres interaccions amb el medi ambient.* El context en què s'adquireix el coneixement també intervé en la construcció del coneixement. El coneixement conté no només les idees construïdes sinó també la manera com han tingut lloc els fets que han permès adquirir-lo.
- *El coneixement està ancorat en contextos rellevants.* Les idees estan vinculades a situacions concretes o contextos en què van ser adquirides o aplicades. Les idees desenvolupades en contextos significatius són les que tenen més significat i poden ser aplicades més fàcilment.
- *El coneixement no es pot transmetre.* Els models de transmissió de coneixements han mostrat al llarg de diverses dècades que el coneixement no es pot transmetre, ja que allò que s'ensenya no és sempre el que els estudiants aprenen.
- *És estimulat per la necessitat o el desig de saber.* Una de les situacions freqüents és l'existència d'una perturbació o perplexitat entre els coneixements que ja es posseeixen i els nous. Se sol generar una adaptació entre totes dues idees que comporta cicles d'acomodació i d'assimilació.
- *Es negocia de forma social.* Es comparteixen els significats que s'atorga als fets que tenen lloc en el món que ens envolta. Es considera que el significat és fruit d'un procés de negociació social que té lloc a través del diàleg.
- *Es distribueix entre la cultura i la comunicació que vivim i les eines que fem servir.* En formar part d'una comunitat estem sota la influència del conjunt de les creences i valors que engloba.
- *No tot el significat es crea de la mateixa manera.* La viabilitat del significat es basa en les normes socials i intel·lectuals de la comunitat.

Segons Jonassen (2003), un aprenentatge significatiu, que és el que es vol aconseguir a partir del model constructivista, hauria de tenir les característiques següents:

- *Actiu:* la participació dels estudiants en el processament de la informació es fa d'una manera conscient. Són responsables del seu aprenentatge.
- *Constructiu:* els estudiants adapten les noves idees als seus coneixements previs i tracten de dotar-les de sentit o fer front a una discrepància.
- *Col·laboratiu:* els estudiants treballen en comunitats d'estudiants, aprofitant les habilitats dels altres i aportant la seva contribució al grup.
- *Intencional:* els estudiants intenten aconseguir un objectiu cognitiu de manera activa i intencional.

- *Conversacional*: l'aprenentatge implica una interacció social i dialògica. Es comparteixen i discuteixen punts de vista diversos, enriquint-se mútuament tots els membres del grup.
- *Contextualitzat*: les activitats d'aprenentatge estan situades en un entorn real o simulat mitjançant tasques que siguin significatives i d'interès per als estudiants a través de l'estudi d'algun cas o problema.
- *Reflexiu*: els estudiants articulen el que han après i reflexionen sobre els processos i les decisions que han anat formulant.

El disseny d'entorns d'aprenentatge constructivista ha despertat un enorme interès. Segons Borrás (1997), els principis bàsics de l'aprenentatge segons el model constructivista són:

- *Construcció del coneixement*. Aprendre no significa canviar unes idees per unes altres ni tampoc acumular coneixement sense més ni més. Es considera l'aprenentatge com una transformació del coneixement que té lloc en la ment de qui aprèn. Per això és molt important l'experimentació i la resolució de problemes. Els errors són considerats una part important del procés.
- *Motivació*. Els estudiants comprenen millor quan desenvolupen tasques i temes que els interessin. Cal elaborar materials que captivin i augmentin aquests interessos per tal d'implicar l'estudiant en el projecte d'aprenentatge.
- *Autonomia*. Es considera primordial que es fomenti la llibertat de l'alumne en el seu aprenentatge, exercida d'una forma responsable.
- *Cooperació*. Es considera vital la relació i la cooperació entre els estudiants en els processos d'aprenentatge. Així es desenvolupen diversos valors, com la igualtat (d'opinió, de vàlua, etc.), la democràcia (tots els membres tenen el mateix pes dins els grups). Es fomenten els treballs cooperatius.

Aquests principis poden ser desenvolupats a Internet, especialment en el web, ja que és un sistema obert on tothom pot participar segons els seus interessos i el seu ritme d'aprenentatge. Permet dotar els alumnes d'un major protagonisme en el procés d'adquisició de coneixements.

Per assolir l'aprenentatge significatiu en els processos d'ensenyament-aprenentatge, es fan servir una gran diversitat de mitjans o recursos didàctics. Els mitjans no exerceixen una funció per ells mateixos sinó que tenen un potencial que els professors poden explotar de manera didàctica. Els recursos són educatius en funció de com s'introdueixin en la pràctica docent, d'acord amb uns objectius previs (Bolívar et al., 2004).

El coneixement de quins són els recursos didàctics existents pot afavorir-ne la utilització tant en materials tradicionals com en materials més innovadors basats en el web. En aquest treball d'investigació s'estudiaran els mitjans audiovisuals —tant en format analògic com digital— de què pot disposar el professorat en l'ensenyament-aprenentatge de la química a nivell universitari. Per això es tenen en compte els requeriments propis de la didàctica en l'àmbit de l'educació superior.

### 3.5. Didàctica de l'educació superior

La didàctica de l'educació superior està ubicada dins l'àmbit de la didàctica diferencial. Considera, entre altres, les característiques del docent, del discent, del contingut o matèria que cal ensenyar i del mètode o la manera d'organitzar les experiències d'aprenentatge adequades per a uns discents en un nivell educatiu, en aquest cas el de l'educació superior.

L'educació superior té la responsabilitat doble de contribuir al desenvolupament integral de la persona i d'assegurar que els processos formatius es portin a terme de la manera més òptima possible. Aquestes responsabilitats es concreten en uns objectius pedagògics que s'han de fer en contextos generalment complexos. L'educació superior és una unitat d'espai i temps on el discent acut per:

- Comprendre les bases científiques de la seva professió.
- Arribar a fer les pràctiques bàsiques corresponents al seu exercici professional.
- Decidir si es vol especialitzar en un camp determinat.
- Continuar el seu desenvolupament com a persona.

Des del punt de vista didàctic, es considera que els estudiants que accedeixen als nivells superiors de formació han adquirit totes les capacitats cognitives i tenen una maduresa que els capacita per fer front a tots els procediments d'aprenentatge que els siguin proposats per portar a terme el seu procés formatiu. Per això en l'ensenyament superior es fan servir totes les estratègies didàctiques, per tal de buscar diferents perspectives d'adquisició d'aprenentatges i mantenir un equilibri entre el seu ús. A més, un tret diferencial de la didàctica de l'educació superior és el grau d'autonomia que té l'estudiant en els processos d'ensenyament-aprenentatge. El domini dels continguts curriculars preval sobre les consideracions particulars de cada alumne; no obstant això, hi ha una flexibilitat fruit d'una opcionalitat possible en aquest tipus d'estudis que permet la intervenció en un cert grau dels interessos i les motivacions dels alumnes (Viladot, 2004).

Quant a la metodologia, el docent ha anat incorporant progressivament les noves tecnologies i tècniques en el seu treball d'acord amb els canvis socials i els interessos manifestats pels estudiants (assessorament, orientació, tutoria). Les actuals tecnologies de la informació i la comunicació han obert noves possibilitats formatives impensables fins fa poc temps. Permeten investigar noves maneres de formació presencial i a distància. També han facilitat la superació del requeriment que, per poder tenir lloc la formació, el docent i el discent han d'estar en un mateix espai i temps.

De totes maneres cal tenir present que no hi ha mètodes bons i mètodes dolents. Una excel·lent classe magistral pot ser encara més didàctica que un acurat experiment de laboratori o que la realització d'un estudi de cas en profunditat. És la planificació de curs, la preparació de les sessions, l'establiment de condicions i recursos suficients, les habilitats i actituds que es generen durant la classe i, sobretot, la capacitat, la disponibilitat, la intel·ligència i sensibilitat pedagògiques del docent les que faran que un o altre mètode d'ensenyament provoqui en els alumnes un interès autèntic a l'hora d'aprendre i els porti a un procés veritablement formatiu (Ferrer, 1994). Per tant, és necessari emprar estratègies metodològiques diverses que possibilitin als estudiants l'accés al coneixement de maneres variades a partir dels seus estils, capacitats, criteris o necessitats, tant de manera individual com col·lectiva. Els estudiants han de participar activament en la pròpia formació.

En el document elaborat per la UNESCO (1998) sobre l'educació superior s'afirma que aquest nivell educatiu ha de fer front al repte que suposen les noves oportunitats que obren les tecnologies, que milloren la manera de produir, d'organitzar, de difondre i de controlar el saber i també com accedir-hi. En l'article 12 («El potencial i els desafiaments de la tecnologia») es diu:

Los rápidos progresos de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación seguirán modificando la forma de elaboración, adquisición y transmisión de los conocimientos. También es importante señalar que las nuevas tecnologías brindan posibilidades de renovar el contenido de los cursos y los métodos pedagógicos, y de ampliar el acceso a la educación superior. No hay que olvidar, sin embargo, que la nueva tecnología de la información no hace que los docentes dejen de ser indispensables, sino que modifica su papel en relación con el proceso de aprendizaje, y que el diálogo permanente que transforma la información en conocimiento y comprensión pasa a ser fundamental.

Actualment hi ha una tendència a valorar positivament les tasques d'innovació docent universitària. Per exemple, a la Universitat de Barcelona s'han consolidat grups d'innovació docent, com ara el Grup Consolidat d'Innovació Docent de Didàctica de les Ciències Experimentals, i el grup de recerca d'Ensenyament de les Ciències i Educació Mediambiental (ECEM), dins del qual s'ha realitzat part d'aquest treball d'investigació. En aquest grup també participa professorat d'altres universitats, com la de Saragossa i Vic, amb el qual es fomenta la relació i el treball cooperatiu entre els professionals acadèmics. S'adjudiquen ajuts econòmics específics d'innovació docent (més simbòlics que reals), s'avalua l'activitat docent, etc. La Generalitat de Catalunya també atorga ajuts de Millora de la Qualitat Docent.

De tota manera, no es té gaire informació sobre la formació didàctica del professorat universitari de ciències experimentals. Tal com afirma Vicente Mellado (1999), s'han dut a terme molt poques investigacions amb professorat universitari de carreres de ciències experimentals. La disparitat de contextos, paradigmes i metodologies emprats dificulten, a més, la comparació dels resultats. D'altra banda, qualsevol proposta de formació ha de rebre el suport incondicional de la universitat, amb un clima institucional favorable cap a la qualitat docent i la formació del professorat, i, sobretot, amb la prèvia acceptació, motivació i compromís del professorat. Això requereix un procés de sensibilització i motivació i, en definitiva, elevar l'estatus de la docència a la universitat, que molt sovint és poc valorada en comparació amb la investigació.

Existeixen seriosos obstacles que dificulten la formació didàctica del professorat universitari, entre els quals destaca el sistema de primes importants per a la investigació, i com a conseqüència la diferent valoració existent entre docència i investigació. També cal tenir en compte que continua vigent la concepció simplista que creu que per ensenyar n'hi ha prou a tenir coneixements de la matèria, experiència, sentit comú i qualitats personals innates.

Per tal de millorar la docència és important, entre altres aspectes, tenir un coneixement profund de quins són els mitjans didàctics de què es disposa i de com es poden emprar de manera eficaç. Per això, en aquest treball d'investigació s'estudien alguns dels mitjans didàctics emprats en la docència de la química a nivell universitari. L'elecció del nivell es va efectuar a l'inici de la investigació, en constatar que molta de la investigació en didàctica de les ciències experimentals es desenvolupava en nivells no universitaris.

### 3.6. Els mitjans didàctics

Segons José Luis Gallego i Francisco Salvador Mata (2002), no existeix una opinió consensuada ni unívoca sobre què és un mitjà d'ensenyament, tal com es pot veure si ens fixem en la diversa terminologia emprada per referir-s'hi: recursos, recursos didàctics, mitjans, mitjans d'ensenyament, materials curriculars, etc. Aquests autors fan una classificació dels mitjans en el procés didàctic com a:

- *Reals*: són els objectes que poden servir d'experiència directa a l'alumne per accedir-hi amb facilitat.
- *Escolars*: són els que es poden trobar en un centre i que tenen com a objectiu col·laborar en els processos d'ensenyament (laboratoris, aules d'informàtica, biblioteca, mediateca, pissarres, etc.).
- *Simbòlics*: són els que serveixen per aproximar la realitat a l'estudiant a través de símbols o imatges. Poden ser impresos o tecnològics.

*Impresos*: texts, llibres, fitxes, quaderns, mapes, etc.

*Tecnològics*: es classifiquen segons el canal que fan servir, i poden ser:

- *Iconics*: retroprojectors, diapositives, etc.
- *Soners*: ràdio, discs, magnetòfons, etc.
- *Audiovisuals*: diaporama, cinema, televisió, vídeo, DVD, etc.
- *Interactius*: informàtica, multimèdia, hipermèdia, Internet (WWW, grups de discussió o de conversa, correu electrònic, espais cooperatius, etc.).

Els mitjans audiovisuals es basen en el registre i la reproducció d'imatges i sons. Un tractament més detallat d'aquests recursos es fa en el capítol 4. També es detallen quins són els seus elements característics, com a pas previ per a l'anàlisi efectuada de documents en format analògic i en format digital, desenvolupats en els capítols 7 i 9, respectivament. En el capítol 5 s'estableixen les bases del seu anàlisi tant en l'aspecte descriptiu com en el didàctic.

Les funcions tradicionals assignades als mitjans han estat motivar l'estudiant, promoure nous estímuls per a l'aprenentatge i presentar models. No s'ha demostrat que cap mitjà tingui més potència d'aprenentatge per als alumnes que un altre. De totes maneres, els mitjans visuals es mostren més eficaços que els auditius, en relació amb el record de la informació presentada. Els mitjans audiovisuals han originat efectes beneficiosos en els processos d'ensenyament-aprenentatge. La presentació de la informació és més breu i es pot ensenyar un mateix concepte utilitzant diferents signes verbals i iconics, fent que sigui redundant (Ballesta, 2004).

Amb l'aparició de la informàtica va sorgir l'ensenyament assistit per ordinador (EAO), que combinava text i imatges estàtiques amb una interactivitat limitada. Després van aparèixer els multimèdia, que augmentaven les possibilitats d'ús com a resultat de la incorporació d'imatges en moviment i so, i amb un gran increment de la interactivitat. Posteriorment, amb l'aparició d'Internet i especialment del WWW, les possibilitats d'interacció estan en els seus inicis (Sigüenza, 1999).

De tota manera, imaginar-se que és possible obtenir un benefici educatiu pel sol fet que el suport de la informació sigui multimèdia és no adonar-se de la naturalesa complexa del procés d'aprenentatge. En qualsevol situació pedagògica, cal considerar les característiques de qui aprèn, del contingut i de la forma en què l'alumne interactua amb el material presentat. És perfectament possible que un alumne aprengui més d'una discussió ben concebuda, conduïda per un ensenyant al voltant d'un esquema estàtic, que d'una proposta multimèdia d'animació interactiva desproveïda de reflexió didàctica. De tota manera, sembla inevitable que en el futur creixerà el paper que exerciran les eines multimèdia en l'ensenyament de les ciències. Per tant, convé estudiar-ne el potencial com a eines d'aprenentatge (Lowe, 1996).

Els nous mitjans de què es disposa actualment, especialment Internet, poden tenir moltes funcions. En destaquem les següents:

- Com a font d'informació, especialment hipermèdia, si es disposa a l'aula o a casa d'un ordinador multimèdia connectat a Internet.
- Com a canal de comunicació interpersonal i per fer treball cooperatiu, així com per a l'intercanvi d'informació i idees: correu electrònic i fòrums telemàtics.
- Com a mitjà d'expressió i per a la creació: processadors de textos, editors gràfics, editors de pàgines web, programes de creació multimèdia i càmera de vídeo.
- Com a instrument per processar la informació: fulls de càlcul, gestors de BD, etc.
- Com a instrument per a la gestió. Permeten automatitzar diversos treballs de la gestió dels centres: secretaria, acció tutorial, assistències, biblioteques, etc.
- Com a recurs interactiu per a l'aprenentatge. Els materials didàctics multimèdia informen, entrenen, guien aprenentatges, motiven, etc.
- Com a mitjà lúdic i per al desenvolupament psicomotor i cognitiu.

Molt sovint, però, s'han emprat per reforçar els sistemes tradicionals d'ensenyament i no s'han dissenyat possibles aplicacions més innovadores que n'aprofitin tot el potencial (Marquès, 2000a). D'altra banda, cal tenir en compte que no estem tan ben preparats per llegir imatges com per llegir textos. Això està relacionat amb el fet que la lectura d'imatges ha rebut menys atenció que la de textos. Les operacions implicades en la lectura d'imatges són lluny de ser tan compreses com caldria.

### 3.7. Didàctica de la química

Els primers treballs d'investigació sobre didàctica de la química es van publicar als Estats Units. És on s'edita la revista de més prestigi en l'àmbit internacional: el *Journal of Chemical Education (JCE)*, dedicada específicament a temes relacionats amb la química i el seu ensenyament. És per això que ha estat una de les principals fonts emprades per crear un estat de la qüestió sobre quins són els aspectes que s'estan investigant en l'àmbit de la química, a nivell universitari, especialment en relació amb l'ús de recursos audiovisuals.

La publicació de la revista *Enseñanza de las Ciencias* va permetre disposar d'un medi per difondre les activitats d'investigació desenvolupades a l'Estat espanyol. De totes maneres, les investigacions sobre l'ús de recursos audiovisuals en la didàctica de la química a nivell universitari hi són escassament representades.

La química ha estat descrita com una de les ciències més visuals (Habraken, 1996). De tota manera, hi ha fenòmens científics que no són accessibles a través de l'experiència directa i la visió que se'n té és mínima. Més que en altres ciències, la comprensió de la química depèn de donar sentit a allò invisible i intocable. Els experiments que es fan al laboratori o els emprats en les demostracions a classe són curosament escollits per denotar processos químics a través dels canvis de colors, de la precipitació d'un sòlid, de l'alliberament de calor, etc. La majoria de reaccions en el món real, però, tenen lloc a velocitats massa lentes o ràpides, o bé els productes són tan dispersos, sense color o sense olor, que són difícils de detectar.

El desenvolupament de la química es fonamenta en la interrelació dels tres nivells de comprensió de la matèria: el macroscòpic, el submicroscòpic i el simbòlic. Aquest aprenentatge requereix que els fets observats siguin explicats mitjançant un coneixement construït a través de l'ús de models sobre entitats no visibles, i a més, emprant un llenguatge simbòlic (Gabel, 1998). El pas d'un nivell a un altre requereix adonar-se de la necessària relació que s'hi estableix, i no és percebuda d'una manera fàcil pels estudiants (Gabel, 1993, 1999; Ben-Zvi et al., 1986, 1987; Sánchez i Valcárcel, 2003, Zamora et al., 2004). Està ben documentat que els estudiants arriben a la química amb deficiències importants en la comprensió dels principis químics i de la seva habilitat per representar-los simbòlicament (Nakhleh, 1992; Bodner, 1991; Herron, 1990; Wu et al., 2001).

La falta de comprensió dels conceptes químics pot estar relacionada amb la manca d'habilitat per completar models mentals que visualitzin el comportament particular de la matèria. Això ha generat un interès en els models mentals que construeixen els alumnes en diversos temes: la teoria cinetico-molecular de la matèria (Benarroch, 2001), els àtoms i molècules (Harrison i Treagust, 2000; Valcárcel et al., 2000), l'enllaç químic (De Posada, 1993, 1999; Taber, 1998), etc. Se sap que els estudiants tenen dificultat de comprensió de conceptes en el nivell particular, i que és la font de moltes de les concepcions alternatives dels estudiants (Nakhleh, 1992; Abraham et al., 1994).

Nombrosos estudis han demostrat que els estudiants poden respondre correctament certs tipus de problemes de química però que tenen només un coneixement limitat dels conceptes associats (Nurrenburn i Pickering, 1987; Pickering, 1990, 1992; Sawrey, 1990; Gabel i Bunce, 1994; Sanger et al., 2000). S'han fet servir qüestions visuals basades en conceptes sobre la naturalesa particular de la matèria per exhibir aquesta discrepància (Sanger, 2000; Gabel et al., 1987; Smith i Metz, 1996).

D'altra banda, en els darrers 125 anys s'ha passat d'un plantejament del pensament logicomatemàtic a un de visuoespacial (Habraken, 2004). L'ascensió de la tecnologia gràfica per ordinador no només ha estimulat el pensament visuoespacial en l'aprenentatge fora de l'escola, sinó que ha accelerat de forma notable la comunicació pictòrica en química. Les evidències empíriques indiquen la importància dels sistemes multisimbòlics per augmentar l'aprenentatge.<sup>3</sup> Els estudis realitzats han mostrat que l'ús combinat de text i gràfics animats contribueix a recordar més fàcilment la informació (Mayer i Sims, 1994).

---

<sup>3</sup> La teoria del codi dual suggereix que la informació presentada mitjançant canals verbals i d'imatge és processada per separat. Es pressuposa que la informació és molt més fàcil de retenir i recuperar quan està codificada dualment (A. Paivio, *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Nova York: Oxford University Press, 1990).

Richard Mayer i Laura Massa (2003) van examinar la hipòtesi que algunes persones són aprenents verbals i altres aprenents visuals, en el que denominen «la dimensió verbalitzador-visualitzador». Van observar que algunes persones són millors processant paraules i d'altres són millors processant imatges. En el quadre 3.7.1 es mostren les característiques estudiades i els tipus d'aprenents que en resulten.

Quadre 3.7.1. Característiques de la dimensió verbalitzador-visualitzador.

| Paràmetre                  | Tipus d'aprenent           | Definició   |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Habilitat cognitiva        | Elevada habilitat espacial | Alta capacitat a l'hora de crear, retenir i manipular representacions espacials.  |
|                            | Baixa habilitat espacial   | Baixa capacitat a l'hora de crear, retenir i manipular representacions espacials. |
| Estil cognitiu             | Visualitzador              | Fa servir sistemes visuals de pensament.  |
|                            | Verbalitzador              | Fa servir sistemes verbals de pensament.  |
| Preferència d'aprenentatge | Aprenent visual            | Prefereix la instrucció amb imatges.  |
|                            | Aprenent verbal            | Prefereix la instrucció amb paraules.   |

Font: Mayer, R. i Massa, L. (2003).

Les paraules i les imatges són els dos medis bàsics assequibles per a la instrucció audiovisual i multimèdia. A causa de la limitació en la capacitat de la memòria de treball, els estudiants poden construir més fàcilment connexions referencials quan les paraules i les imatges es presenten de forma contigua. Segons Robinson (2004), un aprenentatge és més profund si s'origina a partir de paraules i imatges que no pas si ho fa únicament mitjançant paraules.

Wu i Shah (2004) afirmen que les habilitats visuoespacials i les habilitats de raonament general són rellevants per a l'aprenentatge de la química i que alguns dels errors conceptuals dels estudiants es deuen a dificultats a l'hora d'operar entre les representacions visuoespacials internes i externes. En augmentar la utilització de multimèdia, però, els estudiants amb baixa habilitat espacial poden estar desafavorits en l'aprenentatge de la química, especialment si les eines multimèdia estan dissenyades pobrament, i això afegeix una càrrega als seus recursos de processament visuoespacial. Suggereixen cinc principis per dissenyar eines de visualització química: proporcionar múltiples representacions i descripcions, fer les connexions visibles, presentar la naturalesa dinàmica i interactiva de la química, promoure la transformació entre 2D i 3D, i reduir la càrrega cognitiva fent la informació explícita i integrada als estudiants.

Segons Mathewson (1999), el pensament amb imatges té un paper central en la creativitat científica i en la comunicació. El pensament visuoespacial inclou la visió —empra els ulls per identificar, localitzar i pensar sobre objectes i sobre nosaltres mateixos en el món— i la imaginació: la formació, la inspecció, la transformació i el manteniment d'imatges en l'ull de la ment en absència d'una estimulació visual. Una imatge espacial preserva les relacions entre un conjunt complex d'idees com un simple tros en la memòria de treball, amb la qual cosa augmenta la quantitat d'informació que pot ser mantinguda conscientment durant un moment determinat. Visió i imatges són processos cognitius fonamentals que fan servir rutes especialitzades al cervell i es basen en la memòria i en l'experiència prèvia.



Per investigar els fenòmens naturals a través d'idees de molècules, d'àtoms i de partícules subatòmiques, i les relacions que s'hi estableixen, els químics han desenvolupat una varietat de representacions. Han inventat sistemes simbòlics especialitzats com models moleculars, estructures moleculars, fórmules, equacions de reacció, símbols, gràfics, etc., que representen els fenòmens moleculars que estudien als laboratoris i que fan servir per comunicar els coneixements als col·legues i a l'alumnat (Hoffman i Laszlo, 1991). Aquestes «imatges mestres» —com les denomina Mathweson (1999)— s'han convertit en la base de l'extensió del coneixement dins de la comunitat professional de químics.

Però cal plantejar-se, tal com ho fan Kozma i Russell (1997), si els estudiants entenen aquestes representacions de la manera com els químics intenten mostrar. Cal preguntar-se si tenen els coneixements previs necessaris per començar a veure els principis químics en les imatges. Quan es fan servir diferents sistemes simbòlics per representar el mateix fenomen, ¿entenen que corresponen al mateix sistema o creuen que representen coses diferent cada un?

Harrison i Treagust (1996, 2000) afirmen que el professorat no pot predir la manera com els estudiants interpretaran els models analògics que es facin servir en llibres, vídeos o en simulacions per ordinador. Mentre el benefici motivacional garanteix la participació, exposa els estudiants a interpretacions individuals o en grup que sovint porten a concepcions alternatives inesperades. Cal doncs anar amb compte a l'hora d'emprar analogies per tal d'evitar la transferència d'atributs no compartits, animar els estudiants a fer servir múltiples models i no un de sol, i prendre el temps necessari per discutir i criticar els diversos models utilitzats. El creixement intel·lectual dels estudiants hauria d'anar acompanyat d'una capacitat superior per reconèixer obertament que diversos models simplement representen diferents aspectes d'un mateix fenomen científic. Si es desenvolupés, aquest potencial hauria de permetre que els estudiants adquirissin models mentals dels fenòmens més acceptables científicament.

Stella Vosniadou (1994) fa servir el terme *synthetic mental model* per descriure les concepcions alternatives evolutives que els estudiants construeixen a mesura que adapten els seus models mentals intuïtius als dels professors o dels llibres. Per *model mental* es refereix a una representació analògica que els individus generen durant el seu funcionament cognitiu. Sense models analògics, l'ensenyament de la química es reduiria a una simple descripció de propietats macroscòpiques i canvis. Són una part intrínseca de la comprensió de la química. La teoria atòmica, les fórmules químiques, les equacions químiques, la teoria cinètica, àcids i bases, velocitats de reacció, etc., depenen de models per ser explicats.

A més, molts conceptes científics depenen de múltiples models per ser descrits i explicats. Els fenòmens altament abstractes i no observables s'expliquen per mitjà de múltiples models, perquè cada model representa només una fracció dels atributs. Per raons epistemològiques, cap model aïllat pot il·lustrar completament un objecte o procés, perquè si pogués fer-ho no seria un model sinó un exemple. I si el concepte fos suficientment entès amb un exemple, llavors no es necessitaria un model analògic. Quan els estudiants estan aprenent un concepte o un principi relacionat amb objectes tridimensionals, el valor i la significació de les imatges és important. És essencial escollir el tipus de representació (estàtica *versus* animada) que tingui com a resultat un aprenentatge significatiu i evitar fer eleccions basades únicament en el format que més ens agradi.

Respecte a les imatges estàtiques, s'ha trobat que són efectives en l'aprenentatge si il·lustren la informació central del text, si representen un nou contingut important pel missatge global, si ajuden a dibuixar les relacions estructurals cobertes pel text o si la informació il·lustrada contribueix més que una simple lectura del text (Anglin et al., 2003). Molts llibres de text introductoris han evolucionat per incloure dibuixos amb partícules per ajudar els estudiants a respondre qüestions conceptuals visuals.

Les imatges en moviment són més adequades en tots els casos en què es doni un comportament dinàmic. Jonassen (1996) afirma que els sistemes multimèdia que inclouen text, imatges, sons i seqüències animades o clips de vídeo ofereixen experiències sensorials valuoses per als estudiants. Jazlin Ebenezer (2001) considera que l'hipermèdia pot ser una eina d'ensenyament valuosa en la didàctica de la química gràcies a la seva capacitat per dotar d'animació els processos químics.

La qualitat dinàmica de les animacions pot promoure una codificació més profunda de la informació que no pas les imatges estàtiques (Williamson i Abraham, 1995). Els estudiants que visionen models estàtics com ara transparències o dibuixos fets amb guix poden haver format un model mental estàtic que falli a l'hora de proporcionar una comprensió adequada dels fenòmens o falli a l'hora de formar qualsevol model de la naturalesa particular de la matèria, i que, per tant, es quedi únicament amb les visions macroscòpiques dels fenòmens. Les animacions proporcionen un model visual més correcte científicament dels processos submicroscòpics. Els estudiants que veuen les animacions mantenen una visió més particular de la matèria.

Els estudiants de química poden desenvolupar la seva visió de les estructures moleculars fent servir models moleculars físics, imatges tridimensionals i animacions i simulacions per ordinador (Baker i Talley, 1972; Barnea i Dori, 1999; Copolo i Hounsell, 1995; Ealy, 1999; Hyde et al., 1996; Martin, 2001; Tuckey i Selvaratnam, 1993; Burke et al., 1998). Després de més de cent anys parlant de química amb paper i llapis, pissarra i guix, la pantalla de l'ordinador està actualment prenent posicions. Cada cop més, les actuals tecnologies educatives —DVD i ordinadors— també estan sent emprades a la classe per representar els fenòmens químics de maneres innovadores.

D'altra banda, s'han fet diverses investigacions sobre la manera com els experts organitzen i representen el coneixement en la memòria en relació amb com ho fan els novells (Chi et al., 1988; Kozma i Russell, 1997). En general, els aprenents són molt menys capaços de fer transformacions entre diferents sistemes simbòlics, i són particularment pobres a l'hora de transformar animacions i vídeo en expressions equivalents en algun altre sistema simbòlic. La seva comprensió de la química es construeix sobre característiques superficials de signes físics com ara canvis de color, i expressions simbòliques com ara el color de les boles en les animacions o els títols d'un gràfic. Els elements superficials també són emprats pels experts, encara que organitzin els agrupaments al voltant de conceptes i principis subjacents. Els químics poden veure expressions amb diferents característiques superficials com representacions del mateix principi, concepte o situació química, i poden transformar-les d'una forma a una altra.

Kozma i Russell (1997) anomenen aquesta capacitat de transformació «competència representacional». Aquesta competència implica l'adquisició d'una sèrie d'habilitats:

- Identificar i analitzar les característiques d'una representació i els seus patrons i fer-los servir com a evidència per donar suport, explicar, mostrar inferències i fer prediccions sobre les relacions entre conceptes o fenòmens químics.
- Transformar una representació en una altra, identificar característiques d'una en les d'una altra, i explicar-ne la relació; per exemple, identificar un pic d'un gràfic amb el punt final d'una reacció en un vídeo.
- Generar o seleccionar una representació adequada o un conjunt de representacions per explicar o garantir les presumpcions sobre relacions entre conceptes o fenòmens químics.
- Explicar per què una representació particularada o un conjunt d'aquestes són més apropiades per a un propòsit en particular que una representació alternativa.
- Descriure com diverses representacions poden expressar la mateixa idea amb diferents formes i com una representació pot expressar una idea que no pot ser expressada amb una altra.

Aquest ús comú de les característiques superficials fa pensar que l'expertesa està construïda a partir de les experiències primerenques dels novells. La diferència rau en el fet que mentre la comprensió dels aprenents està limitada per les característiques superficials del mitjà emprat, els experts són capaços de travessar la frontera per connectar les diverses representacions amb els principis i els conceptes químics subjacents. Per això, cal negociar els models amb els estudiants. No es pot esperar que interpretin de manera acurada models que no han dissenyat (Harrison i Treagust, 2000).

Sembla que el llenguatge té un paper especial per travessar les fronteres entre els diversos models i formar una espècie de cola semàntica que els manté fermament units (Mayer i Anderson, 1991, 1992). Conseqüentment, l'escriptura i el diàleg han de tenir un lloc representatiu en el currículum de química juntament amb equacions, diagrames, gràfics i imatges. Un altre sistema per establir ponts adequats entre les diverses representacions és a través d'aspectes de superfície, com ara el color o la forma.

S'ha observat que els estudiants solen mostrar preferència per certs tipus de representacions i no fan servir tots els models tridimensionals intercanviables. En concret, utilitzen més les representacions compactes amb esferes (*space filling*) que les de boles i varetes. Harrison i Treagust (1996, 2000) creuen que és millor començar per models de boles i varetes, i quan els estudiants ja tinguin una bona comprensió de l'enllaç, els professors poden oferir alguns models 3D i guiar grups de discussió sobre com diversos models proporcionen diferents informacions. A través de la discussió o negociació de significats dins d'una classe o entre grups, els estudiants poden adonar-se de les limitacions i dels beneficis de fer servir diferents tipus de representacions i d'aprendre apropiadament a utilitzar models per resoldre problemes, tal com ho fan els químics. Després de proporcionar múltiples representacions i descripcions, cal que les eines d'aprenentatge facilitin un nivell de comprensió addicional entre les representacions. Si això no es fa, els estudiants basen la construcció de connexions en qüestions superficials, com ara el tipus de colors, més que no pas en els conceptes subjacents (Kozma i Russell 1997).

La inclusió d'activitats que requereixin que l'estudiant tingui en compte la correspondència entre diferents representacions del mateix fenomen fa que els efectes instructius siguin a llarg termini (Ardac i Akaygun, 2004). Els estudiants que aprenen a interrelacionar diversos tipus de coneixement poden escollir el que desitgen estudiar, i aprofundir en els conceptes en què tenen dificultats o crear els propis temes de recerca. Els estudiants aprenen a un ritme personal perquè la decisió de la manera d'aprendre és a les seves mans (Ebenezer, 2001). La majoria d'intents d'integrar els tres nivells de comprensió de la matèria requereixen l'ús d'ajudes audiovisuals, i el multimèdia sembla una de les alternatives més prometedores, perquè proporciona representacions dinàmiques que poden ser més il·lustratives que els dibuixos estàtics o els models en dues dimensions. D'altra banda, els estudiants es mostren entusiasmats per aprendre mitjançant l'ordinador.

També hi ha visions crítiques respecte a l'ús de les tecnologies actuals. Les eines gràfiques basades en el web i el poder computacional permeten als científics, als educadors i als estudiants visualitzar dades i processos científics de maneres que abans resultaven impossibles, la qual cosa permet una comprensió més profunda dels fenòmens naturals. Segons Tuvi i Nachmias (2001), la realitat és que no està clar amb quina extensió estan implementades realment en la didàctica de la ciència. Els resultats mostren que no es fan servir gaire. Referint-se a Internet, comenten que el nou mitjà ofereix interacció a distància amb companys i experts, la capacitat d'efectuar càlculs complexos en línia, enormes quantitats d'informació en bases de dades, revistes, museus, i encara més: eines gràfiques excel·lents per obtenir imatges dinàmiques tridimensionals en color. Però, ¿fins a quin punt els creadors de pàgines web educatives fan servir aquests recursos? ¿Ha emergit un nou currículum aprofitant les virtuts d'aquestes eines? Si és que ho ha fet, ¿com ha evolucionat la pedagogia amb la nova tendència?. Sembla que els creadors de llocs web construeixin unitats independents perquè les facin servir únicament els seus estudiants. S'ignoren els llocs web similars que poden existir, passant per alt un dels màxims beneficis d'Internet: la col·laboració entre usuaris, autors i experts (Tuvi i Nachmias, 2001; Mistler-Jackson i Songer, 2000).

En aquest sentit, en el treball d'investigació que s'ha desenvolupat durant aquesta tesi doctoral, s'han revisat molts llocs web que contenen elements dinàmics i interactius: imatges dinàmiques, vídeos, simulacions, animacions i realitat virtual. El primer pas per aprofitar didàcticament els recursos del web és valorar-los de manera tant descriptiva com didàctica. En aquest treball, en fer la revisió dels documents localitzats en el web, també es construeix una base de dades per emmagatzemar tota la informació dels documents que s'han localitzat i descarregat de la xarxa per analitzar-los posteriorment. Aquesta feina pot facilitar-ne la integració en pàgines web o en altres entorns d'interacció en línia amb finalitats acadèmiques.

La didàctica de la química està experimentant un canvi de paradigma. Durant molts anys s'ha cregut que la manera d'ensenyar química corresponia a la manera com nosaltres vam ser ensenyats, que els estudiants són recipients buits esperant ser omplerts de coneixements i que un bon ensenyament consisteix a explicar. Actualment, el paradigma en la didàctica de la química ha canviat d'estar centrat en els professors a estar centrat en l'alumne. El nou paradigma inclou el reconeixement que els estudiants construeixen una comprensió de la química pròpia, que no tots els estudiants aprenen de la mateixa manera, que l'aprenentatge actiu promou una millor comprensió que el mer aprenentatge memorístic, i que els nostres estudiants no són com nosaltres.

### 3.8. Evolució dels mitjans audiovisuals en la didàctica de la química

Els mitjans audiovisuals emprats en la didàctica de la química han tingut una evolució en consonància amb els mitjans tecnològics que s'han anat desenvolupant al llarg del segle XX. El cinema, la ràdio, el vídeo, la televisió, els ordinadors i ara Internet s'han anat introduint en la societat. Això va portar a la seva adopció per part de les institucions acadèmiques per formar part dels dissenys instructius. Tot seguit presentem alguns dels que s'han emprat o s'estan emprant actualment.

#### 3.8.1 Films

Es van emprar quan el cinema estava en plena expansió. Es van elaborar materials diversos: cinta de pel·lícula (*filmstrip*), pel·lícula de 8 mm i de 16 mm, cinta de pel·lícula sense fi (*filmloop*). Molts d'aquests materials eren tires de pel·lícula acompanyats de cassets. El *filmloop* és un film continu i silenciós amb una duració entre 3-5 minuts que presenta un únic concepte. L'únic inconvenient és que es necessita un projector de *filmloop* de Super 8 mm. En no anar acompanyats de so es té la flexibilitat de connectar-ho amb la lliçó del dia, fent els comentaris pertinents a mesura que es visualitzen, i es pot parar en qualsevol punt per aclarir alguna imatge o alguna discussió que sorgeixi a la classe. Encara que diuen que estan fets en tecnicolor hi predomina el color sèpia.

Durant els anys 1980 i 1981 en el *JCE* hi va haver una secció dedicada a la difusió i revisió de materials audiovisuals d'aquesta mena. Estava encapçalada per Harriet Friedstein, que afirmava que en general els materials audiovisuals utilitzen una varietat d'estímuls en l'ensenyament dels conceptes químics. Com que els estudiants aprenen amb una varietat de formes i ritmes diferents, recomanava introduir una pel·lícula o *filmstrip* en el currículum sempre que fos possible amb tota la classe o de forma individual fora de la classe.

Fins i tot es van rodar segments de pel·lícula amb algunes de les demostracions aparegudes en el *JCE* (Grosser, 1980). També es van revisar els vint-i-quatre films del projecte CHEM Study per actualitzar-los i fer-los més entenedors (Ridgway, 1989).

#### 3.8.2 Diapositives i cassets d'àudio

Generalment es tractava d'una col·lecció de diapositives seleccionades i ordenades seguint un guió, a la qual s'adjuntava una cinta d'àudio que estava sincronitzada amb les imatges. L'avantatge sobre les cintes de pel·lícula és que no era massa car. L'inconvenient principal era el considerable temps de preparació que es necessitava i el fet que disminuïa la interacció entre els estudiants i el professor (Wendlandt et al., 1975; Barnard, 1976). Van ser emprats en la preparació dels alumnes per a les activitats de laboratori (Almy, 1982).

Aquest sistema ha estat utilitzat en la docència de la química i en la formació de professorat a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Des de finals de la dècada dels setanta fins a la dècada dels vuitanta, en aquesta Universitat es va dur a terme una experiència interdisciplinària (Tecnologia-Química) coordinada per Teresa Escalas, Anna Llitjós i Salvador Rossell. L'experiència consistia en la presentació, per part de l'alumnat, d'uns treballs en format audiovisual (sèrie de diapositives i casset) que s'avaluaven des de la química i des de la tecnologia. En aquest cas, l'alumnat interaccionava amb els companys i amb el professorat mentre cercava la informació, elaborava el guió, feia les diapositives, preparava l'àudio i finalment feia l'exposició i la defensa a l'aula.

Bodner et al. (1984) feien pseudoanimacions controlant la desaparició d'una imatge amb un projector amb l'aparició d'una altra en un altre projector. Ho anomenaven *lap-dissolve* (LD). També es podien mostrar dues diapositives alhora per comentar diferències o relacions entre models o figures. Aquests efectes també s'aconseguien amb un vídeo o un film, però resultava molt més barat amb els altres sistemes.

### 3.8.3 Cassetts d'àudio

Per fer posteriors discussions a classe s'han enregistrats documents sonors procedents del mitjà radiofònic. Volker (1977) descriu l'ús que feien de la gravació del programa de ràdio: homes i molècules on destacats científics descriuen quin és el seu camp de recerca i les seves implicacions per a la ciència i la societat. N'hi havia uns 200, amb una duració de 15 minuts cadascun. Es poden considerar gairebé documents històrics. Llavors preparaven diverses qüestions relacionades amb cada casset que l'alumne havia de resoldre a través de diverses lectures. Els alumnes disposaven de la transcripció escrita de cada cinta.

### 3.8.4 Projectors de transparències

Una modalitat que permetia fer demostracions en directe i projectar el que succeïa en una pantalla va ser construïda per Hubert Alyea. Va tenir una secció en el *JCE* anomenada Tested Overhead Projection Series (TOPS) del gener de 1962 al gener de 1971. Segons Schaap (1984), resulta impressionant presenciar un experiment projectat de manera que omple completament una pantalla de 2 x 2 metres.

Actualment, se segueix emprant a les classes de química de formació del professorat de la Universitat de Barcelona quan es necessita mostrar alguna experiència en solució que implica canvis de color; per exemple per mostrar el viratge de diversos indicadors àcid-base.

### 3.8.5 Televisió

Els educadors en química van començar a avaluar seriosament el potencial de l'ensenyament televisat durant els inicis dels anys cinquanta. L'any 1955, l'acumulació d'experiència va ser suficient per esponsoritzar un simposi sobre l'ús de circuits tancats de televisió per a l'ensenyament de la química organitzat per l'American Chemical Society. Es va pensar que durant la dècada dels seixanta hi hauria un increment notable d'alumnat i molts van veure en la instrucció televisiva un sistema per augmentar l'eficiència del procés instructiu sense sacrificar-ne significativament la qualitat (Eubanks i Gelder, 1980).

El 1968 hi havia tretze institucions als Estats Units que tenien experiència en produccions de televisió, però això va ser frenat per la negativa dels estudiants a ser ensenyats exclusivament a través d'aquest mitjà fent servir classes convencionals. Es van adonar que la forma de ser del professorat molestava molt més els estudiants vist des de la televisió que no en persona. A més, el que s'escrivia a la pissarra i les demostracions que es feien no es veien gaire bé. Tampoc podien interrompre per fer preguntes. Les àrees més actives de l'ús televisiu van ser en la preparació per al laboratori i en demostracions per complementar les classes. Aquests materials solen ser específics d'una institució i són difícilment compartibles entre institucions. Cada professor tendeix a situar-hi referents que són importants per a ell però que poden no ser-ho per a altres. El mateix passa amb els films comercials dels quals no interessa tot el que contenen.

En un article sobre la televisió educativa a l'Arizona State University i a l'Ohio State University, Barnard i col·laboradors (1968) afirmaven que ofereix al professorat un potencial real per millorar l'ensenyament, reforçar i motivar per l'aprenentatge. Manifestaven que no tothom hi esta va d'acord, ja que encara que l'experiència durant els últims deu anys havia demostrat clarament que els estudiants podien aprendre tan bé —i en algunes situacions millor que sense—, els judicis subjectius dels estudiants, professors i administradors havien variat des de l'entusiasme fins a l'antagonisme. Desitjaven que els futurs sistemes utilitzessin la televisió més eficaçment, en una situació que la requereixi o justifiqui, amb un disseny menys convencional i utilitzant més seqüències properes i altres tècniques especials exclusives d'aquest mitjà.

Altres autors també manifestaven la utilitat d'aquest recurs en el procés d'ensenyament-aprenentatge (Haight, 1978), però afirmaven que la seva producció i el seu ús s'havien de limitar a tònics en els quals proporcionés clarament material que fos inaccessible d'una altra manera o per al qual la seva presentació fos clarament superior al sistema emprat de pissarra, discussió a classe o demostració en directe.

### 3.8.6 Vídeos

L'ús de vídeos gravats en un estudi de televisió era més barat i factible que comprar films comercials (Eubanks i Gelder, 1980). Són un mitjà amb unes grans possibilitats didàctiques i pràcticament van desplaçar les pel·lícules educatives de cine amb imatges, que tenen una qualitat superior però que presentaven nombrosos problemes a l'hora de projectar-les: tall de la cinta durant el visionat, pèrdua de temps i de material (Llitjós et al., 1997).

Rouda (1973) va introduir l'ús dels vídeos pel fet que no podia dedicar temps a tots els alumnes. Els vídeos preparaven els alumnes, i com que es tornaven a fer cada any podien veure els dels anys anteriors, la qual cosa millorava la qualitat de les produccions noves. Va constatar que els estudiants són uns excel·lents crítics sobre el valor instructiu de les cintes velles. Podien dir fàcilment quins eren els punts que necessitaven més o menys èmfasi o detall. Cada presentació contenia una demostració de l'experiment, incloent-hi el muntatge, les mesures de seguretat, una base teòrica apropiada i el tractament de les dades amb l'anàlisi d'errors. També n'havien de fer una presentació, amb la preparació de la xerrada, diapositives, etc. La duració dels vídeos era variable, entre 5 i 40 minuts.

Comenta que es va fer servir vídeo i no film perquè és més barat, ràpid, es pot visionar a l'instant i es pot tornar a gravar si es considera necessari. Els beneficis per als alumnes són considerables: estan molt familiaritzats amb l'experiment (aparell, mètode, teoria, càlculs, anàlisis d'errors), tenen una experiència molt valuosa en comunicació i saben organitzar una presentació en viu. A més, com que les presentacions fetes pels estudiants també es gravaven en vídeo podien tenir un feedback important. Els alumnes no ho consideraven un projecte popular però en treien un gran benefici personal.

Un dels objectius més habituals en la producció de vídeos és la millora del treball de laboratori: com a instrucció prèvia (Pantaleo, 1975; Lightfoot, 1978; Ferraro, 1983), per aprendre tècniques fonamentals i instrumentació de laboratori (Magee et al., 1977; Russell i Mitchell, 1979, Zimmerman i Jacobsen, 1996; Goedhart et al., 1998), com a tècniques de química orgànica (Browne, 1998a, 1998b), com a complement de les classes i preparació per al laboratori (Russell, 1984).

Pantaleo (1975) va preparar vídeos per eliminar o escurçar la instrucció prèvia al laboratori i prevenir les interrupcions de les sessions de laboratori amb qüestions addicionals o instruccions oblidades de donar, ja que trenquen la continuïtat de la sessió de laboratori. Els vídeos ajuden en aquests sentits i afavoreixen una major retenció de la informació presentada a través d'aquest mitjà. Una setmana abans de la realització de la pràctica, els alumnes havien de visionar el vídeo almenys una vegada. Es va observar un treball posterior més acurat per part dels alumnes.

Es van emprar vídeos com a recurs en casos de cursos amb un gran nombre d'alumnes matriculats (Russell i Mitchell, 1979; Russell, 1984; Bodner et al., 1984) per il·lustrar que la química és divertida en demostracions realitzades per estudiants d'escoles (Fortman i Battino, 1990, 1992), per augmentar l'educació científica dels estudiants (Becker, 2000) i per reduir costos (Rasmussen et al., 1980).

Russell i Mitchell (1979) descriuen com des del departament de química de la UCLA amb la Divisió de Televisió de la UCLA Media Center van elaborar quinze cintes de vídeo per a un curs complet d'introducció a la química. El desig d'obtenir una imatge de qualitat clara, equivalent a una interacció individual instructor-estudiant, exigia que la sèrie es fes amb càmeres de qualitat televisiva. Una de les observacions més impactants va ser la reducció en el temps necessari per realitzar el treball experimental. Sembla que hi ha una marcada millora de les habilitats dels estudiants al laboratori mesurada per la precisió en els seus resultats analítics quantitativs. Un altre benefici inesperat va ser la disminució de l'ansietat dels estudiants al laboratori, ja que després d'haver vist els vídeos se sentien més confiats respecte del que havien de fer.

Un altre motiu per emprar vídeos era com a substituïts del treball de laboratori, a causa dels problemes pressupostaris amb què s'enfrontaven tots els departaments de química de totes les regions del món. Aquest problema encara és vigent, a més de l'impacte mediambiental dels residus generats durant la realització de les pràctiques (Collins, 1995).

Cal considerar també que s'eviten els problemes de seguretat inherents a la manipulació de productes químics i aparells de laboratori. Russell (1984) comentava que les gravacions en vídeo de demostracions tenen com a avantatges el fet que sempre surten bé, el temps que tardarà ja es coneix, permeten emprar tècniques per escurçar el temps que tarda una demostració, es pot magnificar el que té lloc agafant plans molt propers i es poden mostrar experiències que són massa perilloses per a una classe en directe.

Un dels principals inconvenients de l'ús de les cintes de vídeo en l'ensenyament de la química és la gran quantitat de temps que es necessita per produir-les (Jegl et al., 1978; Llitjós et al., 1994). Jegl i col·laboradors (1978) descriuen que van tardar gairebé cinc anys a completar una sèrie de quaranta-una cintes. El període de temps per realitzar cada cinta va ser altament variable, però rarament era inferior a sis setmanes des de l'etapa del primer dibuix fins al producte acabat. Van emprar el sistema PLATO, desenvolupat a la Universitat d'Illinois, que proporcionava un sistema per fer edicions de text, gràfics, dibuixos sobre la filmació.

Les competències necessàries del professorat (o dels autors) i les fases per a la realització d'un vídeo educatiu de química s'exposen en un article publicat en la revista *Enseñanza de las Ciencias* (Llitjós et al., 1994).



A l'inici de la dècada del noranta, considerant la preproducció, la producció i la postproducció, un vídeo de 27 minuts de durada, amb dues localitzacions exteriors i una localització interior, representava un temps total de feina d'un equip (professorat de química i tècnics audiovisuals) aproximadament de set setmanes (Llitjós, 1991). Si només es considera la gravació, amb les localitzacions pactades i el guió —text i imatges— acabat, el temps es redueix a unes tres sessions de quatre hores. En el cas de vídeos amb una localització interior (laboratori), la reducció del temps emprat és considerable (Miró i Llitjós, 1992).

No obstant això, hi ha autors que afirmen que va ser molt fàcil fer gravacions en vídeo de procediments de laboratori disposant d'un estudi de televisió i de tot el material necessari preparat. Lightfoot (1978) deia que tardaven dues o tres hores per gravar una cinta de 30 minuts.

No es pot ignorar que en un futur immediat és molt probable que l'elaboració de vídeos tal com es presenta en aquest treball es vegi superada tant tècnicament com conceptualment per les possibilitats que ofereix l'aliança del món de la imatge amb el món de la informàtica i el desenvolupament de nous suports com ara els CD i els DVD (Llitjós et al., 1994). Actualment, gràcies als sistemes digitals de gravació s'ha simplificat molt tot el procés.

### 3.8.7 Videodiscs

La localització de la informació és molt més ràpida. L'accés amb videodiscs ofereix una nova i excitant oportunitat per augmentar l'eficiència i l'eficàcia de l'ensenyament. Russell i col·laboradors (1985) van trobar que l'ús dels videodiscs en l'ensenyament del laboratori produïa millors realitzacions de laboratori de les que es van aconseguir amb l'ús de cassetts de vídeo.

Segons Arlene Russell (1984), un cop es disposa del material audiovisual, afegir un component instructiu interactiu és un canvi menor en termes de costos. En canvi, és un profund canvi per als estudiants, que es converteixen en actius participants en els processos d'aprenentatge. Es procura que el hardware per utilitzar el videodisc no sigui superior al del vídeo, al qual ja estan acostumats els estudiants.

S'han emprat per fer simulacions sobre valoracions de laboratori i anàlisi quantitativa (Brooks et al., 1985; Moore i Holmes, 1995); per descriure una varietat d'accions generals: pesar, utilitzar indicadors diversos, pH-metres, punts finals de valoracions àcid-base, etc., de reaccions químiques, solubilitat, gasos, cinètica i equilibri (Smith i Jones, 1989); com a material complementari (Brooks, 1989); en demostracions de química orgànica (Trammell, 1993) i de química general (Ben-Zvi i Ragsdale, 1992a, 1992b; Banks, 1989; Moore et al., 1996).

Amb un videodisc connectat a un ordinador és possible seleccionar a l'atzar entre 54.000 imatges fixes o 30 minuts de vídeo, i es poden mesclar amb text i gràfics creats per ordinador en una pantalla. L'habilitat de combinar imatges televisives, gràfics fets per ordinador i tècniques educatives interactives mediades per ordinador crea un nou medi instructiu per a l'autoaprenentatge en el qual els estudiants poden interactuar amb imatges realistes fixes o en moviment de reaccions químiques (Smith i Jones, 1989).

La tecnologia dels videodiscs no es va arribar a estendre ni a implantar perquè requerien una infraestructura específica per visualitzar-los i perquè la tecnologia va canviar molt ràpidament a causa de l'avenç dels ordinadors personals i l'aparició dels discs compactes. Malgrat això, les possibilitats que oferien eren molt bones i la qualitat de les imatges era excel·lent.

### 3.8.8 CD i DVD

Alguns dels videodiscs que s'havien produït van ser digitalitzats i editats en format de CD-ROM (Banks i Holmes, 1995; Jacobsen i Moore, 1997). La producció de materials multimèdia emprant aquesta nova forma d'emmagatzemar dades va ser molt diversa: tècniques instrumentals (Judd et al., 1995), material complementari a llibres de text (Lisensky i Ellis, 1995), demostracions i experiències de química general (Banks i Holmes, 1997).

Cal destacar la col·lecció de sis CD anomenada *Chemistry Comes Alive!* per la qualitat de les imatges i del tractament de gravació (Jacobsen i Moore, 1997), organitzats com a hipermèdia, com si es tractés d'una pàgina web. S'han emprat per elaborar materials multimèdia interactius sobre tècniques de laboratori (March et al., 2000). Les noves tecnologies, però, evolucionen cap a nous formats com el DVD i se suposa que continuaran canviant si es manté la tendència de les últimes dècades.

### 3.8.9 Ordinadors

El nombre d'aplicacions en ordinadors en educació química ha anat creixent a un ritme constant des de la introducció de l'Altair el 1976. Moore i Moore (1984) comenten que cal considerar curiosament la manera com els ensenyaments basats en ordinador han d'afectar els enfocaments cap als temes que interessen a la química i els acostaments pedagògics que podem prendre.

Es poden desenvolupar noves idees sobre com emprar aquesta nova eina, prestant atenció als resultats del procés educatiu. Però una nova eina que no sigui emprada de forma innovadora i imaginativa pot simplement perpetuar i amplificar tot allò no satisfactori que tinguin les maneres tradicionals de fer les coses.

Moore i Collins (1979) deien que per la velocitat amb què els nous descobriments i desenvolupaments s'estan produint i tenint en compte que els costos dels equipaments, així com el temps que es necessita per adquirir-los i utilitzar-los continua disminuint, estem en un temps de transició de l'ordinador com a curiositat, a l'ordinador com a eina que tothom pot fer servir, almenys ocasionalment. L'ordinador personal va ser una primera promesa de millores en els mètodes educatius. Cal considerar la dificultat econòmica, perquè la creació dels programes resulta cara. I, en general, el nostre món educatiu no disposa d'aquests recursos.

A més, els estudiants han d'estar motivats per aprendre. No s'ha inventat cap màquina que evoqui l'excitació generada per un instructor entusiasta. El pensament humà és molt més complicat que el que un venedor de hardware mai hagi sospitat. Crosby (1989) reivindicava que els ordinadors han de servir per alliberar els professors per tal que exerceixin de tutors, diagnostiquin les dificultats dels estudiants, desenvolupin les seves capacitats per resoldre problemes i participin en la gestió acadèmica.

L'àmplia varietat de programes assequibles i la seva utilitat en diferents aspectes de la introducció a la química en estudiants de primer curs han estat documentades en nombroses publicacions durant els últims deu anys. Però l'ús efectiu de l'ensenyament per ordinador a gran escala continua sent un dels grans reptes de l'educació en química (Spain i Allen, 1990). Malgrat les esperances que van despertar els ordinadors com a tutors pacients per als alumnes, es va observar que la seva implementació no era tan fàcil. Alguns estudiants els trobaven difícils o avorrits, els programes no estaven preparats per ser emprats en el dia a dia i la informació que incloïen no satisfia les necessitats dels estudiants.

Es van començar a provar programes per a l'ensenyament de la química com ara el PLATO (Programmed Logic for Automatic Teaching Operations) a la Universitat d'Illinois. El 1982 es va començar el projecte SERAPHIM (Systems Engineering, Respecting, Acquisition, and Propagation for Heuristic Instructional Materials), que va originar la secció del *JCE: software*. El primer treball va aparèixer el maig del 1988, i des d'aleshores s'han anat descrivint programes diversos: creixement de cristalls en 2D, d'espectres d'emissió de ions i àtoms en fase gasosa fets amb dades reals, per veure i interpretar espectres d'IR (1993), generar espectres RMN (1994), HPLC (1995), etc. S'han creat programes per tractar dades de química computacional com SPARTAN, CaChe Molecular Modeling o HyperChem, entre d'altres.

El software d'ordinador permet el disseny de sistemes i ambients simbòlics que no són assequibles d'altra manera a les classes (Greenbowe, 1994). Per exemple, amb la *4M:Chem* els estudiants poden veure animacions a nivell molecular per representar dues espècies químiques, diferenciant-se en color i composició, en un equilibri en fase gasosa (Kozma et al., 1996; Russell i Kozma, 1994; Russell et al., 1997). Les tecnologies basades en ordinadors proporcionen un mitjà poderós per fomentar la comprensió molecular, perquè poden representar el pensament multinivell en química. Tenen la capacitat de presentar informació en sistemes simbòlics diferents però coordinats (Kozma, 1991).

Les tecnologies especialment prometedores són el vídeo interactiu, les xarxes i les eines d'aprenentatge cooperatiu. Nombrosos estudis conclouen que la tecnologia sola no és la solució. Aprofitar-ne els beneficis requereix primer una sòlida formació del professorat, desenvolupar nous materials curriculars, i el més important, canviar els models educatius. Els instructors han de ser com entrenadors o tutors mentre els estudiants es tornen lliures per descobrir el coneixement per si mateixos. Amb la tecnologia digital, els professors esdevenen facilitadors, col·laboradors, cercadors de recursos. Les xarxes contenen informacions, però els estudiants requereixen un guia (Lagowski, 1998).

Pallant i Tinker (2004) indiquen que els estudiants poden adquirir models mentals sòlids dels estats de la matèria a través d'exploracions guiades de models computacionals de la matèria basats en la dinàmica molecular. D'aquesta manera milloren la capacitat de transferir la seva comprensió de les fases de la matèria a nous contextos.

Com en tots els aprenentatges per descobriment, cal trobar un equilibri entre l'exploració lliure, que consumeix molt temps, i la instrucció per procediments, que pot ser més eficient però deixa als estudiants una comprensió superficial.

Un model molecular dinàmic fa servir la mecànica clàssica i aproximacions de les forces atòmiques per computar els moviments de col·leccions d'àtoms i molècules en dos o tres dimensions. Algunes de les idees centrals de la termodinàmica poden ser vistes amb els models moleculars dinàmics, com ara la temperatura, la conservació d'energia i l'augment d'entropia. Exemples en són la llei dels gasos ideals, l'equilibri tèrmic, canvis de fase, calors latents, estructures cristal·lines, difusió, expansió tèrmica, osmosi, absorció de gasos en sòlids i solubilitat. Els models moleculars dinàmics es fan servir àmpliament tant en la investigació com en l'educació per explorar el comportament de sistemes massa complexos per solucions tancades i poder seguir-ne l'evolució.

Hi ha hagut visions crítiques com la que manifestava David Brooks (1993) quan deia que, malgrat tot, l'estratègia d'ensenyament que preval és la del professor amb un guix a la mà. La pissarra és encara la tecnologia principal. Les transparències, la televisió i el vídeo han estat tecnologies infrautilitzades. La televisió ha tingut un ús mínim a les universitats. Existeixen uns excel·lents vídeos, però preparar-los per utilitzar-los a la classe requereix temps, sovint un temps excessiu, per part del professorat, que sempre és un bé escàs.

### 3.8.10 Internet i el WWW

Les primeres eines d'Internet eren textuais (*telnet*, *ftp*). Llavors va aparèixer el World Wide Web (WWW o web), que permetia incorporar altres tipus de contingut, com ara gràfics, àudio, vídeo, animacions. Els navegadors web poden entendre i mostrar informació en format *.html*.<sup>4</sup> Un dels grans poders del web i de l'*html* és que, a més de text, els documents poden contenir fotos, taules, gràfics, sons, dibuixos, imatges. Es poden afegir altres tipus d'informació que pugui ser capaç de ser mostrada o transmesa per un ordinador emprant un MIME (sigla que prové de l'anglès *multiparturpose Internet mail extension*, 'extensió de correu d'Internet per a ús múltiple') (Mounts, 1996). Se n'han desenvolupat diversos, com ara Chemical MIME, Rasmol, Chime, etc.

L'ús del web com a sistema per disseminar informació química ha anat augmentant exponencialment. Segurament en el futur als estudiants no se'ls donarà cap paper, només una adreça web (URL) per connectar-s'hi i veure els materials del curs. La majoria de recursos es poden digitalitzar, i es pot fer una classe emprant un ordinador i mostrant imatges, simulacions, experiments, problemes i activitats (Brooks, 1993). S'han editat tutorials en línia sobre estereoquímica (Parrill i Gervay, 1997) i sobre simetria molecular (Kormaz i Harwood, 2004).

A través d'Internet i especialment del web es poden fer acostaments instructius basats en problemes oberts, en entorns d'aprenentatge col·laboratiu entre estudiants (Slocum et al., 2004). Entre aquests hi ha el ChemLinks Coalition, de Beloit, i el Modular Chemistry Consortium, de Califòrnia, que és un mètode d'ensenyament modular basat en problemes reals. La idea és desenvolupar de trenta a quaranta mòduls que cobreixin tot el temari dels dos primers anys de química. La complexitat dels recursos que fan servir en aquests mòduls pot variar des de vídeos fins a animacions o simulacions fetes per ordinador, utilització de bases de dades, ús d'eines de visualització, etc.

---

<sup>4</sup> Informació en forma de *tags* (etiquetes) introduïda dins dels documents que indiquen al navegador com ha de presentar la pàgina, el format, les connexions, etc.

Desenvolupar continguts multimèdia comporta una llarga inversió de temps, de recursos i d'habilitats. Els autors pengen el que han fet a la web perquè creuen que aquests materials s'haurien de compartir per facilitar la feina. No és possible dedicar-se contínuament a preparar materials així. Tutorials, CD-ROM i finalment materials basats en el WWW s'han convertit en diferents mitjans per enriquir i facilitar l'aprenentatge de la química. Fins i tot s'ha creat una nova secció en el *JCE* anomenada JCE WebWare, on s'inclouen aplicacions o articles que en continguin i que puguin ser descarregats a través d'Internet (Coleman i Wildman, 2001).

La National Science Foundation (NSF), als Estats Units, ha creat la National Science, Mathematics, Engineering and Technology Education Digital Library (NSDL)<sup>5</sup>, un projecte que vol proporcionar el primer portal amb una àmplia col·lecció de serveis i continguts educatius d'alta qualitat actuals i futurs i, també, servir com a fòrum on els usuaris de recursos es puguin convertir en subministradors de recursos.

La NSF es preocupa per la manera d'obtenir i mantenir materials d'alta qualitat, la seva reutilització i arxiu, i la sostenibilitat de projectes destinats a aconseguir aquests propòsits. En aquest sentit, s'han creat bases de dades sobre estructures moleculars com la Common Molecules Collection (Sandvoss et al., 2003). La pàgina web de la Common Molecules està situada en una base de dades anomenada The Reciprocal Net<sup>6</sup>, que forma part de la NSDL.

Es creu que és pedagògicament important no només proporcionar animacions, vídeo i àudio als estudiants en l'ensenyament basat en el web, sinó també assegurar que entre ells tinguin interactivitat. El valor del web no rau simplement en la forma en què permet a grups de gent parlar els uns amb els altres. No és simplement un mitjà per conversar ni tampoc un simple mecanisme de transmissió. Combina tots dos recursos: proporciona un mitjà per conversar i perquè hi circulin objectes digitals.

Segons Eileen Scanlon i col·laboradors, el desenvolupament més important en educació superior en els darrers trenta anys ha estat l'ascensió de l'educació a distància, exemplificada pel desenvolupament de l'Open University, al Regne Unit (Scanlon et al., 2002). Les universitats convencionals s'han sentit atretes pel potencial d'ensenyament a baix cost, mediat tecnològicament, en la direcció de màxima distància, mínim cost i universitat virtual.

Però és un acostament erroni empènyer l'educació universitària cap a la web mentre es reté una pedagogia convencional. Afirmen que el futur per a la col·laboració a través d'Internet estarà en la comunicació sincrònica per mitjà de connexions de vídeo i compartició de pantalla. Des de mitjans dels setanta l'Open University utilitza Computer Assisted Learning (CAL). Últimament organitzen cursos sencers emprant el web. Els cursos es presenten per Internet i contenen materials textuais, alguns vídeos i àudios generalment enviats per correu convencional, encara que algun material és accessible electrònicament (Scanlon, 1997).

---

<sup>5</sup> National Science, Mathematics, Engineering and Technology Education Digital Library (NSDL). Es pot consultar a: <http://www.ndsl.org>

<sup>6</sup> The Reciprocal Net (Common Molecules). Es pot consultar a: <http://www.reciprocalnet.org>

Des de mitjan anys noranta, els recursos basats en el web s'han tornat àmpliament assequibles i adreçats a una varietat de temes de química (Dorland, 2002). La intenció és fer que Internet sigui tan simple de fer servir com el telèfon. Korkmaz i Harwood (2004) van examinar alguns materials de química accessibles a través del web.

La majoria eren apunts de classe accessibles en format html o pdf. No hi havia pràcticament interactivitat amb aquests materials, per tant, no són diferents dels mitjans impresos (llibre de text o apunts). També van trobar alguns materials que proporcionaven una bona interactivitat però generalment no aportaven les explicacions necessàries per guiar l'estudiant en el desenvolupament de la comprensió conceptual ni cap intent de connectar un concepte amb un altre.

En el capítol 9 d'aquest treball d'investigació es presenta la revisió i la valoració, des de la didàctica de la química, dels recursos audiovisuals d'accés lliure localitzats en el web. El coneixement acurat d'aquests recursos pot facilitar-ne la inclusió en l'ensenyament-aprenentatge de la química, per tal que formin part de materials innovadors que aprofitin el potencial didàctic de les noves tecnologies.