

Portant el laboratori virtual a l'aula de química: alguns coms i alguns perquè

Bringing the virtual lab into the chemistry classroom: some reflections on opportunities and goals

Jordi Cuadros / Universitat Ramon Llull, IQS, Barcelona.



resum

Encara que la utilització didàctica de les simulacions es proposa des de fa dècades, la realitat és que arriba poc a les aules. Sense entrar en els motius que ho generen, en aquest article es discuteixen formes, motius i limitacions per a la utilització de simulacions i laboratoris virtuals en el marc de l'educació secundària a Catalunya.

paraules clau

Simulació, laboratori virtual, educació secundària.

abstract

Although the educational use of simulations has been proposed for decades, they don't usually get into to the actual classroom. Without focusing in the causes, this paper presents ways, goals and limitations of the use of simulations and virtual labs in the Catalan secondary school system.

keywords

Simulation, virtual laboratory, high school.

Introducció

Per què no arriben les simulacions informàtiques a les aules? Els qui treballem desenvolupant i estudiant aquestes eines ens ho preguntem sovint. Però no espero respondre ara aquesta pregunta... només posar un gra de sorra perquè això canviï donant resposta a unes qüestions més senzilles: com podem usar-les?, per a què poden servir-nos?

Entenem per *simulacions informàtiques* la utilització de sistemes informàtics per a la representació d'un fenomen a partir d'un conjunt de models que en permeten

la manipulació, la comprensió i l'estudi. Les simulacions informàtiques són una de les eines més importants en la recerca actual (Hamming, 1997; Perros, 2009) i, de fet, es troben lligades al mateix origen de la informàtica, a través de les simulacions de balística que es duïen a terme amb els primers ordinadors o de les simulacions de les proves nuclears del Projecte Manhattan.

De la mateixa manera que passa en l'àmbit de la recerca, les simulacions també han anat trobant el seu paper en l'àmbit educatiu com a recurs didàctic, tot i

que cal reconèixer que el seu nivell d'utilització és molt divers: mentre que són fonamentals en àmbits com l'entrenament de pilots o la formació de metges (Magee, 2006), la seva utilització a la secundària o fins i tot a la universitat no es correspon amb les possibilitats que ofereixen.

D'altra banda, usem el terme *laboratori virtual* per referir-nos a aquelles simulacions en les quals l'activitat de l'usuari (l'alumne) és anàloga (o parcialment anàloga) a l'activitat que duria a terme en la situació real (Aldrich, 2005).

En aquest article, presento un laboratori virtual amb el qual he estat treballant en els darrers anys: el laboratori virtual de The ChemCollective, un grup de recerca del Departament de Química de la Carnegie Mellon University (Pittsburgh, PA, Estats Units d'Amèrica) (*The ChemCollective*, 2010). Tot i que la presentació es limitarà (majoritàriament) a aquesta eina concreta, penso que el text permetrà una segona lectura: què cal tenir en compte en fer servir una simulació a l'aula. Als qui heu arribat fins a aquí, espero que el que ara vindrà us resulti interessant.

Com podem trobar una simulació o un laboratori virtual?

La pregunta que inicia la reflexió sobre la utilització d'una simulació és l'avaluació de les eines disponibles: com podem trobar-la?, quina simulació?, quin laboratori virtual?

No crec que sigui el moment de fer una nova llista de les eines disponibles. Simplement apunto algunes referències que us poden ser útils quan cerqueu simulacions per a la vostra tasca docent i/o d'aprenentatge:

– National Science Digital Library (<http://www.nsdlib.org>): biblioteca de recursos per a l'ensenyament de la ciència. Podeu, per exemple, cercar amb els termes *chemistry* i *simulation*.

– MERLOT Chemistry Portal (<http://chemistry.merlot.org/>): portal de química de la biblioteca digital MERLOT.

– Chemical Education DL (<http://www.chemeddl.org>): biblioteca digital de recursos educatius de química. Forma part de la NSDL i està promoguda, entre d'altres, pel *Journal of Chemical Education*.

– PhET Interactive Simulations (<http://phet.colorado.edu/index.php>): dipòsit de simulacions provades i avaluades per al seu ús a l'aula. Hi ha recursos de física, de química i d'altres disciplines científiques.

– The ChemCollective (<http://www.chemcollective.org/>): col·lecció de recursos per a l'ensenyament de la química especialment orientats al batxillerat i al primer any dels estudis universitaris. Hi ha classes enregistrades, problemes contextualitzats, simulacions, tests conceptuals, etc. (Yaron et al., 2008). Són especialment interessants el laboratori virtual i el conjunt de proble-

mes (pràctiques virtuals) que hi ha disponibles.

Els cinc espais web indicats inclouen recursos d'ús gratuït, encara que s'hi pot trobar també algun recurs de tipus comercial. Pel que fa a l'idioma, tal com es pot suposar, l'anglès és el predominant.

Com podem usar-la?

Un cop trobada i seleccionada la simulació desitjada, cal que siguem capaços de fer-la servir.

La majoria de les simulacions recollides en les adreces presentades són o bé arxius instal·lables o bé, la majoria, s'usen directament des del navegador web. En aquest darrer cas, és habitual que calgui tenir instal·lat el connector Flash Player (<http://www.adobe.com/es/products/flashplayer/>) i/o una màquina virtual Java (<http://www.java.com/es/download/>). Ambdós són gratuïts i molt comuns; probablement ja estaran instal·lats tant en els vostres equips com en els dels vostres alumnes.

Normalment, les simulacions i els laboratoris virtuals que es poden trobar en aquestes biblioteques digitals són senzills i d'un ús força intuitiu. Algunes vega-

El laboratori virtual de The ChemCollective és un entorn de simulació que representa un laboratori de química centrat en dissolucions aquoses. És d'ús gratuït i es pot usar tant en línia com instal·lat sense connexió. Està traduït i funciona en diversos idiomes, inclòs el català. Es pot usar en línia des de http://www.chemcollective.org/iqs/index_ca.htm

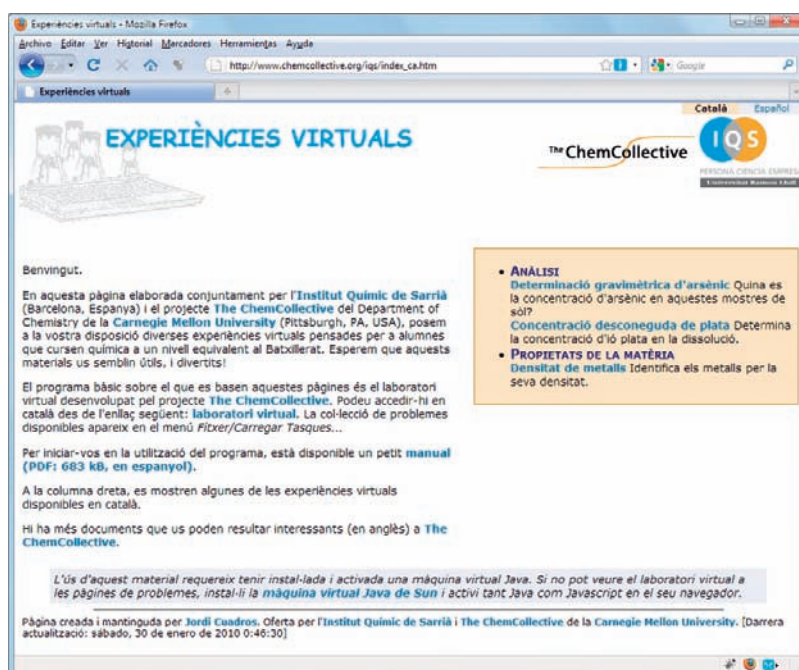


Figura 1. Pàgina web des d'on executar el laboratori virtual en català.

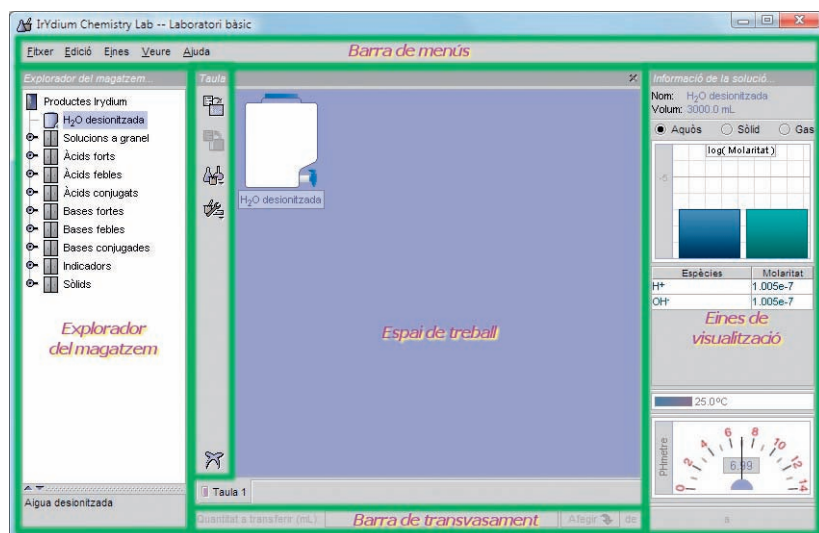


Figura 2. Interfície del laboratori virtual en català.

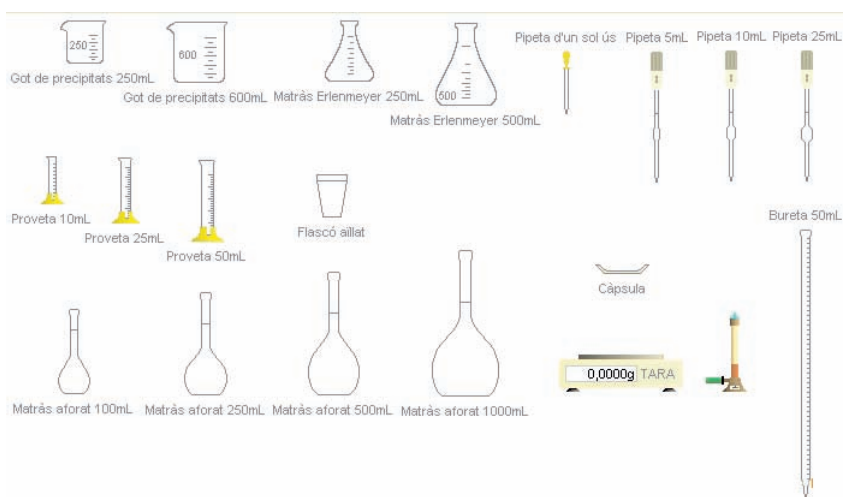


Figura 3. Utiltatge del laboratori virtual de The ChemCollective.

des, l'eina és més àmplia i més versàtil, i això fa que una introducció al seu ús sigui d'agrair. Aquest és el cas del laboratori virtual de The ChemCollective que presento a continuació.

El laboratori virtual de The ChemCollective és un entorn de simulació que representa un laboratori de química centrat en dissolucions aquoses. És d'ús gratuït i es pot usar tant en línia com instal·lat sense connexió. A més, està traduït i funciona actualment en alemany, anglès, àrab, català, espanyol, francès, gallec, grec, lituà, portuguès, rus i xinès.

Es pot descarregar des de l'adreça web

<http://www.chemcollective.org/applets/vlab.php> i es pot usar en línia (en català) des de http://www.chemcollective.org/iqs/index_ca.htm (vegeu la figura 1). La seva execució requereix d'una màquina virtual Java instal·lada en el sistema. Pot ser executat en qualsevol sistema operatiu per als quals existeixin màquines virtuals Java, incloses les diferents versions de Windows, MacOS-X, Linux i una gran part dels sistemes UNIX.

L'execució del laboratori virtual en ambdós entorns, web o local, dona lloc a la mateixa interfície, que es mostra a la figura 2. En aquesta interfície, s'hi diferencien sis elements:

- La barra de menús, a la part superior.
- L'explorador del magatzem, a la banda esquerra, que permet accedir a les dissolucions disponibles per a l'experimentació.
- L'espai de treball, a la zona central.
- La barra de botons, vertical, a l'extrem esquerre de l'espai de treball.
- La barra de transvasament, sota l'espai de treball.
- Les eines de visualització, a la part dreta de la interfície, que mostren la informació relativa a la dissolució seleccionada.

Malgrat que la interfície pugui semblar complexa, les operacions més importants es duen a terme amb molta facilitat, de manera que els usuaris s'acostumen a l'aplicació amb pocs minuts de pràctica (especialment els alumnes; els docents triguen una mica més). A continuació, es resumeixen els procediments corresponents a les accions més habituals.

- Com es porta un reactiu a l'espai de treball?

S'obre l'armari fent doble clic sobre les seves portes i s'arrossega el reactiu desitjat a l'espai de treball.

- Com s'agafa un recipient buit (i net) o un instrument?

Se selecciona l'utiltatge desitjat a través del menú «Eines» o del tercer (material de vidre) i quart (instruments) botó de la barra vertical de botons. (Figura 3)

- Com s'elimina un objecte de l'espai de treball?

Se selecciona l'objecte en qüestió i es prem el botó «Del./Supr.» (suprimir) del teclat o el botó «Eliminar» a la barra vertical de botons.

- Com es transvasa contingut d'un recipient a un altre?

S'arrossega el recipient que conté allò que es vol transferir i

En el context del laboratori, els laboratoris virtuals no poden substituir els laboratoris reals en termes d'adquisició de les destreses pràctiques, però poden afavorir l'adquisició d'altres continguts com estratègies d'indagació, o la recollida i el tractament de dades experimentals

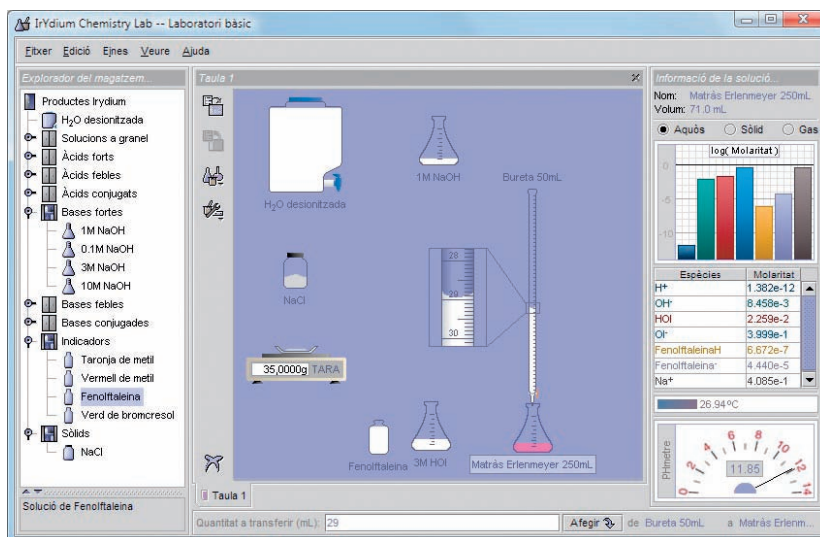


Figura 4. Mesures en el laboratori virtual.

es deixa anar sobre el recipient on es vol afegir contingut. En aquest moment queda activada la barra de transvasament, que s'usa per indicar la quantitat que es vol transvasar.

– Com es canvien les propietats tèrmiques (temperatura, aïllament)?

Es fa clic amb el botó secundari del ratolí sobre l'objecte corresponent i se selecciona l'opció «Propietats tèrmiques...» del menú contextual. En el quadre de diàleg que es mostra a continuació, s'hi indica la nova temperatura i si el recipient s'ha d'aïllar de l'entorn.

– Com es mesuren la concentració, la temperatura i el pH?

Se selecciona el recipient corresponent i es llegeixen la concentració, la temperatura i/o el pH en el panell de la banda dreta, en les eines de visualització corresponents. No totes les eines de visualització estan disponibles per a tots els problemes; en cas que la propietat desitjada no sigui mesurable directament, caldrà dissenyar un experiment per determinar-la.

– Com es mesura la massa?

La massa es mesura amb l'ajut de la balança que forma part dels instruments del laboratori virtual.

Cal recordar que s'ha de tarar el recipient abans de la pesada i que no tots els recipients del mateix tipus pesen el mateix.

– Com es mesura el volum?

El volum es mesura usant el material volumètric apropiat (proveta, bureta, pipeta o matràs aforat). Tot i això, el volum sovint es mostra a la part superior de les eines de visualització, encara que de vegades aquesta informació sigui aproximada. (figura 4)

– Com s'accedeix als problemes?

Per accedir als problemes predissenjats del laboratori virtual, cal seleccionar el menú «Fitxer > Carregar tasques...». En el quadre de diàleg es mostra el conjunt dels problemes disponibles en els diferents idiomes. Se cerca i se selecciona el problema desitjat. Cal tenir present que la selecció d'un nou problema neteja l'espai de treball.

Per a què? Els laboratoris virtuals i les modalitats didàctiques

Un cop familiaritzats amb l'eina, és el moment de fer-nos la pregunta següent: què fem amb ella?, per a què la usarem?

En fer-ho, és bo de recordar l'anàlisi de Clark (1983): «Les tecnologies són simples vehicles de lliurament de la instrucció, però

no influeixen en els assoliments dels alumnes més del que els camions que reparteixen els aliments provoquen canvis en la nostra nutrició». En definitiva, la tecnologia per la tecnologia no millora l'aprenentatge, sinó que cal cercar com podem aconseguir que les oportunitats tecnològiques es converteixin en oportunitats per a un millor aprenentatge.

És habitual de plantejar l'ensenyament de les disciplines científiques en la interacció de dues modalitats didàctiques: l'ensenyament didàctic, la teoria, i l'ensenyament experimental, la pràctica o el laboratori. En aquesta dicotomia, la referència a laboratoris virtuals sol relacionar-se amb l'ensenyament experimental, sovint per tancar el tema tot dient que els laboratoris virtuals no poden substituir els laboratoris reals.

Des de la pràctica de l'ús de laboratoris virtuals en l'ensenyament de la química, la visió és diferent i s'integra en ambdues modalitats didàctiques.

En el context del laboratori, s'entén que els laboratoris virtuals no poden substituir els laboratoris reals en termes d'adquisició de les destreses pràctiques, com la manipulació de l'utilatge i dels reactius químics, però, en canvi, poden afavorir l'adquisició d'al-

tres continguts, com el coneixement de l'utilitatge, de les tècniques analítiques, el desenvolupament d'estratègies d'indagació o la recollida i el tractament de dades experimentals. Així, a la University of British Columbia (Nussbaum i The ChemCollective, 2010), el laboratori virtual s'usa dintre de l'assignatura de Laboratori en una modalitat didàctica que combina laboratoris reals i laboratoris virtuals. D'altra banda, a la University of Arkansas a Little Rock (Belford, 2009), els laboratoris virtuals s'usen com a recursos per preparar el laboratori real i com a ajuda per a la reflexió posterior.

En canvi, en el context de la Carnegie Mellon University, els laboratoris virtuals s'usen per dur a terme activitats assignades als alumnes fora de l'horari lectiu per tal d'afavorir una resolució de problemes més autèntica, tant pel que fa a la proximitat a les activitats dels professionals químics com a la naturalesa de la resolució de les qüestions plantejades menys algorísmiques i més conceptuals (Yaron et al., 2000; Yaron et al., 2001; Yaron et al., 2005, *Open Learning Initiative*, 2010). En definitiva, la utilització del laboratori virtual pretén reforçar l'ensenyament didàctic evitant la resolució dels problemes plantejats sense la reflexió necessària entorn dels resultats obtinguts.

Encara dins de l'ensenyament didàctic, els laboratoris virtuals també poden ser útils per mostrar fenòmens i plantejar discussions, bé a l'inici del tema com a element de motivació, bé en el transcurs del mateix per exemplificar conceptes i/o discutir-ne la seva aplicació.

Per a què? Continguts abordables

Una segona aproximació a allò que es pot dur a terme amb la simulació és la corresponent als continguts a l'adquisició dels quals pot donar suport.

El laboratori virtual de The ChemCollective és, tal com ja s'ha comentat, un laboratori basat en dissolucions aquoses i, per tant, queden fora del seu abast aquells experiments que requereixen de treballar amb altres dissolvents o fer manipulacions que vagin més enllà de la barreja de preparats: la dissolució, la reacció química en medi aquós, la precipitació i la mesura de volum, massa, temperatura o pH.

Tot i aquestes limitacions, els continguts abordables amb l'ajut del laboratori virtual són força amplis (només cal veure la llista de problemes inclosa al menú «Carregar tasques»; (vegeu la figura 5) i inclouen, com a mínim, els que es mostren a continuació, relacionats amb el marc legal vigent a Catalunya (decrets 143/2007 i 142/2008). Es proposen en paral·lel exemples per a la uti-

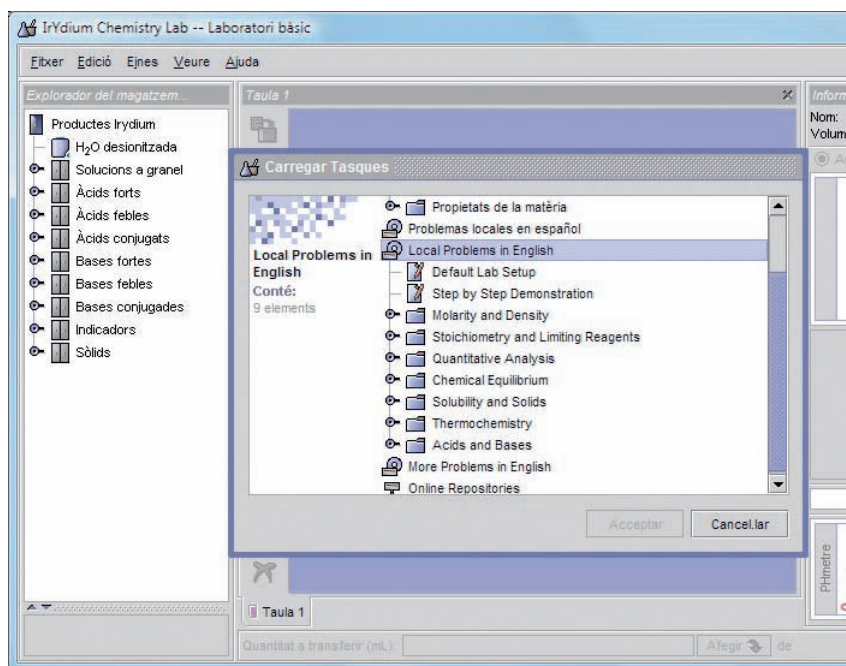


Figura 5. Quadre de diàleg "Carregar Tasques..." on es mostren alguns dels temes per als quals hi ha problemes creats en anglès.

Activitats per treballar continguts de la ESO i el batxillerat

- *La matèria* (ESO, Ciències de la naturalesa). Mesura de la massa i el volum de sòlids i líquids. Ús de la balança i de material volumètric. Diferenciació de materials per la seva densitat. Càlcul experimental de la densitat de diferents materials. Preparació experimental de dissolucions i de diferents concentracions.

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «Densitat de metalls», que es troba a «Problemes locals en català > Propietats de la matèria».

- *Les reaccions químiques* (ESO, Ciències de la naturalesa). Observació de canvis químics relacionats amb fenòmens quotidians: reaccions àcid-base, d'oxidació, de precipitació, etc. Comprovació experimental de la conservació de la massa d'un sistema tancat. Càlcul de la massa de reactius i productes en una reacció química senzilla.

Usant el laboratori bàsic, pesa 2,0 g de clorur sòdic i afegeix-los a 100 mL d'aigua. Què ha passat amb el clorur sòdic? Quina és la massa de la solució obtinguda?

- *Energia i canvis químics* (ESO, Ciències de la naturalesa). Reconeixement de la transferència d'energia en les reaccions químiques.

Usant el laboratori bàsic, barreja 100 mL d'àcid clorhídric 3M i 100 mL d'hidròxid sòdic 3M. Observa què passa amb la temperatura i explica-ho.

- Estructura i propietats de les substàncies (ESO, Física i química). Diferenciació de les propietats de les dissolucions àcides i bàsiques. Mesura del pH. Caracterització de les reaccions químiques de neutralització.

Usant el laboratori bàsic, anota les concentracions dels ions hidròni i hidroxil de les solucions àcides següents: àcid clorhídric 1M, àcid hipobromós 1M, àcid cianhídric 1M, i de les bàsiques següents: hidròxid sòdic 1M, piridina 1M. En què es diferencien les solucions àcides de les solucions bàsiques?

- Els gasos, líquids i solucions (batxillerat, Química). Expressió de la composició de les solucions: percentatge en massa i en volum, ppm, concentració en massa i concentració en quantitat de substància. Preparació d'una solució d'una concentració determinada.

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «Sucrose problem», que es troba a «Local problems in English > Molarity and density».

- Les reaccions químiques (batxillerat, Química). Investigació experimental de la calor d'una reacció i dels factors dels quals depèn. Realització de càlculs estequiomètrics en reaccions en les quals intervenen sòlids i solucions.

Identificació del reactiu limitant. Caracterització i determinació experimental de les propietats dels àcids i de les bases. Definició i aplicació del concepte pH. Determinació experimental de la quantitat d'un àcid o una base que conté un producte quotidià. Predicció i observació de reaccions de precipitació.

Observació experimental de diferents reaccions redox. Realització experimental d'una valoració redox per determinar la quantitat d'una espècie química present en un producte químic o en un fàrmac.

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «Permanganato por valoración redox», que es troba a «Problemas locales en español > Estequiometría».

- Els canvis d'energia en les reaccions químiques (batxillerat, Química). Determinació experimental de la calor d'una reacció i interpretació com a variació d'energia interna o d'entalpia.

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «De camping», que es troba a «Problemas locales en español > Termoquímica».

- L'equilibri de fases i l'equilibri químic (batxillerat, Química). Caracterització de l'equilibri químic. Utilització de la comparació entre el quocient de reacció (Q_c o Q_p) i la constant d'equilibri per predir el sentit d'una reacció. Càlcul de les concentracions en l'equilibri a partir de la constant d'equilibri i les concentracions inicials. Deducció dels factors que influeixen en l'equilibri (concentració i temperatura) a partir de l'expressió de la constant d'equilibri d'una reacció, i predicció i observació experimental del sentit del desplaçament d'un equilibri quan es varia algun d'aquests factors.

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «Complejos de cobalto», que es troba a «Problemas locales en español > Equilibrio químico».

- Els equilibris químics iònics (batxillerat, Química). Comparació de la força relativa d'àcids i bases mitjançant les constants d'acidesa i de basicitat. Investigació de la variació del pH en diluir un àcid fort i un àcid feble. Predicció qualitativa i càlcul del pH en solucions d'àcids, bases i sals. Observació dels canvis de color de diferents indicadors àcid-base. Obtenció de la corba de valoració d'un àcid i d'una base forts. Observació de la capacitat reguladora del pH de certes solucions. Concepte qualitatiu de solució reguladora del pH. Observació experimental i caracterització dels equilibris de solubilitat de compostos iònics poc solubles. Relació entre la solubilitat d'un compost iònic poc soluble i la constant del producte de solubilitat (K_{ps}). Predicció de la formació d'un precipitat en barrejar dues solucions iòniques a partir de la comparació entre Q_{ps} i K_{ps} .

Es pot usar, per exemple, la pràctica virtual «Determining the solubility product», que es troba a «Local problems in English > Solubility and solids»

lització del laboratori virtual per als diferents blocs de continguts.

En aquesta relació s'han deixat de banda, intencionadament, els continguts comuns de les diferents àrees curriculars (comprensió de fenòmens i situacions complexos, investigar problemes, obtenir dades i reconèixer evidències, extraure conclusions, validar-les, etc.), que poden i haurien de ser tractats juntament amb els continguts presentats.

Els problemes disponibles al dipòsit de The ChemCollective es poden classificar entorn de tres aproximacions bàsiques que il·lustren com es pot usar aquesta eina per reforçar els conceptes següents:

- Observa i explica.
- Prediu i comprova.
- Dissenya el teu experiment.

Per a què? Unes activitats tipus

Una tercera aproximació a la utilització de les simulacions i els laboratoris virtuals és la reflexió sobre el tipus d'activitats que es poden dur a terme amb aquests recursos.

Si analitzem els problemes disponibles al dipòsit de The ChemCollective, aquests es poden classificar entorn de tres aproximacions bàsiques que il·lustren com es pot usar aquesta eina per reforçar els conceptes següents:

– Observa i explica: es demana a l'alumne que dugui a terme un conjunt d'operacions en el laboratori virtual i que observi els canvis que hi tenen lloc. A partir de les observacions recollides, se n'elaborarà una explicació que, habitualment, implicarà la utilització dels continguts objecte d'aprenentatge.

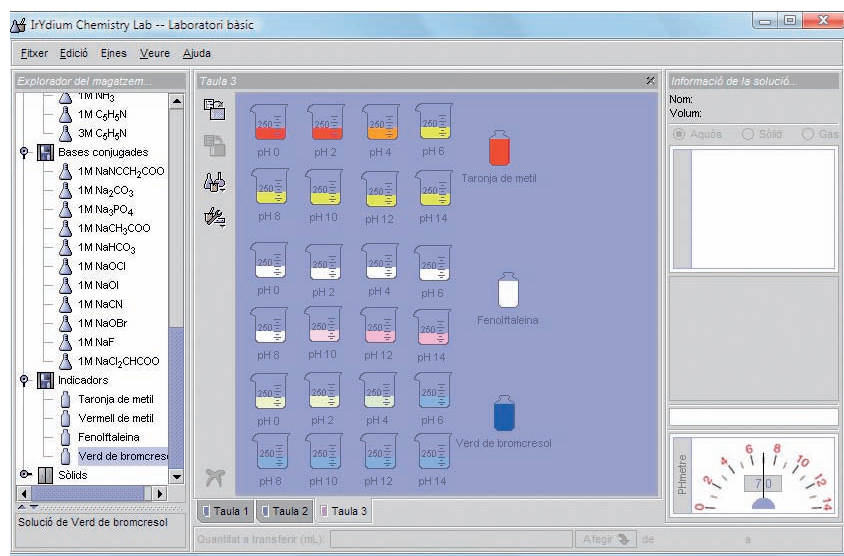


Figura 6. Indicadors del laboratori bàsic.

N'és un exemple la pràctica virtual «Temperature and the solubility of salts», que es troba a «Local problems in English > Solubility and solids».

– Prediu i comprova: en aquest model, el laboratori funciona com a eina d'avaluació i retroalimentació del treball realitzat. Es demana a l'alumne que resolgui algorítmicament la tasca indicada i que utilitzi el resultat en el laboratori virtual, bé per comprovar el seu treball, bé per obtenir la dissolució desitjada. Aquesta aproximació força l'alumne a reconceptualitzar el resultat matemàtic i relligar-lo amb l'enunciat de l'activitat plantejada.

La pràctica virtual «Coffee», que es troba a «Local problems in English > Thermochemistry», correspondria a aquesta categoria.

– Dissenya el teu experiment: en aquest cas, l'alumne es troba amb un problema que ha de resoldre dissenyant un o més experiments que li permetin d'obtenir les dades necessàries per respondre a la qüestió plantejada. L'element més característic d'aquest tercer tipus és l'obertura del problema plantejat.

Un exemple podria ser la pràctica virtual «El oráculo», que es troba a «Problemas locales en español > Estequiometría».

Tal com és habitual, aquestes categories es relacionen fàcilment amb altres classificacions i propostes didàctiques. Per exemple, si seguim la classificació dels treballs pràctics experimentals proposada per Caamaño (2005), les pràctiques virtuals «Observa i explica» es relacionen amb les experiències (especialment, les interpretatives); les pràctiques virtuals «Prediu i comprova», amb els exercicis pràctics (especialment, els de comprovació), i les pràctiques virtuals «Dissenya el teu experiment» corresponen a les investigacions.

En relació amb els dos primers tipus proposats, també es poden construir amb facilitat activitats basades en el model POE (Predict-Observe-Explain) proposat per White i Gunstone (1992) per a l'adquisició de continguts de l'àmbit científic a partir del coneixement previ i les concepcions alternatives dels estudiants.

Els laboratoris virtuals es relacionen d'una manera significativa amb les competències bàsiques següents:

- Competència del coneixement i la interacció amb el món físic.
- Tractament de la informació i competència digital.
- Competència d'aprendre a aprendre.
- Competència d'autonomia i iniciativa personal.

Per a què? Competències treballables amb els laboratoris virtuals

La darrera mirada sobre les oportunitats de les simulacions i els laboratoris virtuals que plantejo en aquest text se centra en les competències. Per a l'adquisició de quines competències poden servir aquestes eines?

Encara que les competències no solen desenvolupar-se de manera independent les unes de les altres i que es poden pensar activitats orientades a totes les competències previstes en els currículums tant de l'ESO com del batxillerat, no és menys cert que per a algunes competències aquests recursos ofereixen possibilitats a considerar.

En l'àmbit de l'educació secundària, les simulacions i els laboratoris virtuals es relacionen d'una manera especialment significativa amb les competències bàsiques següents:

- Competència del coneixement i la interacció amb el món físic, a través del treball amb els continguts de les disciplines científiques.

En el batxillerat, es poden usar aquestes eines per incidir de manera preferent en les competències següents:

- Competència en el coneixement i la interacció amb el món, en particular en la indagació i experimentació en el camp de la química.

- Competència en recerca.

- Competència digital.

- Tractament de la informació i competència digital, tot incidint en l'obtenció i el tractament de dades i en la utilització de models i simulacions com a eines informàtiques de la societat de la informació.

- Competència d'aprendre a aprendre, a través del contrast d'idees i models i de la interpretació de les observacions i del plantejament de vies de resposta a problemes determinats.

- Competència d'autonomia i iniciativa personal, a partir d'activitats obertes en les quals intervingui la creativitat en el disseny del procés de resolució i en les quals la simulació permeti l'autoavaluació del treball realitzat.

En el batxillerat, es poden usar aquestes eines per incidir de manera preferent en les competències següents:

- Competència en el coneixement i la interacció amb el món, tot usant-les per a l'adquisició dels coneixements propis de l'assignatura de Química, en particular, i en el desenvolupament de les seves competències específiques: «Indagació i experimentació en el camp de la química, en la comprensió de la naturalesa de la ciència i de la química en parti-

cular, i en la comprensió i capacitat d'actuar sobre el món fisicoquímic» (Decret 142/2008).

- Competència en recerca, a partir de la realització d'experiments virtuals en els quals intervinguin la planificació dels experiments, la recollida de dades i la interpretació dels resultats.

- Competència digital, a través de la mateixa utilització de les simulacions com a recurs informàtic per a la reflexió científica.

Límits? Una darrera reflexió sobre els models ocults

No semblaria adequat el fet d'acabar aquest article sobre les possibilitats dels laboratoris virtuals en l'ensenyament de la química a l'educació secundària sense fer una menció, encara que breu, als seus límits.

Al meu entendre, una de les principals dificultats en l'ús de simulacions i laboratoris virtuals és la utilització de models i assumpcions en la creació de la simulació que no es fan explícits i romanen ocults tant per als docents com per als alumnes. Això implica el risc de prendre com a resultat correcte una observació que realment és producte de les simplificacions realitzades i que no és coherent amb el comportament real del sistema simulat.

Consegüentment, les advertències d'ús de les simulacions i dels laboratoris virtuals han d'incloure el fet de documentar-se sobre els models usats en les representacions i mai no s'ha intentar dur una simulació més enllà del domini per al qual ha estat dissenyada.

En el cas del laboratori virtual de The ChemCollective en el seu funcionament per defecte, els models ocults inclouen el següent:

- Propietats independents de la temperatura: les espècies tenen densitat constant amb la tempe-

ratura (no hi ha dilatació). Les entalpies i entropies de reacció són invariants respecte a la temperatura. Per a les tres variables, s'usen els valors a 298,15 K.

- Sistemes aquosos monofàsics en fase líquida: la simulació es basa en dissolucions aquoses (dissolvent aigua), encara que l'aigua sigui el component minoritari (per exemple, en el cas de l'àcid sulfúric concentrat). No hi ha congelació ni evaporació.

Només hi ha una fase líquida. No se simula l'alliberament de gasos. L'única segona fase que pot aparèixer en el sistema són sòlids precipitats.

- Volums additius: el volum de la dissolució resultant és igual a la suma dels volums de les dissolucions barrejades.

- Solut sense volum: les espècies en dissolució no ocupen volum, només ocupen volum els líquids i els sòlids.

- Solut i flascons sense capacitat calorífica: els soluts no contribueixen a la capacitat calorífica de la dissolució; els flascons no absorbeixen calor.

- Simulació termodinàmica: totes les reaccions són immediates i controlades termodinàmicament. El factor *temps* no està simulat, com tampoc no ho estan les limitacions cinètiques que puguin presentar determinades reaccions químiques; la simulació avança fins a la situació termodinàmicament estable.

- Solucions ideals: totes les solucions són considerades ideals, és a dir, que els coeficients d'activitat dels soluts són la unitat per a tots els càlculs; no és té en compte la força iònica de les solucions.

- Reaccions en fase líquida: només hi ha reacció si hi ha dissolvent; les reaccions entre sòlids no se simulen.

Algunes pràctiques virtuals estan elaborades de manera que

superen aquestes limitacions. Però, en qualsevol cas, caldrà tenir en compte que alguns dels fenòmens virtuals observats poden veure's afectats per aquestes limitacions dels models usats.

Bibliografia

- ALDRICH, C. (2005). *Learning by doing: A comprehensive guide to simulations, computer games and pedagogy in e-learning and other educational experiences*. San Francisco: Pfeiffer.
- BELFORD, R. E. (2009). *UALR Virtual Laboratory* [en línia]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University. <<http://ualr.edu/rebelford/labs/vlab/vlab.htm>>." hauria de ser "BELFORD, R. E. (2009). *UALR Virtual Laboratory* [en línia]. Little Rock: University of Arkansas at Little Rock. <<http://ualr.edu/rebelford/labs/vlab/vlab.htm>>.
- CAAMAÑO, A. (2005). «Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes» [en línia]. *Educación Química*, 16(1): 10-19. <http://garritz.com/educacion_quimica/161-caam.pdf>.
- CLARK, R. E. (1983). «Reconsidering reseach on learning from media». *Review of Educational Research*, 53(4): 445-459.
- Decret 143/2007, de 26 de juny, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments de l'educació secundària obligatòria. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 4915 (29 de juny de 2007), p. 21870-21946.
- Decret 142/2008, de 15 de juliol, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments del batxillerat. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, núm. 5183 (29 de juliol de 2008), p. 59042-59401.
- HAMMING, R. W. (1997). *The art of doing science and engineering (learning to learn)*. Amsterdam: Gordon and Breach.
- MAGEE, M. (2006). *State of the field review. Simulation in education. Final report* [en línia]. Calgary: Alberta Online Learning Consortium. <<http://www.ccl-cca.ca/pdfs/StateOfField/SFRSi-mulationin-EducationJul06REV.pdf>>.
- NUSSBAUM, S.; THE CHEMCOLLECTIVE (2010). *The Iridium Project* [en línia]. Pittsburgh: Carnegie Mellon University. <http://www.chem.ubc.ca/courseware/121_virtual_lab/>." hauria de ser "NUSSBAUM, S.; THE CHEMCOLLECTIVE (2010). *The Iridium Project – UBC Chem 121 and 154 Virtual Lab* [en línia]. Vancouver: University of British Columbia. <http://www.chem.ubc.ca/courseware/121_virtual_lab/>.
- PERROS, H. (2009). *Computer simulation techniques: The definitive introduction!* [en línia]. Raleigh: Harry Perros. <<http://www.csc.ncsu.edu/faculty/perros/simulation.pdf>>.
- WHITE, R. T.; GUNSTONE, R. F. (1992). *Probing understanding*. Londres: Falmer Press.
- YARON, D.; CUADROS, J.; KARABINOS, M.; LEINHARDT, G.; EVANS, K. L. (2005). «Virtual laboratories and scenes to support chemistry instruction» [en línia]. A: *About invention and impact: Building excellence in undergraduate STEM education*. Washington: American Association for the Advancement of Science, p. 177-182. <http://www.aaas.org/publications/books_reports/CCLI/>.
- YARON, D.; FREELAND, R.; LANGE, D.; MILTON, J. (2000). «Using simulations to transform the nature of chemistry homework» [en línia]. A: *ConfChem (CONFerences on CHEMistry): On-line teaching methods*. Washington: American Chemical Society. <<http://www.chemcollective.org/pdf/papers/confchem-CMU.pdf>>.
- YARON, D.; FREELAND, R.; LANGE, D.; KARABINOS, M.; MILTON, J.; BELFORD, R. (2001). «Uses of a flexible virtual laboratory simulation in introductory chemistry courses» [en línia]. A: *ConfChem (CONFerences on CHEMistry): On-line teaching methods*. Washington: American Chemical Society.
- YARON, D.; KARABINOS, M.; EVANS, K. L.; CUADROS, J.; DAVENPORT, J.; LEINHARDT, G.; GREENO, J. G. (2008). «The ChemCollective digital library» [en línia]. A: *ConfChem (CONFerences on CHEMistry): On-line teaching methods. Spring 2008*. Washington: American Chemical Society. <<http://www.chemcollective.org/about/paper/confchem08/cc08.pdf>>.



Jordi Cuadros Margarit

és professor titular de la Universitat Ramon Llull a l'IQS, dintre del Departament d'Estadística Aplicada. És doctor en química i ha estat treballant durant dos anys amb el projecte «The ChemCollective» a la Carnegie Mellon University (Pittsburgh, PA, Estats Units d'Amèrica). Entre les preocupacions que centren la seva recerca, es troben la didàctica de la química, la utilització de simulacions per a la millora de l'aprenentatge de química i física i les relacions entre ciència, tecnologia i societat. Col·labora en la coordinació dels cursos per a docents de química a l'ensenyament secundari que s'ofereixen a l'IQS i és a coautor del llibre *Ciències per al món contemporani*.

A. e. jordi.cuadros@iqs.edu.