

Omplim de simulacions la classe de química!

Let's bring simulations into the chemistry classroom

Jordi Cuadros i Núria Marimon / IQS Universitat Ramon Llull



resum

Les simulacions són una eina útil per a l'ensenyament de la ciència. L'ús de simulacions facilita la il·lustració dels conceptes científics i el desenvolupament d'activitats d'indagació en què l'alumne descobreix o aplica els continguts curriculars. D'altra banda, el nombre de simulacions per ensenyar química als alumnes és cada vegada més notable. Tot i així, sovint no és fàcil integrar-les a la praxi docent. Seleccionem en aquest article algunes simulacions per a la seva incorporació al currículum de química del batxillerat.

paraules clau

Simulació, currículum, batxillerat, Internet.

abstract

Interactive simulations are a useful tool to teach science. The use of these simulations helps to illustrate scientific concepts and also to develop inquiry activities in which the student is able to practice the curriculum contents. In addition, the number of simulations for chemistry teaching is increasing. Nevertheless, is not always easy to integrate these tools in the teaching practice. In this paper, some simulations are selected for its incorporation into the Catalan upper high school chemistry classes.

keywords

Simulation, curriculum, upper high school, Internet.

Introducció

La potencialitat creixent de les simulacions, els laboratoris en línia, els jocs digitals i altres recursos informàtics interactius fa que aquest conjunt d'eines sigui recurrentment reconegut en els informes *Horizon* com un desenvolupament rellevant per al futur de l'educació en les etapes infantil, primària i secundària (referides globalment com a K-12). Així, els informes dels anys 2010, 2011 i 2012 destaquen l'aprenentatge basat en jocs; l'informe del 2013 parla de laboratoris virtuals i remots; el del 2014, de jocs i ludificació, i el del 2016 es refereix a l'aprenentatge en línia (*Horizon report*, 2016).

Tot i reconèixer que sovint un joc digital inclou elements de simulació, però centrant-nos específicament en l'ús didàctic de les simulacions, també comença a ser abundant la recerca que apunta els beneficis que aporta la integració docent d'aquest tipus de recursos. Honey i Hilton (2011) indiquen que les evidències suggereixen que les simulacions milloren l'aprenentatge dels conceptes en ciències i afavoreixen l'interès de l'alumnat. Plass et al. (2012) observen millores en l'aprenentatge de la química en introduir una seqüència didàctica basada en simulacions, especialment per als alumnes amb menys coneixements de partida. Jong,

Linn i Zacharia (2013) destaquen els avantatges didàctics que s'obtenen en combinar laboratoris reals i virtuals. Finalment, Rutten, Joolingen i Veen (2012) apunten que els efectes potencials de les simulacions ben dissenyades són elevats i que és important tenir en compte, de cara a la seva utilització, com s'integren la simulació, el contingut objecte d'estudi, l'alumne i el docent.

Tenint en compte aquestes evidències i l'existència de recursos accessibles tant en l'àmbit tecnològic com en el dels costos, no s'esperaria que fossin més presents a les nostres aules?

Objectius

D'acord amb les evidències presentades més amunt, l'objectiu d'aquest treball és seleccionar simulacions adequades per a la seva integració a la docència dels diferents blocs que componen el currículum de química del batxillerat («Decret 142/2008...», 2008). Aquesta selecció es basa en el treball realitzat en el marc de dues activitats formatives dutes a terme a l'Institut Químic de Sarrià (IQS) durant el curs 2014-2015: la Jornada IQS per a Professors de Batxillerat en l'Àmbit de la Química i el curs «Usar i dissenyar activitats basades en simulacions i laboratoris virtuals per ensenyar química», realitzat en el marc de la vuitena edició del Programa Professors i Ciència de la Fundació Catalunya-la Pedrera.

Simulacions i aplicacions interactives per aprendre química

D'acord amb la normativa vigent a Catalunya («Decret 142/2008...», 2008), l'assignatura de química de batxillerat s'estructura en els blocs de contingut següents: a primer curs, «Els orígens del model atòmicomolecular de la matèria», «Els gasos, líquids i solucions», «Un model

per als àtoms», «Estructura dels materials», «L'enllaç entre àtoms i molècules», «El món de la química orgànica» i «Les reaccions químiques», i a segon curs, «La radiació, els àtoms i les molècules», «Els canvis d'energia en les reaccions químiques», «Equilibri de fases i equilibri químic», «Equilibris químics iònics», «L'espontaneïtat i velocitat de les reaccions químiques» i «Les piles i cel·les electrolítiques».

Aquesta mateixa estructura serà la que se seguirà en aquest article per presentar les simulacions seleccionades. Òbviament, altres simulacions poden ser tan o més adequades. L'objectiu del present article és més presentar i documentar l'existència de simulacions adients per als diferents temes de química que no escollir les «millors» simulacions.

Els orígens del model atòmicomolecular de la matèria

El primer bloc de l'ensenyament de la química a primer curs de batxillerat es basa en la teoria «particulada» de la matèria per introduir els àtoms i les seves propietats, així com la nomenclatura i la formulació de les substàncies químiques. Això implica reprendre la visió microscòpica de

la matèria i la comprensió de les relacions entre els fenòmens macroscòpics i el comportament microscòpic de les partícules.

Un entorn de simulació molt interessant per treballar la visió microscòpica de la matèria és el Molecular Workbench (Molecular Workbench, 2013), que es troba disponible a <http://mw.concord.org/modeler/>. L'aplicació està basada en Java i, per tant, és preferible descarregar-la i executar-la en local.

Una simulació interessant per reprendre la discussió sobre la visió microscòpica de la matèria pot ser el model anomenat «What determines a phase (3D)» (fig. 1). A partir d'aquesta simulació d'un metall, es poden discutir els comportaments microscòpics de les partícules en les diferents fases de la matèria i la influència d'algunes propietats (atòmiques i del sistema) en els canvis de fase.

Aquest bloc conceptual acaba amb la discussió de la taula periòdica. Una eina molt útil per introduir-la posant l'èmfasi en les periodicitats de les propietats és l'aplicació desenvolupada per la Royal Society of Chemistry que es troba a <http://www.rsc.org/periodic-table> (Periodic table, 2016) (fig. 2).

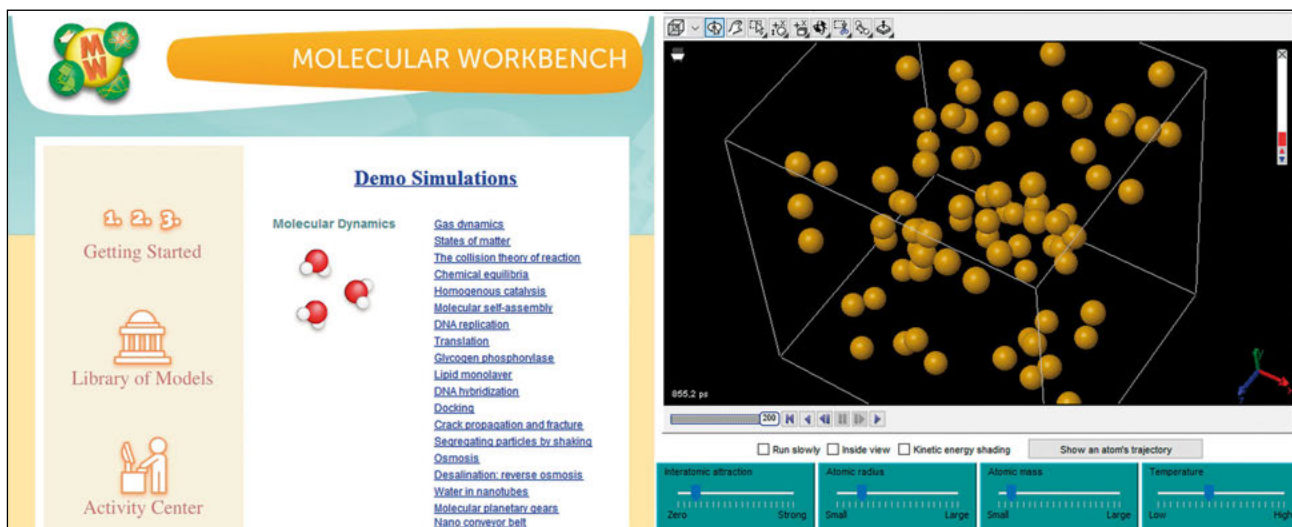


Figura 1. Molecular Workbench. Pàgina d'inici i simulació «What determines a phase (3D)».

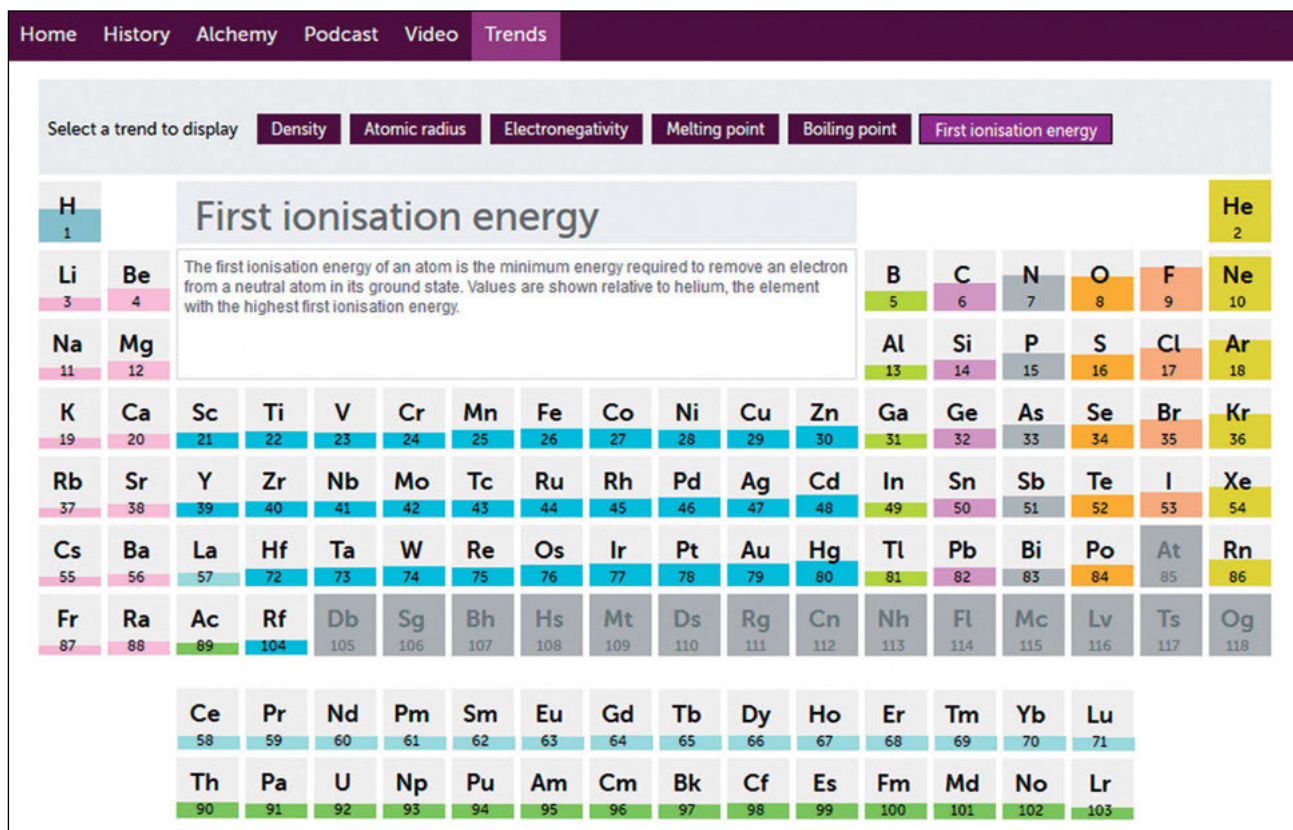


Figura 2. Taula periòdica de la Royal Society of Chemistry amb les tendències del potencial d'ionització.

Aquest recurs presenta una taula periòdica interactiva que ens permet visualitzar informació dels elements amb relació a la seva història i les seves propietats (clicant la posició d'un element a la taula periòdica). També mostra visualment les diferents agrupacions dels elements que constitueixen la taula periòdica (grups, períodes i blocs). Tal com es pot observar, és molta informació i ben elaborada.

D'altra banda i d'una manera molt útil, ens permet visualitzar a la taula periòdica les tendències de les propietats principals: densitat, radi atòmic, electronegativitat, punts de fusió i d'ebullició o potencial d'ionització.

Un recurs semblant, també molt ben elaborat, menys interactiu però encara amb més informació, es pot trobar a <https://www.webelements.com> (Winter, 2016). Pot ser un bon recurs, si voleu que els alumnes investiguin característiques d'algun element.

Els gasos, líquids i solucions

El bloc següent del currículum inclou l'estudi de les lleis dels gasos i l'expressió de la composició de mesclures homogènies.

Una simulació que permet la visualització d'un gas posant en

relació el comportament microscòpic amb els valors de les propietats macroscòpiques és la miniaplicació del projecte PhET (Wieman, Adams i Perkins, 2008) sobre propietats dels gasos (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/gas-properties>) (fig. 3).

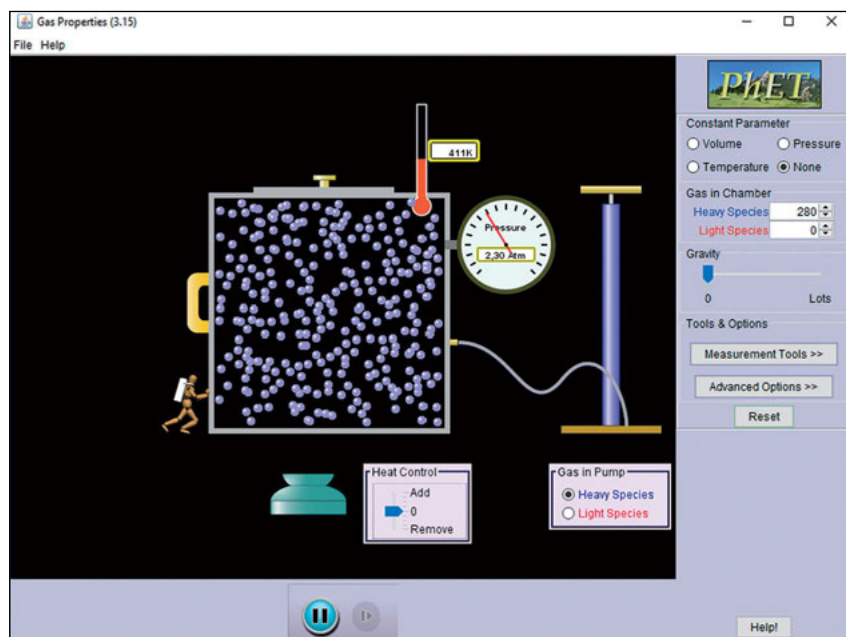


Figura 3. Miniaplicació del projecte PhET sobre simulació de les propietats d'un gas.

Per parlar de la composició de dissolucions i sense marxar del projecte PhET, trobem una miniaplicació que permet treballar aquests conceptes tant qualitativament com quantitativa. La miniaplicació es troba a <https://phet.colorado.edu/es/simulation/molarity> i es mostra a la fig. 4.

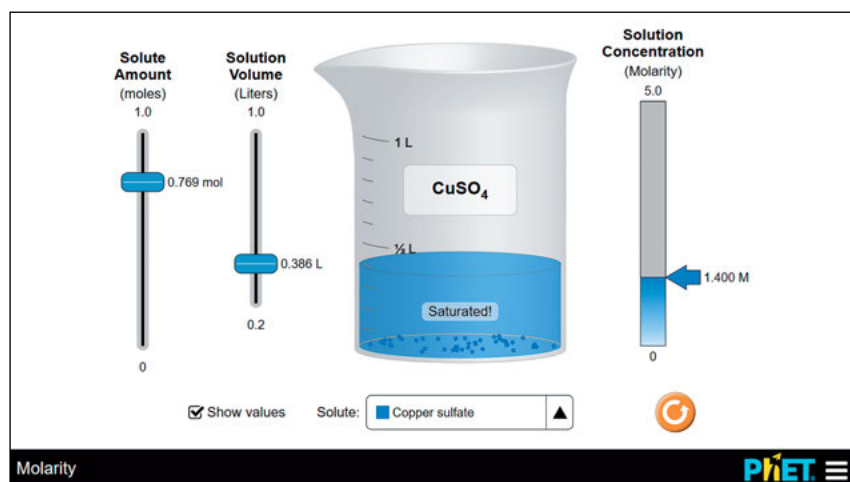


Figura 4. Miniaplicació del projecte PhET sobre composició de dissolucions.

Seguint aquest tema, també poden ser rellevants les diverses activitats que es poden fer usant el laboratori virtual de ChemCollective (Yaron et al., 2010). En seria un exemple el problema anomenat «Sucrose problem», en què s'estudia la composició en sacarosa d'un refresc de cola (Cuadros, 2010). El laboratori virtual es pot descarregar a <http://www.chemcollective.org> o http://asistembe2.iqs.edu/expvirtuales/index_ca.htm.

Un model per als àtoms

El currículum català de química segueix amb la discussió sobre les característiques dels àtoms.

Per a aquest tema, una miniaplicació interessant és Build-a-Bohr, desenvolupada amb Scratch per Becker (2010) i disponible a <http://scratch.mit.edu/projects/867623/>. Aquesta aplicació permet construir partícula a partícula un àtom, mentre en el procés es presenten algunes de

les fites històriques que n'han permès construir el model actual.

Altres simulacions interessants són les reproduccions dels experiments clàssics creades per The King's Centre for Visualization in Science que es poden trobar a <http://www.kcvs.ca/site/projects/physics.html>. Inclouen, per exem-

ple, simulacions dels experiments de Thompson, Millikan o Rutherford (The King's Centre for Visualization in Science, 2016).

Estructura dels materials. L'enllaç entre àtoms i molècules

El bloc següent del currículum es refereix a l'enllaç químic i entra també en l'estudi de les forces intermoleculars i la relació entre estructura i propietats.

Un dels recursos més interessants per presentar els enllaços i les estructures de molècules reals és Models 360 (<http://www.chemeddl.org/resources/models360/models.php>). Tenint en compte que aquesta aplicació es discuteix en un altre article d'aquest monogràfic (Prat-Resina, 2016), us hi remetem per a més informació. Usant el mateix recurs, així com MolView (Bergwerf, 2015), es poden trobar diferents propostes d'activitats a Cuadros, Estrada i Ros (2016).

També pot ser interessant en aquest bloc de continguts usar la

miniaplicació del PhET (Wieman, Adams i Perkins, 2008) anomenada Molecule Shapes (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/molecule-shapes>), que permet l'estudi de les formes de les molècules a partir de la seva estructura en termes d'enllaços i parells electrònics no enllaçants, i que aplica la teoria de la repulsió de parells d'electrons de la capa de valència.

El món de la química orgànica

Per al bloc de continguts referit a la química orgànica i per estudiar la formulació de diferents compostos, els recursos MolView i Models 360, esmentats més amunt, podrien ser una bona opció.

Per a l'estudi de les relacions entre propietats físiques i químiques i l'estructura dels compostos del carboni, un altre recurs recomanable és ChemEd X Data (<http://chemdata.umn.edu/chemedXdata/index.html>), que també es presenta en un altre article ja citat d'aquest monogràfic (Prat-Resina, 2016).

Les reaccions químiques

El currículum català de química segueix amb la presentació de les reaccions químiques. Aquest bloc inclou la interpretació submicroscòpica i simbòlica de la reacció química, els càlculs estequiòmètrics corresponents a reaccions completes i la descripció de les reaccions àcid-base, les de precipitació, les de reducció i oxidació i les de polimerització.

Per a la visualització microscòpica, són recomanables les simulacions del projecte Molecular Workbench (Molecular Workbench, 2013), que s'ha esmentat més amunt. Una activitat que incorpora diversos models útils per aprofundir en la comprensió de la reacció química és l'anomenada «Chemical reactions and stoichiometry». Un d'aquests models es mostra a la fig. 5.

Chemical Reactions and Stoichiometry: What is a chemical reaction?

What is a chemical reaction? Use the model below to explore the answer to this question at the atomic level.

Chemical reactions are going on everywhere, from deep in the sea to high in the atmosphere. One of the most active places for chemistry, however, is inside a living organism. Right now countless chemical reactions are happening inside of you.

A chemical reaction can occur in three different ways:

- A chemical bond is formed.
- A chemical bond is broken.
- One or more electrons are transferred between atoms or molecules.

This activity will allow you to explore reactions in which chemical bonds are formed and broken. In the model to the left you can see both bond formation and bond breaking. **Run the model**, and try heating and cooling the chemicals to see how this affects the kind of reaction that may occur.

heat cool

Figura 5. Molecular Workbench. Part de l'activitat «Chemical reactions and stoichiometry».

En la dimensió macroscòpica, són interessants diversos dels problemes i activitats que trobem en el laboratori virtual de ChemCollective. En l'àmbit qualitatiu, una opció que pot resultar interessant és el problema «Identificació de substàncies il·legals» (Artigas, Cuadros i Guitart, 2013), que es troba a http://asistembre2.iqs.edu/expvirtuales/index_ca.htm. Per a la part quantitativa, les opcions són molt diverses; alguns problemes interessants poden ser «El oráculo», «Jello problem», «Determinació i eliminació de la duresa de l'aigua» o «Permanganato por valoración redox».

La radiació, els àtoms i les molècules

El bloc de contingut següent té com a element principal l'estudi de la interacció entre la radiació i la matèria. En aquest tema, es presenta la utilització de les tècniques d'infraroig, espectroscòpia de masses i ressonància magnètica nuclear per a la identificació de compostos químics.

Per abordar-lo, són molt interessants els recursos que

s'ofereixen sota la categoria «Chemistry» a The King's Centre for Visualization in Science (2016) (<http://www.kcvs.ca/site/projects/chemistry.html>). Val a destacar, per exemple, les miniaplicacions CFCs in the Atmosphere (fig. 6), Infra-red Spectral Windows i Mass Spectrometer.

També és un recurs interessant Animated Spectra (https://undergrad-ed.chemistry.ohio-state.edu/anim_spectra/) (Spinney, 2016),

En la dimensió macroscòpica, són interessants diversos dels problemes i activitats que trobem en el laboratori virtual de ChemCollective

que inclou espectres d'infraroig, ressonància nuclear de protó i carboni i de masses per a una col·lecció de molècules senzilles. Per a cada un dels espectres, s'inclouen visualitzacions moleculars que en faciliten la interpretació i la comprensió (fig. 7).

Els canvis d'energia en les reaccions químiques

La introducció a la termoquímica constitueix el bloc de contingut següent del currículum de química del batxillerat.

Per a aquest tema, podem suggerir una altra vegada diversos dels problemes que incorpora el laboratori virtual de ChemCollective. Són problemes interessants per a aquest tema «De càmping», «Investigació de l'entalpia d'hidratació» i «Thermochemistry problem 1», que es poden trobar a

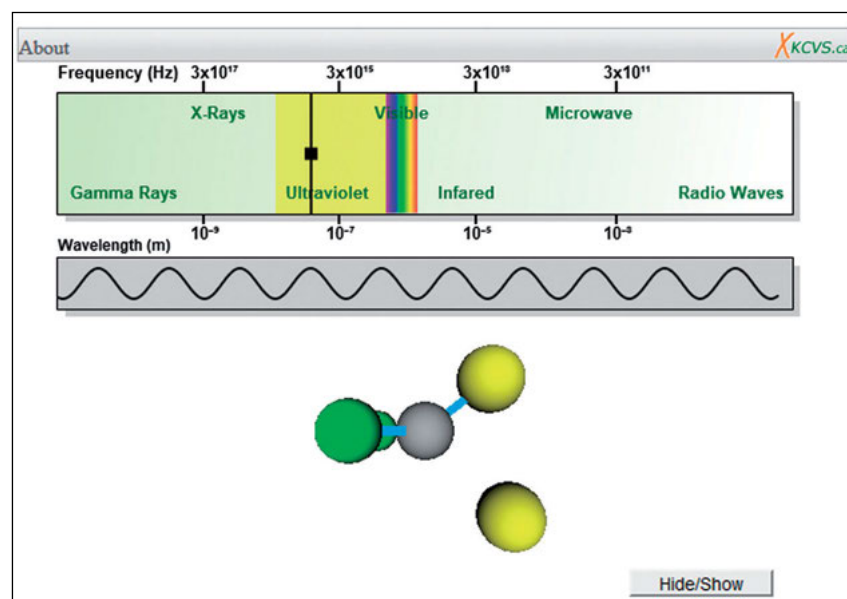


Figura 6. Miniaplicació CFCs in the Atmosphere, del The King's Centre for Visualization in Science.

la versió del laboratori virtual que hi ha a http://asistembe2.iqs.edu/expvirtuales/index_ca.htm.

Dues miniaplicacions que també són interessants per treballar aquest tema són Calorimetry Measuring Heats of Reaction (http://employees.oneonta.edu/viningwj/sims/calorimetry_s.html) (Vining, 2016), que es mostra a la fig. 8, i Energy Exchanges Associated with Dissolving Salts in Water (http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/thermochem/heat_soln.html), del Chemical Education Research Group de la Universitat Estatal d'Iowa (Greenbowe, 2005).

Equilibri de fases i equilibri químic

El temari, amb la introducció de l'equilibri, incorpora tant l'equilibri de fases com l'equilibri químic i tant la visió submicroscòpica com la macroscòpica.

Com ja s'ha comentat en altres apartats, hi ha algunes propostes interessants per a la dimensió submicroscòpica en els materials del Molecular Workbench (Molecular Workbench, 2013). Una simulació rellevant és l'anomenada «Seeing chemical equilibrium», que es mostra a la fig. 9.

En l'àmbit macroscòpic, diversos experiments del laboratori virtual de ChemCollective poden ser útils per presentar i discutir diferents aspectes d'aquest tema. Un experiment clàssic és l'equilibri entre el complex aquós i el complex clorat del cobalt en dissolució, que està reproduït en l'activitat «Complejos de cobalto» del laboratori virtual (fig. 10).

Equilibris químics iònics

Els equilibris iònics, especialment els equilibris àcid-base i els de solubilitat, constitueixen el bloc de contingut següent.

Per a la part dels equilibris àcid-base, poden ser útils les miniaplicacions Acid-Base

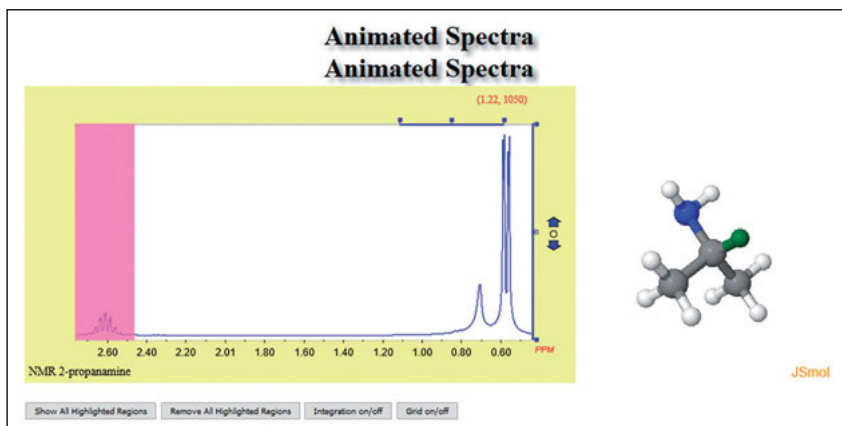


Figura 7. Visualització de l'espectre de ressonància nuclear de protó de la propan-2-amina a Animated Spectra.

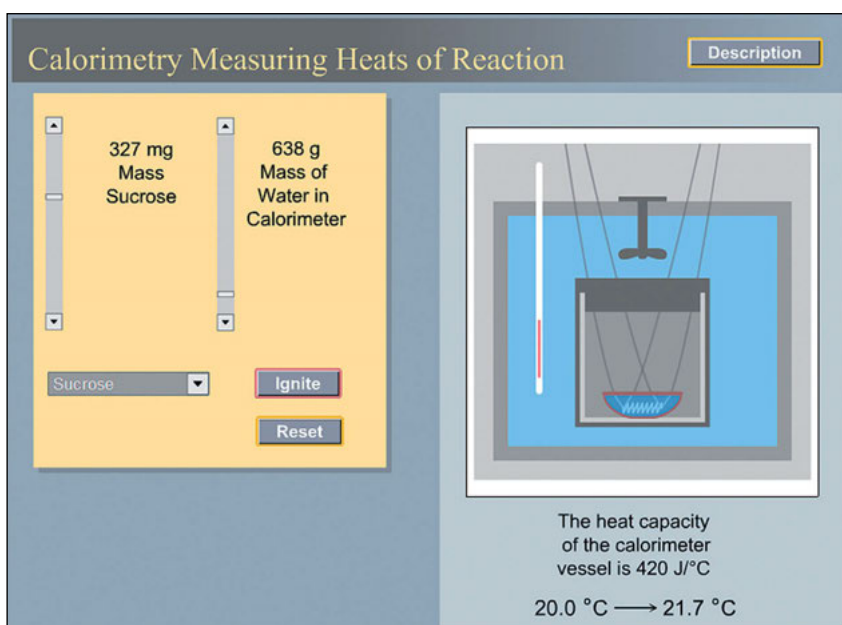


Figura 8. Miniaplicació Calorimetry Measuring Heats of Reaction.

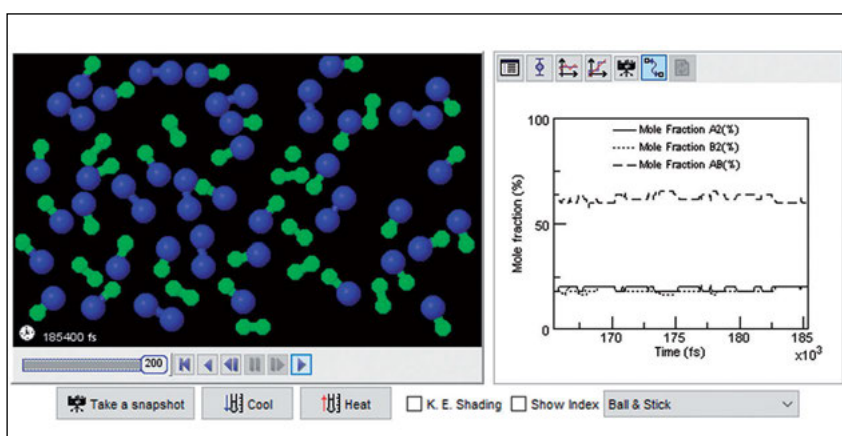


Figura 9. Molecular Workbench. Simulació «Seeing chemical equilibrium».

Solutions (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/acid-base-solutions>)

edu/en/simulation/ph-scale), del projecte PhET (Wieman, Adams i Perkins, 2008).

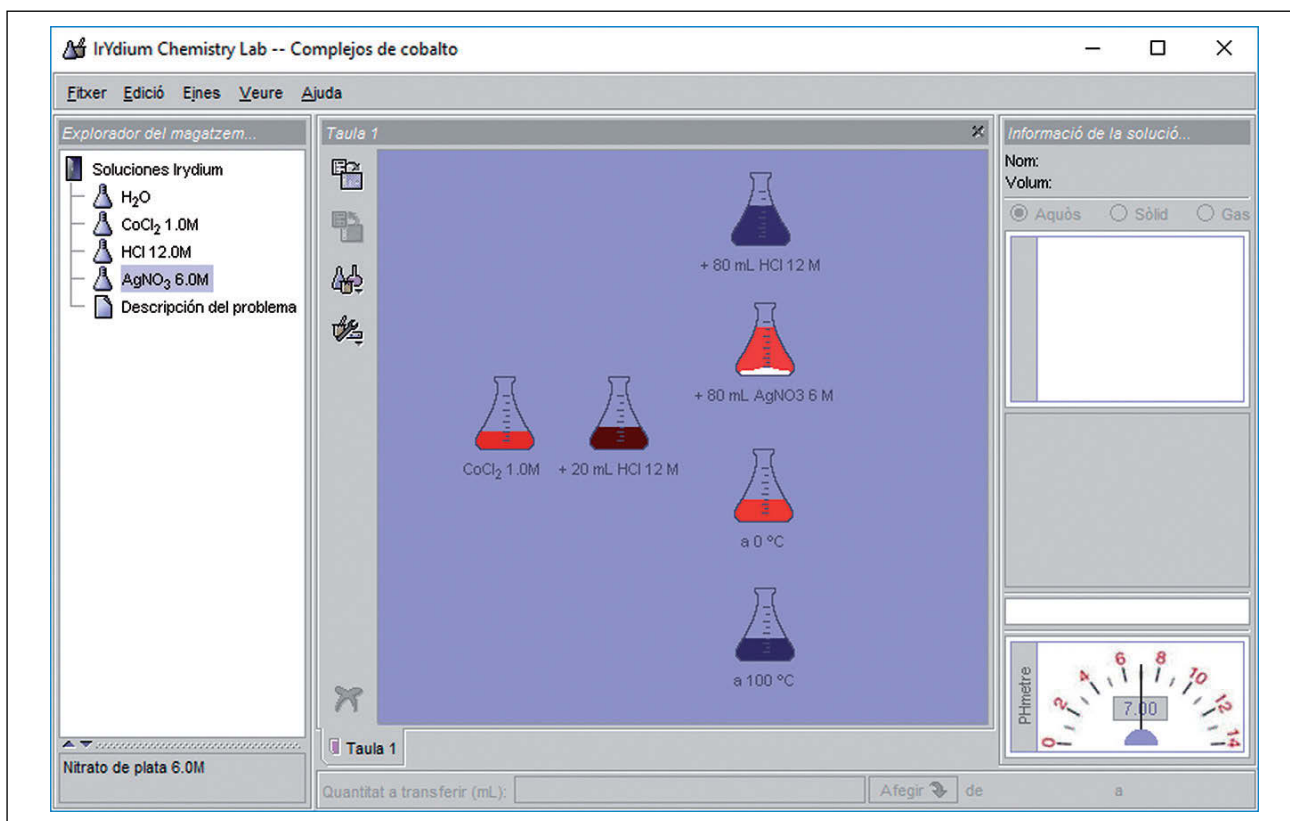


Figura 10. Activitat «Complejos de cobalto», del laboratori virtual de ChemCollective.

També són interessants, entre d'altres, les activitats «Unknown acid and base problem» i «Aspirina», del laboratori virtual de ChemCollective (Yaron et al., 2010). Es poden trobar més idees per treballar aquest tema amb el laboratori virtual a Hernández (2012).

Un darrer recurs menys visual però que pot ser interessant en treballar aquest tema és el simulador ChemReaX (ChemReaX..., 2016), que es troba a <http://www.sciencebysimulation.com/chemreax/AnalyzerAB.aspx> i que en la pàgina dedicada als càlculs àcid-base permet obtenir la corba de valoració per a diferents àcids i bases.

Per als equilibris de solubilitat, són recomanables les miniaplicacions Molarity (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/molarity>) i Salts & Solubility (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/soluble-salts>), del projecte PhET, i l'activitat «Solubilitat i temperatura», del laboratori virtual de ChemCollective.

L'espontaneïtat i velocitat de les reaccions químiques

El bloc de contingut següent és el que fa referència a l'estudi de l'espontaneïtat de les reaccions i la cinètica química.

Les simulacions més rellevants per treballar les piles i les cel·les electrolítiques es troben entre les miniaplicacions creades pel Chemical Education Research Group de la Universitat Estatal d'Iowa

En aquest apartat, es pot suggerir l'ús de la miniaplicació del PhET anomenada «Velocidades de reacció» (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/reactions-and-rates>) i del conjunt de simulacions «Homogeneous catalysis», del Molecular Workbench.

Per a la part dels equilibris àcid-base, són interessants les activitats «Unknown acid and base problem» i «Aspirina», del laboratori virtual de ChemCollective

Les piles i cel·les electrolítiques

El darrer bloc de contingut fa referència a les reaccions redox, incloent-hi la discussió de les piles electroquímiques i les cel·les electrolítiques.

Les simulacions més rellevants per treballar-lo es troben en les miniaplicacions creades pel Chemical Education Research Group de la Universitat Estatal d'Iowa (Greenbowe, 2005). En concret, són d'un interès especial les simulacions «Electrochemical cell experiment» (<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/>

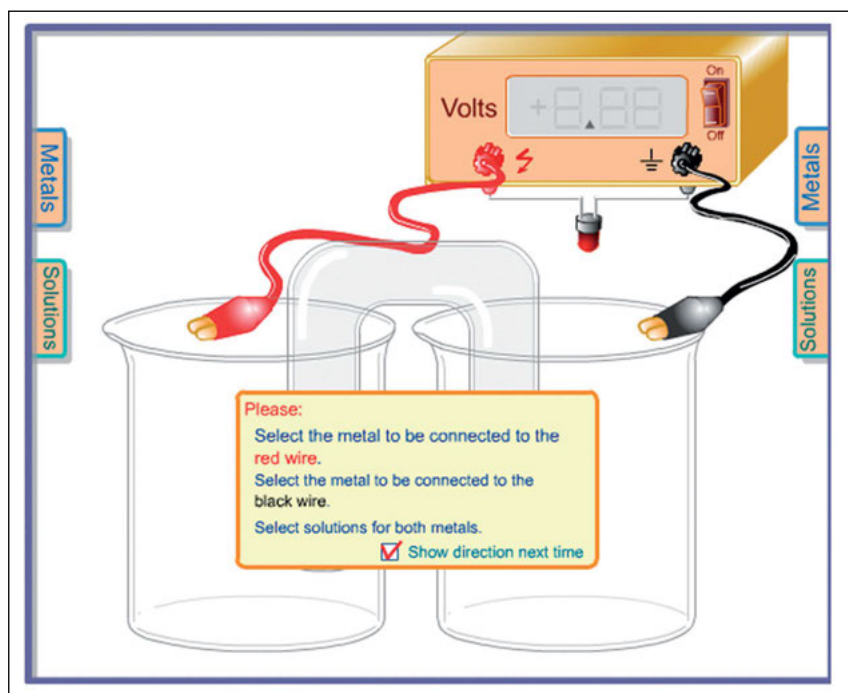


Figura 11. Simulació «Electrochemical cell experiment», del Chemical Education Research Group de la Universitat Estatal d'Iowa.

voltaicCell20.html) (fig. 11) i «Electrolysis electrochemical cell experiment» (<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/flashfiles/electroChem/electrolysis10.html>). Aquestes simulacions permeten experimentar tant amb una pila com amb una cel·la electrolítica, dissenyar el sistema i observar diferents aspectes de la reacció resultant.

Conclusions

D'acord amb la selecció presentada en aquest article, s'observa que hi ha un nombre notable de simulacions i altres recursos interactius adequats per a la seva incorporació al currículum de química del batxillerat, en particular, en relació amb l'expressió normativa en l'àmbit català («Decret 142/2008...», 2008).

Tot i així, tal com assenyalen Rutten, Joolingen i Veen (2012), és important integrar la simulació i el contingut objecte d'estudi amb l'alumne i el docent, de manera que es facin activitats didàctiques escaients a cada aula real. Això, lamentablement, no es

Tal com assenyalen Rutten, Joolingen i Veen (2012), és important integrar la simulació i el contingut objecte d'estudi amb l'alumne i el docent, de manera que es facin activitats didàctiques escaients a cada aula real

pot fer des de cap article, revista o espai de suport a la docència. Seran els equips docents els qui finalment s'hauran de sentir prou còmodes, satisfets o encuriósits per aquests recursos per fer que formin part de la seva praxi docent.

Això no obstant, en aquest darrer esforç, els professors tampoc no estan sols. Esmentem només per finalitzar dos espais en els quals els docents d'arreu del món comparteixen activitats basades en simulacions. Són l'apartat «Teacher resources» (2016) del projecte PhET (<https://phet.colorado.edu/en/teaching-resources>), esmentat més amunt, i el

recurs Inquiry Spaces (Inquiry Spaces, 2016), del Go-Lab Consortium (<http://www.golabz.eu/spaces>). De ben segur que hi podreu trobar idees interessants i, per què no, animar-vos a compartir les vostres.

Referències

- ARTIGAS, C.; CUADROS, J.; GUITART, F. (2013). «Activitats contextualitzades en el laboratori virtual». *Educació Química EduQ*, núm. 14, p. 48-55.
- BECKER, R. (2010). «Build-a-Bohr». A: *Scratch* [en línia]. Cambridge: MIT Media Lab. <<https://scratch.mit.edu/projects/867623>> [Consulta: 29 desembre 2016].
- BERGWERF, H. (2015). «MolView: an attempt to get the cloud into chemistry classrooms». 2015 Fall CCCE Newsletter [en línia], s. núm., s. p. <<http://confchem.ccce.divched.org/2015FallCCCENLP9>> [Consulta: 30 desembre 2016].
- ChemReaX [recurs electrònic]: *A chemical reaction modeling and simulation app from Science By Simulation* (2016). S. ll.: Science By Simulation. <<http://www.sciencebysimulation.com/chemreax/Analyzer.aspx>> [Consulta: 2 gener 2016].
- CUADROS, J. (2010). «Portant el laboratori virtual a l'aula de química: alguns coms i alguns perquè». *Educació Química EduQ*, núm. 6, p. 4-12.
- CUADROS, J.; ESTRADA, R.; ROS, L. (2016). «Simulaciones para aprender sobre enlaces y estructuras». *Alambique*, núm. 86, p. 34-38.
- «Decret 142/2008, de 15 de juliol, pel qual s'estableix l'ordenació dels ensenyaments de batxillerat» (2008). *DOGC*, núm. 5183, p. 59042-59401.
- GREENBOWE, T. (2005). *Chemistry experiment simulations, tutorials and conceptual computer animations for introduction to college chemistry (aka general*

- chemistry) [en línia]. Ames: Universitat Estatal d'Iowa. <<http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/animations/index.htm>> [Consulta: 2 gener 2016].
- HERNÁNDEZ, J. A. (2012). «Estudi de reaccions àcid-base amb ajuda de les eines del laboratori virtual de química». *Ciències*, núm. 23, p. 11-14.
- HONEY, M. A.; HILTON, M. (ed.). (2011). *Learning science through computer games and simulations*. Washington: The National Academies Press.
- Horizon report [en línia] (2016). S. ll.: The New Media Consortium. <<http://www.nmc.org/publication-type/horizon-report/>> [Consulta: 5 gener 2016].
- Inquiry Spaces [recurs electrònic] (2016). S. ll.: Go-Lab Consortium. <<http://www.golabz.eu/spaces>> [Consulta: 7 gener 2016].
- JONG, T. de; LINN, M. C.; ZACHARIA, Z. C. (2013). «Physical and virtual laboratories in science and engineering education». *Science*, vol. 340, núm. 6130, p. 305-308.
- THE KING'S CENTRE FOR VISUALIZATION IN SCIENCE (2016). *Modern physics* [en línia]. Edmonton: The King's University. <<http://www.kcvs.ca/site/projects/physics.html>> [Consulta: 29 octubre 2016].
- Molecular Workbench [recurs electrònic] (2013). Concord: The Concord Consortium. <<http://mw.concord.org/modeler/>> [Consulta: 17 desembre 2016].
- Periodic table [recurs electrònic] (2016). Londres: Royal Society of Chemistry. <<http://www.rsc.org/periodic-table>> [Consulta: 18 desembre 2016].
- PLASS, J. L.; MILNE, C.; HOMER, B. D.; SCHWARTZ, R. N.; HAYWARD, E. O.; JORDAN, T.; VERKUILEN, J.; NG, F.; WANG, Y.; BARRIENTOS, J. (2012). «Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 49, núm. 3, p. 394-419.
- PRAT-RESINA, X. (2016). «Models360 i ChemEd X Data: plataformes web per navegar, representar i interpretar informació química». *Educatió Química EduQ*, núm. 22, p. 22-30.
- RUTTEN, N.; JOOLINGEN, W. R. van; VEEN, J. T. van der (2012). «The learning effects of computer simulations in science education». *Computers & Education* [en línia], vol. 58, núm. 1, p. 136-153.
- SPINNEY, R. (2016). *Animated Spectra* [recurs electrònic]. Columbus: Universitat Estatal d'Ohio. <https://undergrad-ed.chemistry.ohio-state.edu/anim_spectra/> [Consulta: 1 gener 2016].
- «Teacher resources» (2016). A: PhET [en línia]: *Interactive simulations*. Boulder: Universitat de Colorado. <<https://phet.colorado.edu/en/teaching-resources>> [Consulta: 7 gener 2016].
- VINING, W. J. (2016). *General chemistry interactive simulations* [en línia]. Albany: Universitat Estatal de Nova York. <<http://employees.oneonta.edu/viningwj/sims/index.html>> [Consulta: 2 gener 2016].
- WIEMAN, C. E.; ADAMS, W. K.; PERKINS, K. K. (2008). «PhET: simulations that enhance learning». *Science*, vol. 322, núm. 5902, p. 682-683.
- WINTER, M. (2016). *The periodic table by WebElements* [recurs electrònic]. Sheffield: Universitat de Sheffield. <<https://www.webelements.com>> [Consulta: 18 desembre 2016].
- YARON, D.; KARABINOS, M.; LANGE, D.; GREENO, J. G.; LEINHARDT, G. (2010). «The ChemCollective: virtual labs for introductory chemistry courses». *Science*, vol. 328, núm. 5978, p. 584-585.



Jordi Cuadros

És professor titular a l'Institut Químic de Sarrià (IQS) de la Universitat Ramon Llull (URL), dins del Departament de Mètodes Quantitatius. És doctor en química per la URL i llicenciat en pedagogia per la UNED. Ha estat treballant durant dos anys en el projecte ChemCollective de la Universitat Carnegie Mellon (Pittsburgh, EUA) i actualment és l'investigador principal del grup de recerca ASISTEMBE (Analytics, Simulations and Inquiry in STEM and Business Education). Col·labora en la coordinació dels cursos de formació per a docents de batxillerat que s'ofereixen a l'IQS en l'àmbit de les ciències.

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



Núria Marimon

És graduada en química per la Universitat de Barcelona, màster en química farmacèutica per l'Institut Químic de Sarrià (IQS) de la Universitat Ramon Llull i màster en cosmètica i dermofarmacologia pel Centre d'Estudis Superiors de la Indústria Farmacèutica. Durant tres anys, ha estat col·laborant en tasques docents a l'IQS, a les assignatures de física i informàtica. Així mateix, ha col·laborat en diverses activitats de formació de professorat en l'àmbit de la química. Actualment, treballa a la indústria química com a investigadora.

A/e: nmarimon@kao.es.