

De com l'àtom es va fer útil i ensenyable

About how the atom became useful and teachable

Iván Marchán Carvajal / Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i la Matemàtica / Institut Europa, l'Hospitalet de Llobregat

Neus Sanmartí Puig / Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i la Matemàtica



resum

En aquest treball es presenta una proposta didàctica per aprendre un model per a l'estructura atòmica a 3r o 4t d'ESO. La construcció del model es duu a terme a partir de l'estudi de diverses situacions rellevants per a l'alumnat (contextos). Es justifica una seqüència d'activitats diverses que ajuden l'alumnat a contextualitzar, descontextualitzar i recontextualitzar les noves idees clau que s'estructuren entorn del model teòric sobre l'estructura atòmica. També es discuteix una proposta de progressió d'aprenentatge per a l'estructura nuclear i electrònica de l'àtom des de l'educació primària fins a la postobligatòria.

paraules clau

Ensenyament de la química, treball en context, models, secundària, progressió d'aprenentatge.

abstract

This paper presents a teaching sequence to learn a model for the atomic structure for 15-year-old students. The construction of the model is carried out through the study of relevant situations for students (contexts). The sequence of activities is justified by explaining how they help students to contextualize, de-contextualize and re-contextualize new key ideas that are structured around the theoretical model of atomic structure. We also discuss a learning progression for the electronic and nuclear structure of the atom from primary school to post-compulsory education.

keywords

Chemistry education, context-based education, models, high school, learning progression.

Introducció

Al llarg de l'escolaritat obligatòria, es dediquen moltes hores a aprendre continguts sobre l'estructura atòmicomolecular de la matèria i sobre l'estructura interna de l'àtom. Però, si aquestes lliçons s'han fet de manera descontextualitzada, seguint qualsevol dels llibres de text disponibles i sense cap relació amb fets coneguts per l'alumnat, la pregunta que probablement es farà un estudiant de secundària després d'una classe de Física i química

és: «Per a què em serveix aprendre com són els àtoms?». En aquest sentit, Millar (2005) diu:

Science teaching can too often be described as giving students answers they don't understand to questions they have never asked.

Actualment, hi ha treballs d'investigació (Ültay i Çalik, 2012) que han recollit nombroses evidències del fet que el treball en context és una estratègia didàctica que, a més de motivar

l'alumnat i promoure actituds positives envers les ciències, també permet que l'aprenentatge de les idees científiques sigui més significatiu i es pugui assolir un nivell de competència més alt en el seu ús. Però és evident que qualsevol manera de treballar en context no necessàriament serà profitosa i que cadascuna de les propostes didàctiques que existeixen, en paper o a la xarxa, per ensenyar ciències a partir de situacions contextualitzades properes a la vida de l'alumnat té els seus punts forts i febles.

Un dels aspectes que la recerca en didàctica de les ciències problematitza consisteix a assegurar que els alumnes poden anar modelitzant el concepte d'àtom al llarg de les diferents etapes educatives, de manera que a cadascuna es vagin construint idees que amplii les anteriors i que serveixin per respondre preguntes cada vegada més complexes. En aquest sentit, Talanquer (2013) argumenta que el concepte de *progressió d'aprenentatge* (*learning progression*) té un gran potencial en el disseny de currículums, tant pel que fa a la selecció dels continguts com dels mètodes d'ensenyament i les activitats d'avaluació. Una «progressió d'aprenentatge» en relació amb algun model teòric de la ciència descriu una hipòtesi de treball sobre com l'alumnat va construint i comprènent les idees clau que el configuren al llarg del temps. Currículums com els d'Àustràlia estan organitzats entorn de «mapes d'aprenentatge» en funció de grans idees de la ciència, seqüenciades des de l'etapa d'educació infantil fins als divuit anys (<http://www.education.vic.gov.au/school/teachers/teaching/resources/discipline/science/continuum/Pages/conceptmaps.aspx>). La majoria d'aquestes propostes es fonamenten en resultats de la recerca en didàctica de les ciències i actualment són objecte d'investigació.

En aquesta línia, aquest treball pretén integrar temes de recerca actuals en didàctica de les ciències (contextualització, modelització i progressió d'aprenentatge) a través d'una unitat didàctica que permeti construir un model teòric sobre l'àtom a l'educació secundària obligatòria, a partir de l'estudi de situacions (contextos) en les quals el coneixement sobre l'estructura atòmica és rellevant i proper a la vida quotidiana de l'alumnat

d'aquesta edat. A més a més, es justificarà la coherència entre el model atòmic construït a 3r o 4t d'ESO i els possibles aprenentatges anteriors i posteriors a partir d'una proposta de progressió d'aprenentatge basada en la de Park et al. (2009).

Ensenyar l'àtom en diferents etapes educatives

A la taula 1 es presenta una proposta de progressió d'aprenentatge per a la construcció i l'evolució de diferents nivells del model teòric sobre l'àtom al llarg de les diferents etapes educatives. La construcció d'aquest model comença a primària, on l'alumnat es pot iniciar en l'aprenentatge d'una visió discontinua de la matèria (Acher, Arcà i Sanmartí, 2007), la qual estimularà la seva imaginació i capacitat d'abstracció a partir del fet de pensar com deu ser la matèria per dins (que no poden veure) per tal d'explicar fets que observen. Per exemple, per explicar com pot passar l'aigua, que percebem contínua, a través d'un paper de filtre, ens l'hem d'imaginar formada per «parts» molt, molt petites, i per explicar que hi ha materials que costa més trencar que d'altres, ens cal imaginar que la unió entre les parts pot ser més o menys forta.

A 1r d'ESO, l'alumnat ja podrà explicar les propietats macroscòpiques de la matèria a partir del fet de pensar en un model de partícules per explicar canvis d'estat, la dilatació, dissolucions o altres canvis físics, mentre que a 3r d'ESO, per poder explicar canvis químics, fenòmens elèctrics i més propietats dels materials, s'aprofundirà en els tres tipus d'entitats elementals bàsiques de la matèria: àtoms, molècules (grups d'àtoms) i ions (àtoms amb càrrega), així com en les estructures moleculars i gegants que es formen quan

aquestes entitats s'uneixen mitjançant enllaços. També en aquest nivell es poden aprendre coses sobre l'estructura nuclear i electrònica de l'àtom per explicar fenòmens radioactius, no només per establir les bases de possibles coneixements posteriors (per exemple, el model de quarks tal com proposen Solbes i Tuzón, 2014), sinó també per la seva gran importància en els desenvolupaments tecnocientífics presents i futurs.

Els qui optin pel batxillerat científic, des de la química podran aprofundir en l'estructura electrònica dels àtoms a partir de l'estudi de l'espectroscòpia com a tècnica quantitativa i qualitativa en la determinació estructural de les substàncies. D'altra banda, des de la física podran introduir-se en el complex món de la mecànica quàntica a través del concepte d'*orbital* i resignar-se amb el caràcter indeterminista d'aquesta branca de la física moderna, però que ens permet explicar el funcionament del microscopi d'efecte túnel com un fenomen més propi de la ciència-ficció, ja que es basa a teletransportar matèria.

Com veiem, al llarg d'aquesta aventura del coneixement sobre l'àtom, la quantitat de fenòmens que es poden interpretar i les aplicacions tecnològiques que se'n deriven es van incrementant, per la qual cosa no es pot obviar la relació entre els fenòmens i el model que els explica. És un recorregut que recordem amb passió els físics i els químics, però que molts estudiants viuen entre la resignació i la incomprensió.

Justificació del disseny d'una unitat didàctica contextualitzada per aprendre continguts sobre l'àtom

En aquest treball ens hem centrat en l'aprenentatge dels nivells 3 i 4 de comprensió de

Taula 1. Progressió d'aprenentatge de models teòrics sobre l'àtom i relació amb possibles contextos per a cada nivell educatiu

Nivell	Etapa educativa	Descripció	Contextos possibles
1	Educació primària	Imaginar les substàncies formades de «parts molt petites» unides entre si amb més o menys força (Acher, Arcà i Sanmartí, 2007).	Mescles a la cuina, manipulació (trencar, escalfar, dissoldre, etc.) de materials quotidians.
2	1r d'ESO	Idea de <i>partícula</i> en el marc d'un model discontinu de la matèria que té en compte la seva immensurabilitat, distribució, moviment i cohesió.	Propietats de materials que ens permeten construir objectes idonis per a alguna funció. Estats de la matèria a la natura, fenòmens que tenen a veure amb la dilatació de materials, la dispersió, la solubilitat...
3	3r d'ESO	Distingir entre <i>àtom</i> , <i>molècula</i> i <i>ió</i> i aprofundir en l'estructura nuclear de l'àtom. Distingir una estructura molecular i una estructura gegant, així com els enllaços presents en elles.	Radioactivitat i medicina. Energia nuclear. Components atmosfèrics. Canvis químics en la vida diària. Fenòmens elèctrics.
4	4t d'ESO	Caracteritzar l'estructura electrònica de l'àtom d'acord amb el model atòmic de capes de Bohr.	Emissió de llum natural (estrelles) i artificial (fluorescents).
5	1r de batxillerat	Estudi dels espectres per aprofundir en la relació entre la capacitat de combinació, les propietats atòmiques i la configuració electrònica.	La composició química de l'univers a partir de la llum que ens n'arriba. Justificació de propietats físiques i químiques dels elements de la taula periòdica.
6	2n de batxillerat	a) Estudi mecanoquàntic de l'àtom a partir del concepte d' <i>orbital</i> , la quantització dels nivells energètics dels electrons i la interacció entre els diferents tipus de radiació i la matèria. b) Les quatre interaccions fonamentals de l'univers i els tipus de partícules elementals. c) Equivalència massa-energia en les desintegracions nuclears.	a) Espectroscòpia de masses, IR i RMN (magnetisme de l'aigua i aplicacions mèdiques) per a la determinació estructural i l'anàlisi quantitativa de mostres. b) Acceleradors de partícules i evidències de fermions, bosó de Higgs, etc. c) Reaccions nuclears en una central i gènesi dels elements després del Big Bang.

l'àtom descrits a la taula 1, a partir de l'estudi de situacions que tinguin sentit per a l'alumnat de catorze i quinze anys. A la taula 2 resumim les característiques d'una unitat didàctica per a la Física i química de 3r d'ESO que segueix la proposta anterior. Aquesta unitat s'ha experimentat durant els cursos 2012-2013 i 2013-2014 a l'institut Europa de l'Hospitalet de Llobregat, amb alumnat de nivell sociocultural baix-mitjà. La selecció de les idees clau de la darrera columna s'ha fet tenint en compte que siguin les necessàries per construir un model atòmic prou potent perquè l'alumnat pugui interpretar fenòmens i situacions del seu entorn quotidià com els de la primera columna de la

taula 2. Tal com es pot observar, entorn d'un context general inicial, s'han anat introduint diferents fenòmens coneguts per l'alumnat i que es poden observar, de manera que les idees que es van introduint tinguin sentit. S'han utilitzat preguntes guia per connectar el context amb les noves idees científiques que es volien introduir.

Pel que fa a la seqüenciació de les idees clau que es van aprenent, al model es poden identificar dues parts: l'estructura nuclear i l'electrònica. Creiem que són dues parts prou diferenciades, i el fet de començar per l'una o per l'altra pot dependre de quins contextos o continguts s'hagin treballat abans o es vulguin treba-

llar després. En aquesta proposta d'unitat didàctica, la seqüenciació i connexió de les idees clau de les dues parts del model amb l'anàlisi de contextos rellevants per a l'alumnat té les característiques següents:

—*Estructura nuclear*. L'inici ve marcat pel fet de generar en l'alumnat ganes de saber com es produeixen les radiacions que poden curar alguns càncers (fig. 1). Argumentem que, per tal d'esbrinar-ho, cal endinsar-se a l'interior dels àtoms. Per fer-ho, elaborarem un eix cronològic de principi del segle xx, amb els descobriments més importants pel que fa a l'estructura nuclear (el nucli, l'electró, el protó i, molt més tard, el neutró), i compartim amb l'alumnat un primer model per a

Taula 2. Planificació d'una unitat didàctica contextualitzada per treballar el model d'àtom a 3r d'ESO

Context principal. Un tractament per al càncer: la radioteràpia		Model teòric principal. Un model per a l'estructura de l'àtom
Subcontextos	Preguntes guia	Idees clau del model
Càncer i radioteràpia	D'on surt la radioactivitat que pot curar el càncer?	El nucli d'un àtom concentra la majoria de la massa en una part molt petita de l'àtom. Els electrons es mouen al voltant del nucli tot ocupant la resta del volum.
Radioactivitat: bona o dolenta?	Quins àtoms són radioactius? Per què?	Alguns nuclis són estables, però d'altres es desintegren emetent radiacions α , β i γ . L'estabilitat nuclear depèn de la intensitat de la força nuclear que uneix els protons i els neutrons.
Àtoms a l'univers, a la Terra i al cos humà	Quants «tipus» d'àtoms diferents es coneixen i on els trobem?	Els àtoms d'un element es caracteritzen pel fet de tenir el mateix nombre de protons (Z) al nucli. La taula periòdica organitza tots els àtoms coneguts amb un nombre atòmic diferent.
Datació amb carboni 14	Com es pot saber l'antiguitat d'una mostra arqueològica?	Els isòtops són àtoms d'un mateix element químic amb un nombre diferent de neutrons al nucli.
Nuclears: sí o no?	Com es genera l'energia en una central nuclear? I en una estrella?	Les reaccions nuclears de fusió (unió d'àtoms) i fissió (fragmentar un àtom) desprenen molta energia.
Focs artificials	Com es produeixen les llums de colors dels focs artificials?	Els electrons es distribueixen en nivells i poden canviar de capa tot intercanviant energia amb l'entorn.
El frau de la desintoxicació iònica	En què consisteix la desintoxicació iònica?	Els àtoms poden guanyar electrons (i formar anions) o perdre'n (i formar cations). Els ions es poden moure lliurement per l'aigua.

l'estructura atòmica (relacionat amb l'històric). Amb aquest model ja podem justificar els tres tipus de radioactivitat coneguts (α , β y γ), tot i que reconeixem que els àtoms no es poden veure (mostrem imatges d'Internet de la seva superfície en microscopis de forces atòmiques) i ens els hem d'imaginar com un nucli amb molta massa i poc volum, mentre que la resta de l'àtom està buida, amb electrons movent-s'hi. Per saber per què alguns àtoms són radioactius i d'altres no, parlem de l'estabilitat nuclear en termes d'una nova força, la nuclear forta, i com aquesta depèn del nombre de protons i neutrons, a partir d'un gràfic que representa els dos nombres i mostra àtoms estables i inestables. A continuació, discutim amb l'alumnat quants «tipus d'àtoms» creuen que es

coneixen (al cos humà, a la Terra, a l'univers) per transformar aquesta idea en el concepte d'*element* (amb el nombre atòmic com a DNI i la taula periòdica com a organitzadora dels elements coneguts).

Després, discutim amb l'alumnat una notícia sobre arqueologia en la qual asseguren que saben l'antiguitat d'un os de dinosaure. A l'alumnat ja li sonava la prova del carboni 14, però no sabia en què consistia. Això ens permet introduir una nova idea: els àtoms d'un mateix element no són idèntics (el concepte d'*isòtop*; l'alumnat coneixia el terme arran del nom de l'equip de futbol de la central nuclear de la sèrie de dibuixos animats *The Simpsons*, fet que també permet establir una relació entre isòtops i energia nuclear).

Finalment, a partir d'un retall de diari en el qual es presentaven opinions a favor i en contra de les centrals nuclears, fem un debat a l'aula (fig. 2). La conclusió és que, per tal de posicionar-se de manera fonamentada, cal entendre a fons el fenomen, i per això aprenem les reaccions nuclears de fissió que hi tenen lloc, però també la de fusió, que s'està investigant per imitar les estrelles com a font d'energia.

— *Estructura electrònica*. A partir de l'estudi de dues situacions diferents, es genera la necessitat de saber més sobre com es distribueixen els electrons al voltant de l'àtom. D'una banda, l'alumnat sap (potser de l'assignatura de Tecnologia) que l'electricitat està feta d'unes partícules anomenades *electrons*, les quals formen part de tota la matèria, i també que, en fregar



Figura 1. Grup d'alumnes realitzant una activitat d'avaluació d'idees prèvies sobre el càncer: com es produeix, quina n'és la causa i quines maneres es coneixen de curar-lo.



Figura 2. Grup d'alumnes realitzant un debat sobre els avantatges i els inconvenients de les centrals nuclears a partir d'una notícia del diari.

materials, n'atreuen o en repel·leixen d'altres. El repte ara serà esbrinar com estan situats aquests electrons a l'àtom i si això pot canviar.

D'altra banda, el context dels focs artificials ens permet indagar sobre l'emissió de llum de les substàncies quan es cremen a partir de l'experiment tradicional d'assaig a la flama (fig. 3). Per justificar l'experiment, va ser necessari introduir la idea de *nivell energètic* i *transició electrònica*, tot i que d'una manera senzilla.

Un tercer context s'introdueix a partir d'un vídeo d'un

anunci que vol vendre una màquina de desintoxicació iònica que sembla que elimina toxines. En aquest moment, presentit investigar amb el llibre de text què són els ions (els àtoms poden guanyar o perdre electrons) i, sense aprofundir en la idea d'*electròlisi* ni en la de *canvi químic* (si fos el cas que ja s'hagués començat a construir aquest model), l'alumnat arriba a proposar experiments alternatius per demostrar el frau d'aquest producte.

Pel que fa a l'estructuració de les noves idees que van anar

apareixent, es van realitzar diferents activitats de síntesi amb l'alumnat que promouien l'organització de les noves idees. Per exemple, es va utilitzar un full de síntesi amb les preguntes guia de cada context, les idees científiques que es necessiten per respondre-les i els criteris d'avaluació, a partir del qual l'alumnat s'autoavaluava (fig. 4). També van resultar molt profitoses les activitats en què es demanava als alumnes que argumentessin de manera científica les seves idees, tant oralment com per escrit o amb dibuixos, i les activitats de regulació de l'aprenentatge en què reflexionaven sobre els seus errors en proves escrites a través de la coavaluació i l'autoavaluació. Finalment, amb l'objectiu de promoure la capacitat de transferir el coneixement científic, es van realitzar i avaluar quatre activitats de diferents graus de dificultat per aprendre a aplicar el coneixement treballat sobre l'estructura atòmica en quatre noves situacions:

— Alquimistes, els precursors dels químics. Com es podria transformar un àtom de ferro en un àtom d'or?

— Com funciona el fluorescent de l'aula?

— Gammagrafia per localitzar tumors a l'interior del cos humà fent servir tecneci-99.

— Investiguem l'espai exterior a partir de la llum que ens n'arriba. Composició química de les estrelles a partir de la llum que emeten.

Reflexions finals sobre l'ensenyament i l'aprenentatge de l'àtom

La unitat presentada incorpora moltes de les recomanacions de l'actual recerca educativa sobre l'aprenentatge en context, sense renunciar a què l'alumnat aprengui idees clau de la ciència amb un gran potencial interpretatiu, un aspecte indispensable



Figura 3. Alumnes observant sorpresos la llum que emet la sal d'un metall quan es crema.



Figura 4. Dues alumnes repassen el grau de domini dels criteris d'avaluació de la unitat a partir d'un resum dels contextos i les idees científiques treballades entorn del model per a l'àtom.

per ser científicament competent. En medicina, abans d'introduir al mercat un nou fàrmac, cal molta recerca que asseguri que la nova droga té uns efectes millors que les que ja existeixen. En educació, també cal molta recerca per validar propostes d'ensenyament innovadores. A continuació, discutim alguns fonaments teòrics de la didàctica de les ciències que donen validesa a la unitat didàctica presentada després de la seva aplicació a l'aula:

— *El treball en context com a element vertebrador d'una varietat d'activitats.* Tractar temes d'interès per a l'alumnat és motivador, però encara ho és més quan

l'alumnat reconeix que és capaç d'entendre nous fenòmens del seu entorn. El treball en context per si sol no implicarà un millor aprenentatge, i el progrés serà mínim si s'utilitzen els contextos en una seqüència didàctica totalment expositiva, en què els alumnes només fan activitats reproductives i memorístiques. Cal promoure a l'aula un tipus d'activitat que porti l'alumnat a repensar les idees pròpies, a partir de relacionar-les amb el que coneixen o observen tot indagant, de discutir-les amb els companys en el marc d'un treball cooperatiu i de regular-les metacognitivament utilitzant

diversos instruments (rúbriques, bases d'orientació, mapes conceptuals, etc.). En general, diversificar activitats sol ser una estratègia que promou l'èxit educatiu, perquè permet arribar a tota la diversitat d'estils d'aprenentatge i tipus d'intel·ligències.

— *Les progressions d'aprenentatge com a estratègia per promoure l'evolució dels models teòrics i la seva síntesi i estructuració.* Les progressions d'aprenentatge són una àrea emergent en l'educació química, útils per al professorat en la tasca d'ensenyar i per a l'alumnat en la d'aprendre. Permeten al docent planificar una evolució de les idees de l'alumnat durant un període de temps i donar coherència a tot el procés educatiu, sigui al llarg d'una unitat didàctica (un professor), d'una etapa educativa (diferents professors) o de diferents etapes educatives (diferents centres). D'altra banda, el fet de compartir amb l'alumnat que esperem que vagi progressant en el seu aprenentatge l'ajuda a prendre consciència del que ha d'aprendre, a detectar les dificultats que van apareixent i a planificar estratègies per superar-les. La seqüència didàctica no necessàriament s'ha de fonamentar en la lògica disciplinària (que tan «lògica» és per al professorat, com a expert en la matèria), tot i que sí cal que connecti amb la lògica de la comprensió de l'alumnat.

— *Imaginar per modelitzar i interpretar el món.* Un aspecte controvertit i difícil del treball en context és la relació entre els models teòrics (continguts científics clau) i els contextos. Els detractors de la contextualització solen imaginar un treball en context descriptiu i que no treballa ni la modelització, ni la naturalesa de la ciència. Per tant, és important que els contextos suposin una oportunitat per saber «com la ciència sap

el que sap», i la millor manera d'aconseguir-ho és l'aprenentatge per modelització, interrelacionant el pensar, el fer i el comunicar en relació amb els fets que es coneixen i s'observen. A partir d'aquesta activitat interrelacionada, es promou la construcció d'un model teòric que permet a l'alumnat fer interpretacions, explicacions i prediccions de fenòmens que tenen lloc al seu entorn proper, així com identificar qüestions científiques i utilitzar proves per prendre decisions, en la línia de les propostes del programa d'avaluació PISA (OCDE, 2006).

Segons la nostra experiència, modelitzar ha resultat, en alguns moments, una tasca desagradada i complexa, ja que suposa abstruir i situar l'alumnat en un món intangible. Tanmateix, quan els estudiants han pogut reconèixer que els models es creen per interpretar una part de la realitat amb un objectiu i que prenen sentit quan s'apliquen, és a dir, quan es contextualitzen, tant ells com nosaltres hem experimentat la satisfacció que comporta el fet de ser capaços d'explicar nous fenòmens. Per assolir-ho, ens ha estat útil centrar la mirada en aquell aspecte del context que permet la construcció d'una part del model teòric escollit i, si calia, fer breus connexions amb altres models en forma de currículum en espiral, sense perdre'ns en la complexitat de la realitat que hi ha en els contextos. Els resultats ens mostren que aquesta combinació de context i models teòrics ha ajudat l'alumnat a fer-se seu un model de l'àtom útil.

Finalment, voldríem compartir algunes opinions dels usuaris d'aquesta proposta didàctica, expressades en entrevistes realitzades a final de curs, les quals li donen validesa:

«Aquest any m'estan agradant les ciències. Les entenc. Per primer cop, les aprovaré».

«Hem après coses que ens pas-

sen, del nostre cos, del dia a dia».

«Això em quedarà a la memòria per sempre».

«Gaudeixo entenant el que passa per després poder-ho explicar a la meua mare».

«Estic més atent perquè vull saber la resposta a la pregunta del principi».

«Només m'agraden Física i química i Educació física perquè són assignatures que m'ensenyen coses útils per a mi».

«Ara entenc per què és tan important estudiar els àtoms. Et poden salvar la vida!».

Referències

- ACHER, A.; ARÇA, N.; SANMARTÍ, N. (2007). «Modeling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education». *Science Education*, vol. 91, núm. 3, p. 398-418.
- MILLAR, R. (2005). «Contextualized science courses: where next?». A: NENTWIG, P.; WADDINGTON, D. (ed.). *Making it relevant: Context based learning of science*. Münster: Waxmann.
- OCDE (2006). *Marc conceptual per a l'avaluació PISA 2006* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Consell Superior d'Avaluació del Sistema Educatiu. <http://csda.gencat.cat/ca/arees_d_actuacio/publicacions/colleccio_documents/09_-_marc_conceptual_per_a_l_avaluacio_pisa_2006/> [Consulta: 30 setembre 2014].
- PARK, E. J.; LIGHT, G.; SWARAT, S.; DENISE, D. (2009). «Understanding learning progression in student conceptualization of atomic structure by variation theory for learning». Presentat a la conferència *Learning Progressions in Science* (LeaPS). Iowa, EUA.
- SOLBES, P.; TUZÓN, P. (2014). «Indagación y modelización del núcleo atómico y sus interacciones». *Alambique*:

Didáctica de las Ciencias Experimentales, núm. 78, p. 34-42.

TALANQUER, V. (2013). «Progresiones de aprendizaje: promesa y potencial». *Educación Química*, vol. 24, núm. 4, p. 362-364.

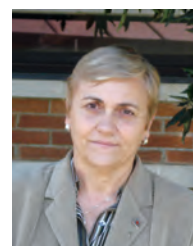
ÜLTAY, N.; ÇALIK, M. (2012). «A thematic review of studies into the effectiveness of context-based chemistry curricula». *Journal of Science Education and Technology*, vol. 21, núm. 6, p. 686-701.



Iván Marchán Carvajal

És professor de física i química a l'institut Europa de l'Hospitalet de Llobregat i professor associat de la Universitat de Barcelona. Forma part del grup de treball de Química en Context del CESIRE i del grup de recerca Llenguatge i Ensenyament de les Ciències (LIEC) de la Universitat Autònoma de Barcelona. La seva recerca se centra en l'aprenentatge i l'ensenyament de la química a través de contextos.

A/e: imarcha2@xtec.cat.



Neus Sanmartí Puig

És catedràtica emèrita de didàctica de les ciències a la Universitat Autònoma de Barcelona. Doctora en ciències químiques (didàctica), s'ha especialitzat en temes relacionats amb el desenvolupament curricular, l'avaluació formativa i el llenguatge en relació amb l'aprenentatge científic.

A/e: neus.sanmarti@uab.es.