

Contribucions de la investigació didàctica a l'ensenyament de la química basat en la modelització¹

Contributions to chemical education from model-based teaching research

Rosària Justí / Universidade Federal de Minas Gerais (Belo Horizonte, Brasil)



resum

Un dels grans reptes dels educadors químics del segle XXI deriva d'una qüestió àmplia: com es pot aconseguir que l'ensenyament de la química es torni més autèntic? Amb la finalitat de discutir alguns aspectes relatius a aquesta qüestió, es presenten algunes reflexions provinents de l'àrea de l'ensenyament de la química que són motiu d'atenció entre els investigadors, simultàniament amb l'aprenentatge del contingut químic i amb el desenvolupament de certes capacitats dels estudiants relacionades amb el fet de pensar des del punt de vista químic i d'expressar i discutir idees amb l'objectiu de construir el coneixement dels estudiants. Aquestes investigacions van ser realitzades a classe, en un context d'ensenyament fonamentat en la modelització.

paraules clau

Ensenyament de la química, investigació didàctica, ensenyament basat en la modelització, ensenyament secundari, models.

abstract

In the 21st century, one of the great challenges faced by chemistry educators arises from a comprehensive question: how can chemistry teaching become more authentic? Some thoughts about research in chemistry education are presented in this article. It became clear that many researchers were worried about students learning about the concepts of chemistry, about understanding from a chemistry viewpoint, and about helping students to construct knowledge. These investigations were conducted in normal classrooms in model-based teaching contexts.

keywords

Chemistry teaching, educational research, modelling-based teaching, secondary school, models.

Introducció

El segle XXI pot ser caracteritzat com un període complex i de canvis ràpids. Per això un dels majors reptes actuals és educar individus que actuïn com a ciutadans,

que participin dels mitjans de producció i que contribueixin al major benestar de la societat. Aquests individus no poden, certament, ser educats a partir de la mera transmissió de coneixements,

ja que les demandes que han d'afrontar exigeixen (i continuaran exigint cada vegada més) una àmplia instrucció general que els permeti entendre el món en el qual viuen, capacitat de

1. Aquest article va ser la ponència inaugural de les IV Jornades sobre l'Ensenyament de la Física i la Química – I Trobada d'Educació Química, que va tenir lloc el dia 24 de març de 2011 a la seu de l'Institut d'Estudis Catalans a Barcelona.

Les demandes que hauran d'afrontar exigeixen una àmplia instrucció general que els permeti entendre el món en el qual viuen, capacitat de reflexionar de forma ordenada i dinàmica afrontant situacions i problemes inèdits, capacitat de comunicar-se amb públics diversos utilitzant mitjans variats i disposició per a l'aprenentatge continu

reflexionar de forma ordenada i dinàmica afrontant situacions i problemes inèdits, capacitat de comunicar-se amb públics diversos utilitzant mitjans variats i disposició per a l'aprenentatge continu. Això implica que l'ensenyament bàsic:

- No es dirigeixi a la formació d'especialistes en les diferents àrees, com moltes vegades observem a l'escola tradicional, en la qual cada professor pretén que els seus alumnes adquireixin el màxim de coneixements de la seva àrea com si només aquells coneixements (no relacionats els uns amb els altres) fossin els importants.

- Enfoqui els coneixements bàsics de forma interdisciplinària per tal que situacions amb problemes reals (que generalment involucren coneixements de diferent naturalesa) puguin ser discutits a partir de diverses fonts d'informació.

- Promogui situacions que afavoreixin no només l'adquisició de coneixements, sinó també el desenvolupament d'habilitats relacionades amb el pensament, com ara buscar informacions, organitzar-les, analitzar-les i usar-les buscant un objectiu específic.

- Promogui situacions que afavoreixin l'expressió de les idees dels alumnes a la classe i en altres ambients de l'escola i de la comunitat en la qual els alumnes viuen.

- Evidencii que hi ha coneixements bàsics essencials en totes les àrees, però que no té sentit pretendre que es puguin aprendre coneixements definitius a l'escola.

- Evidencii la dinàmica de producció de coneixement i el fet que avui dia el més important és aprendre a «mirar el món» de forma diferent i proposar noves qüestions i, a partir d'aquí, buscar, ordenar, analitzar i utilitzar noves informacions.

La química, pel fet de ser present en innumerables contextos, és, sens dubte, una de les ciències que més pot contribuir a ampliar la comprensió del món en el qual vivim. No obstant això, un ensenyament de la química més autèntic, això és, que contribueixi a apropar els estudiants a tots els aspectes d'aquesta ciència (Gilbert, 2004), necessita també tenir entre els seus objectius l'afavoriment del desenvolupament de diverses capacitats dels alumnes (com, per exemple, les esmentades anteriorment) i la comprensió sobre com es produeix el coneixement químic. Però com es pot tornar l'ensenyament de la química més autèntic?

Investigadors de l'àrea de l'ensenyament de les ciències han investigat i produït coneixements relatius a diversos temes que poden contribuir a la discussió d'aquesta qüestió. Per qüestions de temps i per poder exemplificar amb claredat com els resultats d'aquestes investigacions poden contribuir a l'ensenyament, presentaré i discutiré aspectes de les investigacions realitzades pel meu grup sobre el tema de creació de models (modelització) en l'ensenyament de les ciències. Aquesta elecció no vol dir que jo cregui

que la utilització d'activitats de modelització en l'ensenyament és «la solució màgica» per a l'ensenyament de les ciències o que l'ensenyament des d'aquesta perspectiva pugui resoldre els problemes d'aprenentatge de tots els continguts científics. Però crec que, a partir dels resultats de les nostres investigacions, un tal ensenyament té un potencial molt gran per afavorir l'aprenentatge d'alguns tipus de conceptes científics i per desenvolupar una sèrie d'habilitats dels alumnes. A més, crec que els aspectes aquí destacats podrien donar peu a futures reflexions de professors sobre altres temes que, igualment, podrien contribuir a un ensenyament de la química més autèntic.

Però, abans d'això, m'agradaria destacar dos punts importants:

- Tot i ser avui investigadora i professora universitària, vaig ser, durant diversos anys, professora de química a l'escola secundària. Això va ser essencial perquè percebés la complexitat de l'ambient de la classe. Tot i que actualment aquest ambient hagi canviat una mica, la meva experiència anterior, així com el contacte actual amb classes on els meus alumnes de mestratge i de doctorat desenvolupen investigacions i els meus alumnes de graduació fan pràctiques, afavoreix la meua comprensió dels problemes actuals.

- Sempre vaig creure en la possibilitat d'associar *ensenyament* i *investigació* i en la importància del rol de professor i d'investigador. Així, la meua feina sempre va buscar la integració de les meves experiències de classe (com a professora de química a l'escola secundària i com a professora d'assignatures de formació de professors a l'ensenyament universitari) amb les meves experiències com a investigadora (planejar, fer, publicar, orientar i analitzar investigacions a l'àrea de l'ensenyament de les ciències).

Per tant, no pretenc presentar els resultats de les meves investigacions com si els alumnes per si sols poguessin resoldre tots els problemes de l'ensenyament. El que sí pretenc, a partir d'aquestes experiències diversificades i igualment riques, és compartir algunes informacions i qüestions que puguin promoure reflexions i accions futures de professors a les seves classes. Per fer-ho, procuraré destacar dos aspectes principals:

- Com s'ha fet servir la investigació teòrica en el meu grup de recerca com a punt de partida per a l'abordatge d'un ensenyament basat en la modelització.

- Com les investigacions empíriques realitzades en contextos reals d'ensenyament en els quals s'ha fet servir aquest enfocament han generat resultats rellevants que poden promoure discussions amb professors i noves investigacions.

Ambdós aspectes contribueixen a fomentar un ensenyament de la química més autèntic.

Contribucions de la investigació sobre modelització

Inicialment, cal explicitar el significat de *model* que utilitzo en el meu treball. *Model* és una representació parcial d'un objecte, un procés, un sistema o una idea que s'origina en una activitat mental i que és elaborat amb un objectiu específic (Gilbert, Boulter i Elmer, 2000). El fet de considerar una representació com a parcial implica considerar al mateix temps que «abstreu a partir de» i «tradueix en una altra forma» la naturalesa real del sistema o de la idea (Morrison i Morgan, 1999). Per això els models es poden considerar com les principals eines que s'usen en la producció del coneixement i un dels principals productes de la ciència (Justi i Gilbert, 2003). El desenvolupament del coneixement científic relatiu a qualsevol

fenomen es relaciona normalment amb la producció d'una sèrie de models amb diferents abast i poder de predicció.

Podem dir que la investigació científica es caracteritza pel desenvolupament, l'avaluació i la revisió de models, explicacions i teories a través de criteris i estratègies propis de la ciència. Tal procés mental s'anomena *modelització*. Considerant les etapes involucrades en aquest procés, sembla obvi que aprendre a pensar científicament seria aprendre a desenvolupar, avaluar i revisar models, explicacions i teories (procés que també tindria lloc en l'aprenentatge de conceptes científics). Va ser exactament a partir d'aquesta conclusió que va sorgir el meu interès per aprendre més sobre la modelització i intentar fer-la servir en l'ensenyament de les ciències.

L'ensenyament fonamentat en la modelització busca aconseguir que els alumnes participin activament en el seu procés d'aprenentatge en la mesura que, a més de construir els seus propis models, avaluin els seus models i d'altres usats per l'ensenyament i per la ciència, comprenguin el procés de modelització i el seu rol en la construcció del coneixement científic

Avui, a partir de la meua experiència de llargs anys investigant en aquesta àrea, crec, com també es defensa en la literatura, que els ciutadans d'aquest segle han de saber sobre la naturalesa, l'abast i les limitacions dels principals models científics (siguin *consensusals*, és a dir, acceptats per la comunitat científica actualment,

o *històrics*, és a dir, que van ser acceptats en un determinat context històric); que han d'entendre adequadament la naturalesa dels models i ser capaços d'avaluar el rol dels mateixos en el desenvolupament del coneixement científic, i que han de ser capaços de crear, expressar i posar a prova els seus propis models. Tots aquests aspectes són tinguts en compte en l'ensenyament fonamentat en la modelització.

Quan parlem d'*ensenyament fonamentat en la modelització*, estem referint-nos a situacions d'ensenyament en les quals els alumnes s'involucren en activitats planificades amb aquests objectius. Tal ensenyament busca aconseguir que els alumnes participin activament en el seu procés d'aprenentatge en la mesura que, a més de construir els seus propis models, avaluin els seus models i d'altres usats per l'ensenyament i per la ciència, comprenguin el seu propi procés de modelització i el seu rol en la construcció del coneixement científic (Justi i Gilbert, 2002).

Alguns estudis recents han discutit com l'ensenyament fonamentat en la modelització pot contribuir a la construcció del coneixement (Barab, Hay, Barnett i Keating, 2000; Maia i Justi, 2009c; Mendonça i Justi, 2009; Vosniadou, 2002; White i Frederiksen, 1998). Tots ells mostren que la implicació dels alumnes en activitats de modelització ajuda a promoure una entesa que facilita la memorització de fets i d'informacions i afavoreix el desenvolupament d'un coneixement flexible i crític, que pot ser aplicat i transferit a diferents situacions i problemes (Clement, 2000). Aquests estudis sobre la utilització de models en l'ensenyament són recents i mostren que la modelització encara no forma part de la pràctica pedagògica de la majoria dels professors. Això

evidència la importància d'explicitar els principis bàsics de l'ensenyament fonamentat en la modelització per tal de discutir com aquest pot contribuir a l'aprenentatge dels alumnes.

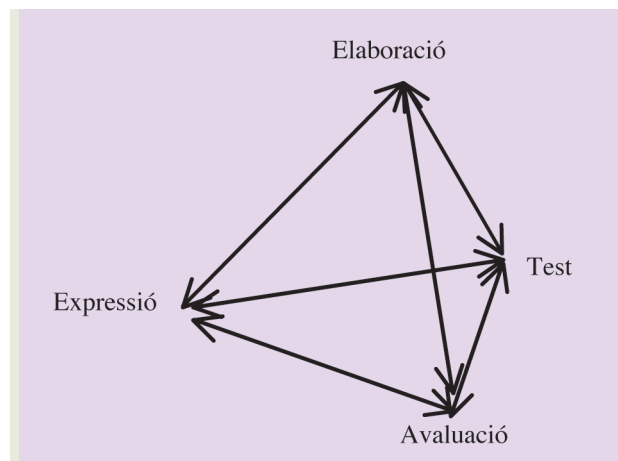
Principis bàsics de l'ensenyament fonamentat en la modelització

D'una manera general, podem dir que, en modelar alguna cosa, l'individu interpreta, conceptua i integra elements que permeten l'estudi d'una determinada entitat (objecte, procés, idea) a través de la proposició i prova de fer representacions per a aquests elements. En aquest procés, no sembla haver-hi regles específiques com, per exemple, les regles detallades que hi ha per a procediments experimentals o mètodes de mesura. Certament, la construcció de models és un procés dinàmic i creatiu que implica una gran quantitat d'habilitats. No obstant això, entre els investigadors d'aquesta àrea hi ha un consens segons el qual algunes etapes són inherents a aquest procés.

En la perspectiva que adoptem en el nostre treball, considerem que aquestes etapes són quatre i que cadascuna d'elles exerceix una influència sobre les altres, tal com es representa a la fig. 1. En aquesta representació vam optar per un tetràedre: les línies contenen fletxes dobles per evidenciar l'existència d'influències entre totes les etapes (taula 1).

Així, el que anomenem *ensenyament fonamentat en la modelització* consisteix, tal com s'ha emfasitzat anteriorment, en la implicació dels alumnes en activitats que afavoreixin la vivència de totes aquestes etapes. Per això totes les subetapes i els elements destacats anteriorment han de ser acuradament considerats en l'elaboració i en la realització de les activitats.

Figura 1. Relació entre les principals etapes involucrades en la modelització (Justi, 2010, p. 223).



Taula 1. Etapes involucrades en la modelització

Elaboració d'un model
L'elaboració d'un model mental té lloc a partir de la integració dinàmica i, de vegades, simultània de les subetapes: <ul style="list-style-type: none"> – Definir els objectius del model o entendre els objectius proposats pel model. – Obtenir informació sobre l'entitat a modelar (en l'estructura cognitiva prèvia o a través de fonts externes: bibliografia, activitats empíriques, etc.). – Definir una analogia o un model matemàtic per fonamentar el model. – Integrar aquestes informacions en la proposta d'un model.
Expressió del model
L'expressió del model mental pot ocórrer a partir de la utilització de qualsevol de les maneres de representació: concreta, bidimensional (és a dir, dibuixos, esquemes, etc.), virtual, verbal, gestual, matemàtica.
Test o posada a prova del model
El test o posada a prova del model pot ser de dos tipus (empíric i mental) dependent de l'entitat que s'està construint en el model i de les condicions disponibles per a la realització de les proves.
Avaluació del model
Finalment, l'avaluació del model significa la identificació de l'abast i de les limitacions d'aquest. Aquesta avaluació té lloc a partir de la contraposició del model amb el seu objectiu (o amb els seus objectius) i de l'intent d'utilització del model en diferents contextos (Justi, 2006a).

Alguns resultats de la investigació sobre l'ensenyament fonamentat en la modelització

En els últims anys, el meu grup de recerca està estudiant les possibilitats i les conseqüències d'elaborar i utilitzar unitats didàctiques fonamentades en les etapes representades a la fig. 1. La proposta bàsica es basa en la utilització d'aquest esquema per part del professor en les etapes de planificació i de posada en pràctica de l'ensenyament. Això significa que el professor ha de planificar activitats que, en ser realitzades pels alumnes, afavoreixin la vivència de cadascuna

d'aquestes etapes. Però això no implica que s'hagin de presentar les etapes als alumnes perquè les utilitzin com un algorisme. En funció de la naturalesa de cadascuna d'aquestes activitats, així com de les constants discussions entre els alumnes en els grups i dels alumnes amb el professor, esperem que la participació dels alumnes en elles doni lloc al desenvolupament d'una sèrie d'habilitats relacionades amb els processos investigadors, la visualització d'entitats abstractes i l'argumentació. Així, l'aprenentatge dels alumnes no es restringirà a l'aprenentatge de continguts cien-

tífics, sinó que inclourà l'aprenentatge dels processos de raonament utilitzats en la producció del coneixement.

Fins al moment present, totes les unitats didàctiques que hem elaborat amb aquesta perspectiva han inclòs temes químics: reaccions químiques, equilibri químic, energia implicada en les transformacions químiques, enllaç iònic, enllaç metàl·lic, interaccions intermoleculares, solubilitat i efecte hivernacle. Totes elles s'han aplicat, moltes vegades, en situacions regulars d'ensenyament en escoles públiques i privades, diürnes i nocturnes. Gairebé totes aquestes unitats han anat acompanyades d'investigacions que pretenien analitzar, sobretot: a) si els alumnes aprenen els temes químics involucrats i com els aprenen; b) quines habilitats de naturalesa investigadora utilitzen els alumnes i/o desenvolupen en participar de les activitats de modelatge, i c) com contribueix la participació en les activitats de modelització al desenvolupament de la capacitat de visualització dels alumnes.

En tots els casos, les dades en les quals s'han basat les nostres anàlisis van ser recollides principalment a través de:

– L'enregistrament en vídeo de totes les classes, tant les parts expositives com les discussions: generals, entre tots els alumnes i el professor, entre el professor i cadascun dels grups i entre els alumnes en cada grup.

– Les respostes escrites obtingudes en les activitats produïdes durant les classes. Les qüestions presentades en les activitats realitzades durant les classes tenien com a objectius: investigar el coneixement previ de l'alumne, registrar el model proposat pel grup o descriure com era i afavorir l'explicitació de com els alumnes imaginaven que el seu model explicava la situació-problema.

– L'avaluació realitzada al final del procés, que sempre va ser formulada amb el propòsit de verificar la comprensió dels alumnes en relació amb el coneixement químic, tot observant l'existència o no de concepcions alternatives.

A continuació, presentaré algunes d'aquestes investigacions i en destacaré alguns dels resultats més rellevants.

Principals resultats relacionats amb l'aprenentatge dels alumnes

Quan vam investigar l'aprenentatge dels alumnes, es va posar de manifest que la majoria dels alumnes dels grups estudiats va aprendre el contingut implicat en les estratègies d'ensenyament de forma significativa, ja que, al final dels processos d'ensenyament, la majoria d'ells no va presentar cap de les concepcions alternatives i/o dificultats específiques descrites en la literatura com a freqüents entre els alumnes quan estudien aquests temes.

Per exemple, quan apliquem la unitat didàctica sobre l'enllaç iònic, la majoria dels alumnes va ser capaç d'evolucionar a partir de la idea inicial alternativa que el clorur de sodi està format per «molècules» de NaCl fins a proposar un model en xarxa (fig. 2a i 2c). Malgrat que aquest model fos exemplificat en algun cas com un model diferent a l'acceptat científicament (fig. 2b), en totes les situacions els alumnes van ser capaços d'utilitzar-lo adequadament per explicar les propietats d'aquesta substància (Mendonça i Justí, 2010).

El fet que els alumnes aprenguin els continguts de forma significativa és un resultat important de la investigació. No obstant això, percebem que, per tal que aquest resultat pogués ser obtingut en altres classes, era necessari entendre com les activitats de modelització havien contribuït a l'aprenentatge dels alumnes. A partir d'aquesta comprensió, podríem discutir amb altres professors com podríem conduir aquestes activitats (o, fins i tot, produir-ne d'altres) de manera que s'afavorís l'aprenentatge dels alumnes.

En intentar entendre com les activitats de modelització havien contribuït a l'aprenentatge dels alumnes, vam identificar alguns elements la influència dels quals va ser nítidament confirmada en diverses investigacions, les quals seran comentades en termes de cadascuna de les etapes del procés de modelització.

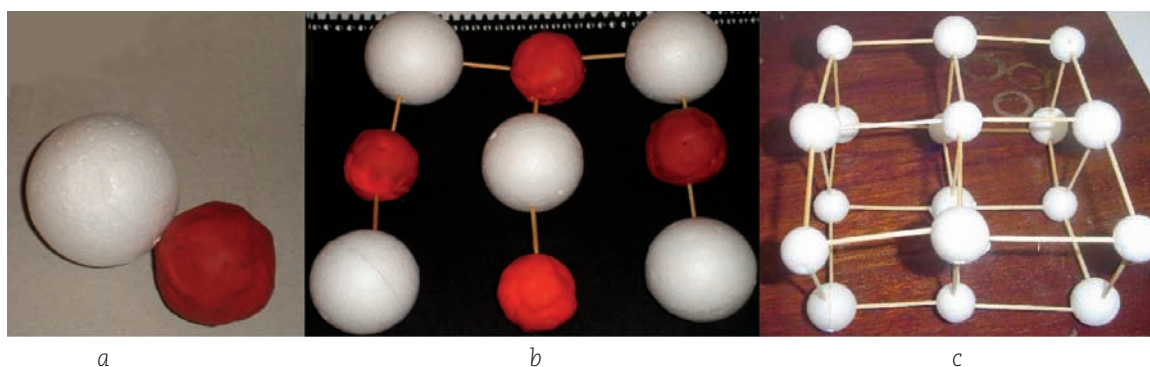


Figura 2. Models de l'estructura del NaCl(s) —a) molècula, i b) i c) en xarxa— construïts pels alumnes en diferents activitats de modelització.

1. Elaboració del model mental

En relació amb l'etapa d'elaboració del model mental, tres elements són destacables:

- La consideració de les idees prèvies dels alumnes com a font d'informació.
- La presentació de noves informacions a partir d'evidències experimentals.
- La utilització, per part dels alumnes, d'un raonament analògic en el procés de relacionar informacions.

1.1. La consideració de les idees prèvies dels alumnes

Les idees prèvies van ser essencials no només en l'etapa d'elaboració del model mental inicial, sinó també en la del test i la reformulació de models. Tots els models inicials presentaven aquestes idees, que estaven ordenades en funció de l'objectiu del model. Per exemple, en el cas de l'ensenyament de l'enllaç iònic (Mendonça i Justí, 2010), els coneixements sobre energia d'ionització i afinitat electrònica van ser imprescindibles perquè els alumnes comprenguessin la formació d'ions no restringint-nos a les explicacions basades en «la transferència d'electrons» i en «completar la capa de valència». Creiem que en això també va contribuir la manera com les idees dels alumnes van ser utilit-

zades en el procés, és a dir, els alumnes no havien de declarar cap coneixement previ, però sí utilitzar aquest coneixement per fonamentar explicacions i la proposició de noves idees. A més, el fet que els alumnes expressessin aquestes idees va contribuir, moltes vegades, al fet que els professors percebessin que alguns coneixements anteriorment discutits no estaven clars per part dels alumnes o que ells presentaven concepcions alternatives sobre alguns conceptes. Així, aquestes idees van poder ser discutides d'una manera contextualitzada, la qual cosa va contribuir a la modificació de les mateixes.

1.2. L'obtenció d'evidències experimentals

En diverses activitats de modelització, els alumnes realitzen experiments empírics. En el procés general, aquests experiments tenen com a objectiu l'aportació de noves informacions perquè ells:

- Obtinguin noves informacions sobre l'entitat a ser modelada i, a partir d'elles, puguin proposar un model mental.
- Posin a prova els seus models.

En tots els casos, les evidències experimentals van ser elements importants. Va quedar clar, per exemple, com aquestes evidències havien motivat els alumnes

a explicar les situacions-problema proposades en diverses activitats, a més d'ajudar al fet que comencessin a pensar en les activitats en si mateixes. Això va succeir, moltes vegades, perquè aquestes evidències presentaven nous elements, tot exigint dels estudiants una reflexió sobre el procés, la integració i l'aplicació dels seus coneixements, en lloc de la mera utilització de coneixements declaratius. Així, el paper d'aquest element nou va ser, primordialment, desafiar els estudiants a construir un nou coneixement. Un dels millors exemples d'aquest paper de les activitats experimentals va ser observat a la unitat didàctica sobre l'equilibri químic, quan els estudiants van observar el comportament de l'«ampolla màgica» (sistema líquid que canvia de color blau a groc, quan és agitat, i de groc a blau, quan queda en repòs), representat a la fig. 3.

1.3. El raonament analògic

Diversos professors i investigadors de les àrees d'educació en ciències i psicologia de l'educació han reconegut el paper de les analogies en l'adquisició de nous coneixements i en el canvi conceptual. No obstant això, la majoria de les experiències dutes a terme en les classes examina el raonament analògic en contextos



Figura 3. Diferents etapes de l'experiment «L'ampolla màgica» observat pels alumnes.

de resolució de problemes en els quals els dos dominis, el desconegut i el conegut, són proporcionats i ben definits pel professor i/o investigador, tot deixant únicament per a l'alumne el fet d'establir les correspondències i relacions entre aquells dominis. Per exemple, diversos professors presenten el model atòmic proposat per Bohr establint una analogia del mateix amb el sistema solar. Quan es fa això, s'espera que els alumnes entenguin que l'àtom està constituït per una part central (com el Sol en el sistema solar) i altres elements que es mouen al voltant d'aquesta part central en òrbites definides (ja que els planetes es mouen al voltant del Sol). No obstant això, algunes investigacions (Souza, Justí i Ferreira, 2006) mostren que, a partir d'aquesta analogia, alguns alumnes pensen que hi ha electrons diferents els uns dels altres (ja que hi ha planetes diferents) o que els planetes representen altres partícules diferents als electrons. Aquest és un dels molts exemples en els quals s'observa que quan el professor presenta una analogia ja elaborada a l'alumne, aquest pot extrapolar i establir relacions analògiques inadequades.

En el context de les activitats de modelització, la situació és diferent, ja que els alumnes tenen l'oportunitat d'establir les seves pròpies analogies, de buscar relacions de similitud des de la seva pròpia perspectiva, la qual cosa contribueix a una comprensió més profunda dels dominis comparats (Pittman, 1999). Les nostres investigacions van evidenciar que, en reflexionar analògicament tot buscant l'establiment de relacions que portin a l'elaboració o al test d'un model, els alumnes van utilitzar els principals subprocessos que constitueixen el raonament analògic, és a dir:

L'expressió concreta del model va ajudar els alumnes a ordenar l'activitat cognitiva durant el raonament, per exemple, fixant l'atenció en aspectes específics del model, fent possible mostrar interrelacions estructurals i causals i afavorint l'orientació de simulacions realitzades pels alumnes amb utilització de models concrets

– Van accedir a un o més dominis rellevants en la seva estructura cognitiva prèvia.

– Van «mapar» els dos dominis, és a dir, van identificar les correspondències sistemàtiques entre ells i, a continuació, van establir les parts corresponents de cada domini.

– A partir del resultat del mapa, van fer inferències sobre el domini desconegut, és a dir, van crear nou coneixement.

– Finalment, van avaluar aquestes inferències considerant el context i els objectius del model.

Per exemple, una alumna, en ser qüestionada sobre per què el guix no es dissol en aigua, va elaborar l'analogia següent:

Podem pensar que el guix és una caixa amb palets de fusta. Quan la caixa es col·loca a l'aigua, l'aigua penetra entre els palets i expulsa l'aire que hi havia entre ells, però els escuradents no se separen perquè ho impedeix la caixa. En el guix, l'aigua també hi penetra i expulsa l'aire, però les seves partícules no se separen perquè hi ha alguna força d'atracció entre elles.

En elaborar aquesta analogia, l'alumna ha modelitzat clarament la constitució del guix i la seva interacció amb l'aigua: ha fet servir el domini quotidià per explicar com entenia el domini científic. Discussions posteriors la van portar a percebre que l'analogia no explicava alguns aspectes del sistema (per exemple, l'existència d'interaccions entre les partícules d'aigua), la qual cosa va contribuir a reformular el seu model sobre el procés de dissolució. Evidències com aquesta indiquen que activitats fonamentades en el modelatge, en les quals es permet als alumnes establir les seves pròpies comparacions, poden contribuir a millorar el procés de l'ensenyament i l'aprenentatge de la química i, més específicament, la introducció de temes que involucrin la comprensió de nocions abstractes, com les necessàries per a la comprensió del procés de dissolució en el nivell submicroscòpic (Mozzer i Justí, 2009).

2. Expressió del model

L'etapa d'expressió del model va ajudar a la visualització dels models que involucraven aspectes abstractes dels temes en discussió, tot facilitant l'enteniment i la comunicació (inicialment entre els alumnes d'un mateix grup i, posteriorment, entre alumnes de diferents grups). A més d'això, l'expressió concreta del model va ajudar els alumnes a ordenar l'activitat cognitiva durant el raonament, per exemple, fixant l'atenció en aspectes específics del model, fent possible mostrar interrelacions estructurals i causals i afavorint l'orientació de simulacions realitzades pels alumnes amb utilització de models concrets.

En la unitat didàctica sobre l'equilibri químic (Maia i Justí, 2009c), després d'observar el

comportament del sistema gasós $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ en escalfar i després en refredar, els alumnes havien de proposar un model que representés el sistema en el nivell sub-microscòpic i que expliqués els canvis de color observats. Un grup d'alumnes va representar les molècules de NO_2 com dues boletes fetes de plastilina unides per escuradents, cosa que, per a ells, representaria un «enllaç més fort» (fig. 4a). Després, per a la representació de les molècules de N_2O_4 , el grup va unir dues molècules de NO_2 per un dels àtoms d'oxigen utilitzant una mica de plastilina de les mateixes boletes (fig. 4b). D'aquesta manera, el grup va intentar representar que aquest últim enllaç seria més feble que l'enllaç representat pels escuradents.

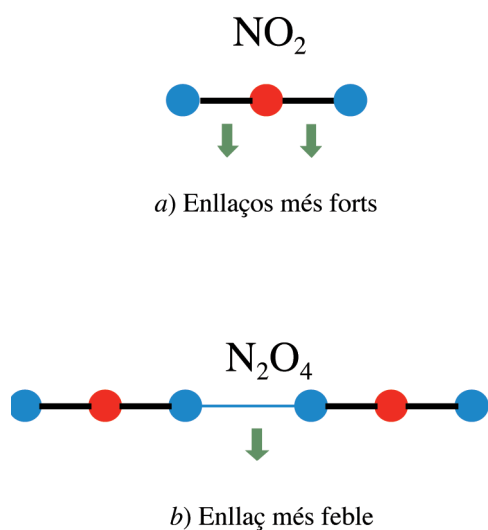


Figura 4. Models de les molècules de NO_2 (a) i N_2O_4 (b) construïts per un grup d'alumnes i utilitzats per simular el comportament del sistema gasós constituït per aquestes dues substàncies.

Segons el model elaborat pel grup, quan el sistema s'escalfava, l'enllaç més feble es trencava. Per intentar evidenciar-ho, van col·locar en un recipient alguns models de molècula de N_2O_4 i

van agitar el recipient, la qual cosa correspondria a col·locar el sistema gasós a l'aigua calenta. A partir dels resultats obtinguts de la simulació (no totes les molècules de N_2O_4 es van trencar), el grup va incloure un element més, la durada del procés, en el seu model. Això ens ensenya també que els alumnes poden modificar el model concret perquè aconseguixi expressar més adequadament el seu model mental, però també modificar el model mental a partir d'observacions de les proves realitzades amb el model concret.

Finalment, la utilització de fletxes dobles entre les etapes d'elaboració del model mental i l'expressió d'aquest en alguna de les maneres de representació significa un aspecte dinàmic que va ser observat en els processos estudiats. En les discussions entre els components dels grups i entre ells i la professora, es va observar l'exposició de models mentals (expressats verbalment o de forma esquemàtica) d'un alumne als altres, que els analitzaven i, a través d'aquesta anàlisi, contribuïen a modificar el seu model mental. Per tant, en la formulació del model consensual del grup, els models mentals dels seus components (o d'alguns d'ells) van ser presos en consideració i integrats els uns amb els altres. D'aquesta manera, la producció de models mentals, procés cognitiu innat dels individus, va ocórrer individualment o amb l'ajuda de les parelles.

3. Posada a prova del model

En relació amb l'etapa de posada a prova dels models, val la pena de ressaltar el plantejament d'experiments mentals, és a dir, d'experiments «realitzats» a la ment de l'individu a partir de l'elaboració d'una situació hipotètica i de l'intent d'utilització del seu model en aquella situació. El

fet de construir i dur a terme mentalment els experiments requereix mecanismes d'inferència, representacions existents i coneixements (tant científics com generals) per operar transformacions reals d'un estat físic possible a un altre (Nersessian, 1999). Això implica que les representacions emprades en experiments mentals són inherentment dinàmiques, fet que afavoreix la comprensió d'aquest important element dels conceptes i processos científics que, en general, no són emfasitzats de forma adequada en l'ensenyament.

D'altra banda, els experiments mentals també desenvolupen un paper crucial en la formació i la modificació de conceptes, perquè, quan els alumnes creen un sistema de simulació en un determinat model, poden percebre limitacions i inferir les seves conseqüències en la transposició del model al món real (aspecte essencial per fonamentar la reformulació dels models amb la finalitat d'augmentar el seu poder d'explicació o de predicció). Això va ser observat, per exemple, en la situació ja comentada sobre la simulació produïda per un grup d'alumnes per al sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$.

4. Avaluació del model

Finalment, l'etapa d'avaluació dels models finals dels alumnes contribueix a la comprensió d'un aspecte relacionat amb la naturalesa de la ciència: el fet que els conceptes científics no poden ser considerats certs o erronis, però sí més o menys adequats a un determinat context. Atès que, en general, la visió dels alumnes (així com la d'alguns professors i autors de llibres didàctics) és que el coneixement científic és estàtic, inqüestionable i veritable, el fet que els alumnes percebin el context d'aplicació i les limitacions dels seus models significa

que van aprendre els conceptes involucrats en aquests en una perspectiva més àmplia i coherent amb els objectius defensats actualment per a l'ensenyament de les ciències.

En apuntar aquests elements com els que van afavorir l'aprenentatge dels alumnes en contextos que tenien en compte la modelització, estem centrant la discussió en la formació de conceptes anant dels productes de canvi conceptual (és a dir, del fet que, al final del procés, l'alumne té idees diferents de les que tenia al començament) al procés a través del qual aquest canvi succeeix. Aquest canvi d'enfocament emfasitza la naturalesa de les pràctiques científiques, específicament els mètodes i els tipus de raonament a través dels quals es construeixen els conceptes (Nersessian, 1999).

Els nostres resultats de recerca poden influenciar l'ensenyament en altres classes en la mesura que indiquen que és essencial el fet que els professors de química promoguin situacions en les quals:

- Les idees prèvies dels alumnes siguin considerades com a font d'informació.
- Les idees dels alumnes puguin ser expressades de diverses maneres (concretes, dibuixos, simulacions, verbals, etc.).
- Noves informacions siguin presentades a partir d'evidències experimentals.
- Es demani als alumnes d'elaborar i utilitzar analogies en el procés de relacionar informacions.
- Els alumnes treballin amb dades empíriques, preferentment obtingudes per ells mateixos en experiments simples.
- Els alumnes puguin crear situacions hipotètiques en les quals intentin utilitzar els seus models.
- Totes les idees dels alumnes puguin ser discutides (amb els

companys i amb el professor) en un ambient de respecte mutu.

Principals resultats relacionats amb el desenvolupament d'habilitats investigadores

En funció de les etapes involucrades en el procés de modelatge, la realització d'un ensenyament basat en el modelatge pot ser una excel·lent oportunitat per al desenvolupament de les habilitats i per a la comprensió del procés d'investigació científica. Això pot contribuir significativament a un ensenyament més autèntic.

Recentment vam cloure, en el meu grup de recerca, un treball l'objectiu del qual va ser analitzar les habilitats de recerca emprades i/o desenvolupades pels estudiants a partir de la participació en activitats d'ensenyament que involucraven el modelatge en un context normal de classes de química (Maia i Justí, 2009a; Maia i Justí, 2009b). Per fer-ho, vam acompanyar trenta-dos estudiants de segon curs d'ensenyament mitjà (entre 15 i 17 anys) d'una escola pública federal de Belo Horizonte durant vuit mesos. Durant aquest període, es van usar cinc estratègies de modelatge a les classes de química. En aquest cas, les dades per a la investigació van ser recollides a través de l'enregistrament en vídeo de totes les classes, de tot el material escrit pels alum-

L'anàlisi de les dades va ser realitzada buscant la identificació de les habilitats emprades i/o requerides pels estudiants en cada etapa de les activitats de modelatge, així com l'acompliment dels estudiants en l'adquisició d'aquestes habilitats

nes i d'entrevistes amb una mostra d'ells.

L'anàlisi de les dades va ser realitzada buscant la identificació de les habilitats emprades i/o requerides pels estudiants en cada etapa de les activitats de modelatge, així com l'acompliment dels estudiants en l'adquisició d'aquestes habilitats. Aquesta identificació va ser realitzada a partir de la relació de les habilitats necessàries en les etapes del procés de modelatge presentades en el diagrama de la fig. 1, que, al seu torn, va ser proposada a partir de la descripció del diagrama i d'altres estudis (Wu i Hsieh, 2006) que identifiquen les habilitats requerides pels estudiants durant la realització d'activitats investigadores. En altres paraules, l'anàlisi de les dades d'aquesta investigació es va iniciar a partir dels resultats d'altres investigacions.

Comparant l'acompliment dels alumnes en diferents estratègies d'ensenyament al llarg de l'any lectiu, va ser possible:

1. Identificar algunes habilitats que van ser sistemàticament utilitzades per ells en participar de les activitats de modelització. Les principals van ser:

- a) Sistematitzar el problema per mitjà de l'elaboració de qüestions.
- b) Integrar informacions i coneixements previs en la formulació d'un model.
- c) Comunicar idees amb correcció i claredat.
- d) Elaborar analogies amb models previs.
- e) Analitzar fins a quin punt el model proposat aconsegueix els seus objectius.

2. Identificar algunes habilitats que van ser clarament desenvolupades pels alumnes al llarg de totes les estratègies d'ensenyament. Les principals van ser:

- a) Interpretar, qüestionar, criticar models i considerar la valide-

Taula 2. Accions del professor durant les activitats de modelització que poden contribuir al desenvolupament de les habilitats investigadores dels alumnes (Justi, 2009, p. 38)

Etapa del procés de modelització	Habilitats desenvolupades pels alumnes en involucrar-se en el procés	Accions del professor que poden contribuir al desenvolupament de les habilitats
Elaboració	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar coneixements previs rellevants (en l'estructura cognitiva). - Observar propietats rellevants del sistema en estudi. - Identificar propietats rellevants del sistema en estudi. - Relacionar fenòmens, fets, processos i idees a través de l'establiment d'analogies. - Integrar idees, dades i models en l'elaboració de nous coneixements tenint en compte els objectius definits anteriorment. 	<ul style="list-style-type: none"> - Afavorir la implicació dels alumnes per pensar críticament sobre un determinat fenomen o sistema. - Promoure situacions en les quals els alumnes parteixin d'idees o models previs i estableixin relacions entre ells i el sistema en estudi.
Expressió	<ul style="list-style-type: none"> - Utilitzar i interpretar diferents formes de representació. - Comunicar idees amb correcció i claredat utilitzant terminologies adequades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Afavorir en els estudiants la comunicació clara dels seus models, tot qüestionant tant les idees expressades en aquests models com les maneres i els codis de representació utilitzats en aquests.
Test (posada a prova)	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar qüestions hipotètiques. - Planejar experiments adequats identificant variables rellevants i seleccionant els procediments. - Utilitzar instruments de mesura i càlcul. - Recollir dades. - Analitzar dades. - Interpretar dades. - Analitzar els resultats obtinguts i les implicacions d'aquests. 	<ul style="list-style-type: none"> - Crear condicions per tal que els alumnes duguin a terme experiments mentals (per exemple, a partir de simulacions amb els seus models concrets). - Promoure la participació dels alumnes en la realització d'experiments investigadors. - Ajudar els alumnes a analitzar els resultats dels seus experiments mentals o empírics (per exemple, qüestions sobre com expliquen aquests resultats).
Avaluació	<ul style="list-style-type: none"> - Analitzar l'extensió en la qual el model proposat aconsegueix els seus objectius. - Establir relacions entre el model proposat i un context més ampli involucrant noves situacions i/o informacions. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajudar els alumnes a percebre possibles incoherències entre els seus models i les evidències empíriques observades o els seus coneixements previs. - Incentivar els alumnes a elaborar qüestions que puguin ser la prova del model en diferents contextos.

sa dels mateixos en determinats contextos. Al llarg de les activitats, especialment en moments de socialització, va ser possible observar que els estudiants van

ampliar les seves capacitats d'utilització d'aquestes habilitats.

b) Seleccionar coneixements i informacions adequats per a l'elaboració del model. Gradual-

ment, els estudiants van ampliar la capacitat de seleccionar coneixements i informacions adequats per ser integrats al model d'altres que no ho eren. Això va ser

observat, principalment, al llarg d'una mateixa activitat, a partir dels tests dels seus models.

c) Comprendre models a partir d'una representació verbal. Al llarg de les activitats, els estudiants van reduir l'ús de models concrets, la qual cosa indica l'augment de les seves capacitats d'abstracció i de visualització a partir de l'expressió verbal.

d) Utilitzar i interpretar diferents formes d'expressió i de representació. Els alumnes també es van mostrar més aptes per interpretar expressions i representacions emprades per altres grups i per la professora, així com per usar diverses formes d'expressió i de representació.

L'anàlisi detallada i crítica de les situacions viscudes pels alumnes a classe fonamenta la nostra creença que la manifestació i el desenvolupament de diverses habilitats investigadores van ser afavorits per les demandes de les activitats de modelització. Aquests resultats també mostren que la realització d'activitats de modelització, tenint en compte els aspectes emfasitzats anteriorment, contribueix a aconseguir un ensenyament més autèntic.

A més, l'anàlisi dels moments que van evidenciar el desenvolupament de les habilitats dels alumnes va permetre identificar algunes accions de la professora que van contribuir a aquest desenvolupament. Aquestes accions es mostren a la taula 2.

Consideracions finals

Al llarg d'aquesta presentació, he procurat mostrar les relacions íntimes i dinàmiques entre *investigació* i *ensenyament*. En el treball desenvolupat en el meu grup de recerca, els estudis anteriors (principalment, sobre el paper del modelatge en el desenvolupa-

ment del coneixement científic i sobre concepcions prèvies i dificultats dels alumnes) van ser essencials com a suport per a l'elaboració del referencial teòric general (el diagrama «Model de modelització» de la fig. 1) i les unitats didàctiques. Quan aquestes unitats didàctiques van ser aplicades a classe, es van dur a terme investigacions empíriques que van contribuir a la reformulació de les activitats i a la proposició d'orientacions per a professors interessats a millorar les seves pràctiques docents per aconseguir un ensenyament de les ciències més autèntic. Aquest és un procés cíclic en el qual, al meu entendre, la participació dels professors com a investigadors dels seus propis espais de classe ha de ser cada vegada més incentivada. Les nostres experiències amb professors brasilers

L'anàlisi detallada i crítica de les situacions viscudes pels alumnes a classe fonamenta la nostra creença que la manifestació i el desenvolupament de diverses habilitats investigadores van ser afavorits per les demandes de les activitats de modelització. Aquests resultats també mostren que la realització d'activitats de modelització, tenint en compte els aspectes emfasitzats anteriorment, contribueix a aconseguir un ensenyament més autèntic

i mexicans en aquest sentit (Justi, Chamizo, Figueiredo i Franco, s. a.) van evidenciar que aquest procés contribueix tant a la millora de l'ensenyament com a modificacions significatives de les pràctiques dels professors. El desenvolupament professional dels professors que es disposen a participar en investigacions (participant en grups amb professors universitaris o, fins i tot, aïlladament, tot analitzant sistemàticament les situacions ocorregudes en les seves classes) és, amb seguretat, una de les implicacions més rellevants d'investigacions educatives com les que hem desenvolupat.

D'altra banda, és important el fet de destacar que el desenvolupament i les conclusions de les investigacions aquí preses com a exemples contribueixen a fer l'ensenyament de la química més autèntic, perquè, en tots els casos, els investigadors i els professors involucrats es van preocupar, simultàniament, de l'aprenentatge del contingut químic i del desenvolupament de determinades capacitats dels estudiants relacionades amb el fet de pensar químicament i d'expressar i discutir idees amb l'objectiu d'elaborar coneixement. Al meu entendre, això és essencial per aproximar les classes de química a alguns aspectes del procés de construcció del coneixement que són tan importants en la formació dels ciutadans del segle XXI.

Agraïments

Al CNPq del Brasil, pel finançament dels projectes que van originar aquest treball.

Referències bibliogràfiques

BARAB, S. A.; HAY, K. E.; BARNETT, M.; KEATING, T. (2000). «Virtual solar system project: Building understanding through model building». *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7): 719-756.

- CLEMENT, J. J. (2000). «Model based learning as a key research area for science education». *International Journal of Science Education*, 22(9): 1041-1053.
- GILBERT, J. K. (2004). «Models and modelling: Routes to a more authentic science education». *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2: 115-130.
- GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J.; ELMER, R. (2000). «Positioning models in science education and in design and technology education». A: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. [ed.]. *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer, p. 3-17.
- JUSTI, R. (2006). «La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos». *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2): 173-184.
- (2009). «Learning how to model in science classroom: Key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills». *Educación Química*, 20(1): 32-40.
- (2010). «Modelos e modelagem no ensino de química». A: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. [ed.]. *Ensino de química em foco*. Ijuí: Unijuí, p. 209-230.
- JUSTI, R.; CHAMIZO, J. A.; FRANCO, A. G.; FIGUEIREDO, K. L. (s. a.). «Experiencias de formación de profesores latinoamericanos de ciencias sobre modelos y modelaje». *Enseñanza de las Ciencias*. [En prensa]
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. (2002). «Modelling teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers». *International Journal of Science Education*, 24(4): 369-387.
- (2003). «Models and modelling in chemical education». A: GILBERT, J. K.; JONG, O. de; JUSTI, R.; TREAGUST, D. F.; DRIEL, J. H. von [ed.]. *Chemical education: Towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer, p. 47-68.
- MAIA, P. F.; JUSTI, R. (2009a). «Contribuições de atividades de modelagem para o desenvolvimento de habilidades de investigação». Article presentat al VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências de Florianópolis.
- (2009b). «Desenvolvimento de habilidades em atividades de modelagem». *Enseñanza de las Ciencias*, 27(extra): 776-779.
- (2009c). «Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching». *International Journal of Science Education*, 31(5): 603-630.
- MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. (2009). «Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem. Parte 2». *Educación Química*, 20: 373-382.
- (2010). «Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study». *Research in Science Education*, s. núm.: 1-25.
- MORRISON, M.; MORGAN, M. S. (1999). «Models as mediating instruments». A: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. [ed.]. *Models as mediators*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 10-37.
- MOZZER, N. B.; JUSTI, R. (2009). «Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem». Article presentat al VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências de Florianópolis.
- NERSESSIAN, N. J. (1999). «Model-based reasoning in conceptual change». A: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J.; THAGARD, P. [ed.]. *Model-based reasoning in scientific discovery*. Nova York: Kluwer and Plenum, p. 5-22.
- PITTMAN, K. M. (1999). «Student-generated analogies: Another way of knowing?». *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1): 1-22.
- SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R.; FERREIRA, P. F. M. (2006). «Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: Uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas». *Investigações em Ensino de Ciências*, 11(1): 7-28.
- VOSNIADOU, S. (2002). «Mental models in conceptual development». A: MAGNANI, L.; NERSESSIAN, N. J. [ed.]. *Model-based reasoning: Science, technology, values*. Nova York: Kluwer Academic and Plenum, p. 353-368.
- WHITE, B. Y.; FREDERIKSEN, J. R. (1998). «Inquiry, modeling and metacognition: Making science accessible to all students». *Cognition and Instruction*, 16(1): 2-119.
- WU, H.-K.; HSIEB, C.-E. (2006). «Developing sixty graders' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments». *International Journal of Science Education*, 28: 1289-1313.



Rosária Justi

és professora del Departament de Química i del programa de postgrau d'educació de la Universitat Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. Té una llicenciatura i un mestratge en química, mestratge en educació i doctorat en ciències de l'educació (Universitat de Reading, Regne Unit). Va realitzar un postdoctorat en l'àrea de l'ensenyament de la química i en l'actualitat és una de les editores de la revista *Internacional Journal of Science Education*. També forma part del cos de revisors de diverses revistes brasileres i internacionals.
A. e.: rjusti@ufmg.br.