

La necessitat d'acoblar la història, la naturalesa de la ciència i l'educació científica. Propostes des de la història de la química

The need to assemble history, nature of science and scientific education. Some proposals from the history of chemistry

Pere Grapí / Universitat Autònoma de Barcelona. Centre d'Història de la Ciència



resum

La història de la ciència té l'important repte de tractar la naturalesa de la ciència en l'ensenyament de les ciències tant a l'educació secundària com a la formació del professorat de ciències. Amb relació a aquesta demanda, es planteja la qüestió següent: quins aspectes de la naturalesa de la ciència poden ser considerats candidats per ser tractats amb la història de la ciència? Hi ha un doble objectiu, en aquest article: en primer lloc, presentar el model empíric dels itineraris d'investigació elaborat per l'historiador de la ciència Frederic-Lawrence Holmes com a resposta raonablement adequada a la pregunta anterior; en segon lloc, introduir quatre articles que propugnen diferents rutes per a la inclusió de la història de la química a l'aula tot assenyalant aspectes clau de la naturalesa de la ciència.

paraules clau

Naturalesa de la ciència, itineraris d'investigació, creativitat científica, ensenyament de les ciències, relat històric.

abstract

History of science has the important challenge of dealing with the nature of science in science teaching in the secondary education as well as in science teacher education. Concerning this demand, the following question arises: what aspects of the nature of science can be considered candidates to be dealt with by the history of science? There is a twofold aim in this article: firstly, to present the empirical model of the investigative pathways worked out by the historian of science Frederic-Lawrence Holmes as a reasonably suitable response to the previous question; secondly, to introduce four articles propounding different roads for including the history of chemistry in the classroom while stating some key aspects of the nature of science.

keywords

Nature of science, investigative pathway, scientific creativity, science teaching, historical narrative.

Presentació: la naturalesa de la ciència des de la perspectiva de la història de la ciència

La història i la naturalesa de la química constitueixen la temàtica de la secció monogràfica d'aquest número d'*EduQ Educació Química*. Per tal d'oferir una mirada tan apropiada com sigui possible sobre la química i el seu ensenyament des d'aquesta perspectiva, comptem amb les

aportacions d'Agustín Adúriz-Bravo, Aureli Caamaño, Josep M. Fernández-Novell i Mireia Díaz-Lobo, John Oversby i Núria Solsona. L'article d'Agustín Adúriz-Bravo, «La historia de la ciencia en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: Maria Skłodowska-Curie y la radiactividad», comença obrint una reflexió sobre el paper d'allò que l'autor designa com a *metaciències*

en la formació del professorat, i tot seguit presenta tres unitats didàctiques basades en la figura de Marie Curie i en el descobriment del radi, amb la intenció de plantejar aspectes pertinents a la naturalesa de la ciència. La dimensió experimental de la química ha estat el seu gran distintiu al llarg de la història. En aquest sentit, Josep M. Fernández-Novell i Mireia Díaz-Lobo, a

l'article «Química al laboratori: una (r)evolució històrica», han recuperat algunes fites experimentals que van marcar la història de la química i les han recuperat com a recursos didàctics per al laboratori. Aureli Caamaño ens mostra en l'article «Els models d'Arrhenius i de Brønsted-Lowry en la modelització dels àcids i les bases: presentació anhistòrica i modelització híbrida» com el tractament històric que els llibres de text han fet al llarg dels anys de les teories iòniques dels àcids i les bases ha acabat generant una incoherent estratificació de capes conceptuais que ha incidit en l'ensenyament d'aquestes teories. John Oversby, a l'article «History and philosophy of acidity: engaging with learners by a different route», ens proposa treure el tema de l'acidesa del context més quotidià i situar-lo en el de la història i la filosofia de la química per ensenyar-lo a secundària. Finalment, advocar per les «petites històries» amb empremta femenina com a estratègia per contextualitzar històricament l'aprenentatge de la química és el plantejament de Núria Solsona a l'article «L'ús de textos de la història de la química d'autoria femenina a classe».

En l'àmbit de l'educació científica, actualment hi ha un acord substancial en el fet que l'ensenyament-aprenentatge de les ciències suposa alguna cosa més que entendre alguns dels fets fonamentals i algunes de les explicacions formals de la ciència. L'aprenentatge de les ciències també implica conèixer quelcom «sobre la ciència»: com s'ha generat el coneixement científic, el seu grau de fiabilitat, quines són les seves limitacions, els canvis metodològics de la ciència, les interaccions entre aquests coneixements i la societat en general, etc. Per dir-ho ras i curt, aprendre ciències significa també conèixer alguna cosa sobre la seva naturalesa.

Alguns aspectes de la naturalesa de la ciència es poden assolir tot desenvolupant els continguts conceptuals i procedimentals relacionats amb la «ciència normal», en el sentit que Thomas Kuhn va donar a aquest terme. Però, de manera alternativa, els aspectes més generals de la naturalesa de la ciència també es poden assolir situant els coneixements científics en el seu context històric per ubicar-ne l'origen i entendre les interaccions entre ciència, tecnologia i societat, tant en el passat com en el present.

Les concepcions que hi ha sobre la naturalesa de la ciència són tan variades com ho són les diverses perspectives que s'han elaborat entorn d'aquesta empresa anomenada *ciència*. Això significa que podem trobar idees, sovint complementàries, sobre la naturalesa de la ciència des del punt de vista de la filosofia, la sociologia, la història de la ciència i, fins i tot, l'antropologia cultural. No hi ha, però, una concepció única de la naturalesa de la ciència, tot i que s'han fet importants aportacions des de l'àmbit de l'educació científica per descartar certs malentesos mítics de la naturalesa de la ciència (McComas, 2000).

Des de l'àmbit de l'ensenyament de les ciències, s'han adoptat diferents posicions per establir aquells aspectes de la naturalesa de la ciència apropiats per ser ensenyats en un procés d'educació científica. Aquestes posicions abasten des d'ensenyar aquelles característiques de la ciència sobre les quals hi ha un ampli consens (*the consensus view*) fins a posicions basades en una descripció estructural de la naturalesa de la ciència que classifica les semblances i les diferències entre disciplines científiques en quatre categories: activitats; objectius i valors; metodologies i regles metodològiques, i productes (*the family*

resemblance approach). D'acord amb aquesta posició, el fet d'ensenyar la naturalesa de la ciència suposa tractar alguns aspectes d'aquestes categories (Irzik i Nola, 2011).

La funció que la història i la filosofia de la ciència poden desenvolupar en l'ensenyament de la ciència i en la formació del professorat de ciències ha estat discutida de forma vehement en els últims anys (Shortland i Warwick, 1989; Matthews, 1994; Bevilacqua, Giannetto i Matthews, 2001; Kokkotas i Bevilacqua, 2009). En aquest sentit, tant la història com la filosofia de la ciència han contribuït a discernir aquells temes de la naturalesa de la ciència que poden ser uns candidats adequats tant per a l'ensenyament secundari com per a la formació del professorat de ciències.

No obstant això, l'estat d'aquesta col·laboració entre la història i la filosofia de la ciència hauria de ser revisat per reclamar una major autosuficiència per a la història de la ciència en aquesta aliança. La història de la ciència sol ser considerada una bona font d'esdeveniments científics que, després d'haver estat convenientment reconstruïts, necessiten una certa aprovació final per part de la filosofia de la ciència, abans de ser incorporats a les activitats d'aprenentatge (Adúriz-Bravo i Izquierdo Aymenrich, 2009: 1178-1180). La secció següent pretén mostrar l'autosuficiència de la història de la ciència a l'hora de generar models de recerca científica que permetin aflorar aspectes generals de la naturalesa de la ciència amb finalitats educatives.

La metàfora de l'«itinerari d'investigació»

L'historiador de la ciència Frederic-Lawrence Holmes (fig. 1) va estudiar en tots els seus detalls, a partir de la dècada de 1960, les recerques de destacats

científics des de mitjan segle XVIII fins a mitjan segle XX. Holmes va examinar el dia a dia dels quaderns de laboratori, la correspondència, les memòries, els llibres publicats i, fins i tot, per a científics de final del segle XX, va realitzar entrevistes personals. L'any 2002, Holmes va sintetitzar el que havia après dels estudis monogràfics d'aquelles carreres científiques i, dos anys més tard (després de la seva mort), els resultats d'aquest treball van ser publicats en el llibre pòstum *Investigative pathways. Patterns and stages in the careers of experimental scientists*, en el qual s'ofereixen generalitzacions reveladores respecte de la naturalesa de la ciència (Holmes, 2004).



Figura 1. L'historiador de la ciència Frederic-Lawrence Holmes (1932-2003), autor del llibre *Investigative pathways. Patterns and stages in the careers of experimental scientists*.

Holmes va introduir la metàfora de l'«itinerari d'investigació» (*investigative pathway*) per descriure i entendre les trajectòries individuals dels científics dins dels grans moviments de recerca en què van prendre part. Per a Holmes existeix una tensió creativa provocada per la pràctica científica d'un individu que pretén fer-se un lloc dins del seu grup disciplinari i aquest mateix grup d'especialistes que comparteixen una

disciplina que busca consolidar el seu territori (Holmes, 2004: xvi).

Un itinerari d'investigació no és una ruta que el científic preestableix i segueix, sinó una ruta que crea mentre explora territoris desconeguts. En aquest itinerari es procedeix pas a pas, cada pas guiat pels anteriors i per indicacions incertes sobre allò que es pot trobar en el següent. Aquests itineraris no són línies rectes, sinó línies contínues que tenen direccions canviant.

Aquesta visió de Holmes contradiu l'antiga imatge del gran científic com una persona que posseeix, des d'un bon començament, una visió més profunda i infal·lible que d'altres que treballen en el mateix àmbit, i que reprèn, des d'un punt de vista completament original, problemes que predecessors havien aparcat o que no havien encertat a veure com a tals problemes.

El plantejament de Holmes està fonamentat en la seva experiència d'haver reconstruït en detall els itineraris d'investigació d'alguns científics rellevants als territoris de la química, com són el fisiòleg experimental Claude Bernard (1813-1878), el genetista Seymour Benzer (1921-2007), el químic Antoine Lavoisier (1743-1794), el bioquímic Hans Krebs (1900-1981) i els biòlegs moleculars Matthew Meselson (n. 1930) i Franklin Stahl (n. 1929). A pesar dels trets diferencials que caracteritzaven les recerques de cadascun d'ells, Holmes va percebre que hi havia certs aspectes profunds subjacents en cada cas. L'estudi dels diferents itineraris d'aquestes recerques li va suggerir que, més enllà dels canvis en l'escala i de la complexitat de cada cas, quelcom fonamental que els vinculava a tots restava invariable.

A continuació se citen les característiques que aparentment han estat compartides per aquells

científics durant els últims tres segles (un període en què la ciència ha existit com a empresa col·lectiva, contínua i organitzada), les quals es podrien fer extensibles als itineraris d'investigació d'altres científics:

- El procés d'identificació de problemes que semblen tenir solució amb els mitjans a l'abast.

- La interacció entre les preguntes que es plantegen i les respostes proporcionades pels successius resultats experimentals.

- L'intercanvi de punts de vista recíprocament beneficiós entre un investigador i els seus col·legues contemporanis compromesos en recerques similars.

- La necessitat de construir nous coneixements a partir d'allò que s'ha aconseguit prèviament, tot i que les solucions prèvies estiguin sotmeses a reavaluació crítica.

- La forta tendència a persistir en l'estudi de problemes amb els quals s'està implicat des del començament d'una carrera o, alternativament, a moure's cap a àrees en què es poden aportar experiències personals (Holmes, 2004: xxi, 23-24).

Aquest enfocament no negligeix la dimensió més contextual de la ciència. Cada itinerari d'investigació particular mostra, d'una banda, la llarga marxa d'un grup d'especialistes que comparteixen una mateixa disciplina i que intenten expandir-la i, d'altra banda, l'esforç particular de cada individu dins d'aquest grup per trobar el seu lloc i per produir descobriments, conclusions i tota mena d'aportacions amb les quals pot fer contribucions reconegudes pel mateix grup. No obstant això, aquestes contribucions no depenen tan sols de la capacitat intel·lectual de cada científic, sinó també del seu temperament, de la formació, de l'experiència prèvia i d'altres aspectes varia-

bles de la seva trajectòria vital (adolescència, maduresa i vellesa). És per això que els itineraris d'investigació individuals mostren característiques pròpies tant de la naturalesa de l'avenç col·lectiu de la ciència com de les necessitats personals de cada individu (Holmes, 2004: xvi).

És clar, doncs, que cada itinerari d'investigació està compromès amb un context ampli de tipus social, econòmic, polític, filosòfic, religiós o educatiu, el qual, si bé no configura l'estructura conceptual de l'itinerari d'investigació, és, d'altra banda, absolutament necessari per tenir-ne un millor i més ampli coneixement. La metodologia de les propostes didàctiques que Fernández-Novell i Díaz-Lobo presenten en el seu article fa èmfasi, precisament, en la importància del context històric per proporcionar a l'alumnat una millor comprensió de les pràctiques químiques.

Aspectes bàsics de la naturalesa de la ciència per a l'ensenyament secundari

Aquest model empíric dels itineraris d'investigació, fonamentat en investigacions rigoroses sobre diversos casos de la història de la ciència, pot ser un punt de referència adequat per proposar els aspectes bàsics de la naturalesa de la ciència que haurien de ser accessibles als alumnes de secundària (o a una audiència general), els quals es poden tractar a partir de la mateixa història de la ciència i de la tècnica. D'acord amb aquesta proposta, un alumne hauria de ser capaç de conèixer i comprendre aspectes sobre la recerca científica, les explicacions científiques, la creativitat científica, la comunitat científica i les interaccions entre ciència i societat.

En relació amb la «recerca científica», un alumne hauria de

ser capaç de conèixer i comprendre que els científics segueixen itineraris d'investigació que no estan preestablerts, sinó que es creen a mesura que s'exploren territoris desconeguts, i que no existeix «un mètode científic» estàndard, compartit i universal que, seguint-lo fil per randa, proporcioni de forma automàtica coneixements garantits. L'article d'Agustín Adúriz-Bravo aprofita la unitat didàctica sobre el descobriment del radi per revisar, precisament, diferents «metodologies científiques». Cal reconèixer, però, que el treball dels científics presenta trets característics, com ara els següents:

– La identificació de problemes que semblen tenir solucions a l'abast. Per exemple, en la química del segle XVIII, el guany de pes observat en la calcinació d'alguns metalls era un problema que reclamava una solució.

– L'obtenció de dades (qualitatives i quantitatives) mitjançant observacions i experiments. En aquest sentit, John Oversby assenjala de quina manera la categorització de la classe dels «àcids» es va resoldre a través d'un procés d'inducció, en generar-se el concepte intangible d'*àcid ideal* a partir de les reaccions (dades) protagonitzades per uns pocs àcids tangibles. Un altre episodi històric que exemplifica de forma paradigmàtica la rellevància de la recollida de dades és el dels experiments de Pascal sobre la pressió atmosfèrica al Puy de Dôme.

– La tendència a prosseguir en la resolució de problemes persistents però que presenten expectatives raonables de solució. En aquest sentit, la cerca de la naturalesa i la composició de l'aire atmosfèric va ser un problema que va interessar a la gent de ciència durant segles.

En relació amb les «explicacions científiques», un alumne

hauria de ser capaç de conèixer i comprendre que l'objectiu de la ciència és buscar explicacions als problemes identificats a partir de fets observats al món natural o bé produïts experimentalment. Una part de l'article de John Oversby sobre l'acidesa aporta claredat sobre la tipologia de les explicacions. A més, l'article d'Aureli Caamaño és clarificador en presentar el poder explicatiu de les teories iòniques sobre l'acidesa i la basicitat. D'altra banda, l'article de Núria Solsona mostra la riquesa de la tradició alquímica en explicacions molt sovint vinculades a les manipulacions de laboratori. En general, les explicacions científiques:

– Solen elaborar-se a partir de coneixements aconseguits prèviament. Tornant al problema del guany de pes dels metalls en calcinar-se, va ser una observació que la teoria de l'oxigen de Lavoisier per la combustió podia justificar.

– Es corroboren contrastant les prediccions formulades (per les mateixes explicacions) amb les dades obtingudes. Per exemple, Lavoisier va ser capaç de concloure a partir de molt poques dades que l'acidesa d'una substància era deguda a l'oxigen que contenia.

– Porten a fer prediccions. És prou conegut el fet que la taula periòdica de Mendeléiev (fig. 2) va preveure l'existència d'elements desconeguts aleshores (gal·li, escandi i germani).

En relació amb la «creativitat científica», un alumne hauria de ser capaç de conèixer i comprendre que les explicacions no sorgeixen automàticament de les dades. L'elaboració d'explicacions és un procés creatiu (imaginatiu). Al llarg d'un itinerari d'investigació, hi ha algun o alguns episodis creatius que permeten fer salts mentals des dels fets (dades) cap a les explicacions. Els episodis de descobriment en ciències estan

Reihes	Gruppe I. RO	Gruppe II. RO	Gruppe III. RO ²	Gruppe IV. RH ³ RO ³	Gruppe V. RH ³ RO ³	Gruppe VI. RH ³ RO ³	Gruppe VII. RH ³ RO ³	Gruppe VIII. RO ²
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rh=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140				
9	(—)							
10			?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184		Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	[Au=199]	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208			
12				Th=231		U=240		

Figura 2. La taula de Mendeléiev del 1871 mostrava la predicció dels pesos atòmics de tres elements que encara no s'havien descobert: eka-bor (44), eka-alumini (68) i eka-silici (72).

molt lluny de representar «moments Eureka». L'episodi del descobriment del radi, al·ludit a l'inici d'aquesta secció, és un bon cas per constatar-ho. La idiosincràsia de la creativitat científica fa possible que gent diferent arribi a elaborar explicacions diferents a partir de les mateixes dades. Per això sorgeixen en el món científic controvèrsies ben legítimes. La història de la química en té de força rellevants:

- Priestley vs. Lavoisier, sobre la naturalesa de la combustió.
- Galvani vs. Volta, sobre l'origen de l'electricitat animal (fig. 3).
- Proust vs. Berthollet, sobre les proporcions de combinació (fixes o variables) dels compostos.

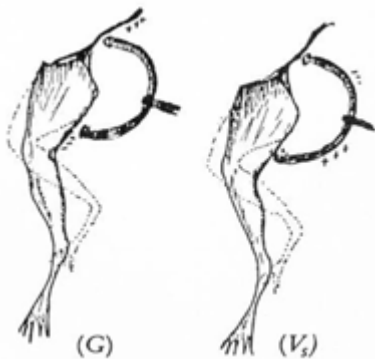


Figura 3. Comparació entre les teories de l'electricitat animal de Galvani (G) i de l'electricitat per contacte de Volta (Vg).

En relació amb la «comunitat científica», un alumne hauria de

ser capaç de conèixer i comprendre que:

- L'intercanvi de punts de vista entre un investigador i els seus col·legues contemporanis és mútuament beneficiós. En aquest aspecte, cal reconèixer el paper que desenvolupen els editors de les revistes científiques.

- La comunitat científica està organitzada en institucions que han establert procediments per autenticar els resultats i les conclusions de les recerques i, si escau, arribar a consensos. En aquest sentit, els diferents relats sobre les vicissituds que va viure Marie Curie entorn del descobriment del radi, esmentats per Agustín Adúriz-Bravo, fan referència a les tensions entre l'activitat científica individual i la comunitat científica de l'època.

La intencionalitat educativa de la proposta que es presenta en aquest article convida a incloure un últim aspecte que no necessàriament ha d'haver estat compartit per diferents itineraris d'investigació. Es tracta de la presa de decisions sobre les aplicacions dels coneixements científics i tecnològics per avaluar els pros i els contres del seu impacte social. Aquest és un aspecte important de la naturalesa de la ciència, encara que no tots els itineraris d'investigació comparteixin com a

tret comú una certa reflexió o valoració individual sobre l'impacte social de les seves recerques, la qual cosa no vol dir que determinats itineraris d'investigació no hagin tingut en algun moment una certa incidència social.

Així, doncs, en relació amb les «interaccions entre ciència i societat», un alumne hauria de ser capaç de conèixer i comprendre que el fet de prendre decisions sobre les aplicacions de coneixements científics, noves tecnologies, materials i aparells que incideixen notablement en les nostres vides pot tenir efectes secundaris inesperats o no volguts. En aquest punt, cal recordar, entre altres casos, l'impacte dels pesticides en la salut d'animals i persones, els efectes nocius dels gasos refrigerants freons sobre la capa d'ozó de l'atmosfera o la incidència imperceptible de la nanociència en la privacitat de les dades personals (fig. 4). Les receptes per elaborar preparats medicinals, perfums o cosmètics que Núria Solsona presenta en el seu article són també exemples especialment significatius de les aportacions de la tradició alquímica a la societat del seu moment.

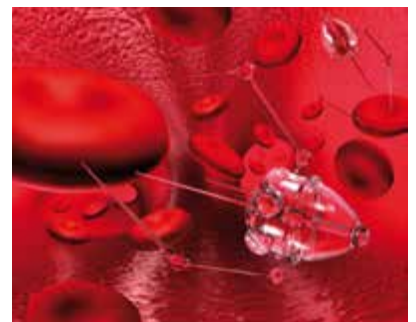


Figura 4. El disseny de nanomàquines per a la manipulació atòmica de matèries primeres està generant debats ètics sobre les seves possibles aplicacions militars.

El repte de disposar de relats històrics adequats

No obstant això, hi ha un problema a resoldre, si es vol que la naturalesa de la ciència sigui

accessible a audiències que van des de persones adultes o joves de l'educació primària i secundària fins a persones més expertes, com ara estudiants universitaris i professors de secundària i d'universitat. Fer visible la naturalesa de la ciència a través de la seva història implica disposar de relats adequats d'episodis històrics. El problema dels relats no pertoca tan sols a les audiències particulars a les quals s'adrecen, sinó també a la capacitat dels historiadors per reconstruir els resultats de les seves investigacions científiques en un determinat format narratiu.

Fins i tot per a un professional de la història de la ciència, el fet d'elaborar un relat històric pot ser complex, segons la naturalesa de l'itinerari d'investigació que s'hagi de narrar. Quan el personatge que s'estudia segueix una sola línia d'investigació durant un cert temps, la narració de l'episodi és directa, però quan comparteix diverses línies i es desvia d'una línia cap una altra, és difícil reconstruir-ne la història. Aleshores, l'historiador s'enfronta al dilema de mantenir en el seu relat l'ordre cronològic de les etapes documentades o bé separar les diferents línies i mantenir la continuïtat de cada desenvolupament temàtic malgrat fragmentar la cronologia (Holmes, 2004: 95).

Els relats són inevitablement teleològics. Un historiador narra amb una finalitat o una altra, selecciona els esdeveniments i els detalls dels coneixements previs que contribuiran o obstaculitzaran el desenllaç de la història. Un historiador només pot evitar aquesta inexorabilitat teleològica incloent relats tan complets com sigui possible d'altres línies alternatives que la investigació va prendre i que aparentment (durant un cert temps) apuntaven cap a una direcció que no va

acabar reeixint. Ara bé, quan cal comprimir i simplificar el relat (pel motiu que sigui), l'historiador es veu forçat, per tal de retenir tots els passos que van ser necessaris per al desenllaç final, a eliminar aquells elements que finalment no van resultar essencials per a aquest desenllaç. L'historiador no es pot escapar fàcilment del dilema que suposa la simplificació, atès que la història completa ràpidament esdevé massa complexa per reconstruir-la en un relat simple. La selecció és inevitable (Holmes, 2004: 189-191).

La translació del discurs anterior a l'àmbit de l'ensenyament de les ciències porta a la mateixa conclusió: la incorporació de la història de la ciència a l'educació científica requereix relats d'episodis històrics simplificats i dimensionats d'acord amb la demanda de la situació educativa. De la mateixa manera que l'historiador de la ciència es veu obligat a simplificar tot preservant aquells esdeveniments essencials per al resultat final del relat, també ha de ser capaç de tirar endavant aquesta simplificació amb finalitats educatives (Matthews, 1994: 80). En definitiva, l'accés a la història de la ciència per part d'un públic no especialitzat implica disposar de diferents nivells narratius per als diferents públics.

Referències

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2009), «A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers». *Science & Education*, 18: 1177-1192.
- BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E.; MATTHEWS, M. R. (2001). *Science, education and culture: The contribution of history and philosophy of science*. Dordrecht: Kluwer Academic.

HOLMES, F. L. (2004). *Investigative pathways: Patterns and stages in the careers of experimental scientists*. New Haven; Londres: Yale University Press.

IRZIK, G.; NOLA, R. (2011). «A family resemblance approach to the nature of science for science education». *Science & Education*, 20: 591-607.

KOKKOTAS, P.; BEVILACQUA, F. (2009). *Professional development of science teachers: Teaching science using case studies from the history of science*. Seattle: CreateSpace.

MATTHEWS, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nova York: Routledge.

MCCOMAS, W. F. (2000). «The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths». A: MCCOMAS, W. F. (ed.). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 53-72.

SHORTLAND, M.; WARWICK, A. (1989). *Teaching the history of science*. Oxford: Basil Blackwell.



Pere Grapí

És llicenciat en ciències químiques per la Universitat de Barcelona i doctor en filosofia i lletres (programa «Història de la ciència») per la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha estat catedràtic de física i química d'ensenyament secundari. Les seves principals àrees de recerca en història de la ciència són la química de final del segle XVIII i principi del segle XIX i les relacions entre la història de la ciència i l'ensenyament.
A/e: pgrapi@gmail.com.