

BASES EPISTEMOLÒGIQUES DEL CURRÍCULUM DE CIÈNCIES

Mercè Izquierdo i Aymerich

Dpt. de Dica. Matemàtiques i Ciències U.A.B.

RESUMEN

En este artículo se reflexiona sobre la importancia de la epistemología en el momento de elaborar el currículum de ciencias. Esta reflexión se desarrolla en tres partes. En la primera se subrayan los aspectos de la docencia de las ciencias que hacen más necesaria una formulación epistemológica. En la segunda parte se presentan diferentes modelos de progreso de las ciencias desde una perspectiva de racionalidad y se defiende un modelo de «racionalidad moderada». Finalmente, en la tercera parte se presentan algunas orientaciones para la enseñanza de las ciencias basadas en la epistemología. El artículo finaliza con unas conclusiones relacionadas, en líneas generales, con su contenido.

ABSTRACT

This article deals with the importance of the epistemology when the Science syllabus is compiled. The article is divided up into three parts.

First of all, we emphasized the aspects of Science teaching that make an epistemological model more necessary.

In the second part, we present different models of science progress from the standpoint of rationality and we defend a model of «moderate rationality».

Finally, in the third part, we introduce some guidelines for the teaching of Science based on epistemology.

The article ends with some conclusions related, in general terms, with its contents.

Introducció

Aquest article es refereix a aquells aspectes del currículum que requereixen una reflexió suficientment aprofundida sobre els coneixements (les ciències experimentals, en aquest cas) que s'han d'ensenyar i a les actuacions concretes que se'n deriven. Ella sola és insuficient per a planificar la intervenció didàctica, però és imprescindible per a poder fer-ho correctament.

En primer lloc s'anomenen les diferents actuacions en les quals l'epistemologia (la reflexió sobre el coneixement) influencia la tasca docent. La coherència, i l'eficàcia que se'n deriva, de les diverses actuacions del professor, requereix que totes elles responguin a una imatge de les ciències uniforme i completa (LUCAS, 1983). Es dedica una segona part de l'article a comentar el debat sobre què són les ciències dels darrers trenta anys, molt ric. Actualment veïem les ciències d'una manera més àmplia i matitzada i menys dogmàtica que fa uns anys; la nova perspectiva enriqueix les possibilitats d'educació científica (CHALMERS, 1987) (NEWTON-SMITH, 1987) (ASTOLFI, 1978) (TOULMIN, 1977). En la tercera part de l'article es suggereixen algunes línies d'acció, derivades de la fonamentació epistemològica dels currículums de ciències; aquesta permetrà una crítica constructiva d'algunes programacions, examens, llibres de text, exercicis de laboratori... «oficials», que és necessària pel disseny d'alternatives destinades a aconseguir una educació científica eficaç, orientada cap a un aprenentatge significatiu dels temes, i amb uns nous objectius, més adequats. (FENSHAM, 1983).

La reflexió que es proposa és molt complexa i en aquest article apareix excessivament simplificada. Les propostes que s'ofereixen en el tercer apartat i les conclusions d'aquest article corresponen a la proposta que em sembla més viable i eficaç, fonamentada en una de les perspectives d'anàlisi de les ciències actual (racionalisme moderat) que em sembla d'un gran interès i amb una relació estreta amb el què és i ha estat fins «fer ciència».

1. Què són les bases epistemològiques del currículum i com condicionen l'actuació del docent?

Intent de definició

Un dels aspectes que identifiquen una pràctica docent correcta és la competència a l'hora de planificar la intervenció didàctica; si el que es pretén és educar a través de l'ensenyament (i l'escola no pot aspirar a molt més), no es pot ensenyar qualsevol cosa ni de qualsevol manera. La tasca és complexa i requereix considerar els diversos factors que incideixen en l'ensenyament.

ment per tal de definir, comptant amb ells, els fonaments teòrics a partir dels quals es precisaran les finalitats de l'actuació del docent i es dissenyarà, amb coherència, el pla d'acció a seguir.

Un dels fonaments del curriculum de ciències a l'escola és reflexió a l'entorn de la disciplina que cal ensenyar, encaminada a educar a través d'ensenyar millor la disciplina; n'és una part molt important, però no la única (COLL, 1986). Les «bases epistemològiques» del curriculum són conseqüència d'haver pensat en la disciplina des d'aquesta perspectiva i contribueix a la presa de decisió respecte de diferents aspectes de la intervenció didàctica i és imprescindible, si es vol que aquesta sigui coherent.

Veurem a continuació les diverses orientacions que pot suggerir al professor l'epistemologia.

Selecció dels continguts per a un aprenentatge significatiu

L'alumne, quan aprèn significativament, ha d'integrar els nous coneixements en la seva estructura cognoscitiva (és a dir, en el conjunt dels seus coneixements previs, constituïts per fets, conceptes, relacions, teories, valors, creences...), que es pot concebre com un conjunt d'esquemes de coneixement que cal fer evolucionar. (HEWSON i POSNER, 1984); la riquesa d'aquests (en coneixements i en relacions entre els coneixements) facilita la construcció de significats nous. Segons alguns autors (NOVAK, 1982), el coneixement que s'ofereix ha de tenir significativitat lògica (no ha de ser arbitrari o confús) i l'alumne ha de ser empès i ajudat a construir els significats, progressivament precisos, dels conceptes.

La distància enorme que sempre existirà entre els continguts de la disciplina, molt complexos i formulats amb uns llenguatges cada vegada més especialitzats, i els continguts d'aquella mateixa disciplina en els programes escolars obliga a una selecció acurada; amb ells l'alumne ha de saber de què va realment aquella disciplina, quines són les aportacions que ha fet pel que fa a l'adquisició del coneixement a l'estructuració, qualitat i validesa del coneixement del món que ells ofereix; què fan els professionals que s'hi dediquen, quin és el seu paper en la societat i com l'afecta.

L'anàlisi epistemològica de la disciplina, que ens permet buscar l'estructura interna de la disciplina i separar els continguts dels secundaris. Aquesta anàlisi és prèvia a la selecció dels continguts que cal ensenyar i a l'establiment de seqüències d'activitats d'aprenentatge; ajuda a aprofundir en la disciplina, intentant situar-la més enllà de la pràctica professional concreta de grups reduïts i situar-la en un context social i cultural ampli, i permet identificar les preguntes que defineixen l'àmbit de la disciplina, així com els seus mètodes característics de treball.

Valors socials i funcionalitat del coneixement

La significativitat de l'aprenentatge està molt vinculada a la seva funcionalitat: els coneixements adquirits (conceptes, destreses, valors, normes) han de poder ser efectivament utilitzats quan les circumstàncies en què es troba l'alumne ho exigeixin, i per això han de connectar amb els seus interessos. L'organització dels coneixements de l'alumne no és la del professor; depèn de la qualitat de les preguntes que s'ha arribat a formular i de la seva relació amb els seus propis valors.

Quins són els problemes rellevants, les situacions experimentals a l'abast de l'alumne, per a suggerir-li les preguntes clau? Certament, no són exactament els del científic; però s'han de dissenyar a partir del coneixement profund de les «possibilitats» de la disciplina: els seus autèntics problemes, l'estil d'experimentació i de raonament que li és propi, els conceptes vertebradors i la relació que li és pròpia amb l'entorn social, que contribueix a fixar els criteris de veritat, aprova determinades formes de llenguatge i valida determinades experimentacions. El professor ha d'organitzar els coneixements de la manera més rigurosa possible sense empobrir la imatge de la ciència ni presentar-la desconnectada dels valors i interessos de la societat; ha d'aconseguir que l'alumne hagi captat allò que considera essencial de la seva disciplina i per això ha d'oferir a l'alumne «coses a fer».

Influència de l'epistemologia en els professors i en els currículms de ciències

En els darrers 20 anys els currículms de ciències han anat evolucionant des d'un ensenyament de les ciències com un cos de coneixement cap a l'experiència de la ciència com un mètode de producció i generació d'aquests coneixements. S'ha animat els professors a fer cursos segons «el mètode científic» i a posar l'alumne a «fer de científic»; tot i això, molts professors han continuat amb un ensenyament tradicional, perquè suposadament amb ell es pot avançar més el programa. Els nombrosos projectes per a l'ensenyament de les ciències que es varen publicar en la dècada dels seixanta tenien en comú la consideració que el factor més important en el disseny del currículum havia de ser l'estructura de la ciència a ensenyar: el propi coneixement científic i el mètode científic.

Tot i el desenvolupament curricular important durant els setanta en aquesta mateixa línia es considera ara que els nous cursos no han augmentat la comprensió de la natura de la ciència ni han augmentat l'interès envers la ciència (HODSON, 1985). Pot semblar, fins a un cert punt, que l'intent de fonamentació epistemològica dels currícula de ciències ha fracassat; però més s'ha de pensar que ha estat un error considerar que la natura de la ciència ha

de ser l'única font del currículum, per més que n'és una, i molt important. A més, cal considerar els importantíssims canvis que s'han produït en la filosofia de la ciència, com hem vist en l'apartat anterior, i que han enriquit extraordinàriament el concepte que els propis científics tenien de la seva ciència.

Els treballs de POPPER, KUHN, LAKATOS, FEYERABEND són tots posteriors a 1959; les importants qüestions referents a la racionalitat de canvi científic i les crítiques al suposat «mètode científic» veuen la llum en el moment en què s'elaboren projectes en base a una suposada naturalesa de la ciència, racional, inmutable i segura. Simultàniament, les noves visions evolutives de la ciència inspiraven el naixent recerca en didàctica de la ciència i donaven lloc als models didàctics de «canvi conceptual», alguns dels pressupòsits dels quals es mantenen en les incipients teories constructivistes (PSHG, 1982).

La situació actual entre els professors és d'un cert desconcert. El debat dels epistemòlegs presenta aspectes contradictoris, per més que tenen el gran interès de trencar amb una imatge monolítica i prepotent de ciència i presentar-la amb més modèstia; la imatge social de la ciència ha canviat també, però no en el mateix sentit. Com que tant el pensament del professor com el social influeixen en l'alumne (LUCAS, 1983), és necessari aprofundir el debat fins a poder establir un cert marc d'acord; aquest hauria de marcar els límits de les bases epistemològiques de l'ensenyament de les ciències (SUMMERS, 1982)

Què són les ciències?

En establir les bases epistemològiques del seu currículum els professors de ciències s'han de respondre en primer lloc aquesta pregunta, que influirà de manera decisiva l'orientació global que aquest donarà a l'ensenyament. SEGOHS LOSEE (1980) això comporta interessar-se per les característiques específiques de la recerca científica i de l'explicació considerada correcta, dels procediments d'investigació que s'adopten i de la fundició de les teories. Divereses recerques demostren que no hi ha unanimitat en la resposta, sinó més aviat una diversitat molt àmplia (ROWELL i CAWTHON, 1982) (HODSON, 1985), (USABIAGA, 1987); i, també, que en general els professors són poc coherents i que allò què fan i què diuen que fan no coincideix (YAGER i HOFFSTEIN, 1985).

Els científics, al llarg de la història, ha definit de manera molt diversa la seva activitat; els filòsofs de la ciència (els epistemòlegs) han fet igualment aportacions varies, que fins i tot poden semblar contradictòries. En l'actualitat, són ja molts els científics i els professors de ciències que han

fet seves les crítiques a una visió ingenua de la ciència; però la incorporació dels nous corrents porta sovint a postures instrumentalistes o relativistes que són també criticables. Un dels aspectes d'aquest article consistirà en proporcionar algunes pistes que orientin el professor a l'hora de respondre's aquesta pregunta.

Si el professor vol ser autònom en la planificació de la seva intervenció (i jo crec que és urgent que es plantegi de ser-ho, com a premisa primera de la seva dignitat i autonomia professionals) cal que pugui respondre totes i cada una de les preguntes, amb tot rigor i coneixement de causa. Cal, per tant, que aprengui filosofia de la ciència. En l'apartat següent intentarem oferir alguna pista per a l'elaboració de les respostes. Amb això semblava acceptar-se que el mètode científic pot ser caracteritzat fàcilment i es pot ensenyar: la filosofia de la ciència sembla demostrar que això no es pot defensar.

2. Les característiques del pensament científic

Aquest apartat en centra en els aspectes racionals de la ciència, en relació al mètode i progrés de les ciències. Les consideracions que s'hi fan són, al meu entendre, les que més influeixen en els currículums escolars i les que més han interessat, fins ara, els professors de ciències i als investigadors en didàctica de les ciències.

2.1. Models racionals de progrés científic

Racionalitat i irracionalitat del canvi científic

La imatge que els científics donen d'ells mateixos és de racionalitat sense discussions. La ciència s'enorgulleix de tenir un mètode de justificació molt potent, que fa que l'activitat científica sigui la més seriosa de les activitats humanes possibles i que «coneixement científic» sigui sinònim de saber ben fonamentat. Però en l'actualitat s'han formulat algunes crítiques a aquesta pretensió que han tingut una influència molt notable; el concepte de «racionalitat científica» s'ha modificat profundament.

T. KUHN (1977) i FEYERABEND (1974), entre altres, consideren que la suposada racionalitat de la ciència no correspon a la pràctica científica, o que es fonamenta en pressupòsits insostenibles. Tant els que defensen un model racional de progrés científic com els que neguen basen les seves afirmacions en les anàlisis respectives del «canvi científic»: l'abandó de determinades teories que s'havien considerat vàlides i la seva substitució per d'unes altres.

Aquells que defensen un model racional de canvi científic consideren que la substitució de les teories es poden explicar només amb «factors interns», que es refereixen només a les pròpies teories i a la seva relació amb els fenòmens que intenten explicar; els que defensen un model «no racional», ho expliquen només amb factors externs, que no tenen relació amb les teories sinó amb els qui les elaboren, i són psicològics i sociològics (NEWTON-SMITH, 1987).

Si es parla de «ciència racional» s'ha de demostrar que és possible comparar les teories científiques decidir que una d'elles és millor que l'altra, i per què. Per poder-ho fer s'ha de justificar que la ciència té una meta determinada: elaborar teories explicatives sobre el món i una de les teories, la nova, s'hi acostava més que l'altra. Finalment cal demostrar que la història de les ciències s'ajusta al model racional i que els canvis de teories es justifiquen amb arguments propis de les ciències. Els «no racionals» neguen que es pugui fer res d'això.

El problema més important és la possibilitat de comparació de teories rivals, en el moment del canvi. S'han arribat a caracteritzar quatre «metodologies» diferents i totes elles proporcionen una determinada «teoria de la racionalitat científica» i una possible reconstrucció de la història interna de la ciència, amb regles referents al rebuig o acceptació de determinades teories o programes d'investigació rivals. A continuació s'exposen breument aquests diferents models de progrés científic.

Diferents enfoc del mètode científic

• *Inductivisme*

La ciència és un coneixement objectiu rigurosament derivat dels fets de l'experiència, i per això és fiable. S'accepten només proposicions que descriuen fets provats o que són generalitzacions infalibles (teories) d'aquests fets. L'esquema (CHALMERS, 1987) seria el següent:

Lleis i teories (termes teòrics)	
Fets adquirits per l'observació (termes observacionals)	Prediccions

Des d'aquesta perspectiva, no es pot explicar racionalment com han estat seleccionats els fets rellevants; es considera que això pertany a la història externa de la ciència, i que és un problema «no racional».

Les variants més modernes de l'inductivisme són el positivisme i el positivisme lògic. Aquest darrer ha formulat una interessant crítica a la distinció entre els termes observacionals i els teòrics que s'ha anat reformulant-se en

el sí dels diferents convencionalismes per acabar reconeixent que no hi ha fets observacionals al marge de les teories.

El principi d'inducció no s'ha pogut justificar fins ara de manera satisfactòria, però hi ha qui continua en aquesta recerca. També es pot concloure, en conseqüència, que la ciència no és racional, com ho fa HUME. Una altra alternativa, que és la que es presenta a continuació, és afirmar que la ciència no es basa en la inducció: la teoria és abans de l'observació i serveix per a seleccionar els fets rellevants. Veurem ara altres models de ciència, no inductius; però el pensament inductiu no es pot eliminar de les ciències, com veurem en els models «moderadament racionals»

- *Convencionalisme*

Es pot acceptar per convenció qualsevol sistema que organitzi el coneixement. Segons DUHEM, la substitució d'un «sistema de caselles» per un altre es fa per un criteri de simplicitat intuïtiva. La ciència és acumulativa i el progrés de la ciència es produeix en el terreny dels fets comprovats; a nivell teòric, però, el canvi és instrumental.

Quan el convencionalisme afecta inclús a l'elecció dels fets es cau en l'escepticisme (no es pot conèixer res sobre el món real) o en l'instrumentalisme (les teories no són ni veritables ni falses, sinó que són només «instruments de predicció»), i la ciència deixa de ser racional, ha perdut la seva meta.

- *Convencionalisme revolucionari*

Podem parlar d'una variant del convencionalisme, el «convencionalisme revolucionari» de KUHN, que introdueix la irracionalitat en els moments de canvi científic: els descobriments científics són invencions lliures i creatives de nous sistemes organitzatius dels coneixements i les diverses teories en litigi són inconmesurables (no es podem comparar), perquè el significat dels llenguatges que utilitzen ambdues és radicalment diferent.

KUHN, en insistir en què un canvi de paradigma és un canvi total en la visió del món (on veiem un ànec ara hi veiem un conill), arriba a considerar que amb això s'introdueixen canvis en el món mateix i s'expressa com un idealista: les descripcions que fem del món canvien amb les nostres teories i un canvi de teoria ens porta a mirar parts diferents del món; la veritat és relativa a la teoria.

Segons KUHN, la història de la ciència és ben diferent de la ciència que apareix en els llibres de text. En les èpoques de canvi es trenca l'acord entre els científics i deixa d'existir un marc comú de referència pels coneixements que elaboren. No hi ha principis objectius neutres respecte a les teories i per això no és possible l'explicació racional del canvi científic.

La aportació més important de KUHN és fer veure que, per comprendre

l'activitat científica, no ens hem de fixar només en les teories científiques sinó en tot el vano de creences, actituds, procediments i tècniques que són comuns a tota la comunitat científica; i, a més, que el model de ciència que adoptem ha d'estar d'acord amb el què han fet els científics al llarg de la història.

La postura de KUHN és una reacció exagerada (però que ha estat molt útil) a la creença que hi ha regles mecàniques, algorismes, que permeten triar entre teories rivals; però s'oblida que hi pot haver una altra mena de consideracions, racionals, que permetin fonamentar les nostres decisions.

• *El falsacionisme metodològic*

Es tracta d'una vessant de convencionalisme revolucionari, però que intenta introduir un criteri racional alhora de decidir entre dues teories rivals, que, com hem vist, podrien haver estat inventades amb absoluta llibertat. Ha estat proposada i desenvolupada per K. POPPER (1963). Per POPPER, el món físic no es pot conèixer a partir de l'observació i del pensament inductiu. Els fets rellevants són acceptats per convenció; les teories només poden ser considerades científiques si poden ser contrastades amb els fets coneguts (falsada per ells) i si poden predir-ne de nous, mitjançant arguments hipotètico-deductius. Per «conjectures i refutacions» els científics aconsegueixen teories cada vegada més versemblants, concepte que ha definit ell mateix, però que, segons els seus crítics, el porta a una postura instrumentalista.

S'ha fet a POPPER la important crítica de fer una proposta que no s'ajusta a la història de la ciència; en efecte, els científics no treballen en la perspectiva de demostrar que les seves teories són falses, sinó al contrari, es resisteixen a admetre-ho si es dona el cas d'haver explicat fets que no s'hi ajusten. La «falsació» és una distorsió de la pràctica científica real; les teories no han estat rebutjades per no haver portat cap a una predicció que no s'hagi confirmat. Per respondre a aquesta crítica, formula la ruptura entre el tercer regne (el coneixement objectiu) i les seves distorsions en les ments individuals (el primer regne); a partir d'això LAKATOS (1982) ha establert la diferenciació entre història externa i història interna de la ciència a la qual ens hem referit abans. Amb tot, no aconsegueixen establir un vincle entre la meta de la ciència i el mètode per poder assolir-la.

• *Els programes d'investigació científica: les teories com estructures*

Aquest model de ciència ha estat desenvolupat per LAKATOS (1983) a partir de les aportacions de POPPER i de KUHN, per a corregir-ne alguns dels aspectes conflictius. Segons LAKATOS (1982), només poden parlar de racionalitat si la filosofia de la ciència recorre a la història de la ciència i, a partir d'ella, elabora una metodologia normativa que permeti la reconstrucció de

la història de la ciència, que ha de ser complementada pels factors externs, empírics, pel que fa als aspectes «no racionals».

Segons LAKATOS, l'empresa científica és una lluita entre teories competitives que són progressivament més versemblants; aquestes es modifiquen progressivament donant lloc a una seqüència de teories diferents que s'anomena «programa d'investigació científica». El progrés científic es dona per competència entre programes d'investigació, que poden ser progressius, si aconseguen predir fets nous o estancats, si només arriben a donar explicacions «post hoc» de fets ja descoberts. Un determinat programa pot arribar a eliminar-ne un altre, si el primer explica cada cop més que el segon. No admet el pensament inductiu i això fa que la seva proposta tingui aspectes que no es poden arribar a justificar racionalment.

• *Concepció anarquista del coneixement: FEYERABEND*

En el llibre «Contra el mètode» ens diu que el mètode científic no existeix. «El únic principi que no impide el progreso: todo vale». La ciència és una tradició entre d'altres; però té un tracte privilegiat en la societat occidental. Caldria donar a les altres tradicions (fetilleria, astrologia, medicina antiga) accés al poder i a la educació. Les teories són inconmensurables amb el cosmos perquè la suspensió dels principis fonamentals d'una teoria suposa la suspensió de tots els fets i de tots els conceptes: el significat de tots els termes depèn de la seva connexió amb els principis universals. Per tant, és un relativista, perquè porta al límit la no distinció entre els termes teòrics i els observacionals i això el fa caure en l'explicació del canvi científic en termes de propaganda, preferències subjectives... i no en termes racionals.

El seu atac es dirigeix contra un racionalista que creu en regles infalibles i sense excepcions. L'atac no fa mal, perquè existeixen pocs racionalistes de posicions tan ingenues com les que ell els hi suposa. Cap racionalista es veu obligat actualment a concebre el mètode com un sistema de regles algorítmiques, inmutables. Accepten que els judicis observacionals puguin tenir un component ideològic; l'afirmació de FEYERABEND, que aquests que no tenen cap component que no sigui ideològic, és una exageració.

• *Les ciències són moderadament racionals*

S'han fet darrerament algunes aportacions que situen el debat que he presentat, el sintetitzen i en treuen alguna conclusió molt interessant. Em refereixo a l'obra de TOULMIN (1977), de CHALMERS (1987) de NEWTON SMITH (1987) que en parlen d'una ciència evolutiva (les teories i els mètodes), de «racionalitat en sentit ampli», «racionalitat moderada», «realisme no representatiu». Aquests autors consideren que els programes racionalistes «forts» arriben a contradiccions que els fan deixar de ser racionals, perquè

en rebutjar el principi d'inducció trenquen la connexió amb el món i la meta científica es desdibuixa.

Tot i que existeixen diferències entre ells, proposen un model racional per a la ciència, des d'una perspectiva realista i amb l'acceptació d'algun principi inductiu, per a poder comparar teories rivals i defensen que l'instrumentalisme i el relativisme condueixen a postures no racionalistes; però introdueixen el concepte de racionalitat «mínima», de «fer en cada ocasió científica el que científicament és considera més correcte». Es tracta d'un racionalisme moderat, que admet que en els moments clau el científic ha de fer servir el seu propi judici sense una fonamentació rigurosa, que vindrà molt més tard.

Ofereixen una nova definició de veritat, que no es relaciona amb saber com és el món de veritat sinó amb comprendre'l i explicar-lo. La ciència i el mètode són evolutius i per això és difícil què la ciència: podem dir més o menys què ha estat fins ara, però no sabem què serà en el futur. En tot cas, la ciència no és recerca de la veritat absoluta, però sí que és un treball molt rigorós de relació entre un món físic amb existència objectiva i una societat que fins ara ha estat interessada en comprendre'l.

L'obra d'aquests autors ajuda a comprendre el debat dels epistemòlegs en els darrers anys i situa les coses d'una manera que un professor de ciències pot considerar «sensata»; per instint professional els professors sabem que no ens podem comprometre a classe amb models de ciència «límits». La perspectiva realista i de racionalitat moderada ens ofereix la possibilitat d'incorporar alguns aspectes de les aportacions dels epistemòlegs citats sense caure en contradiccions; una de les més greus seria pensar que no expliquem res sobre el món, o que estem animant a l'alumne a emprendre una tasca irracional.

A continuació s'exposen algunes idees característiques d'aquesta darrera orientació, referents aspectes que, per a mí, són clau per a l'educació científica.

2.2. Les teories científiques i el mètode científic

Des de DESCARTES, el poder explicatiu de les ciències prové de les teories i aquestes van assolint un poder explicatiu més elevat. Han de tenir èxit observacional, objectiu, és a dir, han de dir quelcom sobre el món: explicar observacions ben caracteritzades i generar prediccions que puguin ser corroborades, i han de tenir també èxit teòric. La manera com s'ho fan els científics per fer progressar la seva ciència és el mètode científic; no és fàcil de caracteritzar, però en tot cas és un camí per aconseguir una meta científica. Els científics fan en cada moment el que creuen més raonable, però les

raons per a triar una teoria i no una altra han de ser també científiques. Com que parlem des d'una perspectiva de modèstia, cal acceptar que el judici del científic té un paper important a l'hora de triar entre explicacions contraposades; però és perillós que un científic rellevant s'hi acostumi, perquè en un moment donat pot resultar contraproductiu i barrar el pas a nous judicis més encertats, que, si partim del principi d'objectivitat, algun altre científic haurà formulat.

El punt de vista objectiu de la ciència relativitza el paper del judici del científic, sense prescindir-ne. Permet deixar de veure el coneixement com «individual» i considerar el progrés científic amb unes característiques objectives, un estil de treball que es pot reconèixer i que és propi dels científics (l'experimentació), un llenguatge propi (matemàtic) i amb una sèrie d'oportunitats objectives de desenvolupament, diferent per a cada una de les teories rivals: la que en tingui més, atreurà a més científics, doncs és segur que, havent-hi una comunitat preparada, un o altre descobrirà les oportunitats que se li ofereixen.

L'atac post-positivista a la dicotomia teoria/observació ha portat els no racionalistes a afirmar que tant uns com els altres queden definits per la teoria i per tant no hi ha possibilitat de decidir entre teories rivals en base a les dades empíriques perquè les teories són inconmensurables i inclús els termes experimentals d'una teoria són incomunicables fora d'ella; portant-lo al límit arriben a resultat molt allunyats de la intuïció i de la pràctica real dels científics. Tot i això, aquest atac ha influït en els models de ciència més moderns (LAKATOS, KUHN) que afirmen que la formació i desenvolupament de teories complexes (considerades a partir d'un estudi històric) només es pot descriure adequadament si les teories són considerades unitats estructurades, que donen sentit a tot el demés: conceptes, experimentació, pràctica professional...

Els racionalistes moderats, tot i reconèixer que les teories ho estructuraven tot, han partit inductivament de les dades objectives que ofereix la història de la ciència i han tendit al realisme, una concepció optimista que considera que, d'entre dues teories rivals, una d'elles és aplicable al món amb un grau d'aproximació més gran que l'altra. L'observació depèn de la teoria i els conceptes adquireixen el seu significat en la teoria, es formulen en el seu llenguatge i seran tan precisos com ho sigui la teoria; però si aquest conjunt es desconnecta del món, ja no diu res sobre ell i perdem la meta científica, i la possibilitat de considerar la ciència racional. Si es prescindeix totalment de la inducció amb facilitats es cau en el relativisme (qualsevol teoria val i prosperen algunes d'elles i no les altres per raons externes a la ciència), en l'idealisme (el món és tal com el veiem) o l'instrumentalisme. El contrapunt necessari és refermar una concepció realista de les teories científiques i una concepció objectivista de la ciència.

Segons una concepció realista de les teories científiques, aquestes aspiren a descriure el què és el món i comporta la idea de veritat. L'instrumentalista, en canvi, aspira només a relacionar observables, però no espera que les teories siguin capaces de preveure noves experimentacions ni resultats que en certa manera sobrepassin la teoria. La postura realista és més atrevida i especulativa que l'altra i sembla que és més productiva que l'altra: el realisme de Galileo (*epur si muove*) va ser més valent i va generar més feina futura que no pas l'instrumentalisme de Osiander. (CHALMERS, 1987).

El realisme afirma que les teories són verdaderes o falses, segons com sigui el món i que l'objectiu de l'empresa científica és descobrir veritats explicatives respecte del món. El realisme porta aparellada la idea de veritat, que no és una veritat com 'correspondència amb els fets' perquè no és compatible amb la història de la ciència, ja que la pràctica científica acaba invalidant totes les teories científiques; en la seqüència històrica de teories va millorant les aproximacions a la «veritat», les explicacions són millors i de més abast.

L'aspecte més important d'aquesta reflexió sobre la ciència i ens porta a considerar que les teories *no són una descripció dels fets*, sinó que es refereixen a «tendències transfactuals». «Explicar el real per l'impossible», com diu CHALMERS, recordant una cita de KOYRÉ. Com que parlem des d'una perspectiva realista, les entitats teòriques es compleixen en les situacions experimentals, però també són vàlides fora d'elles; i es refereixen al món, que existeix amb independència de les teories.

Des de la perspectiva de la racionalitat moderada, el model racional de la ciència ha de ser necessàriament dinàmic. Per tant no podem parlar d'un model únic de progrés científic, sinó d'una seqüència de models, de manera que cada un d'ells representi els principis de comparació operatius durant un període. Com que el mètode evoluciona, no podem de cap manera aplicar les característiques de la pràctica científica actual a l'explicació de transicions científiques anteriors. El racionalista moderat treballa amb una sèrie evolutiva de models a l'hora d'oferir explicacions racionals de l'activitat científica. Necessita l'explicació sociològica per aclarir perquè va sorgir un mètode determinat en aquell moment històric, i perquè el grups de científic tinguren interès en treballar en ell i explica en termes d'interessos no científics com és que la persecució racional de la ciència ha arribat a convertir-se en un ideal humà.

La veritat respecte de la ciència no és simple. Probablement no és adequada la pregunta inicial: què és la ciència?, perquè no té una resposta única ni clara. Queda en peu, però, l'existència d'un nombrós grup, que ha existit des de l'antigor que han manifestat el desig de comprendre el món i d'explicar-lo amb el màxim rigor i s'han posat a la feina. Com tots ells, els científics actuals no són ni purament racionals ni purament irracionals, però treballen

racionalment el millor que poden i amb el màxim rigor, perquè tenen clar el què volen aconseguir i com fer-ho.

3. La utilització de les bases epistemològiques en l'elaboració del currículum

El currículum escolar no pot fer viure l'alumne com un científic; el professor ha de conèixer molt bé els fonaments i la història de la seva ciència per a proporcionar als seus alumnes les experiències d'aprenentatge amb un plantejament coherent, que faci estimar i apreciar en el seu valor just la ciència, com una activitat racional notable, amb influència en la societat i influenciada per ella.

És urgent iniciar una nova fonamentació epistemològica dels currículums escolars de ciència, que comptin amb la complexitat de l'activitat científica, tal com ha estat manifestada en els debats dels darrers trenta anys (GIL, 1983) (SCHWARTZ, 1982); no és només inductiva, però tampoc no és instrumentalista. La meta de les ciències: comprendre el món real, ha de quedar clara. L'actitud del científic actual és més modesta que abans; ha d'admetre que el seu mètode evoluciona: no és perfecte, ni específic; que la seva activitat intenta ser racional, però que no sempre pot justificar tot el que fa, sinó simplement que creu que allò el farà avançar; i que no ha de ser imposada en detriment de les ideologies o creences de cadascú, sinó que precisament pua una part dels condicionants del seu progrés dels valors socials; per això no fa de la ciència una ideologia ni s'entesta en models racionals a ultrança, però continua, honestament, utilitzant el més que pot la seva raó per a conèixer cada cop millor el món que l'envolta.

Però la fonamentació epistemològica no és més que una de les bases del currículum. No ens diu encara com hem d'ensenyar les ciències: aquesta pregunta no correspon a l'àmbit de les ciències (USABIAGA, 1987). El currículum de ciències no ve determinat només per la natura de la ciència que s'ha d'ensenyar, per més que aquesta ciència és el punt de referència obligat al llarg de tot el procés. No podem afirmar, ni negar, que un bon aprenentatge de les ciències requereixi reproduir la feina dels científics; ni tant sols sabem si es poden «fer científics»; les preguntes d'aquesta i d'altra mena que surdeixen en l'ensenyament de les ciències corresponen a la didàctica de les ciències. Una part important de la recerca en didàctica de les ciències ha estat inspirada en models per a l'aprenentatge que es fonamenten en la visió evolutiva, amb una dimensió històrica i social, de les ciències i l'assu-meixen.

En aquesta darrera part de l'article exposaré breument les línies d'acció que pot suggerir l'epistemologia en l'elaboració del currículum de ciències.

Ensenyar a pensar: els «processos» no es poden ensenyar sense la teoria, ni desconnectats de la pregunta que es vol respondre

En els darrers anys s'han elaborat molts Projectes d'ensenyament de ciències que proposen l'aprenentatge dels processos científics (del mètode científic) més que no pas dels continguts científics. Però hem vist en l'apartat anterior que el mètode científic no pot ser descrit fàcilment, així com la funció capdal de les teories, enteses com estructures; no es poden diferenciar tan fàcilment teoria i mètode, conceptes i processos. En aquesta reflexió s'ha basat una part de la crítica a aquest enfoc de l'ensenyament de les ciències (MILLAR i DRIVER, 1988).

El mètode és una forma especial de procedir, quan s'està actiu mentalment. Les correlacions entre variables, les regularitats de determinats canvis, la conjectura d'hipòtesis per intuïció, la comprovació experimental de les hipòtesis... poden considerar-se procediments de sentit comú, precientífics. El mètode científic, en canvi, és una ruptura amb el sentit comú, una superació d'aquest; la ciència ha anat produint i desenvolupant teories que han produït ítems i propietats cada vegada més teòrics, amb finalitat explicativa. Els únics processos científics són els que es fonamenten en una teoria, i són aquests els que s'han d'ensenyar a la classe de ciències (BACHELARD, 1934).

Com que les teories científiques evolucionen, i ho fa també el mètode científic, podem identificar processos científics diversos, tots ells importants en alguna de les diferents fases del desenvolupament teòric: invenció de nous conceptes, establiment de relacions entre conceptes, connexió dels conceptes amb definicions operacionals (la transducció, especialment important i característica) generació de prediccions comprovables a partir de les teories vigents... L'alumne ha de tenir oportunitats per a posar a prova i per a exercitar tots aquests modes variats de raonar, que requereixen tant el pensament inductiu com el deductiu, en base a qüestions que siguin interessants per a ell i que corresponguin a l'estil de preguntes que es propi de cada ciència, i que les diferencia unes de les altres.

L'epistemologia hauria d'estar present en tots els currículums, hi ho estarà si cada un dels professors fa una reflexió en aquesta direcció des de la seva disciplina. No es tracta d'introduir l'epistemologia com una assignatura més; es tractaria de presentar cada un dels coneixements específics vinculat d'una manera explícita a l'exigència d'un pensament teòric rigorós. Això portaria a superar els mites en els que es cau fàcilment en ensenyar ciències: el realisme ingenu; l'empirisme crèdul; l'instrumentalisme relativista; o l'idealisme (HODSON, 1985). Tots aquests mites amaguen a l'alumne que la ciència és aprehensió progressiva de més veritat sobre el món, mitjançant uns mètodes que evolucionen, a fi d'assolir millor aquest objectiu; i que el cien-

tífic viu una aventura (individual i col·lectivament) quan s'enfronta amb un problema i intenta resoldre'l amb els recursos de que disposa, inventant la solució.

Incrustar el treball pràctic i els problemes en el conjunt de l'ensenyament

Sembla ser que els científics han anat desenvolupant una manera de fer en la qual estan estretament relacionades l'experimentació i les teories. No sembla vàlid doncs que, en l'escola, separem els processos, assimilats a experimentació, dels continguts, que ho són a les teories; altrament, es podria alterar radicalment el significat dels conceptes científics, que s'han elaborat precisament en aquest intent de racionalitzar la pràctica. En les escoles i inclús en l'ensenyament superior es prioritzen les classes teòriques, i les pràctiques i de problemes són considerades secundàries, d'aplicació i de reforç; en les classes teòriques s'ofereix una ciència dogmàtica i en les pràctiques, una altra mena de ciència, inductiva, o bé instrumentalista i relativista; ni una ni altra és la ciència que fora desitjable a l'aula.

Segons HODSON (1982) es poden diferenciar tres fases, en el progrés de les ciències: una fase creativa (d'especulació, on el treball individual i les intuïcions del científic són especialment importants); una fase experimental, en la qual es segueixen, en sentit ampli, les regles del joc acordades per la comunitat científica per a exercir la crítica, i una fase de comunicació, segons els processos socials d'acceptació i de registre, en la qual s'expressen els resultats en els llenguatges de la disciplina i el nou coneixement s'incorpora al cos de coneixements de la disciplina. L'alumne pot viure-les també, diferenciant-les, a través de les classes de ciències; amb això el treball experimental al laboratori quedaria integrat en el conjunt dels curs.

La pràctica de laboratori és una de les activitats escolars que s'hauria de repensar més profundament. En primer lloc, se n'han de fer, necessàriament. En segon lloc, s'han de diversificar: els alumnes han de tenir ocasió de posar en joc les diverses maneres de pensar i d'actuar pròpies de la ciència. No es tracta de buscar noves pràctiques; probablement moltes de la situacions experimentals que han estat seleccionades en aquests darrers anys pels professors i apareixen en els llibres de pràctiques són vàlides; però ha de canviar l'estil de treball conjunt de professors i alumnes. El mateix hauriem de dir respecte dels problemes, que haurien de referir-se a situacions experimentals o a preguntes inèdites, a l'abast de l'alumne però que el facin pensar i no alicar fórmules mecànicament. (GARRET, 1988).

M'atreviria a suggerir les línies següents:

- Introduir diferents estils de pràctiques i de problemes i parlar amb els alumnes de la finalitat de cada un d'ells, destacant les diferències en els processos mentals que es posen en joc: relació entre conceptes (hipotètiques); invenció de conceptes (inductives); aplicació de conceptes o transducció (incrustar un aparell conceptual teòric en el món físic, utilitzar progressivament conceptes interpretatius); demostració de correlacions expressades en forma de llei (donar significació al llenguatge matemàtic)
- Donar la màxima importància a les teories, en el treball experimental. Experimentar mai ha de ser simplement manipular. De vegades es relativitza el valor de les teories (que es confonen, al llarg del discurs docent, amb els models) i amb això es reforça una visió instrumentalista i relativista de la ciència, que, com hem vist, no sembla correspondre al model de progrés de les ciències que la pràctica dels científics al llarg de la història ens ha suggerit.
- No fer mai pràctiques sense un informe final, que no ha de ser estereotipat (segons un model previ, amb conclusions que ja es saben abans de començar). La comunicació científica s'ha d'aprendre, i el llenguatge científic no s'aprèn simplement a base de definicions.
- En l'actualitat no es pot prescindir dels ordinadors, en les pràctiques i en els problemes escolars. En molts casos pot ser molt més convenient una simulació en ordinador que una manipulació confosa i poc clara. Cal però, que l'alumne sàpiga que s'està referint a quelcom real, que passa o pot passar realment.

Introduir un llenguatge amb significat (ni jamalají ni bla-bla)

Si l'ensenyament de les ciències es centra en les teories científiques, en la interpretació del món real i no en la seva descripció, el llenguatge ha de ser progressivament interpretatiu (fonamentat en les teories) i no descriptiu. Els conceptes prenen sentit en el sí d'una teoria, no per definició.

La teoria és explicativa d'una pregunta sorgida «objectivament». S'ha dit molt que si no hi ha pregunta, no hi ha ciència. La ciència és una activitat humana, com ho és la capacitat de preguntar-se. Però és molt sofisticada i s'allunya del sentit comú, per la pròpia necessitat de respondre les preguntes que formula. Per això, la ciència s'ha d'ensenyar i el llenguatge científic, també.

Des del meu punt de vista, l'objectiu més important de tot l'ensenyament, si els currículums es fonamenten epistemològicament, és aprendre llengua, tot aprenent a pensar (VIGOTSKY, 1962). I amb això no vull dir que augmenti el nombre de les classes de llengua, ni tampoc que augmentin les de filoso-

fia per tal que els alumnes aprenguin a reflexionar sobre el coneixement. El que considera necessari és que l'ensenyament de totes les disciplines es centri en donar al llenguatge la seva funció representativa del món i no icònica (PLEYÁN i NOGALES, 1980); aquest és el complement obligat als dos apartats anteriors, sense el qual no serien viables.

Pel que fa a les ciències experimentals, el problema de la contraposició entre el llenguatge quotidià i el llenguatge científic és molt important. Darrerament s'ha escrit molt sobre el tema i es continua investigant (LLORENS et al, 1989) (SANMARTÍ, 1989); sembla ben evident que el canvi de llenguatge no és fàcil, i que cal donar-li més atenció.

Des del meu punt de vista, una actuació necessària i recomanable a un professor que compti, per a la seva actuació docent, amb la fonamentació epistemològica que aquí es proposa, és la introducció dels llenguatges intermitjos que calgui, per tant que l'alumne expressi el seu pensament, en referència a les ciències: a les situacions experimentals que viu, a les preguntes que es formula, a les recerques que emprèn (IZQUIERDO, 1987). Amb això vull dir que l'alumne utilitzarà inicialment un llenguatge descriptiu i dibuixos realistes; però el professor li ha de proporcionar els recursos adequats (mai directament el llenguatge científic, definit) per tal que pugui expressar el seu pensament, progressivament científic (però que no es fa científic de cop). En aquest sentit considero molt convenients els mapes conceptuals, la V de Gowin (NOVAK i GOWIN, 1989), els esquemes de flux; aquests recursos són utilitzats pels alumnes amb una gran flexibilitat i poden acollir les modificacions progressives que es van produint en les necessitats d'expressió dels alumnes; el llenguatge científic, matemàtic, serà utilitzat finalment, perquè és el més apropiat al coneixement progressivament teòric i quantitatiu que es va adquirint.

Així com s'ha d'ensenyar a escriure i a parlar científicament, al llarg d'un procés tan llarg i complex com ho és l'aprenentatge de les ciències, cal també ensenyar a llegir els textos escrits i a interpretar els esquemes i gràfics. Els alumnes no poden, directament, interpretar el que diuen els llibres de text, les instruccions de laboratori o l'enunciat dels problemes, si no se'ls ensenya a fer-ho explícitament; han de fer una difícil lectura inferencial, quan ells es prenen el text a peu de la lletra.

Probablement, les dificultats en resoldre problemes, i inclús la incapacitat de començar a fer-ho, es deu a aquesta dificultat de llegir, de comprendre de què va allò. Molt sovint els alumnes mecanitzen les solucions: s'han après unes determinades «fòrmules» i saben que les han d'aplicar d'una determinada manera; ho arriben a fer amb un cert èxit, però sense arribar a comprendre-ho. No mecanitzar les solucions dels problemes.

Si ens proposem seriosament que el llenguatge nostre (dels professors) i el dels alumnes no sigui un «bla, bla, bla» (un llenguatge desestructurat

i no teòric, anar dient coses desconnexes sense relació a un problema o pregunta ben plantejats) ni un «Jamalají-jamalajà» (un llenguatge màgic, que s'aplica i directament transforma el món i l'explica) tenim una important tasca a fer; per a mí, la més interessant de totes les que es fan a l'escola, i una de les que pot vertebrar una acció conjunta de tots els professors del centre; la presència dels professors de llengua i de filosofia hi és especialment necessària.

Ciència integrada o ciència disciplinar

Tot i que les ciències es diferencien pel tipus de preguntes que volen respondre, i que s'han de fer veure a l'alumne fidelment (no podem fer de la biologia una bioquímica, de la química una química física i de la física un físico-matemàtica), cal fer veure també la unitat fonamental de totes les ciències. A un primer nivell, no hi ha realment diferències importants; a mesura que les preguntes i els problemes a resoldre es compliquen, les teories es fan més específiques. Però, en els ensenyaments a l'escola, cal vetllar per a mantenir la unitat, sense amagar la diversitat. Probablement això es podrà aconseguir amb uns currículums de totes les matèries epistemològicament fonamentats: promogui el pensament racional i el judici, es presentin qüestions rellevants i s'ensenyi com parlar-ne, es treballi un llenguatge que es refereixi al pensament sobre el món i no a un món suposadament descrit d'una vegada per sempre.

4. Conclusions

Les conclusions són poques. Espero que la fonamentació, en l'article, hagi estat suficient, tot i que per raons d'espai no sempre ha estat prou explícita. Veieu-les a continuació.

- El professorat de ciències necessita una formació addicional en història i filosofia de la ciència, per tal de comprendre-la en tota la seva complexitat i fer més flexible, i alhora rigurosa, la seva actuació docent.
- El rebuig del «dogmatisme científic» i el reconeixement dels factors socials i històrics en les ciències permeten una relació amb l'entorn físic més humana, menys prepotent i utilitarista i més preocupada pels resultats, actualment preocupants, de la intervenció tecnològica i científica en el món. Aquests aspectes d'una educació científica que s'ofereix ara a tota la població determinen un canvi important en els objectius de l'ensenyament de les ciències.

- L'educació científica ha d'ensenyar a pensar i a parlar d'una nova manera sobre el món, que permet comprendre'l i que es caracteritza per l'ús de teories. Ha de fer venir ganes de comprendre el món, posat l'empresa a l'abast dels alumnes, i ha d'educar la paciència i la humilitat davant de la importància i dificultat d'aquesta, que ha de ser col·lectiva. El model evolutiu del mètode científic suggereix una seqüència de processos mentals que l'alumne pot utilitzar en els diferents graus del seu desenvolupament teòric.
- L'intent d'ensenyar correctament les ciències i les preguntes que es susciten amb això no forma part de les ciències, que s'interessen per altres problemes. Saber ciències no és el mateix que saber ensenyar ciències. La reflexió sobre les ciències és només una de les bases del currículum; l'actuació docent requereix molt més.
- El professorat de ciències hauria de disposar de més autonomia a l'hora de planificar les seves activitats, que poden ser molt diferents de les dels científics, tot i tenir-les com a punt de referència. La tasca que ha de dur a terme requereix treball experimental, molt difícil de dur a terme de manera eficaç per a l'aprenentatge; aquest esforç gairebé mai és reconegut.
- La reflexió actual sobre les ciències i les incipients teories (o models) sobre l'aprenentatge de les ciències poden arribar a modificar els objectius de l'ensenyament de les ciències, que s'ofereix ara a tota la població. Ja ara, l'avaluació dels alumnes hauria de referir-se més a l'evolució de la seva manera de pensar sobre el món que al suposat domini de les teories més sofisticades, que molt sovint és mecanitzat i memorístic (SWAIN, 1985).
- Els professors s'han d'interessar per la divulgació científica. La imatge social de la ciència i la del professor han de poder dialogar.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTOLFI, J.P. et al. *Quelle education scientifique pour quelle société?* (Presses Universitaires de France: Paris). 1978
- BACHELARD, G. *Le nouveau esprit scientifique.* Presses Universitaires de France: Paris. 1934.
- CHALMERS, A.F. *¿Qué es esta cosa llamada ciencia? Siglo XXI:* Madrid. 1987.
- COLL, C. *Marc Curricular per a l'ensenyament obligatori.* Generalitat de Catalunya: Barcelona. 1986.
- FENSHAM, P.J. *A Research Base for New Objectives of Science Teaching.* *Science education*, 67, 3-12. 1983.
- FEYERABEND, P. *Contra el método.* Ariel: Barcelona. 1974.
- GARRET, R.M. *Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias.* *Enseñanza de las ciencias*, 6, 224. 1988.
- GIL, D. *Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias.* *Enseñanza de las ciencias*, 1, 26-33. 1983.
- HEWSON i POSNER. «The Use of Schema Theory in the Design of Instructionals Materials: A Physic Example. *Instructional Science*, 13, 119-139. 1984.
- HODSON, D. *Philosophy of Science, Science and Science Education.* *Studies in Science Education*, 12, 25-57. 1985.
- HODSON, D. *Is there a scientific method?* *Educ. Chem.*, 19, 112-116. 1982.
- IZQUIERDO, M. *L'ús del llenguatge a la classe de química. Comunicació, 2º congrés d'investigació en didàctica de les ciències i de les matemàtiques.* 1987.
- KUHN, T.S. *La estructura de las revoluciones científicas.* Fondo de cultura económica: México. 1977.
- LAKATOS, I. *La metodología de los programas de investigación científica.* Alianza: Madrid. 1983.
- LAKATOS, I. *Historia de la ciencia y de sus reconstrucciones racionales.* Tècnos: Madrid. 1982.
- LOOSE, J. *A historical introduction to the philosophy of science.* Oxford University Press: Oxford. 1980.
- LUCAS, A. *Scientific literary and informal learning.* *Stud. Sc. Educ.*, 10, 1-36. 1983.
- LLORENS, J.A. et al. *La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias.* *Enseñanza de las ciencias*, 7, 111. 1989.
- MILLAR, R. DRIVER, R. *Beyond Processes.* *St. Sc. Ed.*, 14, 33-62. 1987.
- NEWTON-SMITH, W.H. *La racionalidad de la ciencia.* Paidós: Barcelona. 1987.

- NOVAK, J.D. Teoría y práctica de la educación. Alianza: Madrid. 1982.
- NOVAK, J.D., GOWIN, B. Aprendiendo a aprender. Martínez Roca: Madrid. 1989.
- PLEYÁN, C., NOGALES, Y. Lenguaje y pensamiento en la transmisión del pensamiento científico. 1980.
- POPPER, K. Conjeturas y refutaciones. Paidós: Barcelona. 1982.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W., GERTZOG, W.A. Accomodation of a Scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Sci. Educ.* 66, 211-227. 1982.
- ROGERS, P.J. Epistemology and History in the Taching of School Science. *Eur. J. Sc. Educ.*, 4 (1), 1-10. 1982.
- ROWELL, J.J., CAWTHON, E. Images of Science: an empirical study. *Eur. J. Sc. Education*, 4 (1), 19-27. 1982.
- SANMARTÍ, N. Nivells de comprensió dels conceptes de mescla i compost. Tesis doctoral, en curs. 1989.
- SWAIN, J.R. Towards a framework for assessment in Science. *The School Science Review*, Sept. 145. 1985.
- SCHWARTZ, R. Alterative learning strategies as part of the educational process. *Sc. Education*, 66 (2), 269-279. 1982.
- SUMMERS, M.K. Philosophy of Science in the science teacher education curriculum. *Eur. J. Sc. Educ.*, 4, 19-28. 1982.
- TOULMIN, S. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Alianza Universidad: Madrid. 1977.
- USABIAGA, M.C. En torno al método científico: reflexiones didácticas sobre un método no didáctico. *Bordón*, 268, 409-413. 1987.
- VIGOTSKY, L.S. *Thought and Language*. E. Hanfmann, G. Vaker. Cambridge: M.I.T. Press 1962.
- YAGER, R.E., HOSFTEIN, A. Defining enlarged boundaries for School Science. *Eur. J. Sc. Educ.*, 7 (4), 345-352. 1985.