

Ciència, tecnologia i escola: ¿Com es pot afavorir la col·laboració entre professors i investigadors?

Miguel Anxo Santos Rego*

Introducció

El tema que ens proposem de tractar i desenvolupar en aquest assaig té moltes perspectives, angles i derivacions en la seva anàlisi. Tants que emprendre'l pot ser una temeritat, per no dir una imprudència, si es fa pensant en un format com el que aquí s'assumeix. Tot i el risc, el repte és estimulants. La qüestió és repensar, bo i considerant la vehiculació d'objectius i fins educatius clau en aquesta societat de fi de mil·lenni, una part de l'educació de la ciència i de la tecnologia en el context escolar. Així, a partir d'observacions i acotacions de caràcter general sobre allò que representa el coneixement científic i tecnològic per a l'home i la seva formació en aquest temps, intentem d'arribar a justificar i realçar papers i possibilitats professionals de millora a través de noves estructures i vies d'aprenentatge col·laboratiu entre persones que duen a terme llur activitat principal en la docència o en la investigació.

Em fa l'efecte que no m'erro si dic que fa dos o tres segles un adult considerat «educat» estava familiaritzat amb una gran part, si no amb la immensa majoria, del que se sabia sobre la ciència. D'aleshores ençà, gradualment però sistemàtica, els humans hem presenciat un enorme augment del coneixement científic, el caràcter del qual no va experimentar canvis veritablement significatius fins a les albors del segle xx. És un fet que, per exemple, en els camps de la relativitat i de la física quàntica, els científics van començar a descobrir la natura en termes que semblaven inconsistents, i fins i tot contradictoris, amb l'experiència comuna.

Òbviament, el creixement cognoscitiu ha continuat i, com a conseqüència, el coneixement en ciència s'ha anat especialitzant de

*Miguel Anxo Santos Rego és doctor i professor de la Facultat de Filosofia i Ciències de l'Educació de la Universitat de Santiago de Compostel·la.

manera fermament progressiva. Fins fa poc, el president de la nostra Reial Acadèmia de Ciències afirmava, ni més ni menys, que les publicacions dels darrers cinc anys relatives a matemàtiques, física, química i biologia, convenientment arrengrades, ocuparien una prestatgeria imaginària que en tindria els extrems a la Terra i a la Lluna, i que el nombre de treballs rellevants en els àmbits de la física, la química i la biologia passa de tres milions (Martín Municio, 1991). Deixant de banda consideracions macroscòpiques, la veritat és que, avui dia, una persona que puguem considerar «entesa» en una determinada especialitat no arriba a conèixer possiblement més que una fracció del saber que es genera en la seva disciplina. I, naturalment, els que no romanen activament implicats en la investigació o negligeixen la seva tasca i actualització en l'estudi dels darrers avenços, es poden veure ràpidament «fora de joc» en llurs camps d'activitat.

Ciència i tecnologia: la distància entre l'avenç i la transmissió

La mutació social i tecnològica, que és ja una constant a les nostres vides, provoca inevitablement la mutació dels objectius educatius i formatius (Danzin, 1988; Nickerson, 1986), encara que creiem amb rotunditat que el sistema educatiu no pot representar únicament el paper de «servent» inexorable de les exigències tecnològiques. Això demana un esforç mancomunat, segons els encertats mots d'un cèlebre pedagog espanyol (Vázquez Gómez, 1988), de diversos enfocaments i construccions científiques per fer la pedagogia que exigeix el nostre temps, a saber, la pedagogia del pensament tecnològic i la de la tecnologia dels valors (vegeu també Castillejo *et. al.*, 1986).

Gairebé ningú no dubta que la ciència i la tecnologia poden millorar les condicions de vida de la gent. Fóra bo que aquesta idea arrelés definitivament en el nostre teixit social ja que, per diversos avatars i circumstàncies que ara no fan al cas, Espanya no ha gaudit mai d'aquesta tradició -ben destacada, per exemple, en el cas suec (Sydow, 1990)- que consisteix a creure que sense coneixement no es pot gaudir d'una bona vida (Sánchez Ron, 1988). La realitat pròxima i la realitat internacional estan demostrant que el progrés i fins i tot la supervivència social i individual depenen en gran manera d'una tecnologia avançada, intel·ligentment utilitzada (Perntz, 1990; Sanmartín, 1990). Aquelles prediccions d'Alvin Toffler en el seu *La tercera onada* ja no es poden considerar pas deliris melodramàtics perquè, efectivament, la nostra ja no és pas una civilització indus-

trial sinó, més aviat, una civilització tecnològica (Toffler, 1983). La ràpida difusió dels microprocessadors, indicava el mateix analista fa sis anys, la biotecnologia, l'electronificació dels diners, la convergència d'ordinadors i telecomunicacions, la creació de nous materials, les exploracions de l'espai exterior, la intel·ligència artificial, etc., no representen una extensió rectilínia de les grosseres màquines de l'era industrial, sinó un salt a un estadi completament nou del desenvolupament humà (Toffler, 1984).

Tot això és bàsicament cert. Ara bé, allò que convé de ressaltar des del terreny educatiu en aquest moment, és la immensa complicació que els mateixos avenços de la ciència aboquen damunt el procés de transmissió dels coneixements que s'hi generen. Els seus components tecnicistes i abstractes salten a la vista amb el risc que, una altra vegada, pugui ser percebuda com una cosa desesperançadament allunyada de la vida de les persones (Quintanilla, 1989; Ziman, 1984).

La vertiginosa successió de canvis suscita, si més no, preguntes coincidents des de diferents plataformes i espais amatents al bon desenvolupament i millor transmissió de la ciència i la tecnologia: ¿Per què cal ensenyar ciència i tecnologia? ¿Quina ciència cal presentar i ensenyar a les generacions següents? ¿Com, on i quan cal ensenyar-la? ¿Com s'ha d'integrar ciència i tecnologia en el curs principal de l'educació i de la cultura contemporània? (Baez, 1988; Núñez Centella, 1988; Bentley i Watts, 1989).

Ens permetrem de fer un «alto» conceptual en aquesta exposició. Estem segurs que a l'amable lector li agradarà saber el nostre punt de vista sobre què entenem com a ciència i com a tecnologia. Sobre això, s'hi detecta moltes vegades una noció general no del tot correcta, ja que solen esmentar-se com a «avenços de la ciència» allò que, de manera més precisa (ordinadors, dispositius electrònics, etc.), són desplegaments de la tecnologia a partir del progrés en el coneixement científic. Ara bé, per tal de no repetir notes àmpliament conegudes al voltant de la veritable tasca científica, potser sigui més entenedora una «distinció per exclusió». N'hem trobat una que considerem impecable: la feta en el marc d'un debat internacional realitzat a Madrid («L'educació davant les innovacions científiques i tecnològiques» -fundació Santillana-) pel president honorari de la Comissió d'Educació de la Unió Internacional per a la Conservació de la Natura i dels Recursos Naturals, Alberto Baez, el qual, després d'un categòric «la tecnologia no és pas cap ciència», i d'associar aquella amb «els coneixements pràctics d'allò que es pot fer i de quina manera», hi afegia:

«No es tracta d'un conjunt de lleis i principis teòricament relacionats entre si. La tecnologia es caracteritza per les tècniques, els dispositius,

els procediments, els processos i els materials que sorgeixen d'una activitat creativa (...) La tecnologia consisteix, més aviat, en un conjunt d'informacions pràctiques aplicables a la tasca de dur a terme alguna cosa» (Baez, 1988; pàg. 42).

És preferible, doncs, no estendre'ns més en la distinció, sinó entrar ja en àmbits més acostats a l'objecte de l'assaig. Això ho farem sense massa marrada. Estem convençuts que, entre les paradoxes que han acompanyat el ritme i l'avenç dels èxits en ciència i tecnologia, hi té un lloc d'honor la notòria discrepància entre aquestes consecucions i la manera en què són tractades/presentades a l'escola. Aleshores, quan ja no es resisteix durant més temps la palpable, encara que «callada», insatisfacció pel que fa a l'estat de coses en els nivells educatius, és quan comencen a alçar-se veus -a propòsit, no del tot compassades i harmòniques- a favor de reformes amb una certa profunditat. Només als Estats Units van aparèixer durant els darrers anys més d'un centenar d'informes crítics i d'importantíssims estudis sobre educació; l'«educació de la ciència» (*science education*) hi té un lloc destacat. Un exemple d'això és que la comissió de la prestigiosa *National Science Foundation*, que va informar de la situació en matemàtiques, ciència i tecnologia en nivells d'ensenyament no universitari, advertia fa poc més d'un lustre:

«Un important nombre de joves estan deficientment formats per tal de contribuir a aquesta societat tecnològica i beneficiar-se'n (...) En un moment en què la seguretat nacional, el benestar econòmic i el liderat mundial depenen de les matemàtiques, la ciència i la tecnologia, la nació s'enfronta a un seriós declivi quant a les habilitats i els coneixements que d'aquestes àrees té el nostre jovent» (*National Science Board Comission*, 1985).

La continuïtat, en fi, dels avenços en la ciència i la tecnologia dependrà d'individus ben formats en aquestes àrees vitals. Al mateix temps, però, es planteja amb creixent i legítima força la qüestió educativa dels no especialistes. Encara que s'apel·li a raons d'ordre educatiu, social i ètic, ja no es pot sostenir que el coneixement pugui ser prerrogativa d'un reduït nombre de persones. Si, tal i com s'afirma des de diferents nivells, la construcció de la democràcia depèn d'una ciutadania (in)formada (Hamburg, 1984), aleshores el que queda és el definitiu convenciment que el futur és ja una funció de l'elevació del nivell global de coneixement científic i tecnològic a la nostra societat (diversos autors, 1990).

Educació de la ciència en temps de canvi accelerat i de reformes escolars

Ara bé, cal reconèixer que l'ensenyament de la ciència, com el d'altres àrees i/o matèries integrades en el currículum escolar, forma part d'un complex sistema els eixos del qual només responen amb lentitud al canvi. Fins ara, l'organització de l'educació pre-universitària s'ha fet pensant en la bona preparació discent (que, diguem-ho de passada, tampoc no s'ha assolit) per al seu acompliment posterior en l'*Alma Mater*, descurant olímpicament objectius formatius fonamentals per a la major part de la població, que no té accés a les aules universitàries.

Els aspectes relatius al paper de la ciència i la tecnologia en els primers nivells i cicles d'educació són radicalment importants en aquesta etapa de reforma i de nova configuració curricular a les aules. No cal insistir més en el risc que correm actualment: obrir un abisme entre els que entenen i fan servir els coneixements científico-tecnològics i aquells les vides del quals són governades per ells. Per tal de prevenir aquesta dissociació, la formació científica no pot ser només tractada per salvar les aparences i començar solament a l'ensenyament secundari (Harlen, 1989; pàg. 34). Aquesta formació s'ha d'inscriure coherentment dins l'educació bàsica o fonamental. Tal com diu el professor Vázquez Gómez (1988; pàg. 70), hem de saber construir un programa d'educació bàsica, que permeti a l'home de la societat actual i futura comprendre els fenòmens de la innovació i del desenvolupament tecnològic, i ordenar-los al servei d'una condició humana progressivament més justa, participativa i lliure.

Recuperem el fil principal. Més enllà de la càrrega lectiva en continguts rebuts, el que continua sent una constant de la realitat objectivable és que la major part dels alumnes acaben llurs estudis amb una molt modesta consciència científico-tecnològica. En aquest sentit, potser calgui dir sense embuts que la tradició continua dominant la manera de fer les coses. ¿En què es fonamenta gairebé totalment l'ensenyament de les ciències ara com ara? La resposta està cantada: en els llibres de text, vehicle primari d'ordenació de contingut i d'anivellament i seqüenciació (Goodlad, 1984) ¿I què cal dir més quan, per recollir part dels avenços en un camp s'acaba afegint més material al text? El resultat ha estat, sovint, una més gran compressió del contingut per estudiar, amb la qual cosa no és estrany trobar conceptes fora de context amb molt poca, o cap, relació amb l'experiència comuna. Així, hipòtesis, teories i afirmacions factuais esdevenen indistingibles. A l'Amèrica del Nord, un informe sobre llibres de text de ciències va assenyalar que a cada pàgina

s'introdueixen al voltant d'entre set i deu nous conceptes, termes o símbols, amb la qual cosa s'obstaculitza el desenvolupament de molts cursos a causa de l'enorme quantitat de material dedicat a atendre més les descobertes recents que no pas a exaltar l'esperit de la ciència (Budd, 1983).

D'altres aportacions van posar en relleu una «reveladora» seqüenciació dels mateixos textos. És a dir, sembla que s'esdevé una marcada tendència a organitzar el material en termes de pre-requisits. Primerament s'identifica un concepte i després se'n descomponen els elements; posteriorment, s'ordenen serialment unitats d'informació altament prescrites, tal i com ho ressalten Pallrand i Lindenfeld (1985): els alumnes han d'aprendre «A» per tal de comprendre «B»; aprendre «B» per tal de comprendre «C»; i així successivament. Al principi, es presenta el material fonamental i es deixa per a les pàgines següents el més avançat. És força notori que aquesta ordenació afavoreix un enfocament clàssic de la ciència, a saber, els alumnes han d'aprendre allò que se'ls posa al davant, i així se'ls prepara per tal d'aprendre el material subsegüent; el resultat qualitatiu és que molt pocs arriben a conservar -suposant que l'hagin arribat a adquirir- un nivell alt d'interès i de motivació fins al moment de poder fer servir de manera mínimament significativa i ardidada el que han après.

D'altra banda, tampoc en l'ensenyament, concretament en l'àmbit de la programació, no han estat revolucionaris els canvis al llarg d'aquest període de continu desenvolupament científic i tecnològic, cosa que explica en part la persistència d'aquest sistema rígid al qual ens referíem en el paràgraf anterior i el paupèrrim foment d'aquesta «cultura del nostre temps». Deixant de banda recomanacions rigoroses, hom continua amb els programes de sempre i, a la pràctica, la innovació no ultrapassa el límit d'una presentació més efectiva de conceptes, materials, etc. El que és greu, però, és que el ferment de la ciència i de la tecnologia dels nostres dies passa tremendament inadvertit en centenars d'aules (Aguirre de Carcer, 1985).

Explorant vies d'acostament

No hi ha sistemes per conrear a l'escola la substància de la ciència i la tecnologia. Sovint, no hi ha ni tan sols massa possibilitats en vista dels mitjans de què hom disposa. La meua intenció no és, ni per desig ni per càlcul de probabilitats d'èxit, rivalitzar amb acreditats experts

en l'ensenyament i l'aprenentatge de les ciències (Gega, 1982; Giordan, 1985; Harlen, 1989; Shayer i Adey, 1984). Modestament, es tracta de cridar l'atenció sobre algunes vies d'acostament entre professors i investigadors de laboratori, que estan donant com a resultat fructífers processos de col·laboració i d'interacció i una millora professional (pel que fa a interacció col·laborativa i millora de l'ensenyament, vegeu l'interessant article d'Ellis, 1990). Hem explorat aquest punt de l'estudi, com és lògic, a través de les pertinents consultes bibliogràfiques i documentals, a partir de les afinades observacions i propostes del professor nord-americà d'educació George J. Pallrand, al voltant de possibles connexions d'aprenentatge i desenvolupament entre científics i tecnòlegs que treballen en laboratoris d'investigació i professors de ciències a les escoles (Pallrand, 1989).

Alguns programes desplegats darrerament als Estats Units no han estat aliens a la difícil replicació a les escoles de l'ambient existent en un laboratori d'investigació. Es va oferir l'oportunitat a professors de ciències en escoles secundàries de poder treballar en laboratoris d'avantguarda durant alguna setmana de l'estiu o, si s'ho estimaven més, al llarg de tot l'estiu. Tot i que la configuració d'aquests programes és força diversa, la tendència general és que els professors (com acabem d'esmentar, docents d'ensenyament secundari) participin i treballin en la recerca que s'estigui duent a terme en aquests moments pels científics. Cal esperar que, a mesura que els professors participin en projectes de recerca, no només es faran partícips dels més recents avenços, equipaments i tècniques experimentals, sinó que també respiraran la mateixa atmosfera del laboratori.

Ara bé, l'hipotètic entusiasme del professorat motivat que es derivi d'aquesta mena d'implicació, ¿en quina mesura els ajudarà quan retornin al centre? La pregunta planteja que, a més de la desitjable participació dels professors en la vida dels laboratoris de recerca, cal preveure l'ajut suficient que els permeti transferir aspectes presents en aquesta «cultura» a l'escola, *transfer* que podria adoptar la forma d'experiments, materials, aparells o tècniques pensades i desenvolupades en col·laboració entre professors i científics. De manera concreta, els científics podrien formular i estructurar alguns temes, en tant que els professors es dedicarien a organitzar i seqüenciar materials i a examinar amb deteniment la conveniència i l'oportunitat de diferents enfocaments i metodologies instructives. Així mateix, s'endegarien canals interessants per tal de poder aplicar directament a les aules materials d'interès científic i tecnològic actualment, per a la qual cosa fóra bo un plantejament de format de tipus modular.

L'experiència modular com a referent

Gràcies al treball de Pallrand (1989) i a alguns fullets tramesos des de la *Higher Education Commission* de l'estat de Nova Jersey, estem en estat de referir alguns programes universitat-indústria, que inclouen elements com els esmentats, per a l'educació de la ciència en la Rutgers University (prestigiosa institució sostinguda bàsicament amb fons públics i que té el seu *campus* principal a la ciutat de Nova Brunswick). Vegem-ne algun. El 1984, per exemple, un grup de professors de ciències en el nivell secundari van treballar conjuntament amb científics i investigadors d'una firma de productes farmacèutics (Merck & C.) i de la universitat de l'estat que acabem d'esmentar. L'estiu següent, és a dir, el 1985, es va ampliar el programa per tal d'incorporar-hi científics d'empreses tan importants com *AT & Bell Laboratories* i *Bell Communications Research*.

El propòsit era desenvolupar materials de curs en forma de mòduls, amb un format flexible i en els quals s'havia d'il·lustrar algun aspecte de la ciència i de la tecnologia amb demostrada influència damunt la vida contemporània, a més, és clar, d'explicar principis científics fonamentals. Va ser així com es va començar a desplegar (fins a l'any passat, 1990, que nosaltres sapiguem) un ampli ventall de temes, des dels additius alimentaris fins als semiconductors.

El procediment era completat de la manera següent: a les classes de tardor-hivern, els professors participants hi aplicaven els mòduls que havien contribuït a confegir durant l'estiu. Un cop provats i revisats plenament, passaven a formar part de programes i d'activitats de formació a fi i efecte de millorar la preparació d'altres professors de ciències. Dos mòduls de biologia («antibiòtics» i «enfocaments moleculars en l'estudi de l'activitat dels gens») i cinc mòduls de física («làser i naturalesa de la llum», «ressonància i imatges per ressonància magnètica», «comunicació òptica», «magnetisme i mecanismes d'enregistrament magnètic» i «semiconductors i transistors») eren objecte de tractament preferencial el curs 1989-90 amb professors de l'àrea.

Tornem de nou als mòduls. Suposem que no cal dir que un mòdul és una unitat d'ensenyament altament flexible dissenyada per poder ser emprada durant un període d'alguns dies o setmanes. El seu ús pot permetre als professors la realització de tants canvis com considerin oportuns dins el currículum; i cadascun pot constar, o anar acompanyat, d'un segment independent de matèria o contingut susceptible de ser introduït en els cursos ja existents, amb la qual cosa aquest contingut incrementa les seves possibilitats innovadores i d'experi-

mentació, i hi pot incloure també material d'interès científic a nivells i en formats diferents dels que normalment anomenem «convencionals».

Un mòdul com, per exemple, l'intitulat «enfocament molecular en l'estudi dels gens» introduiria els alumnes a un nombre determinat de conceptes i tècniques dignes de ser conegudes en l'enginyeria genètica, un camp que segurament continuarà generant aplicacions no només espectaculars, sinó també molt controvertides. D'aquí la necessitat d'algun coneixement en biologia molecular que, tot i ser mínim, ajudarà una mica que els nostres alumnes puguin entendre més bé notícies i debats que sorgeixen, entre d'altres coses, a l'entorn de la repercussió pública i social de la recerca, experiències, etc., en enginyeria genètica. El professor George Pallrand, que hem esmentat abans, fa al·lusió a un mòdul centrat en aquests temes, però concretant en el gen ADH que es troba en la mosca de la fruita comuna (*Drosophila melanogaster*). L'ADH especifica la formació d'*alcohol dehydrogenase**, un enzim que la mosca de la fruita fa servir per tal de metabolitzar l'alcohol que es troba a la fruita podrida. Doncs bé, sembla ser que les mutacions induïdes en laboratori, destructores o modificadores de la conducta electroforètica d'aquest gen, són utilitzades per investigar la regulació de l'activitat genètica. Aleshores, les lliçons apreses estudiant el control dels gens en la mosca de la fruita es podrien aplicar en el maneig o la cura dels errors innats del metabolisme i d'altres defectes d'origen genètic en els éssers humans.

En la mateixa línia, està ben comprovat que els mòduls permeten als professors fer servir una diversitat d'enfocament dins d'un curs i, a mesura que s'hi afegeixen mòduls addicionals, poden ser introduïts de diferents maneres i en diferents moments, afavorint tant l'evolució adequada del currículum de ciència com una resposta en regla als desenvolupaments científico-tecnològics, i a les canviants necessitats de cada situació local, regional, etc.

Pensant en la comprensió i la significació

Tampoc no són aquests els únics temes afavorits en el seu tractament per aquest conducte. Quan, com és el cas als nostres dies,

*Agraïm en aquest punt les excel·lents explicacions i els valuosos comentaris del nostre col·lega, doctor Manuel Sanmartín (Departament de Microbiologia i Parasitologia de la Universitat de Santiago de Compostel·la).

el coneixement s'eixampla amb tanta rapidesa, els alumnes arriben a sentir-se incapaços de veure les connexions entre vida personal i explicacions científiques, tot i el quotidià i, sovint, crític encontre dels més joves amb la ciència i la tecnologia (píndola per al control de natalitat, transistors, xips de silici, etc.). Mai les tecnologies no han exercit com avui tal grau d'influència damunt la vida de les persones, ni tampoc mai no vam disposar de millors contextos i mitjans per a la presentació i demostració dels principis científics bàsics. Per exemple, un mòdul sobre «el làser i la naturalesa de la llum» pot implicar l'ús del làser heli/neon per investigar moltes de les propietats fonamentals de la llum, com també el paper dels raigs làser en la recerca contemporània. El làser serviria per centrar gran part de la teoria principal presentada en el mòdul, mentre que els alumnes es plantejarien l'assumpció d'experiments com la mesura de la longitud d'ona de la llum del làser, la mesura de la seva velocitat a través de fibres òptiques, juntament amb una altra possible investigació sobre la naturalesa de les seves partícules d'ona tal com són revelades per un tub fotomultiplicador.

Gairebé de la mateixa manera, un mòdul sobre «magnetisme i mecanismes d'enregistrament magnètic» faria servir un magnetòfon infantil modificat i un *floppy disk* per proporcionar les bases d'un sistema d'enregistrament simple. Les partícules magnètiques microscòpiques contingudes en aquest disc són les unitats emprades per a l'emmagatzematge de la informació. Aleshores, allò que fa el mòdul és descobrir la naturalesa d'aquestes partícules i les formes d'ús amb la finalitat de llegir i escriure informació, oscil·lant des del so d'una peça musical als bits en un programa de computació. La virtualitat que cal destacar passa per remarcar la comprensió de la naturalesa dels materials magnètics, des de la pretèrita brúixola del mariner fins a les troballes dels científics/tecnòlegs espacials a l'entorn dels camps magnètics interplanetaris.

En resum, convé animar un coneixement organitzat, que serveixi per estimular la comprensió de l'ambient tecnològic i per determinar nuclis d'aprenentatge rellevants en aquest ambient, a més d'afavorir una millor comunicació de la ciència amb la realitat. Perquè si es vol, com hem insinuat diverses vegades al llarg del treball, una bona pedagogia de la ciència, és clar que l'aprenentatge s'ha d'assolir en primer lloc a còpia de referents en el món proper de l'alumne, el que coneix i el que procura comprendre en tot moment.

Sobre el professor i la seva eficàcia percebuda

L'incessable impacte de la ciència i la tecnologia demana més atenció i suport professional per a tot el professorat. En el cas dels professors que més directament s'ocupen d'àrees, matèries o disciplines de ciències (matemàtiques, biologia, química, física, etc.), les coses no han anat bé del tot la darrera dècada. Alguns informes importants lligats a moviments i tendències de reforma educativa han criticat en gran manera la formació rebuda o exhibida per molts professors. Els dèficits destacats en estudis amb l'abast dels presentats a l'Amèrica del Nord pel Holmes Group (1986), la National Science Board Commission (1985), o per Weiss (1987) indiquen pronunciades mancances quant a domini de continguts disciplinaris i d'insuficient preparació pedagògica, i tot plegat es tradueix en una notòria disminució dels estàndars d'èxit en ciències per part dels alumnes (Coleman, 1985; Husen, 1983) i de l'augment, amb les seqüeles afegides, de greus sentiments d'ineficàcia en els professors.

Aquesta construcció d'«autoeficàcia» és particularment interessant pel que fa al cas. Desenvolupat en el marc de la teoria socio-cognitiva, fa referència a un mecanisme de processament cognitiu que guia l'acció humana i es concreta, conceptualment parlant, en la capacitat percebuda de cada un per realitzar una actuació reeixida en una situació o activitat determinada (Bandura, 1982, 1987, 1989). D'acord amb el plantejament, l'autoeficàcia afecta igualment els pensaments, les accions i les emocions dels individus. Els pensaments inclouen tota mena de cognicions sobre com ens arranjem adequadament en una situació o activitat. Naturalment, els judicis d'autoeficàcia afecten el nivell d'acompliment i de les aspiracions, fins i tot les pròpies metes d'aprenentatge o d'una carrera professional (Santos Rego, 1989). Sembla lògic postular que la més gran persistència en una tasca és estimulada quan la persona creu en les seves aptituds per sortir-se'n malgrat els possibles obstacles.

Si algú es percep a si mateix com incapaç de comprendre principis científics de primer ordre, o de comunicar amb sentit explicacions sobre temes o punts d'un programa, aleshores és probable que hom no s'acosti de bon grat a determinades matèries i punts de la ciència i la tecnologia; o simplement que tracti de defugir a tot preu situacions que suposin una amenaça i una font d'ansietat palesa, cosa que exigeix l'estudi d'aspectes inherents a una educació de la ciència amatant al control del procés d'ensenyament-aprenentatge. Ara i aquí, coincidint amb Czerniak i Chiarelott (1990, pàg. 54), és d'importància crucial valorar la importància relativa d'una creixent preparació en continguts de ciència *versus* preparació pedagògica en estratègies d'intervenció

per a la millora del sentit d'eficàcia d'aquests docents i del nivell educatiu de llurs alumnes, si hom aspira amb rigor a un grau suficient d'èxit en l'actual dinàmica de reforma educativa (vegeu l'interessant estudi, que també esmenten els anteriors, de Wasterback i Primavera, 1987).

Els darrers anys s'ha anat acumulant una apreciable càrrega d'escepticisme en no pocs professionals de l'educació. Se'ls demana molt i se'ls concedeix poc i, a més, se'ls parla de reforma en la formació i/o perfeccionament professional que mai no arriba o no ho fa amb traces d'operativitat i pertinència pràctica. I, tot i això, per renovar i reformar el currículum i les pràctiques d'educació de la ciència i de la tecnologia cal entusiasme i disposició per anar més enllà d'un treball formal a les aules, aprofitant les possibilitats potencials que ofereixen les cases/museus de ciències, els parcs naturals i zoològics, els centres d'experimentació de conreus marins, i d'altres molts recursos disponibles a la comunitat. Aquí destacàvem abans els avantatges d'una implicació col·laborativa, tan directa com sigui possible, dels professors de ciències en el disseny i desplegament de mòduls. Desenvellar i mantenir l'interès dels educands per la cultura científico-tecnològica és impossible sense algun grau de participació docent en aquesta cultura.

La col·laboració entre docents i investigadors: obrint perspectives de formació

Estem persuadits que l'experiència que podrien adquirir molts docents en els laboratoris/centres de recerca seria inestimable des de molts punts de vista. Les activitats dels científics d'investigació en laboratoris (entesos aquests en un sentit obert) proporcionen models d'indagació científica; molts professors d'educació secundària obligatòria, de batxillerat, etc., poden treballar i/o col·laborar amb científics que estan planejant o duent a terme programes d'investigació experimental, cosa que els donaria l'oportunitat de discutir amb ells aspectes de la seva feina. Complementàriament, aquests professors assistirien a seminaris i participarien en diferents aspectes i esdeveniments de la vida intel·lectual que té lloc en una comunitat investigadora. Si res de tot això no és vist com a previsió realista d'avenç, aleshores no aconseguim d'albirar vies de progressiu eixamplament de les perspectives docents (i discents) a l'entorn de la ciència. Recorrent novament a Pallrand (1989), ens convencem que

no són aquests els únics resultats que poden derivar de la suggerida implicació dels docents. Perquè si considerem la qüestió del material instructiu per fer servir i no oblidem que el coneixement que es genera als laboratoris és de caràcter moderat o altament tècnic (que pot comportar un ús disfuncional en el cas de persones no familiaritzades, totalment o parcial, amb aquest argot), convindrem en la bondat de tornar a formular conceptes a fi de facilitar el desenvolupament cognitiu dels alumnes.

En efecte, encara que suposi un repte, l'experiència col·laborativa entre docents i científics mobilitzaria ressorts cara a la seva superació avantatjosa. En igual direcció, podem esperar que, a mesura que els professors comencen a desenvolupar activitats, a re-pensar conceptes i a elaborar materials basats en llurs experiències viscudes en laboratoris de recerca, el resultat sigui una més gran comprensió i, amb això, una més gran profunditat en el coneixement de llurs disciplines. Augmenten les probabilitats que les descobertes importants de la investigació arribin a ser percebudes, abans de tot, com a idees mereixedores d'exploració conjunta amb els alumnes, i no tant com a punts i epígrafs d'un llibre de text per impartir durant el curs acadèmic (Gil Pérez, 1985; Gil Pérez i Carrascosa, 1985).

Mentrestant, és possible que en el mateix desenvolupament d'aquests mòduls instructivo-formatius apareguin un bon nombre de temes pedagògicament interessants. Sense anar gaire lluny, un estil narratiu en què es faci servir l'analogia i la metàfora per relacionar el material didàctic amb l'experiència i els coneixements previs dels alumnes ha demostrat un grau acceptable d'efectivitat en diversos plans de la intervenció, inclòs, naturalment, el de la motivació en el procés (Egan, 1986; Santos Rego, 1990). No deixa de ser tampoc un avantatge el manteniment del material d'ensenyament de manera que estimuli la seva revisió a mesura que avança el coneixement i en tant que els professors aprenen a presentar de manera més efectiva els materials del mòdul en qüestió.

Ara bé, per damunt d'altres consideracions tècniques, els resultats d'aquest desitjable accés presencial/temporal dels professors en laboratoris d'investigació dependrà que els científics els acullin i acceptin com a «col·legues» i col·laboradors, ja que és així com es pot crear l'atmosfera necessària per tal que els docents no només hi trobin agradable llur estada, sinó per tal que la considerin també professionalment gratificadora i recompensadora. Igualment, atès que elaboren i preparen materials que han de fer servir a les aules, o que corregeixen aquells que ja fan servir, és probable que es mostrin més ben disposats a l'exercici crític i reflexiu de llurs competències i habilitats (sobre el tema de les competències, vegeu Butzow i Qureshi, 1978). Això enllaça amb un altre aspecte important

que cal tenir en compte per als professors participants, és a dir, llur promoció gradual mitjançant l'acompliment de papers com «professors de formació»/«professors tutors»/«associats» -o com hom vulgui dir-, la tasca dels quals és fer partícips a d'altres col·legues dels plantejaments i materials que acaben de desenvolupar (a través de seminaris i sessions de treball a les escoles locals, en un centre universitari proper, en una empresa industrial emplaçada a la localitat, etc., cercant sempre fórmules àgils de formació en servei).

Així, doncs, fóra bo refermar de manera equilibrada preparació en continguts i en metodologies pedagògico-didàctiques que poden ajudar decisivament a reduir l'elevat grau d'ansietat en l'ensenyament de la ciència, optimitant previsiblement de passada l'eficàcia percebuda dels professors que la imparteixen (Czerniak i Chiarelott, 1990; Dembo i Gibson, 1985). En aquest sentit, i tornant al que és més important en aquest treball, introduir els professors en els mòduls tan bon punt es dissenyin i comencin a desplegar-se (amb el suport d'exposicions bàsiques), pot representar una manera suggeridora d'actualització de coneixements i l'elaboració/recepció de materials adaptats a les necessitats que va marcant la seva experiència a les aules.

Els mòduls poden ser presentats en un context de laboratori on els professors tenen a la seva disposició infraestructura i equipament i on, òbviament, poden participar en diferents activitats experimentals. Els temes o punts d'interès acadèmic que vagin lligats a aquesta dinàmica, sota la responsabilitat de científics procedents de la indústria, de la universitat o d'altres «agències», ajudaran segurament a assolir una comprensió més global i profunda de la matèria continguda en el mòdul escrit. És essencial no perdre de vista que allò que es pretén amb aquests temes d'avantguarda és inserir el mòdul en el context dels més moderns sistemes tecnològics i de recerca científica. És en aquest marc on els professors han de començar a considerar diferents estratègies d'ensenyament i d'intervenció davant dels alumnes, que els permetin de comunicar, sense massa càrrega d'abstracció, tant als alumnes com a persones no-especialistes, els principals conceptes científics.

Nota final: afavorir sistemes de suport

Malgrat això, no hi ha dubte que una iniciativa com la que som a punt d'acabar d'esbossar, requereix receptivitat, impuls i ajut concret

per part de l'administració educativa, i també per d'altres agències públiques i privades. Que nosaltres sapiguem, el programa resultant del projecte esmentat pàgines enrere va rebre el suport financer del departament d'educació superior de l'estat de Nova Jersey, però també el de la famosa National Science Foundation i de firmes industrials importants. Un bon criteri de pertinença per al programa ha de ser servir en les seves primeres fases als professors de l'àrea amb els quals sigui possible i factible mantenir contactes freqüents.

Igualment, per encoratjar l'ús persistent dels materials i llur permanent adaptació a les necessitats més evidents, cal procurar-se un sistema de suport continu a experiències o activitats d'aquestes característiques, pensant sobretot en el suport que l'equip configurador de cada mòdul ha de proporcionar, incloent-hi aquells científics que poguessin estar adscrits a universitats, empreses industrials, etc.

Avui, la mateixa tecnologia ens està oferint nous i efectius canals encaminats a mantenir aquests sistemes de suport. Professors i científics ja poden conferenciar o posar en marxa tot un seguit de possibilitats gràcies a l'ús de xarxes interactives d'ordinador que, direm de passada, poden dur sense cap problema a fer realitat cercles i xarxes d'aprenentatge intercultural (Riel, 1990; Riel i Levin, 1990). No és difícil intuir que aquestes xarxes són un perfecte vehicle per tal que els professors facin arribar suggeriments sobre els mòduls, tant mentre hi estiguin treballant a les aules o bé després d'haver-ho fet.

Enllestim. Els professors són, sens dubte, l'anella més important en la cadena que enllaça la ciència i la comunitat en general. Avui més que mai se'ls ha de donar suport amb fets en la tasca de transmetre els continguts i l'esperit de la ciència als més joves. En aquest sentit, creiem que la dimensió tècnico-professional de llur feina es pot veure substancialment millorada per la via d'estructures col·legials i cooperatives de formació convingudes amb científics i investigadors de la universitat o de la indústria. Llur desafiadora tasca al servei del que hem anomenat «cultura de la ciència i de la tecnologia» en aquesta canviant societat de fi de segle, té aquí un camí tan potencialment beneficiós com insuficientment aprofitat.

Referències bibliogràfiques

- AGUIRRE DE CARCER, I. (1985) «La enseñanza secundaria de las ciencias ante la década de los 90: ¿es necesaria la reforma?». *Revista de Educación*, 278, setembre-desembre, pàg. 89-98.
- BANDURA, A. (1982) *Teoría del aprendizaje social*. Barcelona, Plaza y Janés.
- BANDURA, A. (1987) *Pensamiento y acción. Fundamentos sociales*. Barcelona, Martínez Roca.
- BANDURA, A. (1989) «Social Cognitive Theory», a Yasta, R. (ed.): *Annals of child development*. Greenwich, CT, JAI Press, vol. 6, pàg. 1-60.
- BAEZ, A.V. (1988) «Cuestiones clave para la enseñanza de las ciencias», a diversos autors: *La educación ante las innovaciones científicas y tecnológicas*. Madrid, Fundación Santillana, pàg. 41-49.
- BENTLEY, D.; WATTS, M. (1989) *Learning and teaching in school science*. Milton Keynes, Open University Press.
- BUDD, R. (1983) «Science education: a framework for decision makers». *Daedalus*, primavera, pàg. 123-142.
- BUTZOW, J.W.; QURESHI, Z. (1978) «Science teachers competencies; a practical approach». *Science education*, vol. 62, 1, pàg. 59-66.
- CASTILLEJO, J.L. et. al. (1986) *Tecnología y educación*. Barcelona, Ceac.
- COLEMAN, J. (1985) «International comparisons of cognitive achievement». *Phi Delta Kappan*, vol. 66, 6, pàgs. 403-406.
- CZERNIAK, C.; CHIARELOTT, L. (1990) «Teacher education for effective science instruction -a social cognitive perspective». *Journal of Teacher Education*, vol. 41, 1, gener, pàg. 49-58.
- DANZING, A. (1988) «Mutación tecnológica y social. Mutación de la educación», a diversos autors: *La educación ante las innovaciones científicas y tecnológicas*. Madrid, Fundación Santillana, pàg. 50-53.
- DEMBO, M.H.; GIBSON, S. (1985) «Teachers' sense of efficacy: an important factor in school improvement». *The Elementary School Journal*, vol. 86, 2, pàg. 173-184.
- EGAN, K. (1986) *Teaching as storytelling*. Londres, Althouse Press.
- ELLIS, N.E. (1990) «Collaborative interaction for improvement of teaching». *Teaching and Teacher Education*, vol. 6, 3, pàg. 267-278.
- GEGA, P.C. (1982) *Science in elementary education*. Nova York, Wiley.
- GIL PÉREZ, D. (1985) «El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa». *Revista de Educación*, 278, setembre-desembre, pàg. 27-38.

- GIL PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J. (1985) «Science learning as a conceptual and methodological change». *European Journal of Science Education*, vol. 7, 3, pàg. 231-236.
- GIORDAN, A. (1985) *La enseñanza de las ciencias*. Madrid, Siglo XXI.
- GOODLAD, J.I. (1984) *A place called school*. Nova York, McGraw-Hill.
- HARLEN, W. (1989) *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Madrid, Morata.
- HOLMES GROUP (1986) *Tomorrow's teachers: a report of the Holmes Group*. Michigan, East Lansing.
- HUSEN, T. (1983) «Are standards in U.S. schools really lagging behind those in other countries?». *Phi Delta Kappan*, vol. 64, 8, pàg. 455-461.
- MARTÍN MUNICIO, A. (1991) «El vocabulario científico y técnico de la Real Academia de Ciencias». *Política Científica*, 26, febrer, pàg. 56-60.
- NATIONAL SCIENCE BOARD COMMISSION -N.S.B.C.- ON PRECOLLEGE EDUCATION IN MATHEMATICS, SCIENCE AND TECHNOLOGY (1985) *Educating Americans for the 21st century*. Washington C.C., National Science Foundation.
- NICKERSON, R.S. (1986) «Technology in education in 2020: thinking about the non-distant future». Treball presentat a l'*Educational Technology Center (Harvard) Panel on Technology in Educations in 2020*, octubre, pàg. 15-17.
- NÚÑEZ CENTELLA, R. (1988) «La enseñanza de las ciencias y de la tecnología fuera de la escuela», a diversos autors: *La educación ante las innovaciones científicas y tecnológicas*. Madrid, Fundación Santillana, pàg. 61-65.
- PALLRAND, G.J. (1989) «Science, Technology, and public knowledge». *Phi Delta Kappan*, vol. 70, febrer, pàg. 460-464.
- PALLRAND, G.J.; LINDENFELD, P. (1985) «The physics classroom revisited: have We learned our lesson?». *Physics Today*, novembre, pàg. 46-52.
- PERNTZ, M.F. (1990) *¿Es necesaria la ciencia?*. Madrid, Espasa Universidad.
- QUINTANILLA, M.A. (1989) *Tecnología: un enfoque filosófico*. Madrid, Fundesco.
- RIEL, M. (1990) «Cooperative learning across classrooms in electronic learning circles». *Instructional Science*, vol. 19, 6, pàg. 445-466.
- RIEL, M.; LEVIN, J.A. (1990) «Building electronic communities; success and failure in computer networking». *Instructional Science*, vol. 19, 2, pàg. 145-169.
- SÁNCHEZ RON, J. (1988) *Ciencia y sociedad en España*. C.S.I.C., Madrid.
- SANMARTÍN, J. (1990) *Tecnología y futuro humano*. Barcelona, Anthropos.

- SANTOS REGO, M.A. (1989) «Auto-eficacia percibida, aprendizaje y motivación en el aula: repaso a un modelo». *Bordón*, vol. 41, 4, pàg. 701-718.
- SANTOS REGO, M.A. (1990) «El relato como integrador de procesos en el aprendizaje del niño». *Dársena* (Revista de la UNED-La Corunya), 2 gener, pàg. 77-84.
- SHAYER, M.; ADEY, P. (1984) *La ciencia de enseñar ciencia*. Madrid, Narcea.
- SYDOW, B.V. (1990) «La política de investigación sueca». *Política Científica*, 25, desembre, pàg. 11-15.
- TOFFLER, A. (1983) *La tercera ola*. Barcelona, Plaza y Janés.
- TOFFLER, A. (1984) «Europa en la era de la tecnopolítica», *El País*, 4 de novembre.
- Diversos autors (1990) *Ciencia y cambio tecnológico en España*. Madrid, Fundación 1º de Mayo.
- VÁZQUEZ GÓMEZ, G. (1988) «Objetivos y medios para la formación de especialistas en tecnología de la información», a diversos autors: *La educación ante las innovaciones científicas y tecnológicas*. Madrid, Fundación Santillana, pàg. 70-73.
- WASTERBACK, M.; PRIMAVERA, L. (1987) «Anxiety about science and science teaching», a SPIELBERGER, C.D.; BUTCHER, J. (eds.) *Advances in personality assessment*. Hillsdale (Nova Jersey), Erlbaum, vol. 7, pàg. 175-202.
- WEISS, I. (1987) *1985-86 National Survey of Science and Mathematics Education*. Research Triangle Park (Carolina del Nord), Center for Educational Research and Evaluation, Research Triangle Institute.
- ZIMAN, J. (1984) *An introduction to science studies: the philosophical and social aspects of science and technology*. Nova York, Cambridge University Press.

Abstracts

Este trabajo, considerado la vehiculación de objetivos y metas educativas claves en esta sociedad de fin de milenio, intenta ayudar a re-pensar una parte de la educación de la ciencia y la tecnología en los contextos escolares. Así, partiendo de observaciones y acotaciones de tipo general sobre lo que representa el conocimiento científico y tecnológico para el hombre y su formación en este tiempo, se procura llegar a justificar y realzar ciertos roles y posibilidades profesionales de mejora mediante nuevas estructuras y vías de aprendizaje colaborativo entre personas que ejercen su actividad principal en la docencia o la investigación, se termina pidiendo que se propicien sistemas de apoyo efectivos en favor de una mejor unión entre escuela y ciencia-tecnología.

Cet ouvrage essaie d'aider à repense, considérant la véhiculation des objectifs et des buts éducatifs en tant qu'élément clé dans cette société de fin de millénaire, une partie de l'éducation, de la science et de la technologie dans le contexte scolaire. Ainsi, en partant d'observations et d'annotations générales sur ce que représente la connaissance scientifique et technologique pour l'homme et sa formation dans cette époque, on essaie d'arriver à justifier et à mettre en valeur des rôles et des possibilités professionnelles d'amélioration par l'intermédiaire de structures nouvelles et de voies d'apprentissage collaborateur entre des personnes qui réalisent leur activité principale dans l'enseignement ou dans la recherche. Nous finissons par demander que des systèmes d'appui effectif en faveur d'un meilleur assemblage école-science-technologie soient assurés.

This study attempts to reflect on one aspect of the teaching of science and technology within the context of the school, considering some of the important aims and objectives of our society as it approaches the millenium. Beginning with some general observations and remarks on the meaning of scientific and technological knowledge to the education of the individual in these times, we go on to justify and enhance the role and professional possibilities of improvement through new systems and structures of collaborative learning among professionals engaged mainly in the teaching of science or in research. We conclude by appealing for effective support systems for improved links between the school, science and technology.