

EINES

d'INNOVACIÓ DOCENT
en EDUCACIÓ SUPERIOR



Resoldre problemes
per aprendre

Grup d'Interès de l'IDES

IDES

Innovació Docent
en Educació Superior



Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Publicacions

Grup d'Interès de l'IDES

Mercè Izquierdo (ed.)

Resoldre problemes per aprendre

Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions
Bellaterra, 2005

Primera edició: juny de 2005

Edició i impressió:
Universitat Autònoma de Barcelona
Servei de Publicacions
Edifici A. 08193 Bellaterra (Barcelona). Spain
sp@uab.es

Impress a Espanya. Printed in Spain

Dipòsit legal: B. 26.315-2005
ISBN 84-490-2398-X

Grup d'Interès de l'IDES

Llista de participants i d'autors:

Mercè Izquierdo Aymerich. Catedràtica. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals, Àrea de Didàctica de les Ciències Experimentals. UAB.

Digna Couso Lagarón. Professora associada. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals. UAB.

Marià Baig Aleu. Professor titular. Departament de Física, Àrea de Física Teòrica. UAB.

Antoni Villaverde Corrales. Catedràtic. Departament de Genètica i Microbiologia. Institut de Biotecnologia i Biomedicina (IBB). UAB.

Anna Aris Giralt. Professora ajudant. Departament de Genètica i Microbiologia. Institut de Biotecnologia i Biomedicina (IBB). UAB.

M. del Mar Carrió Llach. Becaria postdoctoral. Departament de Genètica i Microbiologia. Institut de Biotecnologia i Biomedicina (IBB). UAB.

Javier López Muñoz. Professor associat. Departament de Física, Institut de Física d'Altes Energies (IFAE). UAB.

Pau Ferrer Alegre. Investigador Ramón y Cajal. Departament d'Enginyeria Química. Àrea d'Enginyeria Química. UAB.

Joan Suades Ortuño. Professor titular. Departament de Química, Àrea de Química Inorgànica. UAB.

Àngels González. Professora titular. Departament de Química. Àrea de Química-Física. UAB.

José Antonio Chamizo. Professor de la Facultat de Química, UNAM, Mèxic DF.

Índex

PRÒLEG	9
PRESENTACIÓ	11
1. ALGUNES IDEES A TALL D'INTRODUCCIÓ	13
2. RESOLDRE PROBLEMES <i>PER APRENDRE</i> CIÈNCIES: REALITAT, MODELITZACIÓ I MATEMÀTICA EN PROBLEMES DE FÍSICA (M. Baig)	21
3. INTRODUCCIÓ DE PROBLEMES PER A L'APRENENTATGE ACTIU DE LA VIROLOGIA (A. Villaverde)	29
4. EL PROBLEMA DELS «PROBLEMES». ANÀLISI I TRANSFORMACIÓ DE L'ENUNCIAT DE PROBLEMES DE «PAPER I LLAPIS» (D. Couso, J. López) . . .	35
5. COM FER PROBLEMÀTICS ELS PROBLEMES QUE NO EN SÓN PROU. NOVES TEMÀTIQUES PER ALS PROBLEMES DE QUÍMICA (M. Izquierdo) . . .	45
6. PROBLEMES EXPERIMENTALS (P. Ferrer)	53
7. PROBLEMES «PROFESSIONALS» (J. Suades)	59
8. RECURSOS VIRTUALS PER APRENDRE CIÈNCIES (M. Carrió, A. Arís, D. Couso)	65

Pròleg

Si en alguna cosa estem unànimement d'acord els qui fa anys que ens dediquem a la docència universitària és que en el procés d'aprenentatge l'esforç personal és insubstituïble.

Però, sovint, molts de nosaltres no podem evitar una certa sensació d'insatisfacció i de vegades, fins i tot, de frustració davant dels resultats de la nostra tasca docent. Sovint pensem que els nostres alumnes no aprenen prou i, sobretot, que no aprenen prou bé aquelles coses que considerem més bàsiques.

Les causes en són, sens dubte, diverses i complexes, i algunes s'han de buscar probablement més enllà de l'àmbit estrictament acadèmic. No vull pas fer, ara i aquí, una anàlisi en profunditat d'aquestes causes. No és el lloc ni el moment i, d'altra banda, requeriria una expertesa per part meua que no tinc.

Però aquesta insatisfacció ha propiciat en alguns docents la necessitat d'explorar alternatives i d'esgotar el marge de maniobra, sovint més gran del que sembla a primera vista, de què es disposa en la pròpia activitat docent per tal de millorar-ne l'eficàcia.

Aquest és el cas del grup de professors de diferents àmbits de la Facultat de Ciències i de l'Escola Superior d'Enginyeria, que, en el marc d'un seminari docent, ens presenten en aquest llibre les seves experiències.

El fil conductor és l'aprenentatge basat en els problemes. Si haguéssim d'identificar el que pitjor funciona en la nostra activitat docent, probablement diríem que són les classes de problemes, que sovint es converteixen en actuacions teatrals en què l'actor (el professor) resol problemes davant dels espectadors (els alumnes). Fent servir el símil que utilitzo cada curs el primer dia de classe, és com voler aprendre a nedar anant al SAF i observant des de la graderia com l'entrenador fa piscines amunt i avall amb la seva millor tècnica i estil. Barallar-se amb els problemes és l'essència de l'aprenentatge.

Però, tot i que és fonamental, no n'hi ha prou amb l'esforç personal de l'alumne. També cal, per part del professor, una reflexió sobre els continguts i un disseny adequat dels problemes que connecti amb la realitat, que suggereixi bones preguntes i que no es limiti a la simple aplicació d'algoritmes. En aquest sentit, penso que les experiències que es presenten en aquest llibre poden ser il·luminadores.

Voldria felicitar el professorat que ha participat en aquest seminari i que ens presenta aquí les seves experiències, per la seva inquietud i el seu compromís amb la docència, i encoratjar-lo que les continuï desenvolupant. Espero que el contingut d'aquest llibre inspire també altres en la seva activitat docent, que els encoratgi a compartir les seves experiències i a participar en aquest seminari, que s'hauria de convertir en permanent.

Antoni Méndez Vilaseca
Degà de la Facultat de Ciències
Maig de 2005

Presentació

En aquesta publicació, s'hi presenten algunes experiències que han estat analitzades en un seminari en el qual participen professors de la Facultat de Ciències, de la Facultat de Ciències de l'Educació i de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria, ETSE, de la UAB. El seminari es va crear per iniciativa de l'IDES (Unitat d'Innovació en la Docència de l'Ensenyament Superior de la UAB).

La tasca del seminari es planteja com un procés simultani d'identificació de les característiques dels «problemes per aprendre» i de recerca de marc teòric que ajudi a dissenyar estratègies docents millors. El punt de partida va ser considerar que «resoldre problemes» fa avançar el coneixement científic i és, per aquest motiu, una competència bàsica que ha de ser desenvolupada en els plans d'estudi per a futurs científics, i això requereix que els estudiants en siguin els protagonistes. Des d'aquesta perspectiva, plantejar problemes i resoldre'ls es transforma en una activitat creativa, que permet relacionar les classes teòriques, les pràctiques experimentals i la classe de problemes. Els «problemes» passen a ser instruments per a l'aprenentatge i, per això, els alumnes els han de poder resoldre tots sols.

Així doncs, l'objectiu general dels professors que formem part del seminari va ser dissenyar activitats «problemàtiques» i, alhora, centrades en els conceptes bàsics, que fossin adequades per proporcionar als alumnes criteris per prendre decisions en el marc de les disciplines científiques. Esperem que, d'aquesta manera, els «problemes» esdevinguin instruments per adquirir una formació científica de qualitat.

En el seminari, hi hem desenvolupat aquestes idees en diversos exemples que presentem en els capítols d'aquest llibre: problemes pràctics, la solució dels quals requereix conèixer bé processos experimentals, a més, es procura relacionar els problemes, les pràctiques i la teoria (Pau Ferrer); nous suports virtuals per al plantejament de problemes (Digna Couso, M. del Mar Carrió i Anna Arís); problemes propis de l'exercici professional (Joan Suades); problemes de modelització i d'*insight* (Marià Baig i Antoni Villaverde), i anàlisi i transformació de problemes típics de «llapis i paper» (Digna Couso, Javier López i Mercè Izquierdo). Aquestes experiències varen ser presentades també en dos cursos (gener i juliol de 2004) que van ser finançats i organitzats per l'IDES i que van animar alguns dels professors que hi van assistir a formar part del seminari.

Els capítols d'aquest llibre es dediquen a les diferents experiències que s'han presentat en el seminari i que proporcionen una resposta parcial a algunes de les preguntes que s'hi han formulat.

Esperem que la informació que oferim sigui ben útil per a les persones que ensenyen ciències i desitgem poder continuar aquesta tasca amb un grup cada vegada més nombrós de professors, per tal que, entre tots, arribem a seleccionar i dissenyar els «bons problemes» que ajuden a aprendre.

1. Algunes idees a tall d'introducció

En algunes llicenciatures de ciències i enginyeries es dediquen moltes hores a ensenyar a resoldre problemes; en d'altres, però, aquesta pràctica no és tan freqüent. Molt sovint, els exàmens que han d'aprovar els estudiants de ciències consisteixen a fer-los resoldre problemes. Efectivament, els científics han de resoldre problemes i és normal que un aprenent de científic s'entreni per realitzar aquesta tasca. Però ara es plantegen noves finalitats a l'ensenyament i, per tant, també a la classe de problemes. Aquestes noves finalitats es poden ordenar entorn de tres punts: les noves demandes socials; l'espai universitari europeu i els crèdits de transferència (ECTS), i la professionalitat docent.

1. La demanda social a la universitat és cada vegada més exigent. Aquesta demanda es concreta en avaluacions a les titulacions en les quals s'analitzen els perfils professionals dels estudiants que finalitzen les carreres i on es té en compte la capacitat de decidir, els criteris per actuar, allò que saben fer i no tant el que saben repetir. «Resoldre problemes» és una de les competències que ha d'adquirir un estudiant de ciències, i aquest la posa a prova quan s'enfronta a uns que són inèdits, que mai no ha resolt: són problemes com els que haurà de solucionar més endavant, en l'exercici de la seva professió o en els projectes de recerca en els quals participi.
2. L'anomenada «nova cultura docent» (que ha de caracteritzar l'espai universitari europeu i els ECTS) es diferencia de l'anterior per la importància que dona a les competències que ha d'adquirir l'estudiant. Actualment, queda lluny la cultura de «l'enciclopèdia» i adquireix importància el «saber fer». Els crèdits de les carreres es refereixen ara a hores de treball de l'alumne (un crèdit correspon aproximadament a trenta hores) i les hores dedicades a resoldre problemes han de comptar-se d'una nova manera.
3. Alhora, la figura del professor adquireix importància. La seva tasca no es limita únicament a «impartir classe», sinó que se li demana que acompanyi els estudiants al llarg del procés d'adquisició de les competències de treball científic, entre les quals destaquen totes aquelles que proporcionen els criteris per actuar i per autoavaluar-se. La professió de docent adquireix així les característiques que li són pròpies: és innovadora i interpel·la constantment.

Amb tot això, l'objectiu més important del docent és aconseguir que l'estudiant participi en la classe i es faci responsable de la seva formació intel·lectual. La pregunta que ens fem en el si del seminari és si es pot aprendre a resoldre problemes

veient com ho fa un científic expert, per molt bé que aquest ho faci, i, en intentar respondre aquesta pregunta, comencen a sorgir dubtes i noves propostes d'actuació.

1.1. Què és un «problema per aprendre»? Construint un marc teòric

Ens preocupa que els estudiants considerin que hi ha una manera concreta, fins i tot «única», de resoldre problemes de ciències, mentre que pels científics «resoldre problemes» requereix inventiva, i aquest és l'aspecte més interessant de la seva tasca, la que fa emergir nous coneixements. Pensem que, molt sovint, els estudiants veuen els problemes com a simples «exercicis» que s'aprenen a fer de manera rutinària; i això no ens satisfà, perquè resoldre exercicis no permet aprendre a aplicar les ciències ni assolir la competència de «resoldre problemes» que és pròpia del treball dels científics.

Les ciències cognitives (en les quals conflueixen la història i la filosofia de la ciència, la psicologia cognitiva i la lingüística) aporten idees que ens permeten anar configurant un «marc teòric» que ens pot ser útil als docents. S'ocupen dels factors que condicionen l'emergència del coneixement i, des d'aquesta perspectiva, sembla raonable relacionar la dinàmica científica (filogènesi o gènesi del coneixement científic) amb la dinàmica dels coneixements personals (ontogènesi, gènesi dels coneixements individuals o aprenentatge). La connexió entre aquests dos nivells aparentment tan diferents la proporciona l'interès pel procés de «comprendre». Si bé es pot admetre que aquest interès fa avançar les ciències i genera coneixement, no és tan clar que passi el mateix quan s'ensenyen les ciències: és evident que «saber-se un llibre» no és el mateix que «saber-lo aplicar». Pot ser, per tant, que s'aprenuin coneixements sense comprendre'ls, ja que la comprensió del significat dels conceptes i dels principis teòrics generals, matemàtics, que suposadament descriuen el món, es demostra quan es poden utilitzar per explicar fets concrets del món.

El filòsof S. Toulmin (1977) proporciona un concepte de racionalitat que permet comprendre el canvi constant dels coneixements científics al llarg del temps i que també podem aplicar a l'aprenentatge. Ens diu (p. 12):

Los hombres demuestran su racionalidad, no ordenando sus conceptos y creencias en rígidas estructuras formales, sino por su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto [...] Las nociones fundamentales son las de «adaptación y exigencia», más que las de «forma» y «validez» [...] El programa filosófico que aquí proponemos [...] patrocina esquemas de análisis que son, al mismo tiempo, más históricos, más empíricos y más pragmáticos.

I Wittgenstein (1921) afirma (p. 182):

En la ciencia, el significado se muestra por el carácter de un procedimiento explicativo; y la verdad, por el éxito de los hombres en hallar aplicaciones para este procedimiento.

(La possibilitat de descriure el món mitjançant la mecànica newtoniana encara no ens diu res sobre el món mateix. Però el que sí que ens diu quelcom respecte a aquest és la manera precisa com és possible descriure'l per aquest mitjà.)

1.1.1. Les situacions problemàtiques i les variants conceptuals en la formació de les disciplines

Segons Toulmin, el contingut d'una disciplina científica es pot definir en relació amb tres conjunts d'elements relacionats entre ells:

1. Els seus objectius explicatius.
2. El seu repertori de conceptes i procediments explicatius.
3. L'experiència acumulada dels científics que treballen en el marc d'aquella disciplina (saben què es pot fer i què no es pot fer amb els seus coneixements professionals).

Els problemes conceptuals amb els quals es troba una disciplina sorgeixen de la diferència entre els ideals explicatius de la pròpia disciplina i les capacitats d'assolir-los. Així doncs, si bé els coneixements científics que ensenyem a classe estan consolidats i consensuats per la comunitat científica, podem acceptar que els estudiants no els arribin a aprendre si no són capaços d'identificar els ideals explicatius de la disciplina ni les seves pròpies possibilitats d'assolir-los.

Les situacions problemàtiques que han fet avançar el coneixement científic són les següents: fenòmens que plantegen qüestions que es confia que es podran resoldre, tot i que encara no s'hagi aconseguit fer-ho; fenòmens que s'expliquen de manera parcial i les explicacions dels quals poden millorar, fer-se més completes, més precises; relació poc satisfactòria entre conceptes de la disciplina; relació poc satisfactòria entre conceptes de diferents disciplines; conflictes entre els procediments i els conceptes de les ciències i les idees i les actituds habituals entre la gent en general. Com que tots els conceptes científics tenen tres aspectes diferenciats: representació (model teòric al qual pertanyen), llenguatge (símbols, representacions gràfiques, equacions bàsiques...) i aplicació (operacions que es poden realitzar), els procediments de solució consisteixen a introduir noves representacions, millorar la terminologia i innovar la tècnica. Els canvis es produeixen en algun d'aquests aspectes o en tots.

La solució d'aquests problemes provoca les innovacions conceptuals que fan avançar les ciències i, també, que poden fer aprendre ciències.

1.1.2. Les situacions problemàtiques i les variants conceptuals en la formació científica dels estudiants

Si apliquem la reflexió anterior a un ensenyament de les ciències que té la finalitat de proporcionar «competències científiques» als estudiants, veurem que el que és més important és proporcionar, a classe, «situacions problemàtiques» que es puguin resoldre introduint-hi noves representacions teòriques, nous llenguatges, noves «maneres de fer».

Per això se'ns han plantejat diverses qüestions, les quals, en intentar resoldre-les, ens han obert diferents perspectives de treball i, també, diferents possibilitats de reflexió teòrica. Són les següents:

- Quines característiques han de tenir els problemes autèntics, que proporcionin als estudiants l'oportunitat de resoldre'ls? Quins temes són els més adequats per formar part de l'enunciat d'un problema?

Això ens fa reflexionar sobre els *continguts de les assignatures* (els conceptes i els procediments bàsics de les disciplines) i sobre l'adequació dels problemes que s'utilitzen a les classes durant l'aprenentatge.

- Són suficients els problemes que es proposen als estudiants? Convindria diversificar-los? Tenen tots la mateixa finalitat?

Això ens fa pensar en la conveniència d'analitzar de manera sistemàtica els problemes que es proposen a classe i als exàmens, i també ens fa reflexionar sobre la docència i l'encaix de la classe de problemes en el conjunt de les intervencions docents, com també en la conveniència d'analitzar de manera sistemàtica els problemes que es proposen a classe o als exàmens.

- Com cal redactar un bon enunciat? Es pot ensenyar a resoldre problemes? Com? Quins instruments didàctics poden ajudar a aprendre a resoldre problemes?

Això ens fa pensar en les condicions que afavoreixen l'aprenentatge dels estudiants i en la conveniència d'ampliar la llista tradicional de problemes amb uns que siguin nous i autèntics, que tinguin nous formats i nous continguts, per tal de fer-los adequats per als aprenentatges científics dels estudiants.

Totes aquestes qüestions conflueixen en les següents: Què és un «problema per aprendre»? Com es pot aconseguir que els estudiants siguin competents per resoldre problemes científics?

1.2. Què és un «problema per aprendre»? Una proposta per a l'anàlisi dels problemes

Els «problemes per aprendre» són els que fan possible l'emergència de nou coneixement. Han de ser «problemes autèntics» (Garret i altres, 1990), que plantegin «bones preguntes» que facin pensar, que l'estudiant entengui, comparteixi i pugui formular amb les seves pròpies paraules. Com que els estudiants (futurs científics) han de tenir ocasió d'assajar les estratègies de solució, aquests problemes han de poder ser resolts amb autonomia per part de l'alumnat (disposant, això sí, de l'ajuda del professorat) i no s'ha de «parar cap trampa» que només puguin superar els estudiants excel·lents, perquè els problemes són eines que ajuden cadascú a desenvolupar els seus coneixements i a construir-ne de nous de manera significativa. Finalment, han de ser rellevants per a la disciplina: connectar amb problemàtiques globals que resulten interessants pels especialistes, perquè són problemes per anar aprenent a fer de científic. És a dir, *han d'incidir en les idees clau dels programes, han de tenir en compte els coneixements previs dels estudiants (en continguts i procediments) i han de plantejar bones preguntes.*

Si optem per aquest tipus de problema, cal que els estudiants s'adonin que han canviat les finalitats docents i que, per tant, no té cap sentit intentar memoritzar les solucions ni copiar-les del company. Preparar un examen no ha de ser pas fer una vegada i una altra els problemes que ja s'han resolt, mirant de recordar-ne el mecanisme de resolució. Pel que fa al professorat, li caldrà inventar uns altres problemes, en els quals allò que es vulgui ensenyar sigui suggerit a partir de la situació que es plantegi a l'estudiant, i que es faci de manera adequada als coneixements que ja té.

Els «problemes per aprendre» s'han d'ensenyar a resoldre de manera heurística, connectant amb els models teòrics propis de la disciplina i no pas amb mecanismes rutinaris que escamotegin la reflexió. Ampliarem aquesta idea més endavant.

Ens sembla interessant analitzar els enunciats dels problemes a partir de les consideracions que s'han fet fins aquí. La pauta per analitzar els problemes que proposem es mostra al quadre 1, on apareixen els tres aspectes sobre els quals ens preguntàvem i que tenen a veure amb la docència, el contingut i l'aprenentatge. Ens fixarem en la seva finalitat docent, en l'enunciat (el tema a què es refereix i el format del text) i l'estratègia de resolució que es vol potenciar. En un bon problema, aquests tres aspectes han d'estar relacionats de manera coherent i probablement poden caracteritzar l'evolució conceptual que s'espera aconseguir. (Segons Toulmin, podria correspondre a una de les quinze «variants conceptuals» que es produeixen en resoldre alguns dels cinc tipus de problemes amb algun dels tres procediments de solució.)

Quadre 1**A. Finalitat (docència)**

1. Quina és la finalitat docent?
De què va el problema i què té a veure amb el programa del curs?
Quin és el concepte clau, des del punt de vista del professor?
Quin és el problema que es vol plantejar als estudiants? (un fenomen nou?, establir noves relacions entre conceptes?, solucionar un conflicte mitjançant el sentit comú?, millorar una explicació?, altres?).
2. Quins coneixements previs es necessiten tenir?

B. Enunciat del problema (contingut científic)

3. Quina és la «bona pregunta» que ha d'orientar cap a la solució?
4. Quin és el format del problema? (obert / tancat, pràctic / d'aula, quantitatiu / qualitatiu, exercici / problema, «problema» / test).
5. Com està redactat?
Es pot entendre? Hi ha massa / poques dades? Queda clara la pregunta o és que no hi ha de quedar?
6. La consigna que es dona a l'estudiant, és l'adequada?

C. Estratègies de resolució implícites (aprenentatge esperat)

7. Quina mena de resposta s'espera obtenir?
8. Com es resoldrà el problema? (millorant la representació teòrica?, generant un nou llenguatge?, amb noves estratègies experimentals?). Quines estratègies de resolució s'hauran d'ensenyar i desenvolupar?
9. Quins instruments didàctics es faran servir? (bases d'orientació?, diagrames?, mapes conceptuals?, V de Gowin?).

L'anàlisi del problema pot contribuir a fer-ne un diagnòstic sobre quin és el millor moment per plantejar-lo, o bé mostrar aspectes mitjançant els quals es pot millorar, per exemple: transformar un exercici en un problema de recerca. Ens pot fer veure també la conveniència d'ampliar les temàtiques i els formats que tradicionalment es presenten en els reculls de problemes per adaptar-los millor a les possibilitats cognitives dels estudiants.

1.3. Resolució dels problemes

Tot i que fins ara ens hem ocupat poc de la resolució dels problemes, és imprescindible pensar-hi una mica per donar coherència a la proposta que presentem.

Els «problemes per aprendre» s'han d'ensenyar a resoldre, però requereixen estratègies heurístiques i no pas l'aplicació d'algorismes (Polya, 1945). El procés de resolució d'un problema autèntic es pot comparar al procés de modelització científica, que requereix formular hipòtesis que s'han de comprovar segons les «regles del joc» de la disciplina i de les quals es deriven els conceptes propis del model teòric en què s'emmarca el problema (vegeu la figura 1).

Fins i tot es pot formular la qüestió de manera poc clara o sense donar-ne dades, de manera que sigui l'estudiant qui formuli la pregunta precisa a mesura que reflexioni sobre com resoldre la situació que se li proposa, identifiqui el model i formuli les hipòtesis que condueixin cap a la solució.

Durant el curs vinent, dedicarem més temps a la resolució de problemes, enseyant a utilitzar les estratègies clàssiques: analitzar finalitats i mitjans, dividir el problema en subproblemes i proposar submetes; buscar problemes anàlegs, buscar lligams amb temes que es coneixen bé... D'una manera general, cal: llegir i comprendre l'enunciat; concebre un pla de resolució (identificar el marc teòric, formular hipòtesis, elaborar estratègies...); executar el pla, duent a terme un procés de modelització, i, finalment, verificar-ne el resultat.

Com que és indispensable que l'estudiant adquireixi autonomia, també s'han de facilitar instruments didàctics apropiats per donar suport a la trama conceptual que es va construint en resoldre el problema. Utilitzarem com a exemple la V proposada per Bob Gowin (1989), que respresenta molt bé la integració de fer, de pensar i de comunicar que fa que els conceptes científics siguin comprensibles (vegeu la figura 2).

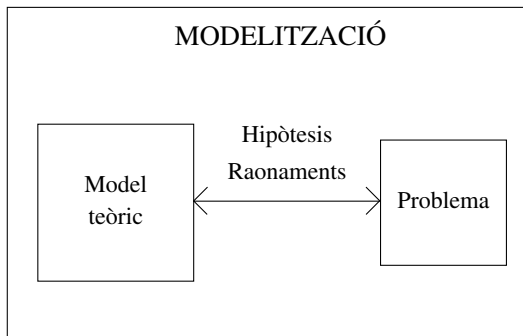


Figura 1

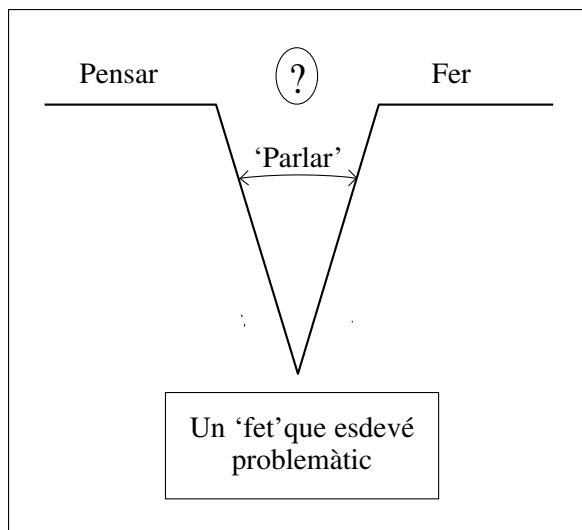


Figura 2

1.4. Consideracions finals

Aquestes reflexions ens fan veure que és necessari integrar i coordinar millor els problemes, les pràctiques i les classes teòriques. Com ja s'ha dit més amunt, els ensenyaments universitaris estan evolucionant cap a ensenyar com es poden utilitzar els coneixements, a proporcionar criteris per a l'actuació en el marc d'una disciplina científica i, des d'aquesta perspectiva, no té sentit separar les classes teòriques de les classes pràctiques i de problemes.

Els «problemes per aprendre» han de ser molt diversos (en continguts i en formats), per tal de poder incidir de manera significativa en l'aprenentatge de les estratègies i dels nous coneixements que formen els programes. Els recursos telemàtics de què disposem ara ens ofereixen noves possibilitats per diversificar els problemes i poder, així, planificar millor la intervenció docent.

Referències

- NOVAK, J., GOWIN, B., 1989. *Aprendiendo a aprender*. Madrid: Martínez Roca.
 TOULMIN, S., 1977. *La comprensión humana*. Madrid: Alianza Universidad.

2. Resoldre problemes per aprendre ciències: Realitat, modelització i matemàtica en problemes de física

Marià Baig

1. Introducció

La resolució de problemes, juntament amb les classes magistrals i les pràctiques de laboratori, forma una part indispensable de les tasques involucrades en l'aprenentatge de la física. Fins i tot, en diverses universitats anglosaxones s'han desenvolupat programes d'aprenentatge de les ciències en general, i de la física en particular, basats en el que anomenen *Problem Based Learning (PBL)*. Introduït inicialment en l'aprenentatge de les ciències mèdiques¹, més recentment s'està experimentant i posant en evidència la seva aplicabilitat a l'aprenentatge de la física². Sense pretendre arribar, però, a l'extrem de basar la docència sencera de la física en aquestes tècniques, és evident que el paper de les classes tradicionals de problemes, en alguns casos, s'ha de revisar: fulls de problemes que s'hereten any rere any i les solucions dels quals circulen fotocopiades, problemes que han quedat desajustats respecte a la teoria que s'explica, *classes de problemes* que es converteixen a la pràctica en *classes magistrals de problemes resolts*, etc.

Un article recent publicat a l'*American Journal of Physics* crida l'atenció per la seva rotunditat. Es titula «Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems»³. L'estudi volia comprovar l'afirmació, que moltes vegades tots hem sentit, que el fracàs en els resultats finals prové del fet que els estudiants «haven't done enough problems». Els autors van investigar la comprensió de conceptes físics en estudiants que entraven a la universitat havent fet uns estudis en els quals la resolució de *molts* problemes era la tasca fonamental. De mitjana, cada estudiant havia hagut de resoldre uns mil cinc-cents problemes de física! La conclusió de l'estudi és realment decebedora, perquè no troben cap correlació entre el nombre de problemes resolts i la comprensió conceptual de la física, cosa que els porta a dir «This result suggests that traditional problem solving has a limited effect on conceptual understanding».

Howard C. McAllister apunta⁴ fins i tot «It is well nown that students are quite

1. BARROWS, H. S. (2000). *Problem-Based Learning Applied to Medical Education*. SIU School of Medecine, Springfield, IL.

2. VAN KAMPEN, P.; BAÑAN, C.; NELLY, M.; MCLOUGHLIN, E.; O'LEARY, E. (2004). «Teaching a simple physics module trough Problem Based Learning in a lecture-based curriculum». *American Journal of Physics*, núm. 72, p. 829-834.

3. EUNSOOK KIM and SUNG-JAE PAK (2002). «Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems». *American Journal of Physics*, núm. 70, p. 759-765.

4. MCALLISTER, H. C. «Common Sense Problem Solving and Cognitive Research». A: *Reliable problem solving across the curriculum*. University of Hawaii educational research project. <http://www2.hawaii.edu/suremath/cognitive.html>

capable of solving problems without understanding the concepts» i cita l'estudi sobre conceptes de sentit comú en el moviment de Halloun i Hestenes⁵.

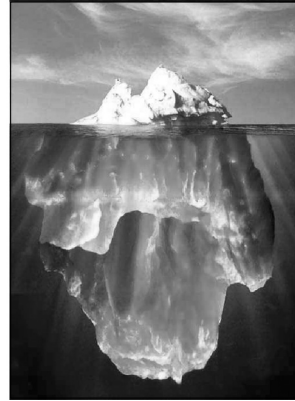
Tots aquests estudis citats ens suggereixen que es pot donar una certa perversió en la resolució de problemes: l'especialització en la seva resolució «mecànica», ja que de vegades es redueixen a saber aplicar la fórmula que toca. És evident que part dels problemes que es proposen al llarg d'un curs de física tenen per objectiu adquirir les habilitats tècniques necessàries per resoldre una situació determinada de manera efectiva. Aquests problemes els podríem qualificar, doncs, *d'exercicis d'aprenentatge*. Hi ha d'haver, però, uns altres tipus de problemes, que *ajudin a aprendre* en el sentit més ampli de la paraula.

En aquestes pàgines, voldria compartir algunes experiències que m'han estat d'utilitat en la meua trajectòria docent. Concretament, presentarem tres problemes, dos que podríem incloure en la denominació de *física general* i un darrer —que és clàssic— en la de *mecànica o equacions diferencials*. Cadascun parteix d'un punt diferent per motivar l'alumne i induir-lo a *pensar*, i no només a aplicar *la fórmula*. Els tres punts de partida seran, concretament, una situació de *l'actualitat*, un experiment realitzable *en viu* davant dels alumnes i una pregunta *que sorprèn* perquè és inesperada. En tots, la seva resolució —que també resumirem aquí— requereix la contextualització i la modelització de la qüestió abans d'utilitzar termes matemàtics i físics, punts que considero molt importants en la tasca d'aprenentatge.

2.1. Un problema real: el desglaç del gel dels pols

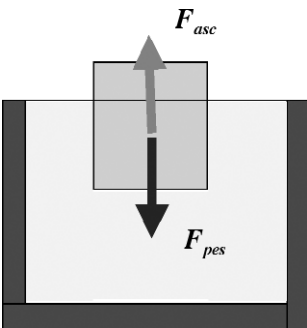
Un tema científic de plena actualitat i que ha arribat fins i tot al cinema és el del canvi climàtic. Pel·lícules com ara *The day after tomorrow*, de Roland Emmerich, han portat aquesta qüestió fins a les tertúlies de cafè..., i en el fons ajuden a crear una consciència col·lectiva sobre el paper de la societat en l'evolució de la natura. Una qüestió molt apropiada per treballar, per exemple, en un primer curs de física dins de geologia és la de les conseqüències del desglaç dels pols. La pregunta concreta seria la següent: «Què passarà amb el nivell de les aigües dels oceans si es produeix el desglaç del gel dels pols?». Evidentment, és una qüestió molt complexa, però la podem reduir a dos casos diferents: el desglaç del gel que està *sobre* la terra ferma i el desglaç del gel que flota en els oceans. En el primer cas, l'aportació d'aigua contribuirà decisivament a augmentar el nivell dels oceans. El segon cas, però, és més subtil, ja que el gel es troba en flotació en un equilibri de forces que ens porta directament a un problema de física que podem plantejar de la forma següent (problema de *l'iceberg*):

5. HALLOUN, I. A.; HESTENES, D. (1987). «Common Sense Concepts about Motion». *American Journal of Physics*, núm. 53, p. 1056-1065.



Problema

Un glaçó de gel flota en un got d'aigua ple fins dalt de tot. Quan es fongui el glaçó, l'aigua del got vessarà, quedarà igual (ple fins dalt) o es reduirà el seu volum?



Podem visualitzar el problema amb l'ajut d'un diagrama simplificat. En primer lloc, el gel flota perquè la seva densitat és menor que la de l'aigua:

$$\rho_{gel} < \rho_{aigua}$$

Les condicions de flotabilitat ens les dóna la igualtat entre la força ascensional (Arquimedes) i el pes del gel. Sense entrar en detalls, podem plantejar:

$$\begin{cases} F_{asc} = V_{Sub} \times \rho_{aigua} \times g \\ F_{pes} = M_{glaçó} \times g \end{cases}$$

La igualtat de les dues forces ens porta a la conclusió que el volum del glaçó submergit serà:

$$V_{Sub} = \frac{M_{glaçó}}{\rho_{aigua}}$$

Ara bé, si el glaçó es fon, tota la seva massa es converteix en aigua, però el volum que ocuparà aquesta aigua serà **exactament** el mateix que el de la part sub-

mergida del glaçó. Per tant, el nivell de l'aigua no canviarà. La conclusió a la qual ens porta aquesta anàlisi, referida de nou al problema del canvi climàtic, és que el desglaç de tot el gel *flotant* sobre els oceans *no canviarà* l'altura del nivell del mar.

2.2. Un problema de física experimental

De vegades, un simple «experiment» realitzat davant els alumnes pot sorprendre'ls i captar la seva atenció cap a una qüestió que es pot plantejar en forma de problema.

Descripció de l'*experiment*:

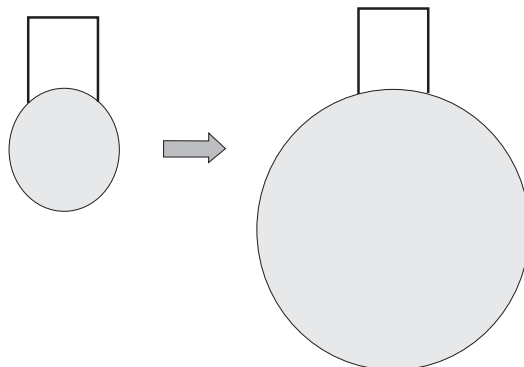
S'infla una mica un globus i es prem un got de plàstic sobre la seva superfície. Es continua inflant una mica més el globus, mantenint-hi el got premut amb la mà. Un cop fet això, es deixa anar el got i..., queda enganxat al globus! És un efecte totalment inesperat que es pot reproduir tantes vegades com es vulgui.

Problema

Quin fenomen físic pot ser el responsable d'originar aquest efecte? Aporteu-hi una explicació qualitativa i quantitativa.

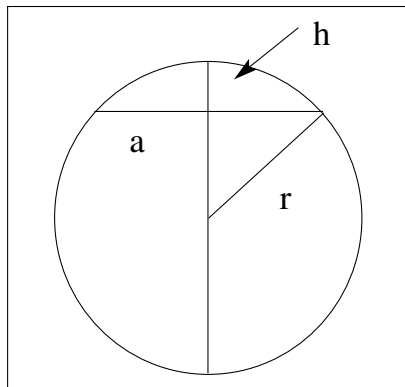
L'explicació del fenomen ens permetrà posar en joc conceptes tant de física com de geometria, a part que requerirà un cert grau de *modelització* per poder estudiar quantitativament el fenomen observat.

El primer pas que podem fer és dibuixar una secció transversal del globus (considerat com una esfera) i del got (cilíndric), per tal de veure si en podem intuir alguna explicació:



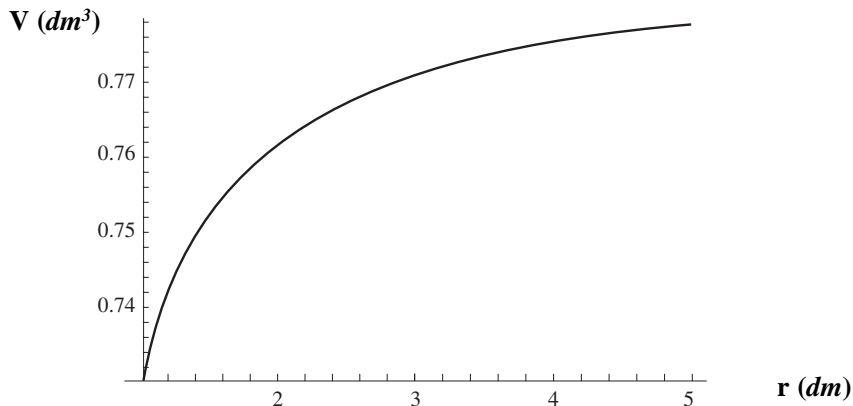
De la figura, en podem observar, ja, un efecte que mereix ésser estudiat amb detall. Inflar el globus representa augmentar el seu diàmetre i, per tant, reduir la *corbatura* de la superfície de l'esfera. Si suposem que premem el got sobre la superfície del globus durant tot el procés, l'aire que està contingut en el seu interior veurà, doncs, **augmentat** el seu volum. Això ens suggereix emprar l'equació dels gasos ideals, $P V = n R T$, que ens relaciona el volum amb la pressió. En aquest cas, la temperatura la podem suposar constant i tenim $P V = \text{constant}$. En augmentar el volum, disminuïm la pressió interna i, per tant, la pressió atmosfèrica el premerà contra el globus.

El segon pas que cal fer és quantificar la diferència de pressió dins del got deguda al canvi de volum. Necessitem algunes fórmules de geometria elemental, concretament el volum d'un casquet esfèric⁶ de radi r i altura h que val $V_{\text{casquet}} = 1/3\pi h^2 (3r - h)$.



Si suposem que el got és cilíndric amb radi a i altura $2a$, l'altura del casquet esfèric val $h = r - \sqrt{r^2 - a^2}$. Sabent que el volum del cilindre (sencer) és, precisament, $V_{\text{cil}} = \pi a^2 2a$ tenim que el volum d'aire tancat dins del cilindre limitat per la superfície del globus val $V_{\text{aire}} = V_{\text{cil}} - V_{\text{casquet}}$. L'expressió resultant és força complicada, però la podem representar gràficament en funció del radi del globus per un got de radi 0,5 dm:

6. SPIEGEL, M. R. *Manual de fórmulas y tablas matemáticas*. Shaum. McGraw-Hill.



D'aquesta figura, en podem deduir que si el volum de l'interior del got augmenta amb el radi, la pressió a l'interior del got disminuirà en la mateixa proporció i, per tant, quedarà enganxat a la superfície del globus d'acord amb la diferència de pressions entre la interior i l'atmosfèrica.

En aquest exemple, hi hem vist com un simple experiment *real* realitzat davant dels alumnes i amb un efecte sorprenent pot ésser *modelitzat* de manera que es pot interpretar en termes de lleis de la física i la geometria.

2.3. Un problema d'equacions diferencials

El tercer exemple és un problema «clàssic», ja que ha aparegut publicat en diversos llibres de text, però que no deixa de sorprendre a qui el llegeix per primer cop. L'enunciem aquí tal com apareix al llibre d'equacions diferencials del matemàtic Puig Adam⁷.

Problema

Está nevando con regularidad. A las doce sale una máquina quitanieves que recorrer en la primera hora 2 kilómetros y en la segunda, uno solo. ¿A qué hora empezó a nevar?

És un problema que sorprèn l'estudiant perquè no espera que li facin aquesta pregunta. La seva resolució requereix, això no obstant, una *modelització* de la situació per tal de poder-lo plantejar. El mateix Puig Adam hi afegeix algunes pistes:

7. PUIG ADAM, P. (1974). *Curso teórico-práctico de ecuaciones diferenciales aplicado a la física y técnica*. 12a ed. Madrid.

Se admitirà como hipótesis plausible que la cantidad de nieve quitada por la máquina en unidad de tiempo es uniforme, de modo que su velocidad de avance resulta inversamente proporcional a la altura de nieve encontrada en el camino.

Amb aquestes indicacions, no és difícil *modelitzar* la situació. Hem de traduir les indicacions en equacions. Comencem per designar la posició de la màquina llevaneu per la funció $x(t)$ i l'altura de la neu, per $h(t)$. Apliquem ara els supòsits que ens indica Puig Adam:

Velocitat inversament proporcional a l'altura $\Rightarrow v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = k \frac{1}{h(t)}$

Neva amb regularitat $\Rightarrow h(t) = a(t - t_0)$

Equació que cal resoldre: $\frac{dx(t)}{dt} = b \frac{1}{(t - t_0)}$, $b = \frac{k}{a}$

La solució d'aquesta equació és: $x(t) = b \text{Ln}(t - t_0) + c$

I les condicions de l'enunciat ens donen les condicions: $x(12) = 0$, $x(13) = 2$, $x(14) = 3$.

Després de resoldre el sistema, es dedueix que **va començar a nevar a les 11 hores i 23 minuts** (que és el valor de t_0).

2.4. Conclusions

Hem començat dient, i continuem mantenint, que **resoldre problemes és una tasca fonamental en l'aprenentatge de les ciències** en general i de la física en particular. De totes maneres, resoldre problemes no és una simple tasca *mecànica* per practicar uns mètodes predeterminats de solució (aplicar la fórmula X), sinó que pot ser una tasca creativa i decisiva per a l'*aprenentatge* de la ciència: resoldre problemes per aprendre.

Després de presentar alguns resultats publicats recentment sobre la manca de correlació entre «fer molts problemes» i «comprendre la física», hem presentat tres casos reals de problemes que van més enllà d'una simple rutina. Cadascun s'ha basat en una estratègia diferent per motivar el problema i en una manera diferent de *modelitzar-lo* fins arribar a un enunciat resoluble dins del marc dels coneixements que s'espera que tingui l'alumne.

És evident que no tots els problemes que es proposen al llarg del curs han d'ésser del tipus descrit aquí, però tampoc no han d'ésser simples exercicis d'aplicació de «la fórmula» que es pot aprendre a resoldre sense necessitat d'entendre l'assignatura.

3. Introducció de problemes per a l'aprenentatge actiu de la virologia

Antoni Villaverde

La docència universitària de les ciències naturals és un tema que es troba en debat constant, i això genera profundes reflexions sobre les estratègies pedagògiques més adients per oferir a l'estudiant una àmplia comprensió de la natura i alhora una capacitat més gran per afrontar els problemes científics o tècnics als quals farà front durant la seva futura activitat professional¹. El debat s'ha revifat recentment en el context de la conversió docent europea i la necessitat de reestructurar els plans d'ensenyament i els enfocaments pedagògics. En general, la formació universitària en el nostre entorn es caracteritza per llicenciatures molt denses amb un elevat nombre de matèries semestrals, recursos docents molt limitats, molts alumnes i, consegüentment, un ensenyament massificat i una atenció poc personalitzada. Aquest entorn, juntament amb l'elevada càrrega docent dels professors universitaris, que l'han de compaginar amb les seves activitats de recerca i gestió, afavoreix la utilització sistemàtica de les metodologies pedagògiques tradicionals, en les quals l'alumne és un receptor passiu de la matèria impartida. Fins i tot, quan es parla de docència en termes genèrics, sovint es deslliga conceptualment de l'aprenentatge, que en realitat és l'objectiu de qualsevol activitat pedagògica. Mentre que la docència és un conjunt de mètodes i d'instruments objectius de transmissió del coneixement, l'aprenentatge és un fenomen subjectiu, intern i individual (figura 1). Qualsevol activitat o estratègia docent ha d'anar, doncs, dirigida a la consecució amb èxit d'aquest procés íntim i personal.

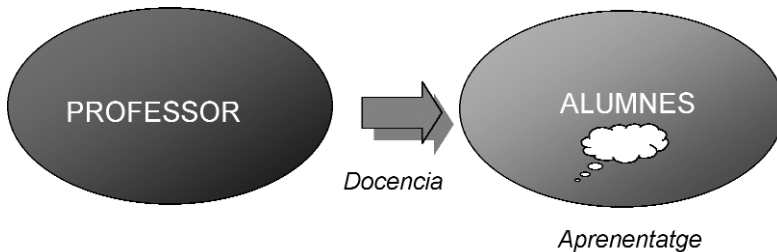


Figura 1. La docència i l'aprenentatge són processos distingibles. Mentre que el primer és el conjunt d'instruments objectius que permeten transmetre el coneixement, el segon és un procés subjectiu, intern i personal. La correcta aplicació dels estils docents determina l'efectivitat de l'aprenentatge.

1. COMMITTEE ON UNDERGRADUATE SCIENCE EDUCATION (1997). *Science Teaching Reconsidered. A Handbook*. Washington: National Academy Press.

Des d'aquest punt de vista, es pot distingir entre tres estils docents:

1. L'aprenentatge centrat en la matèria. En aquest estil, la pròpia estructura de la matèria determina els conceptes que han de ser apresos i en quin ordre s'han d'assimilar. Per exemple, durant l'estudi de la microbiologia, no es pot entendre l'activitat de les comunitats microbianes si abans no s'ha entès, entre d'altres, el metabolisme cel·lular i la diversitat microbiana. Aquest és l'estil més usat en la docència universitària de primer i segon cicle de les ciències naturals. El professor es converteix aquí en un transmissor d'una arquitectura conceptual definida per la pròpia matèria i reflectida, més o menys coincidentment, pels diferents llibres de text.
2. L'aprenentatge centrat en el professor. En aquest estil, usat sobretot en la docència universitària de tercer cicle i en seminaris especialitzats, és l'experiència investigadora del professor la que determina l'estructura docent, ja que la matèria que s'hi imparteix és molt concreta i l'ensenyant n'és un expert. El professor, doncs, genera l'arquitectura docent a partir dels seus propis treballs de recerca o d'altres que hi estan relacionats, dintre del seu camp científic.
3. L'aprenentatge centrat en l'alumne. En aquest estil, l'alumne «re-descobreix» la matèria a través d'un procés d'aprenentatge actiu (conegut generalment amb l'expressió *active learning*), a través de la gestió del coneixement al qual té accés². L'aprenentatge actiu ha estat proposat com un estil molt recomanable per a la docència universitària en general³, és molt usat en universitats d'arreu del món i s'ha implementat de manera molt positiva en el nostre entorn més proper⁴. En aquest context, l'alumne es converteix en el protagonista del seu procés d'aprenentatge a través de diverses activitats proposades, dirigides i tutoritzades pel professor, que actua com un inductor extern del procés reflexiu individual. Un dels instruments més usats en l'aprenentatge actiu és la resolució de problemes.

Des del curs 2001-2002, estic introduint mètodes d'aprenentatge actiu en la docència de l'assignatura de Virologia, de l'àrea de coneixement de Microbiologia, dintre de les llicenciatures de Biologia, Bioquímica i Biotecnologia. Aquests procediments s'apliquen dintre de la docència teòrica en intervals de duració variable intercalats entre les classes magistrals convencionals. La durada del temps dedicat als mètodes d'aprenentatge actiu ha augmentat progressivament al llarg dels tres anys acadèmics d'aplicació, ha estat al voltant del 20% en el curs 2001-2002 i del

2. DODGE, B. (1996). *Active Learning on the Web (K-12 Version)*. San Diego State University. Department of Educational Technology. <http://edweb.sdsu.edu/people/bdodge/active/ActiveLearningk-12.html>

3. FELDER, R. (2001). *Resources in Science and Engineering Education*. A: <http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/>

4. BAÑOS, J. E.; GUERRERO, S. (coord.) (2001). *L'aprenentatge basat en problemes com a mètode docent*. Fitxa 20. Docència de Qualitat. Programa de Suport a la Innovació de la Docència Universitària. Universitat Autònoma de Barcelona.

40% en el curs 2003-2004. Aquest procés d'implementació ha obligat a redefinir el contingut del temari per seleccionar-ne la matèria més rellevant i eliminar-ne informació secundària o menys important, a la qual els alumnes poden tenir accés per altres vies. Aquest ajust de continguts es fa amb el compromís que es consolidin més els objectius docents de l'assignatura, és a dir, els conceptes i les eines bàsics que l'alumne hauria de conèixer i dominar en acabar el curs, i que li permetran comprendre en el futur situacions més complexes i específiques.

El contingut de les sessions d'aprenentatge actiu inclou:

1. La resolució de problemes metodològics o científics.
2. La resolució de problemes sobre matèria ja impartida (en un format d'examen).
3. La confecció, per part dels estudiants, de preguntes d'examen sobre aspectes de la matèria considerats fonamentals (d'entre els objectius docents de l'assignatura).
4. La resolució de qüestions sobre articles de recerca específics (comprensió i anàlisi de resultats i procediments).
5. La recopilació individual d'informació i la seva discussió en el grup.
6. El comentari de notícies de premsa en un context científic.
7. La resolució de problemes per als quals es necessita integració de coneixements i ús de conceptes parcialment desconeguts pels estudiants.

Aquestes activitats es realitzen al llarg de períodes que van des de quinze minuts fins als cinquanta minuts d'una classe completa, en equips de sis estudiants, la qual cosa comporta al voltant d'uns divuit equips que treballen en un grup classe d'uns cent alumnes, la proporció habitual en les llicenciatures de Biologia i Bioquímica.

D'entre totes, n'hi ha algunes que van dirigides a reflexionar sobre conceptes ja vistos i a consolidar la matèria impartida (exercicis de recapitulació). D'altres són exercicis d'integració de coneixements individuals per a la resolució de problemes complexos i multifactorials (la major part de les situacions biològiques ho són). Finalment, un tercer grup de problemes (d'anticipació) va dirigit a presentar matèria docent encara no vista a través de situacions que els estudiants no cal que sàpiguen pas resoldre. En aquests casos, la solució del problema, sense estar gaire lluny del context científic de l'estudiant, no es deriva directament del que ja coneix i cal fer un pas conceptual més enllà que conduirà a un procés de descobriment espontani i intuïtiu o *insight learning*. Si aquest procés no es dona completament, l'estudiant estarà com a mínim en una disposició molt adient per comprendre el concepte que es presentarà tot seguit durant la classe magistral. A continuació s'exposa un exemple d'aquest tipus de problemes:

Es vol crear un virus recombinant que incorpori de manera estable un segment d'ADN forani en el seu genoma. Tenim un lisat de virus, un plasmidi bacterià que conté el segment, línies cel·lulars infectables i totes les eines apropiades de biologia molecular per dur a terme experiments d'ADN recombinant (instrumental, vectors d'expressió, soques bacterianes, etc.). Se suposa que coneixem la seqüència tant del

gen que hi pretenem introduir com del genoma víric i que la mida del nou genoma no serà crític per encapsidar-se.

Dissenya l'experiment (fent esquemes dels passos que cal seguir), tant pel que fa al virus de la pòlio (el genoma és una sola cadena d'ARN de polaritat positiva), com al virus de l'estomatitis vesicular (el genoma és una sola cadena d'ARN de polaritat negativa).

Un estudiant que conegui bé els mecanismes d'expressió gènica i tingui clar el concepte de polaritat, podrà resoldre immediatament el problema per a un virus amb un genoma ARN de polaritat positiva. La introducció a la cèl·lula d'un plasmidi que codifiqui el genoma víric sota el control d'un promotor d'expressió regulable, o directament del transcrit, generarà una situació anàloga a la que té lloc en els primers estadis de la infecció (figura 2A). En aquests tipus de virus, el genoma és processat directament pel sistema de traducció de la cèl·lula hoste sense la intervenció de proteïnes víriques presents en la partícula infectant. El genoma és, doncs, la mínima unitat infectiva i suficient per començar la multiplicació vírica. En canvi, l'estudiant s'adonarà que, en el cas dels virus ARN de polaritat negativa, els gens vírics no poden ser traduïts directament des d'una cadena de polaritat negativa i, per tant, les proteïnes no estructurals transportades per la partícula infectant han de ser necessàries per dur a terme la transcripció, ja que les cèl·lules animals no tenen transcriptases d'ARN (figura 2B). Aquestes s'han d'aportar al sistema per una via independent, i cal, doncs, preparar una estratègia addicional per introduir-les-hi, com ara la cotransfecció amb plasmidis codificants. Aquest *insight* és molt apropiat per introduir els conceptes d'«infectivitat del genoma víric» i de «genètica inversa», tant si l'alumne resol el problema (dissenyant correctament els plasmidis addicionals) com si no.

La implementació de procediments d'aprenentatge actiu ha tingut una acceptació molt bona entre els estudiants de Virologia. Com a exemple, la percepció dels estudiants de Biotecnologia, en finalitzar el curs 2001-2002, el primer any d'aplicació de l'aprenentatge actiu, va ser que el 100% ($n = 26$) considera útil la resolució de problemes per al seu aprenentatge i el 100% considera també útil el treball en equip per fer aquesta activitat. No obstant això, el 92,4% dels estudiants no considera que sigui possible cursar tota l'assignatura a través d'aprenentatge actiu, i veu aquestes metodologies com un complement a les classes magistrals més que no pas com una estratègia docent exclusiva. Aquesta bona percepció indica que la utilització de problemes és una excel·lent eina complementària en l'aprenentatge de la microbiologia i de la virologia, i és fàcilment integrable en el context dels mètodes docents tradicionals que encara són majoritaris en la nostra universitat.

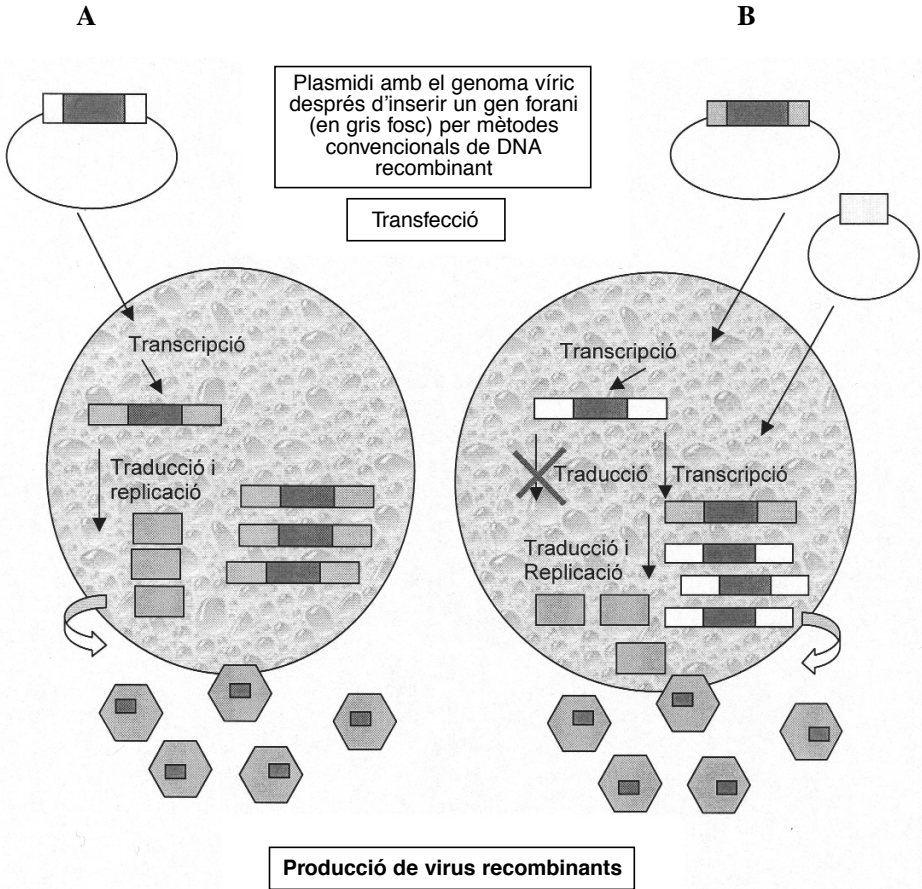


Figura 2. Després de realitzar les manipulacions genètiques necessàries sobre una versió del genoma víric en forma d'ADN, clonada en un plasmidi sota el control d'un promotor d'expressió regulable, aquest és usat per transfectar un cultiu de cèl·lules susceptibles. En A, el transcrit produït en la cèl·lula és de polaritat positiva (gris), i és llegit pels ribosomes de la cèl·lula com a ARN missatger per donar lloc a la seva traducció i síntesi de les proteïnes víriques (verd). En B, el transcrit de polaritat negativa (blanc) no és reconegut pels ribosomes i no pot ser traduït. Cal l'aportació addicional de gens vírics no estructurals codificant la transcriptasa vírica (groc), que du a terme la transcripció del genoma per generar ARN missatgers vírics. En una infecció natural, la transcriptasa és transportada per la partícula vírica infectant.

4. El problema dels «problemes».

Anàlisi i transformació dels enunciats dels problemes de «paper i llapis»

Digna Couso
Javier López

L'espai universitari europeu que es comença a dibuixar arran dels acords de Bolonya i Lisboa comporta una nova cultura docent, que es caracteritza per estar centrada en les competències que adquireixen els estudiants. Aquesta situació és ben diferent de la que ha tingut lloc a la universitat tradicional, generalment centrada en els coneixements, on la tasca del professorat és bàsicament la de transmetre'ls de forma eficient. Així, la incorporació a l'Espai Europeu d'Educació Superior (EEES) exigeix dels professors i les professores molt més que ser bons «transmissors de coneixements»... S'espera que el professorat universitari dissenyi les situacions d'aprenentatge per tal que els alumnes assoleixin les competències adients i que els orienti durant aquest procés.

4.1. Un nou marc i una nova cultura docent. Necessitat de revisió dels «problemes» a l'aula de ciències

Dins d'aquest nou marc d'ensenyament i aprenentatge universitari, és fonamental revisar allò que s'aprèn i que s'ensenyava a les tradicionals «classes de problemes», comunes en les majories de les assignatures de les carreres de ciències. La raó principal és que «resoldre problemes», saber enfrontar-se a una situació problemàtica i poder resoldre-la amb autonomia, és una competència bàsica¹ que ha de ser desenvolupada en els plans d'estudi per a futurs científics. Des del nostre punt de vista, no podia ser de cap més manera, ja que resoldre problemes és el mecanisme que fa avançar el coneixement científic.

El punt de partida de l'experiència que presentem a continuació va ser, doncs, la necessitat de revisar les «classes de problemes» per tal que siguin un lloc on els alumnes puguin desenvolupar aquesta competència i assolir-la. Com a primera aproximació, cal analitzar de manera crítica i modificar en conseqüència els enunciats dels problemes «tradicionals» per tal de convertir-los en «problemes per aprendre». Tot seguit, expliquem les característiques d'aquests «problemes per aprendre» (tal com els entenem en el seminari de professors en què es va originar aquesta expe-

1. El projecte Tuning, projecte proposat per les universitats europees com a resposta als reptes de la Convenció de Bolonya, i finançat per la Comissió Europea, proposa la competència «resoldre problemes» com una competència general bàsica per tots els estudiants universitaris, i també especifica pels estudiants de Física.

riència) i presentem un exemple d'anàlisi, revisió i modificació d'enunciat d'un problema concret.

D'antuvi, però, volem aclarir que l'experiència que presentem és molt menys ambiciosa del que voldríem, en el sentit que «opera» dins de les limitacions que la realitat universitària imposa: generalment, el docent que s'encarrega dels problemes no és el responsable de l'assignatura i tots els docents en general tenen grans limitacions de temps. En aquest sentit, el nostre objectiu en compartir aquesta experiència és doble: d'una banda, intentar inspirar a tot aquell professorat novell a innovar en la seva docència tot i les restriccions existents, perquè de vegades alguns petits canvis poden significar una bona diferència; d'una altra, mostrar al professorat en general que en el camí de Bolonya es pot començar «a poc a poc», amb petites modificacions acumulatives, producte més d'una profunda revisió del nostre enfocament que no pas de dedicar-hi més temps.

4.2. Dels problemes tradicionals als «problemes per aprendre»

En el seminari de reflexió docent on va néixer aquesta experiència, vam caracteritzar els «problemes per aprendre» com a:

- **Problemes autèntics**, que plantegen a l'alumne una situació problemàtica que s'ha de resoldre, intentant que sigui similar a una situació en un context científic real. Així, diferenciem entre problemes i exercicis, els quals, tot i que tenen el seu paper a l'ensenyament, no els considerem «problemes».
- **Problemes que plantegen «bones preguntes»**, és a dir, preguntes que l'estudiant entén, comparteix i pot formular amb les seves pròpies paraules; preguntes que el motiven i que l'orienten (més o menys, segons el nivell que té).
- **Problemes que es puguin resoldre**, és a dir, que siguin d'un nivell tal que l'alumne se'ls pugui plantejar (entendre què se li demana) i solucionar de forma autònoma, tot disposant de l'orientació del propi problema (enunciat) o del professor. No es tracta, doncs, de problemes per avaluar o que «parin una trampa» als estudiants, sinó de problemes que els ajudin a desenvolupar els seus coneixements, més que no pas a demostrar-los.

4.3. Una experiència d'anàlisi: el problema dels «comptadors de centelleig»

Amb l'objectiu de revisar els enunciats d'una classe concreta de problemes, es va triar l'assignatura Detectores i Acceleradors de Partícules, de quart curs i que té caràcter optatiu a la llicenciatura de Física de la UAB. L'anàlisi que es va realitzar i que presentem a continuació és fruit de la col·laboració entre el professor de la Facultat de Ciències que impartia la classe de problemes d'aquesta assignatura i una

professora del Departament de Didàctica de les Ciències, llicenciada en Física, en el marc del seminari.

Com que l'objectiu era aconseguir que els problemes servissin als alumnes per aprendre ciències, es va començar per analitzar-los des del punt de vista de les *finalitats concretes* per a les quals es posaven. Amb el professor de l'assignatura, es va elaborar una fitxa de cada problema sobre què era allò que el professor esperava obtenir amb el seu plantejament. A partir d'aquesta fitxa, vam trobar que hi havia moltes tipologies de finalitats per als problemes, però que podien agrupar-se en dos grans grups, que vam anomenar: «problemes per fer» i «problemes per veure fer».

Amb «problemes per fer» ens referim a aquells que es plantegen perquè els alumnes els resolguin prèviament a la classe, generalment per posar en pràctica certs coneixements. En general, aquests «problemes» que es plantejaven perquè els alumnes poguessin intentar resoldre'ls eren exercicis per practicar aspectes quantitius (aplicació de fórmules, operacions matemàtiques complexes, etc.), més que no pas problemes en el sentit de «situacions problemàtiques» de la física dels acceleradors de partícules que l'estudiant hauria d'intentar resoldre. Els «problemes per veure fer», en canvi, es plantegen com a «context», és a dir, constitueixen una bona excusa per introduir, per part del professor, aspectes teòrics o pràctics que es volen ensenyar. Evidentment, aquests últims són problemes que l'alumne no pot resoldre ni tan sols intentar resoldre amb un cert grau d'aprofundiment, ja que les eines que necessita per fer-ho encara no li han estat introduïdes i, per tant, aquests problemes no presenten un bon context d'aprenentatge per a l'estudiant. A continuació mostrem dos problemes, anomenats «Problema I» i «Problema II» (quadre 1), que són dos exemples, respectivament, de «problemes per fer» càlculs i problemes per introduir teoria («veure fer»), de l'assignatura esmentada.

Quadre 1. Enunciats dels problemes I i II de l'assignatura Detectors i Acceleradors de Partícules.

Problema I

Una aplicación muy importante de contadores de centelleo es la medida del tiempo de vuelo (TOF) entre dos de ellos colocados a una distancia L . Una partícula relativista con momento p y masa m atravesará la distancia entre los dos centelleadores en un tiempo:

$$t[ps] = \frac{3333}{p[GeV/c]} \sqrt{p^2 [GeV^2/c^2] + m^2 [GeV^2/c^4]} L[m]$$

donde L ha de expresarse en metros; t , en picosegundos, y m y p , en GeV.

- Deducir la expresión anterior.
- Calcular la diferencia de tiempos de vuelo para muones y electrones con un momento de 3 GeV y una distancia entre centelleadores de $L = 20$ m.

Problema II

Supongamos un sistema de dos contadores de centelleo con una resolución temporal de 250 ps cada uno de ellos. Si se pretende distinguir entre piones y kaones de 1 GeV de momento, ¿qué distancia han de estar separados los centelleadores para tener un nivel de confianza del 99,7% ($= 3\sigma$)?

Ayuda: Tener un nivel de confianza de 3σ significa que la diferencia en el tiempo de vuelo debe ser tres veces su error.

Per tal d'obtenir una guia sobre com es poden modificar els enunciats dels problemes per convertir-los en *problemes per aprendre* en el sentit formulat al seminari (vegeu l'apartat anterior), es va fer una lectura dels enunciats dels problemes *des del punt de vista del novell*, és a dir, intentant llegir-los com *l'alumne que s'enfronta a fer-los per primer cop*. En comparar allò que l'enunciat explícitament demana i exigeix de l'alumne (o allò que l'alumne pot interpretar que se li demana) amb els objectius d'aprenentatge que el professor havia mencionat prèviament (i que deixa implícits en el problema), es va evidenciar l'enorme salt que hi havia entre totes dues realitats. En concret, es va realitzar una revisió conjunta (professor de l'assignatura i professor de didàctica de les ciències) d'aquests dos problemes, tot comparant objectius implícits o del professor amb els objectius explícits a l'enunciat. Les taules 1 i 2 mostren aquesta comparativa entre finalitats del problema explícites a l'enunciat i implícites (el que el professor havia dit que volia treballar amb el problema) dels problemes I i II esmentats (quadre 1). A continuació de cada taula, hi explicitem les contradiccions que s'observen a partir d'aquesta comparativa.

Taula 1. Comparació entre les finalitats explícites a l'enunciat i implícites del professor.

Què demana (exigeix de l'alumne) el problema		Què vol o espera el professor
Problema I	<ul style="list-style-type: none"> — Exercitar la mecànica relativista. — Calcular, a partir de dades concretes, una certa variable a partir d'una expressió coneguda. 	<p>Que els alumnes:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Aprenguin que es pot aprofitar que partícules amb masses diferents triguen temps diferents a recórrer una mateixa distància per identificar-les. — Es familiaritzin amb les magnituds reals que intervenen en els detectors de física d'altres energies.

De la comparativa, veiem:

- El problema bàsicament demana aspectes quantitius (calcular, deduir), mentre que el professor espera dels alumnes raonaments i aprenentatges qualitius (en quines variables m'haig de fixar per distingir partícules).
- Alguns dels objectius d'aprenentatge que el professor explicita en l'anàlisi (per exemple: familiaritzar-se amb els ordres de magnitud de les dades) no s'expliciten en l'enunciat del problema, la qual cosa dificulta que l'alumne els interpreti com a objectius importants per al professor i, per tant, objectius que cal assolir.
- L'enunciat no planteja un «problema» real (situació que cal resoldre) als alumnes, per això es considera un simple exercici.

Taula 2. Comparació entre les finalitats explícites a l'enunciat i implícites del professor.

Què demana (exigeix de l'alumne) el problema		Què vol o espera el professor
Problema I	<ul style="list-style-type: none"> — Entendre i aplicar el concepte de resolució temporal com error de la mesura del fotomultiplicador. — Entendre i aplicar el concepte de significància d'una mesura. — Entendre com s'identifiquen partícules amb un sistema de dos comptadors. 	<ul style="list-style-type: none"> — Introduir als alumnes i fer-los treballar partícules amb masses diferents triguen temps diferents a recórrer una mesura: nivell de confiança i resolució. — Aplicar els coneixements apresos a l'exercici anterior.

De la comparativa, veiem que:

- Per poder fer el problema II, un alumne hauria d'aplicar aquells conceptes que el professor vol introduir i/o treballar amb el problema II. No és un exercici perquè els alumnes el facin, sinó perquè vegin com es fa. L'alumne necessitaria més eines per tal de poder intentar resoldre'l.
- El problema es planteja independentment de l'anterior quan la idea del professor és que es facin (pensin) conjuntament o almenys seqüencialment.

Òbviament, aquest salt entre els objectius del professor i els objectius implícits en el problema no impliquen que en la tasca docent a l'aula hi hagi incongruències. El professor, quan resol els problemes a la pissarra, va aplicant la lògica de l'expert i emfatitza durant el procés allò que és més important per a ell. En aquest sentit, els objectius del professor també s'acompleixen durant la classe tot mantenint l'enunciat tradicional i, després de la classe, els alumnes saben què és important per resoldre el problema des del punt de vista de l'expert. La qüestió, però, és plantejar-se si

podem reformular aquests problemes per tal que tots aquests implícits es facin explícits abans de la classe, és a dir, explícits per als alumnes mentre intenten resoldre els problemes pel seu compte. D'aquesta manera, els alumnes podrien anticipar els objectius i el que s'espera d'ells i, per tant, tenir èxit (total o parcial) en la resolució, tot treballant en l'adquisició de la competència de resoldre problemes. D'altra banda, si volem que aquests estiguin vinculats al fet d'aprendre a anar fent de científic, llavors han d'estar tan contextualitzats com sigui possible entorn de situacions rellevants per als científics.

Així, si l'objectiu és que els problemes (el propi procés d'enfrontar-se a un de concret) els serveixi per aprendre ciències (des del punt de vista d'adquirir la competència de resoldre'n a ciències), llavors és necessari que els enunciats siguin més adequats: explícits en els objectius i, segons el cas, en la lògica que calgui aplicar per trobar-hi la solució; complets quant als recursos necessaris; contextualitzats entorn de situacions problemàtiques... En definitiva, possibles de resoldre (o d'intentar resoldre amb cert èxit) pels estudiants i rellevants des del punt de vista científic.

Per tal de reformular aquests dos problemes en la línia mencionada, es van triar tres estratègies de treball per guiar i pautar la modificació de l'enunciat:

- **Determinar** quins són els nostres **objectius d'aprenentatge mitjançant el problema** (allò que volem que l'alumne aprengui resolent-lo) i **reformular-los en forma de bones preguntes**² que portin l'alumne a plantejar-se allò que volem que es plantegi (guiar la lògica de l'aprenent cap a la lògica de l'expert).
- **Triar una situació problemàtica** (context problemàtic) on aquestes preguntes siguin significatives, tenint en compte que la universitat, en el marc actual, ha de treballar les competències professionals (en el cas de les ciències, fer de científic).
- **Dotar** l'alumne (mitjançant l'enunciat) **de les eines necessàries** per resoldre'l, segons els seus aprenentatges previs, el seu nivell i el seu grau d'entrenament en la tasca de trobar solució a problemes cada vegada més oberts.

El quadre 2 mostra el resultat d'una proposta de modificació de l'enunciat dels problemes analitzats seguint la pauta d'anàlisi mostrada.

2. La idea de les «bones preguntes» ha estat molt treballada per alguns autors (Marquez, Roca, Via, 2002) en el contexte escolar, per augmentar l'aprenentatge dels alumnes. Tot i les diferències de nivell, creiem que la idea de pensar molt detingudament què preguntem i com diferents preguntes produeixen diferents resultats dels estudiants (posen en marxa diferents tipus de raonament) és una idea molt interessant per a tots els estudiants de ciències.

Quadre 2. Reformulació dels enunciats de dos problemes de física.**REFORMULACIÓ del problema I: Plantejament d'una situació problemàtica**

Imagina que queremos hacer un experimento para el que necesitamos un haz de piones, pero solo disponemos de un haz de partículas compuesta por piones y kaones relativistas con el mismo momento p . Para diferenciarlos en nuestro laboratorio, solo disponemos de un dispositivo experimental: de dos plásticos centelleadores conectados cada uno de ellos a un fotomultiplicador y distanciados entre sí una distancia L .

Para resolver este problema paso a paso, te proponemos que trabajes en grupo cada una de las siguientes cuestiones:

1. Si las dos partículas (piones y kaones) tienen el mismo momento, ¿qué variable o característica de estas partículas podrías utilizar para diferenciarlas?
2. Una vez determinas la variable que diferencia piones y kaones, debes pensar si *tu dispositivo experimental es capaz de medir esta variable directa o indirectamente*. Si colocas tu dispositivo experimental (los dos centelleadores) en la trayectoria del haz, ¿qué variables consideras que podrás medir con él?
3. *Para poder diferenciar estas partículas, necesitarás saber cómo se relacionan las medidas que puedes tomar con la variable que les diferencia*. Deduce analíticamente la expresión que las relaciona, *recordando que piones y kaones son relativistas y que el momento p lo medimos en GeV/c*.
4. La expresión que habéis encontrado relaciona características de las partículas del haz y del dispositivo experimental (distancia entre centelleadores). *Estos dispositivos experimentales, por razones prácticas, no son de cualquier tamaño. Generalmente se construyen del orden de magnitud de metros*. ¿Qué orden de magnitud puedes esperar, sabiendo esto, para la variable que mides?

REFORMULACIÓ del problema II: Introducció de conceptes experimentals

En el problema anterior, hemos deducido cual es la relación que existe entre el intervalo de tiempo que tarda una partícula en atravesar dos centelleadores a distancia L (tiempo de vuelo TOF) y su masa. También hemos visto que estos TOF pueden usarse para diferenciar entre partículas en un mismo haz. Sin embargo, no hemos tenido en cuenta que en las medidas de los TOF, como en todas las medidas experimentales, hay un cierto error asociado.

1. Si cada fotomultiplicador tiene una *resolución temporal (error asociado a cada medida de tiempo)* de 250 ps, calcula cuál es el error asociado a la medida del tiempo de vuelo.

Para que mi medida experimental sea relevante, es decir, que no pueda ser producto de una fluctuación estadística sino que sea una medida real, tiene que ser N veces mayor que mi error (esto lo llamamos «tener una significancia de N sigmas»). Si queremos realizar nuestra medida con una significancia de 3s, esto equivale a decir que mi medida tiene un nivel de credibilidad y confianza del 99%.

2. ¿Qué distancia tendrán que estar separados los centelleadores para conseguir diferenciar los piones de los kaones de nuestro haz con este nivel de confianza (99%)?

Llegenda per identificar les tres estratègies implementades a l'enunciat dels problemes

- Reformulem els nostres objectius en forma de bones preguntes. (subratllat)
- Triem una situació problemàtica on aquestes preguntes siguin significatives. (doble subratllat)
- Dotem l'alumne (a l'enunciat) de les *eines necessàries* per resoldre'l. (*cursiva*).

4.3.1. Conclusiones de l'anàlisi

Els nous enunciats s'han contextualitzat per tal que l'alumne pugui veure en quines situacions és necessari fer un raonament com el que practicarà resolent aquell problema i, per tant, no vegi que aquest només és útil en el context acadèmic, és a dir, com una petita prova que se li posa desvinculada dels problemes que se li presentaran com a científic en el futur.

A la nova proposta d'enunciat del problema I (quadre 2), podem veure com tots els aspectes que havia destacat el docent que esperava treballar-hi (la massa com a variable que identifica la partícula, familiaritzar-se amb els ordres de magnitud dels detectors...) es mencionen explícitament com a aspectes que cal tenir en compte, és a dir, formen part de les preguntes del problema. Com ja hem comentat, amb l'enunciat original, aquests aspectes també s'haurien treballat a la classe de problemes, ja que el docent els emfasitzaria a la seva explicació. El canvi, però, rau en el fet que a la versió original de l'enunciat no es facilitava que l'estudiant el pogués resoldre ell sol sabent d'antuvi quins en són els aspectes destacats o importants (allò en el que s'ha de fixar) per tal d'aprendre a trobar-hi la solució copsant la lògica de l'expert i per tal d'anar adquirint la competència de resoldre problemes per si mateix.

El problema està ara més pautat en «passos» o seqüències que l'alumne hauria d'anar seguint per tal de ser informat sobre la lògica que l'expert aplicaria. Òbviament, l'objectiu no és aconseguir que els estudiants resolguin problemes per si sols quan aquests estan molt pautats, sinó que més aviat arribin a resoldre'n d'oberts, tal com es presenten en la realitat... Amb aquest exemple, només hem volgut mostrar com es pot iniciar els alumnes en aquest procés quan no han estat acostumats a

enfrentar-se als problemes per si sols, sinó només a ser agents «passius» a l'aula. El grau de pauta que els alumnes han de rebre no el podem prescriure aquí, ja que depèn de moltes variables: dels coneixements previs dels estudiants, de la seva experiència anterior en situacions similars, del seu nivell, de la dificultat del problema concret al qual s'enfronten, etc. S'ha de tenir en compte, però, que perquè el problema comporti un aprenentatge, ha de representar un cert repte per a l'alumne (pretenem que ell avanci), però no tan desproporcionat que no el pugui resoldre.

Respecte al nou enunciat del problema II, hem volgut fer-lo més transparent per a l'estudiant, de manera que se li mostra que per trobar-hi la solució fan falta coneixements nous, i s'aprofita per introduir-los a l'aula. Així, l'alumne pot intentar resoldre'l perquè se li donen les eines adients per fer-ho, o, si més no, sap quins coneixements hauria d'entendre més bé per solucionar-lo.

4.4. Consideracions finals

La nostra participació en el seminari de professors ens va permetre treballar conjuntament en la reflexió sobre els problemes que es plantegen a l'aula de ciències, i aquesta experiència ens ha estat molt útil per adonar-nos de la quantitat d'implícits que existeixen en la pràctica docent i de com aquests implícits poden afectar l'aprenentatge (i la imatge de la ciència) dels nostres alumnes. El pes de la tradició, les circumstàncies laborals i professionals, el simple fet de no pensar profundament en el que volem aconseguir com a docents (i potser fins i tot no veure'ns a nosaltres mateixos en aquest rol) poden fer que les nostres classes siguin molt menys creatives, actives i eficients del que podrien ser, amb el consegüent desgast i desencant de professors i alumnes. Amb independència de l'exemple concret presentat (cada docent té una visió diferent de què és un bon problema en la seva àrea i és convenient contrastar-la), la raó per la qual considerem interessant compartir la nostra experiència és perquè serveixi d'inspiradora per a uns altres docents. El simple fet de replantejar-nos quins són els objectius que perseguim amb un problema concret, o amb tota la nostra «col·lecció de problemes», d'acord amb una nova manera d'entendre l'ensenyament i l'aprenentatge (adquisició de competències, segons l'EEES) i el seu paper (problemes per aprendre), pot ser un punt de partida molt bo que ens porti a canvis de vegades sobtats pel seu potencial. Segons aquests plantejaments, els «problemes» deixen de ser eines de discriminació (tradicionalment, només aprofiten aquells que en saben resoldre uns de determinats) i passen a constituir instruments per a l'aprenentatge; la capacitat de «resoldre problemes» esdevé una competència del futur científic. Simplement modificant una mica els nostres enunciats d'acord amb aquesta nova filosofia docent, podem fer que la resolució de problemes sigui una experiència ben diferent per als nostres alumnes.

Animem, doncs, els docents a aplicar les estratègies que es presenten en aquest petit article, o unes altres que els semblin convenientes, en la línia de convertir les seves classes de problemes en llocs on es treballi l'adquisició d'aquesta competèn-

cia científica, llocs on els estudiants puguin provar de resoldre problemes i aconseguir-ho cada cop amb menys ajut extern. En aquest sentit, volem deixar clar que les estratègies de modificació de l'enunciat presentades no pretenen ser una recepta que calgui seguir, sinó una guia sobre la qual es pot començar a pensar i actuar per arribar al canvi.

Hem començat l'article dient que l'exemple que hi presentàvem era modest, i realment pensem que hi ha molt més per fer. Un autèntic canvi d'orientació de la classe de problemes ha d'incloure la reflexió sobre molts altres aspectes que aquí, com a primera aproximació a la temàtica dels problemes, hem descuidat. Per exemple, aspectes com ara treballar les diverses metodologies de resolució o el cas de la gestió i organització de l'aula (treball individual, en grup, etc.) esdevenen imprescindibles. És per aquest motiu que sabem que allò que plantegem aquí és només una estratègia per començar el *camí del canvi* en el cas de l'ensenyament de problemes a l'educació superior. Però, en la nostra opinió, és un inici que fomenta la reflexió del professorat i un primer pas en la modificació de la seva acció i, per tant, el posa en situació de *caminar* una mica més.

Referències

- GONZÁLEZ, J.; WAGENAAR, R. (eds.) (2003). *Tuning Educational Structures in Europe*. Informe Final de la Fase I. 2001-2002.
- MÁRQUEZ, C.; ROCA, M.; VIA, A. (2002). «Plantejar bones preguntes: El punt de partida per mirar, veure i explicar amb sentit», a *Aprendre ciències tot aprenent a escriure ciències*. XXII Premi Rosa Sensat de Pedagogia 2002.

5. Com fer problemàtics els problemes que no en són prou. Noves temàtiques per als problemes de química

Mercè Izquierdo

Els coneixements científics es generen a partir de la necessitat de resoldre situacions problemàtiques que requereixen plantejaments nous, desconeguts fins llavors. Per això sembla necessari que els futurs científics, en el procés de la seva formació, tinguin ocasió de fer front a autèntics problemes, amb l'ajuda del professorat, i d'assajar les estratègies de solució que contribueixin a ampliar els seus coneixements. Així doncs, si la classe de problemes a les facultats ha de desenvolupar la competència de «resoldre problemes» com a procediment per aprendre, ens cal fer «problemàtics» els exercicis que es plantegin a classe (Bodner, 2003).

Voldríem que «resoldre problemes» no fos una tasca que «s'ensenyi a fer», sinó una «activitat científica» amb la qual els estudiants generin els nous coneixements que es considerin bàsics per esdevenir professionals competents. Per avançar en aquesta direcció, ens proposem analitzar els problemes que es plantegen a classe per veure si són realment problemes o exercicis i identificar, en els programes de les assignatures, les possibles «situacions problemàtiques» que corresponguin a la diversitat de nous coneixements (conceptuals, procedimentals i criterials) que l'estudiant ha d'adquirir.

5.1. Introducció

Com s'ha comentat en el capítol 1, els coneixements científics es generen a partir de la necessitat de resoldre les preguntes, sempre noves, que es formulen i que requereixen nous plantejaments de treball. Les situacions problemàtiques que han fet avançar el coneixement científic es poden classificar en cinc grups: qüestions que es confia poder resoldre, explicacions parcials que poden millorar, relació entre conceptes de la disciplina, relació entre conceptes de diferents camps i conflictes amb el sentit comú. Així mateix, s'identifiquen tres maneres diferents de resoldre-les: millorant la terminologia, innovant la tècnica o introduint noves representacions. Això permet identificar quinze tipus de problemes o de «variants conceptuals», que abasten un gran nombre de situacions en les quals es genera nou coneixement científic, tant en la recerca com en els processos d'ensenyament i d'aprenentatge (Toulmin, 1977).

Aquestes situacions són les que permetran formular «bones preguntes», preguntes que facin pensar i que es puguin respondre amb nous models teòrics, amb nous llenguatges, amb noves estratègies experimentals, per anar donant lloc als «canvis conceptuals» que aniran fent evolucionar els estudiants cap a l'expertesa.

La redacció de problemes és difícil i convé veure-la com una tasca col·lectiva, en la qual els professors compartim les bones idees a través de textos específics: els llibres de text, els quaderns de problemes, les revistes especialitzades en temes docents. Per això, la transformació del problema que presentem aquí no pressuposa cap judici negatiu referent a la redacció original, sinó que, al contrari, es parteix de la situació experimental que hi està molt ben definida i simplement es mostra com se'n podria canviar la finalitat i, en conseqüència, variar-ne l'enunciat. De fet, tots els problemes plantegen una situació experimental que ha de ser real i un conflicte que ha de ser resoluble, però tant l'una com l'altre es poden presentar de moltes maneres diferents, segons la finalitat docent que vulguem aconseguir.

A continuació, mostrem els canvis que hem introduït en un problema d'estequiometria (que, segons creiem, és un exercici, segons la classificació del capítol 1) per transformar-lo en un problema de recerca. Pensem que, amb el nou redactat, el fet de resoldre'l ajudarà els estudiants a relacionar els conceptes estequiomètrics amb el concepte de *molècula*, un dels més importants per comprendre la química i, alhora, un dels més difícils d'introduir a l'aula de manera significativa.

5.2. Anàlisi d'un problema de química (d'estequiometria)

L'enunciat del problema de química en el qual hem treballat es presenta al quadre 1. S'ha extret d'un llibre de problemes de química general que es presenta dient que «[...] és una col·lecció de problemes per posar a prova els coneixements químics dels estudiants, tot fent-los raonar i deduir-ne les respostes [...] Les qüestions que es presenten corresponen a un temari de química general per a un primer curs universitari [...]». El problema forma part del capítol 1, «Fórmules empíriques i moleculars. Igualació d'equacions químiques i estequiometria», que són uns temes que es consideren bàsics i que apareixen en tots els programes i llibres de química general.

S'ha triat aquest exercici perquè està ben redactat, presenta una situació real i és molt representatiu dels que s'acostumen a plantejar sobre aquest tema.

Podem analitzar el problema seguint la pauta que hem proposat (vegeu el capítol 1), que es refereix a la finalitat del problema, a l'enunciat i a les estratègies de resolució implícites. A continuació, modificarem la finalitat i proposarem un nou enunciat que sigui coherent amb aquest canvi.

Quadre 1. Enunciat d'un problema de química general.**Problema de química general**

Una mostra de 1,036 g d'una substància orgànica (amb un doble enllaç) que només conté carboni, hidrogen i nitrogen dona, en fer la combustió, 2,116 g de diòxid de carboni i 1,083 g d'aigua. A més, se sap que 0,1366 g del compost fixen a la seva molècula tot el brom que hi ha a 66,2 cm³ d'aigua de brom (dissolució de brom en aigua) que conté 3,83 g de brom per cada litre de dissolució. Si cada mol de compost fixa un mol de brom a la seva molècula, deduïu-ne:

- La fórmula empírica.
- La fórmula molecular.

5.2.1. Finaliat, enunciat, procés de resolució

La *finalitat* del problema és «posar a prova» la capacitat d'executar un càlcul estequiomètric, per a la qual cosa es requereixen els coneixements previs següents:

- Els elements (i la seva massa) es conserven en els canvis químics.
- El significat de la concentració de les solucions, de brom en aquest cas.
- La reacció que es produeix entre el brom i un doble enllaç.
- La reacció de combustió d'una substància orgànica.

L'*enunciat* presenta amb claredat una situació que requereix un càlcul estequiomètric, amb un llenguatge correcte. A la pregunta, no s'hi recorda a l'estudiant que ha de raonar ni s'hi esmenta l'interès científic que té allò que se li demana. La consigna que es dona de manera implícita a l'estudiant és que **es pot saber** la fórmula a partir de les dades empíriques que es proporcionen a l'enunciat, però una d'aquestes dades (la relació entre mols de brom i mols de substància) no és empírica, sinó didàctica (es proporciona per tal que es pugui resoldre el problema). La resposta que s'espera obtenir és un resultat únic: cal escriure dues fórmules, una d'empírica i una altra de molecular.

El *procés de resolució* requereix conèixer uns càlculs determinats que podrien esdevenir rutines; si fos així, podria ser que no hi hagués «problema» per a l'alumne, ja que només hauria de repetir un esquema de càlcul (quadre 2) i que es tractés d'un

Quadre 2. Passos del procés de resolució del problema de química.

1. Càlcul de $n\text{CO}_2$ i de $n\text{H}_2\text{O}$; càlcul de $n\text{C}$ i de $n\text{H}$; càlcul de $g\text{C}$ i $g\text{H}$; càlcul, per diferència, de $g\text{N}$ i, després, de $n\text{N}$.
2. Fórmula empírica de la substància X.
3. Càlcul de $n\text{Br}$ i de $n\text{X}$.
4. Fórmula molecular de X.

exercici, amb el qual no es genera nou coneixement, sinó que s'aplica i es consolida el que s'ha vist a classe.

Com a *conclusió de l'anàlisi*, podem dir que es tracta d'un exercici d'aula, tancat, que demana un resultat quantitatiu.

5.3. Una nova proposta per a unes noves finalitats

Per transformar aquest exercici en un problema propi de l'anàlisi química, obert, que fos alhora quantitatiu i qualitatiu, caldria: *contextualitzar el problema* d'acord amb la nova finalitat, per tal de donar sentit al càlcul estequiomètric que caldrà dur a terme i permetre l'emergència de nous coneixements; *reformular la pregunta* per tal que, en respondre-la, es generi nou coneixement; *demanar una resposta justificada i una explicació de l'estratègia seguida*, per tal que els estudiants siguin conscients del procés de resolució seguit i el puguin aplicar per trobar la solució d'uns altres problemes.

- a) La nova finalitat que es persegueix és *enfrontar els estudiants a l'autèntic problema químic que es planteja quan cal determinar la fórmula d'una substància nova, que s'acaba d'aïllar o de sintetitzar*. La competència que hauria d'assolir ara l'estudiant seria «resoldre el problema de donar fórmula a una substància desconeguda i sense nom». Fins i tot podem considerar que el tema ja no és ara *estequiometria*, sinó *identificació d'una nova substància: determinació de la seva fórmula*.

L'autèntic problema que s'ha de fer evident a l'estudiant és que no es pot saber la relació entre els mols de brom i els mols de substància, si encara no es coneix la fórmula de la substància, tot i que es tinguin les dades sobre les masses atòmiques dels elements (que haurien de proporcionar-se als estudiants dintre de l'enunciat del problema).

Com veurem, es requereixen els mateixos coneixements previs, però la resolució contribuirà a comprendre el concepte de molècula química, especialment pel que fa a la seva dimensió experimental, pràctica. Per això, les dades s'han de proporcionar en el context adequat, per tal que quedi clar que hi ha «problema», més enllà d'executar uns càlculs.

- b) En aquest nou problema no es parteix de la fórmula i s'hi opera com és habitual quan s'ensenya química, sinó que es treballa només amb les dades de les anàlisis elementals, i aquestes, per elles soles, no permeten arribar a la fórmula. Els nous coneixements que es podran desenvolupar en resoldre el nou problema són «relacions noves entre els conceptes» (en termes de la proposta de Toulmin). La resolució del problema requereix millorar la representació teòrica de la situació experimental que es presenta, la qual cosa atorga un sentit més precís al concepte de «molècula».

La «bona pregunta» que es pot proposar en el nou enunciat és *per què no es pot saber segur quina és la fórmula molecular, però sí quines són les fórmules possibles*. La resposta que es demana ha de contenir «hipòtesis» que han d'estar

fonamentades, ja que les dades que es proporcionen no permeten afirmar quina és la fórmula molecular de la substància.

c) La justificació que es demana es deriva d'una comprensió aprofundida (qualitativa i quantitativa alhora) de la situació que es planteja. Això demana algun aclariment més.

Probablement, aquesta substància desconeguda a la qual es refereix el problema encara no té nom, tot i que no sempre és així: moltes substàncies han estat utilitzades durant molts anys abans de saber quina és la seva fórmula. Les propietats químiques d'una substància es determinen experimentalment i proporcionen pistes, al químic, sobre la seva estructuració interna (per exemple, sabem que aquesta substància té determinades propietats que fan sospitar que està formada per molècules i que incorpora brom, cosa que ens indica que la molècula té dobles enllaços).

Ha estat molt difícil atribuir masses als elements, perquè per fer-ho cal establir prèviament una hipòtesi sobre una fórmula possible, cosa que depèn de les masses dels elements. J. Dalton ho va fer a partir d'una hipòtesi: la de màxima simplicitat de la fórmula de les substàncies més abundants i estables. Per això va atribuir als compostos de dos elements (com ara l'aigua) les fórmules més senzilles possible, és a dir, relacions entre «àtoms químics» de nombres sencers senzills que eren 1, si només n'hi havia un i també 2 o 3 si hi havia més compostos dels mateixos elements. La fórmula de l'aigua era, segons Dalton, HO i, en conseqüència, la massa atòmica de l'element oxigen era 8, si la de l'hidrogen, el de menys massa, era 1. Però l'estratègia va fallar quan es va aplicar a la química orgànica. Van caldre seixanta anys per arribar a:

- Disposar d'una llista única de masses dels àtoms químics.
- Poder escriure fórmules moleculars.
- Arribar a escriure equacions químiques sistemàtiques.

Aquesta dificultat va ser deguda al fet que els tres problemes en constitueixen un de sol i s'han de resoldre alhora (la fórmula es refereix a l'entitat física que intervé en la reacció i que apareix a l'equació química del procés, la massa de l'element es refereix a l'entitat química que intervé sense canviar). No es va poder treure l'entrellat d'aquest garbuix fins que es van aportar dades físiques (procedents de la nova branca anomenada «química-física») que mostressin l'existència de les entitats físiques «molècules», que tenien ja entitat «química».

5.3.1. Reformular l'enunciat

El nou enunciat pot situar el problema en una època històrica, des de 1850 fins ara, plantejant la mateixa situació experimental concreta del problema de partida, que

resultaria més o menys difícil segons l'època (perquè les dades «extres», de criteri químic, disponibles serien diferents), tot i que la situació experimental seria exactament la mateixa.

En la proposta que fem aquí, situarem el problema en l'època actual. Suposarem que la substància s'ha aïllat com a subproducte en una reacció i s'ha pogut purificar de manera satisfactòria. S'ha cremat amb oxigen pur i ha format només diòxid de carboni, aigua i nitrogen. És un sòlid blanc de punt de fusió baix (per donar a entendre que està formada per molècules), que decolora l'aigua de brom. Ens preguntem: «En podem conèixer la fórmula?».

Ateses les consideracions que acabem de fer, no es pot demanar a l'alumnat que doni la fórmula molecular definitiva, però sí l'empírica; podem demanar també diferents propostes de fórmula i criteris sobre quina és la més probable. La justificació de la resposta és imprescindible, perquè és necessari explicar per què es realitzen les diferents propostes o què més caldria fer per arribar a tenir una fórmula convincent. Un nou enunciat del problema que tingués en compte els aspectes analitzats podria ser el del quadre 3.

Quadre 3. Reformulació de l'enunciat del problema de química.

Reformulació del problema de química

S'ha aïllat una substància desconeguda a partir d'un producte natural i cal identificar-la. És un sòlid blanc, de punt de fusió baix, que decolora l'aigua de brom. En cremar-la, es forma diòxid de carboni, aigua i nitrogen. L'anàlisi elemental (per combustió) amb una mostra de 1,036 g d'una substància orgànica dona 2,116 g de diòxid de carboni i 1,083 g d'aigua. A més, se sap que 0,1366 g del compost fixen tot el brom que hi ha a 66,2 cm³ d'aigua de brom (dissolució de brom en aigua) que conté 3,83 g de brom per cada litre de dissolució: (C = 12; H = 1; O = 16; Br = 81).

- Quina és la fórmula empírica d'aquesta substància? Quina podria ser la seva fórmula molecular? Podem saber-ho amb certesa? Què més caldria fer per comprovar si la proposta que feu és correcta? Justifiqueu-ho.
- Expliqueu per què és important conèixer la fórmula molecular de les substàncies i per què són tan limitades les possibilitats d'aconseguir-ho.

5.4. Consideracions finals

Des d'aquesta perspectiva, resoldre problemes i plantejar-ne permet relacionar les classes teòriques, les pràctiques experimentals i la classe de problemes, i és una activitat creativa que enriqueix l'avaluació dels estudiants. Segons aquests plantejaments, els «problemes» deixen de ser només eines de discriminació (tradicionalment, només aproven aquells que en saben resoldre uns de determinats) i passen a ser també instruments per a l'aprenentatge.

Amb això, la capacitat de «resoldre problemes» esdevé una competència del futur científic que es potencia al llarg dels estudis.

Tot i que hi ha exercicis que tenen el seu lloc en el currículum, no haurien de ser la tipologia més comuna a la classe de problemes de química. Per això creiem que pot ser útil poder transformar, si ho creiem necessari, els exercicis en problemes que requereixin un abordatge propi de la recerca científica. Aquí n'hem vist un exemple.

La tasca que presentem és una invitació a continuar-hi pensant. Cada nova intervenció docent concreta aporta un canvi que ha de ser valorat tenint en compte que s'han variat les finalitats de la temàtica de manera simultània. Per això, no és fàcil comparar situacions que pretenen «capacitar per resoldre mecànicament» amb d'altres que volen «ensenyar a pensar creativament». Totes dues poden tenir el seu lloc, si estan prou compensades, però no tothom donarà la mateixa importància a les unes o a les altres. Cal, per tant, promoure debat professional i recerca sobre docència per tal d'anar comprenent la importància, i també la dificultat, de la nostra professió, que és «fer de professor d'una disciplina que avança gràcies a la recerca».

Referències

- BODNER, G. M.; HERRON, D. (2003). «Problem-Solving in Chemistry», a *Chemical Education: Towards a Research-Based Practice*. Gilbert i altres (eds.). Dordrecht: Kluwer, p. 235-261.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana*. Madrid: Alianza Universidad.

6. Problemes experimentals

Pau Ferrer

Es presenta aquí un exemple d'anàlisi integrada d'activitats de problema i pràctica de laboratori. La pràctica constitueix per ella mateixa un exemple de relació de diferents procediments i coneixements teòrics que són necessaris per obtenir un resultat concret, rellevant per als estudiants de biotecnologia (tercer curs). Aquesta pràctica, anomenada «laboratori integrat de biotecnologia», va ser presentada com a exemple en un curs de formació del professorat sobre treball pràctic. La proposta constitueix, doncs, una nova etapa en l'esforç de relacionar les diferents intervencions docents que es produeixen en una mateixa disciplina.

6.1. Presentació i anàlisi de l'experiència

La pràctica de laboratori integrat de biotecnologia, impartida per primer cop durant el curs acadèmic 2000-2001, plantejava inicialment als estudiants la realització d'una seqüència d'experiments. L'ordre de la seqüència d'experiments es correspon amb l'ordre de les diferents etapes d'un procés biotecnològic, concretament del procés de producció d'una proteïna recombinant mitjançant un microorganisme. La durada de la pràctica és de 60 hores en total, que es divideixen en dues parts de 30 hores cada una, centrades en les diferents tecnologies implicades en el desenvolupament de processos de proteïnes recombinants. Així, la primera part està centrada en l'aplicació de tècniques d'enginyeria genètica per a l'obtenció d'un microorganisme productor de la proteïna d'interès i l'aplicació de tècniques de caracterització de proteïnes. La segona part se centra en l'aplicació de tècniques de fermentació (cultiu del microorganisme productor) i purificació de proteïnes.

Com a cas d'anàlisi, ens centrem en la segona part de la pràctica (processos de cultiu i separació de proteïnes).

6.1.1. Procediment experimental

Durant els dies 1 al 4, els alumnes preparen un petit cultiu (150 ml) del microorganisme productor de la proteïna d'interès, en aquest cas una soca del bacteri *Escherichia coli*, que han obtingut en la primera part de la pràctica. Aquest petit cultiu, realitzat en erlenmeyer, els serveix per inocular un bioreactor (fermentador) d'1,5 litres de capacitat, el qual han de posar a punt (preparació del medi de cultiu, esterilització, adequació i/o calibratge de diversos elements de seguiment i control del cultiu

del qual disposa el reactor, com ara els elèctrodes de pH, d'oxigen, bomba d'addició de base o àcid). Una vegada iniciat el cultiu en el reactor (operat en discontinu), els alumnes han de fer un seguiment de la seva evolució i induir la producció de la proteïna (mitjançant l'addició d'un compost químic, l'IPTG) a la fase final del cultiu. El bioreactor té una unitat que ens permet fer un seguiment dels paràmetres principals del cultiu (temperatura, pH, oxigen dissolt) i controlar-los. En finalitzar el cultiu, recuperaran les cèl·lules mitjançant centrifugació. El seguiment de l'evolució del cultiu consisteix a fer un seguiment del creixement cel·lular, del consum del substrat o aliment (glucosa), de l'acumulació de subproductes del metabolisme cel·lular en el medi de cultiu (acetat, lactat) mitjançant tècniques cromatogràfiques (HPLC), anàlisi de l'estabilitat genètica de l'organisme (estabilitat plasmídica) i seguiment de l'acumulació del producte (proteïna recombinant) a l'interior de les cèl·lules mitjançant tècniques electroforètiques (SDS-PAGE).

Durant els dies 5 al 7, hauran d'extraure el producte (proteïna d'interès) a partir de les cèl·lules recuperades i purificar-lo mitjançant tècniques cromatogràfiques (cromatografia d'afinitat). En cada etapa del procés de recuperació i purificació, hauran de comunicar la quantitat de producte que han obtingut, així com el seu grau de puresa.

La pauta que es proporciona per fer l'anàlisi dels resultats pretén orientar cap a la solució del problema experimental proposat:

Anàlisi dels resultats de la fermentació

- Representeu l'evolució de les variables següents respecte al temps:
 - Densitat òptica a 550 nm i concentració de pes sec (g/l) (recta de calibratge a l'apèndix).
 - Concentració del substrat principal (glucosa) i subproducte principal (acetat) al fermentador.
 - Percentatge de cèl·lules amb plasmidi.
- Calculeu la velocitat específica de creixement.
- Calculeu els rendiments (g de biomassa / g de substrat) obtinguts.
- Creieu que l'estratègia de cultiu emprada és la més òptima per al cas estudiat? Si no fos així, proposeu-ne un sistema alternatiu. Raoneu la vostra resposta.
- L'IPTG és un compost que encareix molt el procés de fermentació a escala industrial. Podries suggerir algun(s) compost(s) alternatiu(s) per realitzar la inducció de la proteïna a escala industrial? Quin problema creus que podria sorgir amb aquest nou compost per induir la proteïna?

Anàlisi dels resultats de la purificació

- Dibuixeu un gràfic del cromatograma i representeu-hi l'absorbància a 280 nm i la proteïna total enfront del volum eluït.
- Feu un balanç de la proteïna total injectada / proteïna total eluïda en cada una de les principals etapes de la cromatografia (injecció mostra —*void volume*—, volums de rentat, volums d'elució).
- Estimeu el grau de puresa de la DHFR a partir del gel de poliàcrilamida-SDS.

- Assumint una puresa de la DHFR del 100% en les fraccions cromatogràfiques on ha eluït, 1) estimeu la capacitat d'unió de la columna utilitzada (capacitat màxima 5 mg de proteïna/ml de gel), i 2) estimeu el tant per cent de DHFR respecte a la proteïna total del lisat cel·lular, i respecte a la proteïna total cel·lular (assumiu que el contingut proteic de cèl·lules d'*E.coli* és del 50% relatiu a pes sec).
- Analitzeu els resultats i discutiu-los.
- Quins canvis hi introduiríeu per tal de millorar la purificació de la DHFR?

Finalitat de la pràctica (què es demana als alumnes) i procediment:

La pràctica pretén, en primer lloc, mitjançant la realització d'una seqüència d'experiments, contribuir a desenvolupar el concepte de disseny integrat d'un bioprocés, en el qual s'utilitzen tècniques d'enginyeria genètica, de fermentació i de separació.

Els alumnes hauran d'analitzar els resultats de l'etapa de cultiu i de purificació. L'estudi de dades experimentals comporta la realització de càlculs (utilitzant coneixements vistos a classes de teoria i problemes «de paper i llapis»). També cal fer-ne una anàlisi integrada, és a dir, relacionar les dades obtingudes en les diferents etapes de l'experiència.

A partir de l'anàlisi del procés, hauran de resoldre el problema que se'ls planteja a l'inici de la pràctica:

- Identificar les interrelacions o els condicionants entre les diferents etapes del procés realitzat.
- El procés s'ha realitzat en condicions subòptimes o bé utilitzant estratègies experimentals que no poden ser directament escalades (aplicades) a un procés industrial. Per tant, hauran de plantejar millores en aquelles etapes que hagin identificat com a limitants (poc eficients), tot tenint en compte les interdependències entre elles. Això pretén desenvolupar i aplicar coneixements adquirits a teoria i problemes.

Objectius d'aprenentatge (què esperem dels alumnes):

L'objectiu central d'aquesta part de la pràctica és l'exercici al laboratori de la seqüència bàsica d'operacions que intervenen en un procés biotecnològic per tal de:

- Exemplificar i entendre millor l'explicació feta a la classe teòrica.
- Relacionar conceptes vistos en diverses assignatures teòriques, de problemes i altres pràctiques relacionades.
- Aprendre a interpretar qualitativament i quantitativament dades experimentals i **extreure'n informació** (reconèixer-ne tendències, correlacions, fer-ne una comparació amb models existents) útil per dissenyar i/o millorar un procés de producció. Seleccionar informació: què és rellevant o no.

- Integració amb els resultats obtinguts a la primera part de la pràctica com a il·lustració de la interacció entre etapes que integren un procés i l'impacte d'aquesta interdependència en el seu disseny.
- Avaluació global del procés de producció de la proteïna recombinant i formulació d'hipòtesis, és a dir: proposar explicacions de les observacions a partir de coneixements previs (teoria, recerca bibliogràfica) i discussió de propostes de disseny d'estratègies per millorar-lo (tant experimentalment, proposant nous experiments, com teòricament).
- Fomentar el treball (solució de problemes) en equip.

6.2. Conclusions de l'anàlisi i reformulació de la pràctica

Després de l'experiència adquirida durant els dos primers cursos acadèmics, es va posar de manifest que hi havia mancances pel que respectava a l'encaix entre la finalitat de la pràctica i els seus objectius. Concretament:

- *Disseny dels experiments*: El fet de realitzar tots els experiments dels diferents grups en les mateixes condicions i totalment tancats no permet inferir interconnexions entre les etapes del procés, ni identificar paràmetres de cada etapa que tenen una incidència clau en l'eficiència global del procés, és a dir, en la quantitat i la qualitat del producte obtingut. Per tant, es reformula el procediment experimental proposat, de manera que cada grup realitza l'experiment sota condicions diferents. Concretament: 1) es fan servir dues soques d'*Escherichia coli* amb constitucions genètiques prou distintes perquè el seu comportament en un bioreactor sigui fàcilment distingible (presenten velocitats de creixement i velocitats d'acumulació de subproductes dels seus metabolismes lleugerament diferents). A més, una d'aquestes soques acumula el producte intracel·lular en forma majoritàriament soluble i l'altra ho fa de forma insoluble, i 2) es dona l'opció d'utilitzar dues fonts de carboni (substrat) diferents, glucosa o glicerina. La realització d'un experiment per grup utilitzant una combinació diferent de soca i substrat permet il·lustrar fàcilment com es pot incidir sobre el comportament d'un procés. Indueix la formulació i el contrast d'hipòtesis (per exemple: identificar alguns paràmetres clau que actuen sobre l'eficiència del procés). D'altra banda, permet veure la interrelació entre les diferents etapes de desenvolupament d'un procés, per exemple: el disseny de l'organisme productor exerceix un impacte tant en la selecció de les condicions de cultiu com en la quantitat de producte que se n'obté al final i l'estratègia que es pretén seguir per purificar-lo (diferent segons el producte acumulat dins les cèl·lules, ja sigui soluble o no).
- *Enunciat de les preguntes*: Hem reformulat les preguntes quantitatives per guiar millor l'observació, la interpretació de dades i la comparació d'informació, així com les preguntes qualitatives i/o obertes per provocar discussió (activar coneixements teòrics, buscar informació a la bibliografia).

Anàlisi dels resultats de la fermentació

Amb les dades experimentals **recollides** dels seguiments dels quatre creixements:

- Representeu l'evolució de les variables següents respecte al temps:
 - Densitat òptica a 550 nm i concentració de pes sec (g/l) (recta de calibratge a l'apèndix 1).
 - Concentració del substrat principal (glucosa o glicerina) i subproducte principal (acetat) al fermentador.
 - Percentatge de cèl·lules amb plasmidi.
- Calculeu la velocitat específica de creixement.
- Calculeu els rendiments (g de substrat / g de biomassa) obtinguts.
- A partir de la SDS-PAGE, estimeu els nivells d'expressió de DHFR (és a dir, la intensitat de la banda de proteïna corresponent a DHFR relativa al total de proteïna cel·lular), abans i després de la inducció de l'expressió del gen *DHFR* amb IPTG. Hi veieu nivells basals de DHFR (és a dir, en condicions de no-inducció)?
- Compareu les vostres dades experimentals (feu una taula resum comparativa de resultats) amb les d'un altre grup que hagi realitzat el cultiu en condicions (font de carboni) i/o soca productora diferents:
 - Veieu alguna coincidència i/o diferència entre els valors trobats? Quina explicació trobeu a aquestes observacions?
 - Quina combinació de condicions de cultiu i soca productora sembla que sigui la més adequada per establir un procés de producció de DHFR recombinant? Com milloràrieu el procés?
- En el cas que hagueu tingut algun incident experimental, raoneu i expliqueu l'efecte que ha pogut tenir sobre el procés de cultiu.

Anàlisis dels resultats part de processos de purificació

- Dibuixeu un gràfic del cromatograma i representeu-hi l'absorbància a 280 nm i la proteïna total enfront del volum eluït.
- Feu un balanç de la proteïna total injectada / proteïna total eluïda en cada una de les principals etapes de la cromatografia (proteïnes no retengudes, elució de la DHFR).
- En el cas de la purificació de DHFR en condicions naturalitzants (protocol proteïna soluble), feu un balanç d'activitat enzimàtica injectada / proteïna total eluïda en cada una de les etapes principals de la cromatografia (proteïnes no retengudes, elució de la DHFR).
- Estimeu el grau de puresa de la DHFR a partir del gel de poliàcrilamida-SDS.
- Considerant aquest grau de puresa de la DHFR en les fraccions cromatogràfiques on ha eluït, 1) estimeu la capacitat d'unió de la columna utilitzada (capacitat màxima 5 mg de proteïna / ml de gel), i 2) estimeu el tant per cent de DHFR respecte a la proteïna total del lisat cel·lular, i respecte a la proteïna total cel·lular (assumiu que el contingut proteic de cèl·lules d'*E.coli* és del 50% relatiu a pes sec).
- Analitzeu i discutiu els resultats obtinguts. Com milloràrieu el rendiment i el grau de puresa obtinguts en la cromatografia d'afinitat?
- Compara l'eficiència d'un procés (i de cada una de les seves etapes) d'obtenció de DHFR soluble i de DHFR insoluble.
- Proposeu un protocol per renaturalitzar la DHFR. Ho podríem fer mentre la DHFR és a la columna (*in situ*)?

- S'ha fet un esforç per proporcionar més eines útils per resoldre les preguntes quantitatives. Així, s'ha facilitat un espai de temps i físic (ordinadors en el mateix laboratori, pàgina al campus virtual) per ordenar la informació, presentar-la, interpretar-la, comparar-la i discutir-la. D'aquesta manera, perseguim que la resolució dels problemes es realitzi durant la realització de les pràctiques, d'aquesta manera, els professors poden proporcionar informació i fer preguntes addicionals per orientar els alumnes. Al mateix temps, creiem que fomenta el treball (solució de problemàtiques) en equip.

6.3. Consideracions finals

L'experiència durant els dos darrers cursos acadèmics (2002-2003 i 2003-2004) amb el nou format de pràctiques ha estat globalment positiva, tot i l'increment en la complexitat de la seva realització. Cal destacar especialment la millora observada en el tractament de les dades experimentals durant la pràctica. La possibilitat de poder comparar experiments realitzats sota diferents condicions ha permès exemplificar conceptes i explicacions fetes a la teoria, útils per plantejar millores en el disseny del procés de producció d'una proteïna.

No obstant això, l'ús del campus virtual, bàsicament restringit a fer circular les dades experimentals entre grups perquè puguin dur a terme comparacions, ha estat irregular en algun torn de pràctiques, la qual cosa ha dificultat puntualment l'acompliment d'alguns dels objectius clau de la pràctica. En general, el campus virtual s'ha explotat molt poc com a eina de treball cooperatiu entre diferents grups d'alumnes i entre membres d'un mateix grup. Tampoc no s'ha explotat com a eina per proporcionar informació (bibliografia de suport, etc.) addicional per fer la tasca encomanada.

Sobre els criteris d'avaluació de les pràctiques, el principal repte ha estat la valoració individual dels alumnes, ja que aquests han realitzat la pràctica en grups de quatre o cinc membres. La fórmula escollida inicialment va ser la següent: es demana l'elaboració d'un sol informe per grup, el qual es revisa i es retorna als estudiants amb totes les correccions dels professors incloses. Finalment, els alumnes realitzen un examen individual, la finalitat del qual és forçar-los a repassar les correccions anotades pels professors en els informes i entendre què han fet en la pràctica. Les preguntes de l'examen tenen per objectiu incidir en aquells aspectes on els alumnes han comès més errors durant l'anàlisi de les dades experimentals i l'elaboració de l'informe (el qual poden tenir a mà durant l'examen). L'informe i l'examen contribueixen a parts iguals en el moment de calcular la nota final de la pràctica. Això no obstant, aquest model d'avaluació actualment està en procés de revisió.

7. Problemes «professionals»

Joan Suades

L'activitat que es presenta aquí és un exemple de «classe oberta de problemes», on, en lloc de buscar únicament la realització d'uns exercicis prèviament definits per millorar la comprensió d'uns conceptes determinats, es persegueix desenvolupar tot un conjunt d'activitats necessàries per a la futura vida professional dels estudiants i, al mateix temps, tractar temes de màxima actualitat relacionats amb l'assignatura.

Aquesta activitat s'ha dut a terme en l'assignatura optativa de segon cycle anomenada Química Inorgànica Industrial, de les titulacions de Química i Enginyeria Química. Els estudiants d'aquestes dues titulacions cursen l'assignatura conjuntament en una mateixa aula, i tant el temari com les activitats que s'hi desenvolupen són idèntiques per a totes dues. Un aspecte comú dels assistents en aquest curs és que la majoria són alumnes que es troben en el darrer any dels seus estudis, i això facilita que estiguin molt motivats per fer activitats relacionades amb la seva futura, i evidentment propera, vida professional. L'objectiu general de l'assignatura és donar una visió general dels diferents aspectes de la química inorgànica relacionats amb la indústria química. Així, el temari està organitzat per «sectors industrials» com ara el sector dels gasos industrials, l'àcid sulfúric, l'amoníac, etc. No obstant això, no s'hi tracten només els temes relacionats amb la «indústria química de gran tonatge», sinó que també es dedica una part important del temps a parlar de molts dels productes que es preparen en quantitats més petites, però que tenen molta incidència en la societat actual. En resum, s'intenta augmentar els coneixements generals de l'alumnat sobre els usos dels productes químics en la nostra societat. És el que podríem anomenar «cultura química general».

En una assignatura d'aquestes característiques, és perfectament factible dur a terme una classe de problemes amb exercicis de química inorgànica de caire numèric o no numèric. Els primers poden ser problemes de termodinàmica, redox, equilibri químic o d'altres, però prenent exemples que estiguin relacionats amb processos industrials. Aquest tipus d'exercicis servrien per consolidar alguns dels conceptes que s'expliquen a les classes de teoria, però estaríem treballant temes que s'haurien desenvolupat en altres assignatures al llarg de la llicenciatura i que, en principi, ja haurien d'estar assolits. Els problemes de química inorgànica no numèrics són una altra possibilitat. Probablement serien més difícils de formular, però esdevindrien força interessants i servrien per treballar els conceptes tractats a classe. Un exemple podria ser un problema on es preguntés com s'actuaria en una empresa si calgués preparar un producte determinat a partir d'una sèrie de productes residuals d'altres indústries. Un altre exemple seria completar un esquema d'elaboració d'un producte determinat, en el qual hi ha tot un conjunt d'elements sense identificar. Tot i que aquest tipus de problemes serien complements útils per a l'assignatura, es va prefe-

rir dissenyar un tipus d'activitat molt diferent. Amb aquesta proposta, es volia complementar els coneixements de les classes de teoria i, al mateix temps, desenvolupar habilitats que no es treballen habitualment en aquestes carreres i que són importants per a la formació dels titulats universitaris. Algunes d'aquestes habilitats són, precisament: saber parlar en públic, treballar en grup, presentar unes idees a una audiència i redactar informes.

7.1. Objectius

1. **Desenvolupar habilitats necessàries per a la futura vida professional de químics i enginyers químics.** Aquest conjunt d'activitats són:
 - Buscar informació.
 - Analitzar, ordenar i classificar la informació obtinguda.
 - Treballar en equip.
 - Presentar un tema a una audiència.
 - Confeccionar un informe professional.
2. **Complementar el temari de l'assignatura amb temes d'actualitat.** Aquestes classes serveixen per presentar temes d'actualitat que, per la seva especificitat, no es poden desenvolupar dins del programa teòric de l'assignatura.

7.2. Descripció

L'activitat consisteix a dedicar cada classe a un tema monogràfic que prepararà i exposarà un grup de quatre a sis alumnes. Hi ha dos tipus de temes monogràfics:

1. Preparats a partir d'un article d'actualitat publicat en una revista internacional.
2. Treball d'exposició a l'aula de les característiques d'una empresa.

Els articles es van escollir de revistes internacionals directament relacionades amb el món de la indústria química, com ara *Chemistry and Industry*, *Chemical Engineering News* i *Chemtech*. Es va prioritzar que els articles estiguessin relacionats amb temes que poguessin interessar als estudiants i que, si pogués ser, fossin de molta actualitat. Alguns dels temes tractats van ser:

- Barreres de ferro per tractar aigües subterrànies contaminades.
- Els fluids supercrítics i les seves aplicacions industrials (café descafeïnat, tabac baix en nicotina, etc.).

- Diamants sintètics i les seves aplicacions industrials.
- Superconductors.
- Explosius, propel·lents i formes de detecció dels explosius.
- Bateria de nova generació.
- Aplicacions de productes de bor en medicina.
- Les cel·les de combustible.
- La fusió freda.
- Els fosfats en els detergents.
- L'accident d'Aznalcóllar.

Alguns dels temes anteriors es van escollir especialment per generar un debat a l'aula. La sessió dedicada a la fusió freda es va fer quan aquest tema era d'actualitat i es buscava contrastar-hi publicacions a favor i en contra per desenvolupar l'esperit crític dels estudiants. Una conclusió important d'aquest treball va ser la de constatar la gran importància de la precisió en les mesures a l'hora de decidir si hi havia fusió freda o no en un experiment. El tema dels fosfats és un altre exemple de tema polèmic. En aquest cas, es va facilitar als estudiants un treball sobre els fosfats preparats per un grup de recerca relacionat amb fabricants de fosfats i un treball d'un grup vinculat a empreses que produeixen detergents amb zeolites com a alternativa als fosfats. L'exposició sobre els fets d'Aznalcóllar es va organitzar només l'any en què va succeir aquest accident i va ser a petició dels alumnes.

Les exposicions realitzades a partir de visites a una empresa han estat molt útils perquè han permès incorporar aquesta activitat al curs d'una manera molt més efectiva que les visites de tota la classe a una empresa. Efectivament, l'experiència ens ha demostrat que les visites a empreses amb tots els alumnes del curs tenen dos grans inconvenients. El primer és que només es pot fer una visita al llarg del curs per motius econòmics (el cost del desplaçament amb un autocar) i d'organització docent (les visites impliquen unes quantes hores i no hi ha espais adequats en l'horari acadèmic). El segon motiu és que una visita a una empresa amb un nombre elevat d'estudiants és molt poc útil. A les empreses, el nivell de soroll normalment és alt, el tècnic que hi fa les explicacions corresponents no està acostumat a parlar a un nombre elevat de persones i els espais físics generalment són molt reduïts. Tots aquests factors fan que només de cinc a deu estudiants situats al voltant de la persona que parla puguin seguir les explicacions mínimament. En un clar contrast a aquesta situació, les visites amb un nombre reduït d'alumnes han demostrat ser extremament útils. En primer lloc, quan ens posem en contacte amb l'empresa i se li comunica la intenció de dedicar-li una classe de problemes, la resposta ha estat sempre molt positiva. Sovint, és el propi director o director tècnic qui fa una primera presentació de l'empresa als estudiants, i això es realitza en un despatx utilitzant mitjans de presentació com ara diapositives, la qual cosa permet rebre la màxima informació possible. Posteriorment, la visita amb el grup reduït d'estudiants permet que es facin tot tipus de preguntes i que ells acabin la visita amb un elevat nivell de coneixement de l'empresa. Posteriorment, l'exposició a la resta de la classe serà més o menys efectiva, però el professor pot complementar la infor-

mació perquè també ha visitat l'empresa, i les càmeres digitals permeten que es puguin mostrar al conjunt d'estudiants imatges de les instal·lacions per complementar les explicacions.

La mecànica organitzativa de la classe de problemes és la següent: 1) Una setmana abans, a cada grup d'alumnes se li indica un tema concret per treballar. Si es tracta d'una visita a una empresa, el material és la pròpia visita. Si és un tema d'actualitat, la documentació pertinent. Els alumnes disposen de set dies per estudiar-lo, entendre'l i organitzar-ne una presentació als seus companys. Paral·lelament, han de redactar un informe personal sobre el tema. 2) La presentació consisteix en una primera part d'uns trenta minuts en la qual els estudiants expliquen el tema tractat als seus companys, i una segona part d'uns vint minuts, en la qual es fa una discussió conjunta, on el professor pot comentar-ne aquells aspectes més rellevants. 3) Els informes individuals són corregits pel professor i representen el 20% de la nota del curs. 4) Les classes de problemes es consideren matèria del curs, i a l'examen final hi ha un conjunt de preguntes breus sobre cada tema tractat, aproximadament un 10% de la puntuació.

Mitjançant aquestes classes, s'aconsegueix:

1. Tractar amb una certa profunditat temes de màxima actualitat que no es poden veure dins les classes de teoria.
2. Que els alumnes treballin en petits grups i aprenguin a organitzar i estructurar un guió per exposar-lo als seus companys.
3. Que redactin un breu informe individual sobre el treball realitzat. Se'ls adverteix que aquest informe serà puntuat amb criteris propers al món de l'empresa. Així, no és admissible la presència d'errors conceptuals greus i cal que sigui curt, ben organitzat i original.

Quan s'acaba el curs, els estudiants contesten una enquesta breu que permet donar a conèixer el seu grau de satisfacció respecte a aquestes classes.

7.3. Consideracions finals

L'anàlisi de les enquestes al llarg de diferents cursos ha aportat algunes dades interessants. L'enquesta consisteix en un conjunt d'afirmacions i els alumnes hi han de mostrar el seu grau d'acord o de desacord (A = totalment d'acord, B = d'acord, C = indiferent, D = en desacord, E = totalment en desacord). Així, les tres afirmacions següents mostren que el grau de satisfacció és molt alt, com també la preferència que hi ha per aquest mètode vers la classe de problemes numèrics o no numèrics, i també enfront de l'opció de fer més classes de teoria.

Globalment, la valoració d'aquestes classes és positiva 90% (A-B)

Seria preferible fer classes de teoria en lloc dels seminaris i veure un programa més extens 90% (D-E)

Seria preferible fer classes de problemes numèrics i no numèrics 90% (D-E)

Una qüestió que aporta un dada molt reveladora és la següent:

El treball sobre l'article referent a la indústria ha estat molt interessant, però la presentació a la classe ha representat una mala estona que no m'ha reportat res de profit 10-20% (A-B)
80-90% (D-E)

Aquest resultat s'ha observat en diferents cursos i mostra que sol haver-hi un grup d'alumnes reduït, però significatiu, a qui li agrada aquesta opció, però el molesta molt haver-ne de fer una presentació als seus companys. Aquesta actitud s'ha de relacionar amb la manca d'exercicis d'aquestes característiques al llarg dels estudis i amb el rebuig d'alguns estudiants a parlar en públic.

Finalment, un aspecte que s'intenta millorar és el grau d'assimilació per part dels alumnes de les exposicions dels seus companys. Això és degut al fet que hi ha alguns estudiants que parlen molt baix, amb una vocalització deficient i de manera molt ràpida. Per solucionar aquest problema, és important que el professor participi durant el debat que segueix a l'exposició dels alumnes, ja que permet comentar aquells aspectes que no s'han pogut entendre. Aquesta problemàtica es veu reflectida en el resultat següent de l'enquesta:

Les presentacions dels altres companys han estat força interessants, però sovint no he entès parts importants de la seva exposició 20% B
20% C
60% D

8. Recursos virtuals per aprendre ciències

M. del Mar Carrió
Digna Couso
Anna Arís

Al llarg dels darrers anys, l'educació s'ha trobat molt influenciada pel fenomen d'Internet, ja que ha esdevingut un instrument d'ús quotidià que representa una font d'informació de força importància. Per altra banda, les seves capacitats multimèdia i el seu potencial d'accés remot fan que sigui un instrument molt atractiu per disposar de materials pedagògics per a l'ensenyament de les ciències i d'altres matèries.

Aquest ampli ventall de recursos que ens ofereix la xarxa ens pot ajudar a crear entorns d'aprenentatge interessants amb diferents possibilitats cognitives. Aquests recursos poden ser útils per adquirir coneixements nous, i també per aconseguir una implicació més gran de l'alumne i permetre establir interaccions amb el professor i entre l'alumnat.

Dins de la gran variabilitat de materials disponibles a la xarxa, en podem trobar molts que són de gran utilitat per a un aprenentatge basat en problemes. Tanmateix, és convenient estudiar la finalitat i la manera d'usar-los i tenir present les seves limitacions.

El fet que s'hagi estès tant l'ús de la xarxa, genera la necessitat de disposar de recursos de caràcter virtual de qualitat per a l'àmbit de l'ensenyament. Per altra banda, en el context de les noves estratègies docents proposades per l'espai europeu d'educació superior i que fomenten un aprenentatge autònom i cooperatiu, aquestes eines adquireixen més transcendència. Així doncs, una de les noves tasques del professorat pot ser l'elaboració d'aquest tipus de materials. Quan utilitzem les noves tecnologies per crear un material educatiu, hem de tenir en compte en quin context l'utilitzarem, quin és el valor afegit d'aquest recurs i quines aportacions ens proporciona.

8.1. Quins recursos de la xarxa podem usar per ensenyar ciències?

A continuació, veurem la diversitat de problemes i de recursos virtuals que es troben a la xarxa i que ens poden ser útils per ensenyar ciències.

8.1.1. *Problemes de paper i llapis*

Últimament, hi ha una tendència a digitalitzar molts dels recursos didàctics per tenir-los disponibles a la xarxa i aprofitar el seu potencial d'accés remot i d'asincronisme. Així doncs, podem trobar extenses col·leccions de problemes de diverses matèries a

disposició dels alumnes. En molts casos, però, presenten l'inconvenient que, en no estar limitat l'espai físic que s'ocupa, acostumen a convertir-se en reculls enormes i per a l'alumne és difícil de distingir-ne quins són els importants. Si no hi ha una veritable adaptació dels problemes al nou entorn virtual pel que fa referència al tipus d'enunciat, a la complexitat que presenten, a l'existència de suport gràfic o animat o als recursos disponibles com ara fulls de càlcul, llavors és difícil que siguin uns problemes adequats.

8.1.2. Animacions i simulacions

Les animacions i simulacions són instruments virtuals que aprofiten les capacitats multimèdia i d'interactivitat de l'ordinador i que ens poden ajudar a complementar els problemes.

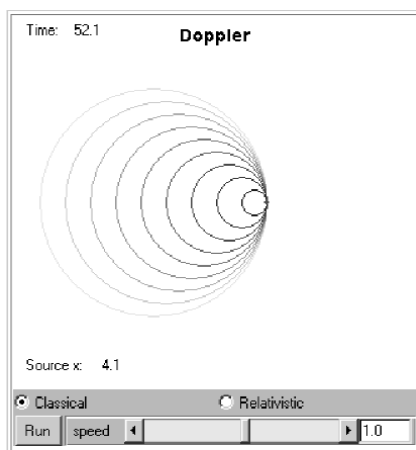
Les animacions són simplement imatges en moviment que poden ser útils per visualitzar alguns fenòmens, mostrar representacions en tres dimensions o processos en els quals l'evolució temporal sigui interessant d'observar.

Les simulacions proporcionen la capacitat d'interactuar a nivell mínim, introduint el valor d'alguna variable, per a la qual cosa poden servir per plantejar problemes, per resoldre'n o bé per avaluar resultats.

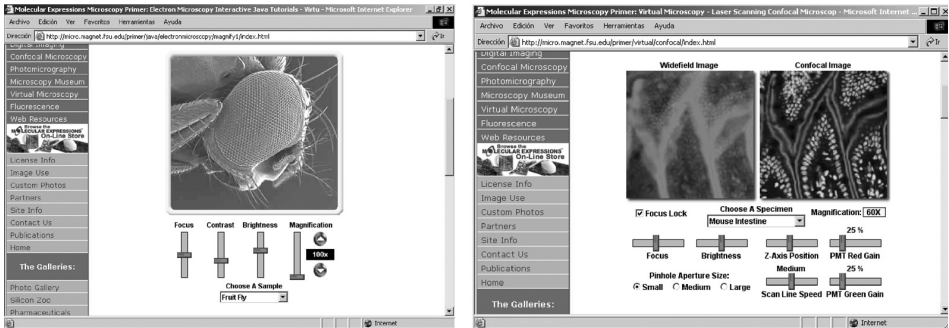
Tot i els seus avantatges, un dels inconvenients que ens trobem amb aquest tipus de recursos és que generalment són poc transparents pel que fa al model científic-matemàtic que fan servir i que acostumen a barrejar llenguatges, com ara el microscòpic i el macroscòpic, sense fer-ho explícit, i això crea confusions conceptuals. Tot i així, hi ha molts fenòmens i explicacions la visualització dels quals és important per poder-los comprendre i, per tant, si som conscients de la necessitat d'explicitar les problemàtiques d'una simulació o animació determinada, utilitzar-la acostuma a ser interessant.

Les simulacions poden buscar-se a la xarxa, on hi ha autèntics bancs d'*applets*/*physlets* ja preparats, o bé construir-se-les un mateix «a mida», en funció del domini que es té dels llenguatges de programació necessaris.

En l'àmbit de la investigació científica, també hi trobem simulacions situades en un context experimental, és a dir, laboratoris virtuals. Generalment, són instruments força interactius, però la majoria no es plantegen com un problema pràctic que cal resoldre, sinó que simulen experiments magistrals, simplement perquè els alumnes els vegin.



Physlet que representa l'efecte *doppler* per a una font de so puntual a velocitat superior a la del so (<http://webphysics.davidson.edu>).



Simulació d'un microscopi virtual, que dona la possibilitat de conèixer el funcionament de diversos tipus de microscopis i observar diferents imatges de biologia. (<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/index.html>)

8.1.3. Programes de modelització

Els programes de modelització permeten que els alumnes construeixin els seus propis models físics i matemàtics per modelitzar un cert fenomen. Hi ha moltes variacions segons el tipus de programa, però, en general, permeten triar les variables, els paràmetres fixos i les relacions matemàtiques que hi ha entre ells. En certa manera, es tracta de crear simulacions o animacions, però donant importància al procés creatiu i de comparació entre la simulació realitzada i el valor experimental que es vol modelitzar.

Des d'un punt de vista epistemològic, són molt útils per mostrar com diferents models poden descriure un fenomen de manera molt similar o per evidenciar les limitacions inherents a tots els models per descriure la realitat.

8.1.4. Els laboratoris o observatoris remots

Els laboratoris o observatoris remots no són recursos pròpiament de la xarxa, sinó que són laboratoris o observatoris reals que permeten accedir-hi mitjançant control remot per realitzar experiments amb el seu equip experimental. Així doncs, ofereixen la possibilitat de visitar grans instal·lacions i veure l'ús d'instruments difícils d'obtenir. El principal inconvenient d'aquests laboratoris és que, a banda que no es té cap control sobre el seu dispositiu experimental, que està prefixat i informatitzat, generalment presenten força problemes tècnics a l'hora d'accedir-hi. Amb tot, i tenint en compte que no poden suplir, òbviament, les pràctiques en un laboratori real, poden esdevenir una bona font de dades experimentals que no es podrien obtenir de cap més manera pel fet de ser dispositius experimentals complicats, perillosos o llunyans. També és possible vincular-los a projectes de col·laboració en línia amb estudiants d'altres llocs per realitzar el mateix experiment.

8.1.5. Les webquests

Darrerament, s'ha elaborat una nova varietat de problemes específics d'Internet, les *webquests*. Una *webquest* és una investigació orientada, en la qual els aprenentatges dels alumnes són originats a partir de recursos d'Internet que han estat prèviament seleccionats. Aquest nou instrument didàctic és útil per promoure el treball cooperatiu, l'aprenentatge significatiu i contextualitzat i la investigació interdisciplinària. Per altra banda, obliga l'alumne a utilitzar habilitats cognitives i es dona prioritat a la transformació de la informació. Generalment, una *webquest* és un instrument motivador per a l'estudiant, ja que el connecta amb el món real mitjançant una problemàtica que pot ser fictícia, però que ha de ser realista. En general, a les *webquests*, s'hi inclouen activitats de reflexió sobre el que s'està aprenent i sobre com es pot aplicar en altres contextos.

Les primeres *webquests* que es van crear estaven dissenyades per a l'educació secundària i per això les que trobem disponibles a la xarxa són majoritàriament destinades a aquest alumnat, però es pot trobar tota la informació necessària per crear-ne o buscar-ne de fetes a les pàgines web següents: <http://webquest.sdsu.edu/> i <http://www.webquestcat.org/>.

Estructura d'una webquest

En una *webquest* hi ha d'haver un escenari explícit i problemàtic, unes tasques clares, uns recursos suficients per resoldre el problema i s'ha d'exigir una o més conclusions.

Normalment, estan dissenyades per ser realitzades en grup cooperatiu, sovint es plantegen com un joc de rol, en el qual s'ha de resoldre una situació problemàtica sobre una matèria que ens interessi treballar. Per començar, es presenta una introducció sobre la qüestió plantejada, es fan grups de treball, s'assigna a cadascú un rol i es proposen unes tasques clares per realitzar, a fi de donar fruit a un producte amb característiques ben definides. Tot i que tradicionalment les *webquests* proposaven problemes que es podien resoldre fent servir únicament recursos de la xarxa, ara per ara, moltes *webquests* estan vinculades a la realització d'experiments o petites recerques fora de l'entorn virtual (al laboratori, etc.), per tal de resoldre la problemàtica establerta.

És convenient especificar com serà el procés de resolució i incloure els recursos i les eines necessàries per guiar el treball de l'alumne, segons el seu nivell. A més a més, els estudiants han de conèixer prèviament les pautes mitjançant les quals seran avaluats.

L'objectiu de les *webquests* és utilitzar informació fiable que es troba a la xarxa per proporcionar als estudiants la pràctica guiada de resumir, jutjar, resoldre problemes i pensar creativament. Per això, els recursos que es proporcionin han de ser de qualitat, adequats al nivell dels alumnes i sobretot han d'estar actualitzats. El grau de llibertat en el disseny de la investigació depèn de com estigui pautaada la *webquest*.

Aquests problemes són molt interessants perquè són oberts i per tant no tenen una única solució, es resolen en un grup cooperatiu i s'hi treballa l'autoaprenentatge. En les conclusions, se'ls demana que reprenguin el tema inicial, que reflexionin sobre el procés seguit i sobre els objectius obtinguts i que donin sentit al producte realitzat.

8.2. Desenvolupament d'un laboratori virtual; exemple d'un recurs multimèdia per resoldre problemes científics

8.2.1. Per què un laboratori virtual?

La iniciativa de crear un laboratori virtual sorgeix després d'impartir pràctiques de laboratori a les llicenciatures de Biologia, Biotecnologia i Bioquímica i percebre'n una sèrie de mancances i defectes que ens impulsen a idear la manera de millorar-les. Actualment, la majoria de les pràctiques són tancades i serveixen perquè els alumnes assimilin tècniques i adquireixin habilitats per treballar en un laboratori, però no per aprendre a dissenyar un experiment i resoldre un problema que se'ls pugui plantejar. D'altra banda, els problemes que es plantegen a les pràctiques són aïllats i sovint queden fora de context. A més a més, el fet que sovint en els laboratoris de la universitat no es pugui treballar amb material biològic de risc per manca d'infraestructures, recursos o excés d'estudiants, fa que algunes pràctiques siguin força limitades i perdin interès per part de l'alumne.

Tenint en compte el context on s'emmarquen aquestes pràctiques, haurien de tenir la finalitat de mostrar les tasques que es porten a terme en un laboratori, així com també incitar a conèixer i emprendre la recerca científica. Per això, part de les pràctiques s'haurien de dedicar a aprendre a dissenyar experiments, a relacionar les tècniques que utilitzen al laboratori amb els conceptes teòrics adquirits, així com també a relacionar coneixements de diferents assignatures. Incloure aquests nous components sovint implicaria una renovació completa de les pràctiques, i en la situació actual seria molt difícil portar-ho a terme per raons com ara la manca de temps, la baixa disponibilitat de recursos econòmics i la falta de professorat estable que s'hi pugui dedicar. És per això que s'està enginyant el laboratori virtual, amb la finalitat que sigui un recurs complementari a les pràctiques de laboratori i que pugui suplir algunes d'aquestes mancances.

8.2.2. Objectius

La finalitat principal del laboratori virtual és la de ser un instrument útil per aprendre a dissenyar experiments i integrar conceptes teòrics i pràctics de diferents assignatures. Es pretén que els alumnes es trobin en el paper d'haver de resoldre un problema científic d'interès, portant a terme un projecte d'investigació científica. És

interessant que vegin que existeixen diverses maneres de resoldre un problema i que cal identificar el procediment més senzill i precís, la qual cosa també fa que sigui una bona eina per veure els resultats negatius i aprendre'n. Una altra utilitat important que es vol oferir amb el laboratori virtual és obrir la possibilitat de veure tècniques i instal·lacions que tan sols s'estudien en un marc teòric, com podrien ser els laboratoris d'alta seguretat per treballar amb virus que comporten un elevat risc biològic. D'altra banda, es proposa plantejar problemes de rellevància actual per estimular i engrescar l'alumne perquè faci investigació científica.

8.2.3. Disseny i funcionament del laboratori virtual

El laboratori virtual és un instrument que s'utilitzarà per resoldre un cas científic, que requereixi el disseny i la realització d'un o de diversos experiments. L'alumne haurà de decidir quin tipus d'experiment haurà de fer i efectuar-lo virtualment. Per això s'està dissenyant aquest recurs pedagògic utilitzant un suport informàtic que ofereixi la possibilitat d'anar resolent un problema de manera interactiva i que presenti un format atractiu perquè l'estudiant aprengui a fer ciència. El laboratori virtual inclourà una àmplia col·lecció de casos científics i una llista de procediments experimentals molt diversos que es podran interrelacionar entre ells a mesura que l'alumne sigui capaç de resoldre problemes més complexos. L'execució dels experiments es mostrarà mitjançant vídeos i imatges, per donar-ne una visió real, i al mateix temps es combinarà amb esquemes i il·lustracions més conceptuals. S'aplicarà un sistema d'autoavaluació continuada, que consistirà a detectar ràpidament els errors incoherents i donar la possibilitat de rectificar-los. No obstant això, també es permetrà realitzar estudis que han estat mal plantejats inicialment, amb el propòsit que l'alumne aprengui a identificar i a interpretar els resultats negatius.

L'estudiant disposarà d'un llibre de protocols que podrà consultar en qualsevol moment i que constituirà un ajut per aclarir dubtes sobre els procediments dels experiments i per aprendre a buscar la informació que necessitaria en el laboratori. També hi haurà un armari on es recollirà tot el material inventariable, els productes i el material biològic de què es disposi, i s'hi inclourà una breu explicació sobre la utilitat dels diferents estris i la naturalesa química o biològica dels productes que pot utilitzar.

8.2.4. Problema pilot del laboratori virtual

El problema pilot que es planteja per desenvolupar aquest programa és de Virologia, assignatura que s'imparteix dintre dels crèdits optatius del segon cicle de les llicenciatures de Biologia, Biotecnologia i Bioquímica.

Problema que es planteja

En els darrers anys, s'han fet diversos estudis sobre el procés d'infecció del virus de la febre aftosa (VFA). S'ha trobat que el pèptid RGD de la proteïna VP1 de la càpsida del virus és responsable de l'entrada a la cèl·lula hoste i, a més a més, és sabut que aquest pèptid reconeix algun receptor cel·lular de la família de les integrines. Si haguessis d'esbrinar, entre tres receptors cel·lulars, quin és reconegut específicament pel VFA, quin procediment experimental seguiries?

Model de resolució

Es plantegen quatre tipus d'estudis diferents que es poden realitzar per resoldre el cas exposat. Tots aquests estudis són coherents i ens poden apropar a la resolució del problema, però l'òptim és el que ens respon la qüestió plantejada de la manera més senzilla.

1. Analitzar la interacció entre el virus de la febre aftosa i els receptors cel·lulars utilitzant una línia cel·lular epitelial de porc que expressi els tres possibles receptors.

2. Realitzar assaigs basats en ELISA per estudiar la unió del virus de la febre aftosa amb els receptors purificats.

3. Analitzar la interacció del virus i els receptors utilitzant tres línies cel·lulars de porc, cadascuna de les quals expressi un dels tres receptors.

4. Fer un seguiment de la interacció del virus amb els possibles receptors cel·lulars mitjançant tècniques de microscòpia.

Execució dels experiments

Cadascun d'aquests estudis s'executa de manera diferent, mitjançant la selecció de distintes opcions, preguntes que plantegen algun pas conflictiu de l'experiment i que els permet continuar utilitzant una metodologia determinada o bé mitjançant la combinació seqüencial de diferents elements que els apareixen.

Exemple d'un dels estudis escollits (cas 2)

En aquest cas, l'alumne ha de dissenyar l'experiment col·locant les mostres que apareixen a la pantalla de manera seqüencial. Cada cop que dispensen una de les mostres, apareix un vídeo que ensenya el procés i, si escau, alguna pregunta sobre el disseny de l'experiment.

2. Realitzar assaigs basats en ELISA per estudiar la unió del virus de la febre aftosa amb els r

Dispen­sar el Virus de la Febre Aftosa (VFA).

Dispen­sar el receptor α/β a les columnes 1 i 2 de la placa de 96 pous.

Dispen­sar el receptor α/β a les columnes 3 i 4 de la placa de 96 pous.

Dispen­sar el receptor α a les columnes 5 i 6 de la placa de 96 pous.

Dispen­sar els péptids competidors.

Dispen­sar el sèrum de conill anti-VFA.

Dispen­sar el sèrum de conill anti-integrines.

Dispen­sar anticòs anti-sèrum de conill conjugat amb peroxidasa.

I Afegir els reactius reveladors de l'activitat peroxidasa i llegir l'absorbància en un lector d'Elisa.

Dispen­sa l'experiment combinant les eines que tens a la part esquerra de la pantalla en forma de dibuix. A cada pas pots dispen­sar diferents productes si ho creus necessari, tan sols cal que arrosseguis les mostres fins la placa de 96 pous.

? Creus que és necessari bloquejar la placa entre el pas 1 i el pas 2?

Vídeo

00:45

37°

Quan l'alumne dona per acabat l'experiment surt la imatge i esquema de tal i com ha quedat la placa d'Elisa i un missatge de les conclusions que es poden treure del resultat obtingut, ja sigui positiu o negatiu

Resultat del problema

En tots els experiments que es dissenyen de forma coherent, s'arriba a un resultat. Els resultats van associats a un missatge que revela si l'experiment ha estat ben dissenyat, si ens resol el problema plantejat i la informació que ens aporta. En cas de no haver fet l'experiment òptim, s'aconsella repetir el problema utilitzant un altre procediment.

8.2.5. Pauta d'anàlisi del problema dissenyat pel laboratori virtual

1. Finalitat

1.1. És un problema per aprendre o per avaluar?

Problema per aprendre

1.2. Tema / procediment:

El contingut del problema parla d'un tema rellevant de l'assignatura de Virologia: l'entrada dels virus a la cèl·lula hoste. A banda de resoldre el problema plantejat, volem fer èmfasi en el procés de resolució per aprendre a dissenyar experiments, a relacionar conceptes de diferents assignatures i a connectar la teoria i la pràctica.

1.3. *Quin és el tipus de pregunta?*

Es planteja una pregunta sobre un tema de la matèria que encara no està explicat amb profunditat i que requereix dades experimentals per ser resolt. L'alumne haurà de decidir quina informació necessitarà per trobar la solució al problema, com podrà obtenir-la experimentalment i com haurà d'interpretar-la per construir una resposta.

2. *Enunciat*

2.1. *Quina consigna es dona a l'estudiant?*

La consigna és saber quin experiment s'ha de realitzar per obtenir la informació que es necessita per resoldre el problema. Com a ajut, es guia l'alumne fent un seguit de preguntes que l'obliguen a plantejar-se quin disseny és el més adequat.

2.2. *És obert / tancat, problema pràctic / d'aula, problema quantitatiu / qualitatiu, exercici i problema, «problema» / test?*

És un problema tancat, perquè porta inclosa tant l'estratègia de resolució com la solució correcta.

Es tracta d'un problema que pot ser utilitzat en una sessió d'aula, prèvia a les pràctiques de laboratori, amb el suport del professor, o bé com un instrument d'autoaprenentatge.

2.3. *Anàlisi lingüística: es pot entendre? Hi ha massa dades / poques dades? Queda clara la pregunta?*

Aquest problema requereix conèixer el llenguatge científic, específic de la matèria. De totes maneres, la pregunta queda clara i només es donen les dades necessàries per resoldre'l.

3. *Estratègies de resolució*

3.1. *Quines estratègies s'hauran de desenvolupar?*

Per decidir quins experiments aporten la informació necessària per resoldre el problema, l'alumne haurà d'utilitzar el sentit comú, valent-se dels coneixements previs, i caldrà que consulti el llibre de protocols.

Un cop obtingui les dades experimentals necessàries, haurà d'interpretar-les i desxifrar-les per elaborar la resposta.

3.2. *Quina mena de resposta s'espera obtenir?*

S'espera que l'alumne hagi escollit el procediment experimental més senzill per resoldre el problema de manera correcta. Tot i així, les errades en el disseny experimental també són interessants per saber identificar els resultats negatius i poder-ne aprendre.

3.3. *De quina estratègia docent forma part el problema?*

Mitjançant el problema, es pretén ensenyar a dissenyar experiments i a interpretar les dades experimentals.

En definitiva, el laboratori virtual és una eina que permet plantejar a l'alumne un gran ventall de problemes i exercicis que poden ser més oberts o més tancats, dirigits a reforçar l'explicació teòrica que han rebut, a plantejar nous temes i qüestions, a relacionar diferents conceptes en el marc general de la biologia i a adquirir un punt de vista global sobre què és la ciència. En tot moment, però, es pretén potenciar les capacitats de l'estudiant en el disseny experimental i alhora despertar l'interès per la recerca científica.