



Física en químiques: anàlisi i discussió d'un nou mètode (a poc d'haver-lo iniciat)

Albert Gras Martí

DFA- Física Aplicada, Universitat d'Alacant

*Abans de la meua primera pregunta
vingueren els llibres amb mils de respostes.
No sé preguntar...*

(David Jou, *Teoria/El físic*)

Introducció

Després de presentar la situació de la física en la nova carrera de quími-



ques, i de comentar breument el mètode didàctic emprat fins ara, resumiré una proposta d'introducció de la física conceptual, treta de la bibliografia, i que he començat a posar en pràctica enguany.

Física en el pla de químiques del '93

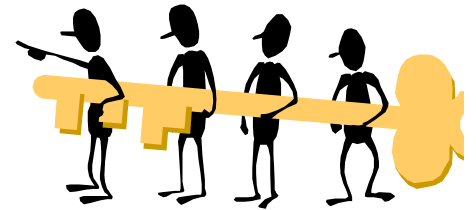
Física I 7.5 crèdits teòrics, 1) Principis de termodinàmica, 2) Concepte de camp i aplicació a G, E, B, 3) Principis d'electromagnetisme i ones, 4) Principis d'electrònica, 5) Principis d'òptica

F^a Aplicada 4.5 crèdits teòrics i 3 pràctics, Circuits i instruments elèctrics, Dispositius i instruments electrònics, Instruments i sistemes òptics

Física II 4.5 crèdits teòrics i 3 pràctics, Principis de mecànica clàssica, Principis de mecànica quàntica, Principis de mecànica estadística

Didàctica de la física (optativa de 3r curs) 4.5 crèdits teòrics

Experiència del grup V (grup d'ensenyament en valencià)



Curs/(nombre d'alumnes)/metodologia didàctica

- 1994-95 (> 50) Temes de Física aplicada a la Química
- 1995-96 (> 30) Metodologia + o - constructivista de l'ensenyament i l'aprenentatge
- 1996-97 (> 80 i creixent) Física conceptual

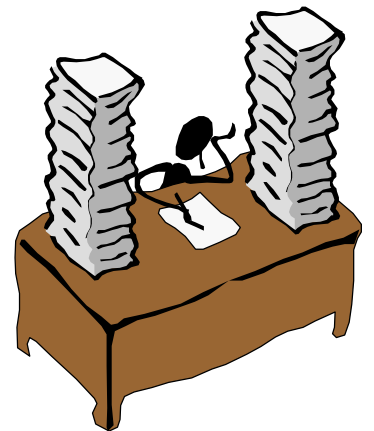
El mètode del grup V

Els alumnes del grup V han de treballar molt, i se'ls fa una avaluació continuada basada en diversos ingredients, que tenen el pes següent:

- ⇒ lliuraments: 30 %
- ⇒ preguntes-a-l'aula (quizzes) 10 %
- ⇒ parcial (EPAFAC): 20 %
- ⇒ examen final: 40 %

A més a més:

- ⇒ laboratori (preparació a la F^a Aplicada)





- ⇒ cites en la pissarra
- ⇒ dubtes en la pissarra
- ⇒ quaderns A-Z d'anglès (per a l'examen)
- ⇒ glossari de física A-Z (per a l'examen)

L'ansietat de cara l'examen: com serà ... es redueix perquè, de fet, n'estem fent un cada setmana!

L'alumna/e ideal (del grup V)

- va a classe
- s'ha aconseguit el Hewitt (en anglès o en espanyol)
- té altres llibres de Física (Tipler o qualsevol altre)
- cada dia compara allò discutit a classe amb les fotocòpies de material de F^a I, i marca quins temes s'han discutit
- duu una llista de dubtes de l'assignatura; aquesta llista de dubtes la comenta amb companyes i companys i, si no li'ls resolen, va a parlar amb el professor
- no s'espera a dos dies abans de l'examen per a estudiar l'assignatura o per a resoldre dubtes en horari de tutoria
- fa el *quiz* del dia i comprova que ha entès la solució del *quiz* anterior
- de dijous a diumenge (i no només el diumenge o, pitjor encara, el di-lluns) fa el lliurament de la setmana
- quan rep el lliurament corregit cada dimarts, compara a consciència el seu treball amb les solucions i es fa una llista de dubtes que tractarà de resoldre el més aviat possible
- es diverteix (amb l'estudi i fora de l'estudi) tot el que pot...
- i tot això dedicant unes 5-10 hores totals setmanals a l'assignatura...



El mètode dels lliuraments: opinió de l'alumnat...

El mètode dels lliuraments ha anat evolucionant. Es va iniciar els darrers 3 cursos del pla vell de químiques. En total, aquest és el 6é any. (Si vols una còpia de les opinions de l'alumnat d'altres anys i de com es duu a la pràctica el mètode als EEUU, demana-me-la!).

Satisfer a tots és impossible i indesitjable... 2 opcions:

- 1) explicar per als futurs premis Nobel, o per a l'alumna/e que ho faria bé amb qualsevol mètode i amb qualsevol professor
- 2) explicar de manera que la majoria puga connectar





**Vaig a contar un conte. Poseu-vos còmodes i relaxeu-vos.
S'anomena...**

L'experiment "africà" d'ensenyament de física: Ensenyant per exploració conceptual. Explorant el potencial dels resultats d'aprenentatge a llarg termini



Presentaré ací un resum d'un treball¹¹ que discuteix una nova proposta per a la didàctica de la física al nivell universitari.

Introducció

L'assignatura de física de la nostra universitat comprén dos semestres de quinze setmanes al any, amb 5 classes magistrals de 40', 2 sessions tutorialis de 40', i un laboratori de 3 h setmanals. Abans de l'experiència que anem a descriure, havíem fet 2 cursos introductoris a l'estil del Tipler. En la universitat tenim dos tipus de cursos de física. Un curs era suposadament el més important, basat en el càlcul i dirigit a estudiants de la carrera de Física. L'altre curs, d'un sol any i sense càlcul, està orientat a l'educació científica en general.

Aquest segon curs solia atraure els millors estudiants perquè formava part dels requisits de selecció per l'entrada a les escoles de farmàcia i odontologia. Els estudiants que no aconseguien ser acceptats (numerus clausus) i havien obtingut bones qualificacions al curs introductor de Física, sol·licitaven poder continuar estudiant la carrera de Física.

Durant 1991-92 el nostre departament estava ocupat en un estudi que analitzava l'aprenentatge dels estudiants. Estàvem desconcertats: el 40% de tots els estudiants de primer any confiaven solament en un aprenentatge mecànic com a preparació de l'avaluació. Ni tan sols llegien el llibre de text. Memoritzaven els apunts, la deducció de fórmules i la metodologia de resolució de problemes. Eren bastant francs al parlar d'aquesta forma de treballar:

¹¹ Cedric J. Linder i Greg Hillhouse són professors dels Departaments de Física de les Universitats de Western Cape i Stellenbosch, a Sud Àfrica. El treball *Teaching by Conceptual Exploration, Insights into potential long-term learning outcomes*, va ser publicat en *The Physics Teacher* vol.34 (1996) 332-8.



El mètode que em dóna més confiança és ser capaç d'escriure tots els meus apunts sense mirar-los. Si no ho fera no crec que fóra capaç d'aprovar... encara que tant de bo si no tinguera que fer-ho perquè costa molt aprendre d'aquesta manera... Si no pots recordar una fórmula o com resoldre un problema t'enfonses!

Fins i tot els estudiants que deien que necessitaven "entendre" la física, consideraven la memorització com un requisit per a resoldre els típics problemes del llibre de text; deien, per exemple:

Assignatures com zoologia i botànica són assignatures d'estudiar mentre que Física i Química he d'entendre-les simplement... En física sempre et donen punts pel mètode encara que al final tingues el problema incorrecte - si el professor veu que saps com resoldre un problema, aleshores ell sap que entens alguna cosa d'allò que estàs fent.

Aquesta manera de pensar és molt comú entre els alumnes de física. Vam tractar de canviar la situació alterant els estils d'ensenyament i avaluació, però era extremadament difícil separar-se d'allò que es considera apropiat per a un curs introductori de física: una estructura centrada essencialment en la resolució matemàtica de problemes. Aleshores la nostra facultat va canviar algunes normes i teníem l'oportunitat de posar en pràctica algunes idees de les que havíem parlat durant molt de temps mentre preniem el te a la sala de professors.

Reconceptualitzant el nostre ensenyament

Vam revisar el curs introductori. Vam crear un curs introductori d'un any que seria al mateix temps diferent i un repte intel·lectual per als estudiants de ciència. L'objectiu general era generar una experiència educativa. Volíem un curs que rompria amb la confiança en la memorització de fórmules i de metodologia de resolució de problemes. El nou curs se centraria en les idees i els conceptes i en crear un espai d'ensenyament a la classe on tindrien cabuda les "interpretacions verbals". Tractaríem de dissuadir-los, que no prengueren els tradicionals "apunts", però per fer això necessitàvem un bon llibre de text. El format tradicional de les nostres classes de teoria estaria reemplaçat per un format d'ensenyament cooperatiu. Vam elegir *Conceptual Physics* de Paul Hewitt i vam anomenar el nou curs com el llibre. Estàvem sorpresos per la resposta tan entusiasta i positiva que vam rebre per part del alumnes:

Aquest és el primer curs que m'ha ensenyat habilitats d'ús comú a la vida,



habilitats d'estudi i de com pensar críticament. Pense que aquesta és també la primera vegada que he après física encara que vaig estudiar-la a l'escola... He trobat el curs molt diferent i molt interessant perquè era diferent a les altres assignatures, en el sentit de que quan he après alguna cosa no l'he apresada com un lloro sinó entenent-la realment.

El percentatge d'aprovat ve créixer dramàticament des d'un 50%-55% fins un 80%-85%. Molts dels col·legues de la nostra universitat i d'altres es mostraven escèptics. No podien concebre que la física poguera estar ensenyada sense matemàtiques. La cosa tampoc havia estat fàcil d'admetre per nosaltres.

Com vam apanyar-nos amb el canvi

Al principi sabíem que els nostres alumnes, la majoria dels quals ja havien estudiat física abans, no acceptarien allò que tractàvem de fer com una forma legítima d'ensenyar física. Abans, el curs introductori començava amb una revisió de vectors, per a introduir-nos després en mecànica clàssica. Per a emfasitzar que el nou curs era diferent vam començar amb quatre setmanes sobre física moderna, tractant un conjunt de temes que normalment no s'ensenyen a l'escola secundària. Això va crear inicialment un problema perquè entrava en contradicció amb el nostre objectiu de reduir el nivell d'abstracció i interessar als nostres alumnes en la discussió d'idees. Per a superar l'abstracció introduïrem, on era possible, temes d'interès social per a vertebrar les classes, i va resultar una estratègia excel·lent per a potenciar la participació a les classes teòriques. Discutírem temes com la creació d'armes nuclears, les seues conseqüències des d'Hiroshima i Nagashaki fins a la proliferació dels nostres dies; la dimensió social i física de les centrals nuclears, els acceleradors, Tokomaks, i els usos mèdics i de preservació del menjar de les radiacions. També vam tractar de realçar la conceptualització mitjançant l'ús extensiu de vídeos.

Vam dividir el curs en 2 classes teòriques de 100 estudiants (als grups tutorialis i de laboratori mesclàvem gent dels dos grups). Al principi els estudiants no estaven massa disposats a participar en discussions profundes amb els seus companys de classe i l'inici d'una discussió per part d'un alumne ocorria rarament. Poc a poc açò va canviar. Dues setmanes després de començar el curs vam tenir les primeres discussions en la classe i es va trencar el gel. També vam notar que quan els estudiants estaven en grups menuts als tutorialis d'aprenentatge cooperatiu, es tor-



naven molt més participatius. La participació dels professors era errant: ens movíem de grup en grup, preguntant, centrant i tractant que els estudiants menys participatius cooperaren. Solament teníem una regla formal: després de discutir un exercici, cada membre d'un grup havia d'escriure una descripció de la seua comprensió de l'exercici en un quadern. Cada any, la resposta dels estudiants després de completar la secció de física moderna ha fet que aquestes cansades activitats valgueren la pena. Ací teniu alguns exemples:

Ara entenc una cosa que em feia por, la radiació, l'energia nuclear, etc., però encara odie l'idea de l'armament nuclear... Aquest curs ha sigut molt interessant des què va començar. He canviat d'opinió sobre un muntó de coses, per exemple la radioactivitat... Ara me'n vaig a casa i puc contar a la meua família tot allò que sé sobre l'energia nuclear sense haver de mirar els apunts. Estic encantat de poder fer-ho i ells estan molt impressionats... Ara sent que entenc la física... He après sobre la vida que m'envolta, la física està a qualsevol lloc, pensava que no era cert fins que vaig començar aquest curs... Fins ara és el millor curs de la universitat.

Una vegada establertes les tradicions d'interpretació verbal i d'aprenentatge col·laboratiu, va ser senzill mantenir-les quan vam ensenyar els temes clàssics, familiars als estudiants. Tanmateix, mentre semblava que havíem aconseguit un avanç significatiu amb l'estudiantat, hi romania l'escepticisme dels col·legues.

Establint legitimació professional

Encara que la resposta era molt positiva, i els resultats d'avaluació excel·lents, molts dels companys de la nostra i d'altres universitats eren escèptics en el tema de la física conceptual. Aquests mantenien que la falta de resolució de problemes tradicional significava una falta de rigor i una baixada dels "mínims". Deien que estàvem fent "Mickey Mouse Physics". Quan el debatérem, pocs van acceptar que no podien simplement extrapolar les seues experiències d'aprenentatge als seus estudiants. No apreciaven el significat d'una dècada de recerca en l'ensenyament de la física que reflectia que hi havia problemes bàsics en l'aprenentatge de la física a tots els nivells. Aquesta oposició va fer que ens plantejàrem una manera d'averiguar si estava donant-se un aprenentatge real.

Buscant evidència d'un aprenentatge significatiu



El primer estudi va sorgir com a resultat de l'oferta d'un col·lega, qui es va oferir a donar als seus alumnes de física una selecció de les preguntes d'opció múltiple que havien format part de l'avaluació de la secció de física moderna del nostre curs. Ell va seleccionar les preguntes, va donar l'examen a la seua classe i va corregir-los. Estàvem nerviosos pel resultat. El nostre col·lega era un professor molt respectat i la majoria dels seus estudiants havien tingut experiències escolars ben positives. Els estudiants del nostre col·lega van fer un examen d'opció múltiple. La majoria de les preguntes eren molt bàsiques i pareixien extremadament fàcils. Ens va sorprendre positivament que en 17 de les 24 preguntes, una major proporció dels nostres alumnes havien seleccionat la resposta correcta. Semblava que un curs conceptual donava millors resultats de comprensió bàsica que un curs molt matemàtic. Aquests resultats eren especialment més pronunciats quan parlàvem de conceptes fonamentals.

Quan ens van dir que els nostres estudiants podien tenir contestacions mecàniques a aquestes preguntes vam decidir de fer un experiment. Després del primer examen semestral, tenen 4 setmanes de vacances. Per veure si els nostres resultats eres fruit d'un aprenentatge superficial, vam decidir fer el mateix examen 6 setmanes després d'haver-ho fet la primera vegada. Ho vam fer sense avís previ i durant un període de laboratori de tres hores. Aquesta segona vegada també vam donar aquesta prova als alumnes del curs principal de física: si la nostra avaluació estava als estàndards de Mickey Mouse aquests alumnes de la carrera de físiques trobarien la prova molt fàcil.

Resultats de l'examen/re-examen

L'estructura de l'examen era la següent: més o menys la mateixa quantitat de física moderna que de mecànica clàssica. N'hi havia un 60% de preguntes d'opció múltiple i un 40% de preguntes llargues i càlculs basats en conceptes. Durant el període de 6 setmanes entre els exàmens cap estudiant va tenir accés a l'examen original. Res va ser canviat a l'examen de repetició excepte l'encapçalament. 147 estudiants de Física Conceptual i 173 del curs principal van fer l'examen. El nostre examen ens donava dues conclusions generals:

- (1) La distribució de les notes per al grup de Física Conceptual indicava que un havia tingut lloc aprenentatge significatiu, i



(2) la distribució de les notes obtingudes pels estudiants del curs principal indicaven que el nostre curs i el sistema d'avaluació constituïen un repte acadèmic a tenir en compte.

Vam comparar la part d'examen tipus test (resposta múltiple) dels dos grups d'alumnes, tant en la part de física moderna com en la clàssica. Les correccions de les preguntes de física moderna indicaven que hi havia un nombre d'estudiants del curs de Física Conceptual que havien memoritzat alguns aspectes del treball. Vam dividir les preguntes de física moderna i mecànica clàssica en categories molt amples i vam comparar els percentatges d'estudiants que havien seleccionat la resposta correcta. Tres de les sis categories de física moderna mostraven que hi havia un empitjorament dels resultats al "re-examen", el major sent "Grandària relativa dels àtoms". Açò ens va sorprendre perquè pensàvem que aquesta categoria era molt més conceptual per definició que la categoria "Tipus de radiació", que tot i que no estava massa ben contestada la primera vegada, va registrar un petit empitjorament la segona. Concloguérem que potser estàvem tocant una forta preconcepció alternativa que seria interessant d'investigar. També vam concloure que la qüestió "Tipus de radiació" va ser feta malament perquè podia ser fàcilment concebuda com un grup de definicions que havien de ser memoritzades, i sempre havíem dit que no s'havia de memoritzar.

Aleshores vam estudiar com s'havien desenvolupat els alumnes del curs principal a la secció "Tipus de radiació". Solament un 9% dels estudiants d'aquest curs havien contestat les preguntes d'aquesta secció correctament. Els professors del curs principal van dir que no havien pogut ensenyar la física moderna tant de temps com ells haurien volgut. Vam acceptar aquesta argumentació i ens vam centrar a la secció de mecànica clàssica. Coneixent la bibliografia sobre les concepcions dels estudiants i sabent, per experiència pròpia, que havíem explicat física moderna des d'una base molt més abstracta que la mecànica clàssica, comparàrem els resultats de les preguntes d'opció múltiple de física moderna i mecànica clàssica i també ho vam fer amb els estudiants del curs principal.

Es dona un fenomen interessant en els estudiants de Física Conceptual: la distribució de les notes indicava que aquest grup ho feia millor al segon examen. Considerant la força de les concepcions alternatives amb que aquests estudiants venien a classe (vam tenir apassionades discussions), els resultats eren molt gratificants. Al mateix temps estàvem tristes per com ho havien fet els estudiants del curs principal.

Mirant la secció de mecànica clàssica de l'examen, el resultat més inte-



ressant va ser la millora en la categoria de "Conservació d'Energia" (de 45% a 74%). Ens preguntàvem què va passar i vam entrevistar a alguns dels estudiants que ho havien fet millor. Ens van dir que un nombrós grup d'estudiants havia estat intrigat per una de les preguntes. Després del primer examen, aquesta pregunta va provocar una discussió. Els estudiants creien que aquesta discussió havia contribuït a la comprensió de la conservació de l'energia i quan van trobar la pregunta de nou van donar millors respostes.

Si interpretem els resultats com el reflex d'una comprensió, la continuïtat dels resultats a les altres categories de mecànica clàssica pot ser entesa com una evidència d'aprenentatge significatiu. A més a més, podem suposar que la naturalesa d'aquest aprenentatge no era insignificant ja que els resultats dels alumnes del curs principal eren bastant pobres, en comparació.

Seccions escrites de l'examen

Fins ara ens hem centrat en les preguntes d'opció múltiple perquè la comparació estudiant per estudiant i apartat per apartat era relativament fàcil de fer. Els estudiants de Física Conceptual es mantenen estables en les qualificacions de la repetició de l'examen, només alguns estudiants havien memoritzat informació per al primer examen. Però era significatiu que els alumnes del curs principal ho hagueren fet tan malament. Aquesta comparació no és totalment justa per la distinta estructura dels cursos. De tota manera els estudiants del curs principal també van passar un temps discutint temes conceptuals en grups de treball. La nostra interpretació és que aquests estudiants mai es van prendre aquesta activitat seriosament ja que estaven acostumats al tradicional tractament matemàtic. Després de fer el examen un dels estudiants del curs principal ens va enviar aquesta nota anònima:

Ens van ensenyar a llegir un problema, comprendre-ho i després tractar de confirmar matemàticament la resposta que esperàvem gràcies a la nostra comprensió de la física. Rarament havíem d'"explicar" un problema, així que podem veure perquè la majoria no ho ha fet tan bé com s'esperava, perquè ens han fet resoldre problemes matemàtics sense la nostra muleta matemàtica... A més a més, no es just per als alumnes de Física Conceptual que no els examinen matemàticament. Per exemple si algú es fa geòleg i ha de calcular la profunditat d'un pou sense més utensilis que una pedra, no ho podrà fer sense $s = 1/2 gt^2$!!



Suposem que aquest estudiant té aquesta percepció perquè al curs de Física Conceptual no acceptem respostes obtingudes per substitució a les fórmules (de tota manera no vam penalitzar als estudiants del curs principal per usar-les). Durant el curs sempre esperàvem que els alumnes de Física Conceptual raonaren els seus càlculs des d'una base de conceptes fonamentals. Per exemple, si prenem l'exemple posat a la nota anònima, el tipus d'explicació, primer verbal i després escrita, que hauríem esperat i rebut dels nostres estudiants es pot consultar en la referència original.

Discussió

Pareix que podria haver uns beneficis significatius per la comprensió de la física si tots els cursos introductoris foren ensenyats d'una manera distinta —distinta perquè l'èmfasi passa de les matemàtiques als conceptes i basats en l'articulació oral i escrita de la comprensió (tractar d'ajuntar les dos maneres en un d'aquests cursos, amb el temps que hi ha disponible, pareix impossible). En particular nosaltres advoquem per l'eliminació de les deduccions matemàtiques de fórmules i l'ús de les fórmules resultants per resoldre problemes.

La nostra experiència ens indica que els cursos introductoris podrien ser més rics per als alumnes si els educadors apreciaren el valor de construir l'aprenentatge de la física basant-lo en una exploració conceptual abans de fer els típics problemes de cada tema. Com es presentaria un aprenentatge com aquest? Molt pocs estaran en desacord si diem que l'ideal seria integrar l'exploració conceptual i les descripcions i models matemàtics, però les realitats de temps disponible i la selecció d'estudiants i de professors ens indiquen que una aproximació d'aquest tipus seria virtualment impossible. Intentos d'abastar aquest ideal ens pareixen pràctics solament per grups menuts i molt motivats. Pensem que es necessita donar una nova perspectiva global als estudis de llicenciatura:

- ✓ Una fase introductòria que tracte exclusivament amb la dinàmica conceptual de la física elemental. Açò no suposa un curs "no matemàtic", significa limitar o excloure la derivació i ús de fórmules. Durant aquesta fase l'ensenyament es centrarà en la interacció professor-estudiant, provocant la discussió i tocant les idees concretes i abstractes. Per a desenvolupar aquesta fase no cal separa els estudiants del curs principal i del introductor i perquè tots dos tenen falta d'explorar experimentalment la comprensió.
- ✓ Una fase de transició que introdueca la dinàmica de l'ensenyament



dels models matemàtics i la resolució de problemes.

- ✓ Una fase madura que fera que els estudiants aprofundiren al món físic dels models matemàtics i les idees abstractes.