

Integració del laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG) en l'ensenyament secundari

Vicent F. Soler-Selva* i Albert Gras-Martí†

Introducció

El jovent actual de la nostra societat està creixent en una cultura altament tecnològica que, tanmateix, sovint queda molt desconectada de la ciència que s'ensenyava tradicionalment. Fóra coherent que l'alumnat, que està convivint amb la tecnologia, la trobàs també als centres educatius. La seua introducció, però, no ha de restar al marge de consideracions crítiques.

En un article anterior (Soler-Selva i Gras-Martí, 1998) s'exposen de manera succinta les característiques bàsiques que distingeixen un laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG), a més d'alguns dels avantatges potencials que aquests laboratoris tenen en comparació amb els laboratoris tradicionals.

Descriurem ací l'aplicació de noves tecnologies en l'àmbit educatiu, en concret per a la realització d'experiments de física. El LACG, caldria recordar-ho, està constituït per un conjunt de tres dispositius electrònics: calculadora/CBL/sensor. La calculadora gràfica processa dades experimentals mesurades amb un sensor i rebudes a través d'una CBL (*calculator based laboratory*), aparell que fa d'interfície. Aquests equipaments, fàcils de manejar i de baix cost, acoblats i sota el control de paquets de programes ja elaborats i d'accés gratuït, permeten la recollida d'informació a través d'entrades de tipus digital i analògic.

En aquest article es presenten dos exemples d'aplicació del LACG en secundària: l'un està referit al tercer curs d'ESO i l'altre és la concreció d'una experiència en segon curs de batxillerat. Es fa referència a les activitats prèvies a la introducció pròpiament dita del LACG, la distribució horària estimativa, les orientacions metodològiques que guien la programació docent, i l'opinió de l'alumnat de l'ús del LACG.

Es pretén, així, donar a conèixer exemples concrets d'experiències d'aula amb els equipaments esmentats, per a palesar-ne els avantatges i, també, deixar al descobert possibles limitacions. Amb aquesta comunicació

*Vicent F. Soler-Selva (Elx, 1954), llicenciat en Física per la Universitat de València (1978), és professor de Física i Química de l'IES Sixto Marco d'Elx.

†Albert Gras-Martí (Gandia, 1951), llicenciat en Física per la Universitat de València (1974), és professor de física aplicada a la Universitat d'Alacant.

i l'anterior, cerquem el parer d'altres col·legues, als quals s'agraeix per endavant tot comentari crític i interessat en una implantació correcta i profitosa del LACG que contribueixca, en definitiva, a millorar l'ensenyament i l'aprenentatge de la física i de la química.¹

El LACG en un laboratori diferent

Molts estudiants conceben el laboratori com un lloc la finalitat del qual és manipular equipaments, però on no es manipulen idees. La manera tradicional de plantejar l'activitat al laboratori, dominada pel que s'han anomenat «receptes de cuina», possiblement haja contribuït a reforçar aquesta idea errònia.

Com hem dit en el nostre article anterior, i com s'ha insistit diverses vegades, no concebem el LACG si no és inserit en un context metodològic perfectament definit, en el qual no hi ha cap trencament entre «la classe de teoria» i «les pràctiques de laboratori». En un laboratori tradicional, les característiques que defineixen el LACG, com ara la possibilitat de recollida de dades en temps real, perdrien bona part del seu potencial com a eina didàctica.

Les activitats de laboratori han estat d'antuvi un distintiu i han jugat un paper fonamental en el currículum de ciències. Darrerament, però, s'han aixecat algunes veus qüestionant la utilitat de la forma tradicional de realitzar les pràctiques de laboratori sense que se'n suggereixi l'abandó en cap cas dels consultats en la bibliografia.

Un exemple de 3r d'ESO: les lleis dels gasos

D'entre les moltes opcions possibles, hem escollit la llei de Boyle com a exemple d'aplicació del LACG en aquest curs i nivell. Els objectius que s'havien programat, i que figuren explicitats en la programació d'àrea del segon cicle d'ESO, inclouen aspectes relacionats amb el mètode científic. Entre d'altres, s'analitza què és una llei experimental, es practica la construcció i interpretació de gràfiques, i s'analitza el paper dels models en les ciències.

El temps total dedicat a l'activitat va ser inferior

¹Val a dir, també, de la biologia i d'altres ciències o matèries tecnològiques, tot i que no ens referirem a aquestes matèries en les quals el LACG es pot fer servir d'una manera anàloga.

| Activitat | Durada (minuts) |
|-----------------------------------|-----------------|
| Preparació dels alumnes monitors | 50 |
| Estudi del problema obert | 70 |
| Realització de l'experiència LACG | 15 |
| Discussió i conclusions | 15 |

Taula 1: Distribució temporal orientativa de les activitats on s'inscriu el LACG

a 3 h (taula 1). En menys d'una hora, dos alumnes del grup foren instruïts en el maneig de l'equipament LACG. Això pretenia la realització posterior de l'experiència pels mateixos dos alumnes i dins l'aula, davant la resta del grup, i amb l'ajut de la projecció amb un retroprojector de les mesures i de la seua anàlisi.

Amb una dedicació de sessió i mitja de classe, prèvia a la realització de l'activitat de LACG, s'aborda a l'aula el problema obert plantejat pel professorat: «De què depèn la pressió exercida per un gas tancat en un recipient?». Les orientacions metodològiques que s'han seguit estan descrites amb detall, i amb exemples, per Calatayud et al., 1980.

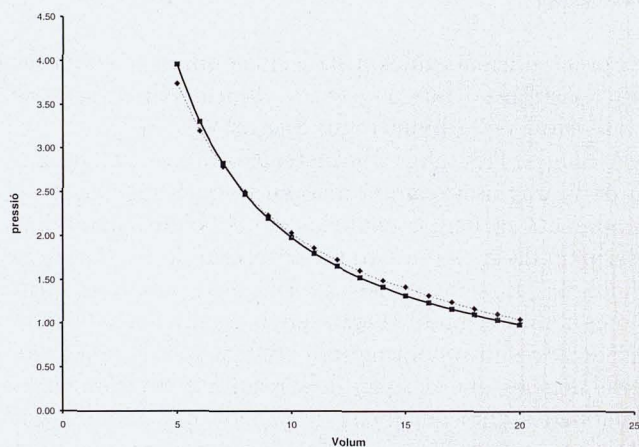


Figura 1: Mesures de pressió en funció del volum del gas d'una xeringa. El traçat de creus representa els valors experimentals que obtingué l'alumnat directament amb el LACG. La línia contínua és l'ajust, $p(\text{atm}) = 19,14/V(\text{cm}^3)$

En finalitzar aquesta sessió de discussió prèvia l'alumnat ha arribat, entre d'altres activitats, a representar gràficament, i de manera aproximada, la variació de la pressió d'un gas, tancat en un recipient, enfront de la variació del volum, si es manté constant la temperatura. Cada estudiant havia rebut, amb antelació a la discussió del tema a classe, material senzill (xeringa, tub d'assaig, etc.) acompanyat d'un qüestionari per a la realització d'activitats a casa, que li permeteren una anàlisi semiquantitativa per a avançar en la resolució del

problema, a més d'haver augmentat el seu *bagatge personal d'experiència*. Aquestes activitats pretenien evidenciar l'existència de possibles concepcions alternatives en la interpretació del model cineticocorpuscular, com ara: «les partícules modifiquen la seua grandària en comprimir l'aire», «queden en repòs i sense espai buit entre elles en comprimir l'aire», «és major la pressió en un extrem que no pas en les parets», etc.

| |
|--|
| Rang de pressió: de 0 a 6,8 atm. |
| Pressió màxima que pot tolerar: 10,2 atm. |
| Sensibilitat: mínima 0,454 V/atm; màxima 4,2 V/atm. |
| Resolució: 0,011 atm. |
| Linealitat i histèresi combinada: típicament $\pm 0,1\%$, màxima de $\pm 0,5\%$. |
| Temps de resposta: 100 μs . |

Taula 2: Especificacions del sensor de pressió del LACG (Pressure Sensor Vernier)



Figura 2: La fotografia mostra un dels moments finals de la realització de l'experiència amb un grup de tercer d'ESO: discussió dels resultats experimentals

L'etapa de realització a classe de l'experiment de mesura de la relació $p(V)$ d'un gas amb el sistema LACG es fa de la manera següent.² El sensor utilitzat ha estat el de mesura de pressió, les característiques del qual apareixen resumides en el quadre de la taula 2. Al sensor li acoblem una xeringa. La CBL —dispositiu electrònic de mà per a la recollida de dades— fa la lectura de la pressió del gas, que en aquest cas ha estat l'aire contingut en la xeringa. La CBL opera d'acord amb un programa que s'executa des d'una calculadora gràfica. El dispositiu té un disparador perquè l'operador decideixca el moment en el qual ha de ser enregistrada la mesura de pressió. A continuació, el menú del programa demana la introducció, a través de la calculadora, de la lectura

²Per a més detalls tècnics es pot consultar el nostre treball anterior.

que l'estudiant fa del volum que ocupa el gas. El volum queda marcat amb una escala graduada en el cos de la xeringa. Procedint de manera reiterada s'introdueixen en la memòria de la calculadora gràfica parelles de valors (p, V). Els resultats del present experiment, que s'obtingueren en cinc minuts, es poden veure en la figura 1. Amb aquests resultats, projectats en la pantalla del retroprojector, s'inicia la discussió final de les hipòtesis emeses prèviament. Amb un ordinador s'imprimiren les taules de valors i la gràfica, perquè l'alumnat ho incloguera al seu informe i el completara amb reflexions addicionals, com ara afegir a la taula una columna de productes pV i analitzar-ne el resultat. La modelització de les dades experimentals mitjançant una funció és una altra possibilitat que ofereix la calculadora gràfica i que es féu servir (fig. 1).

Valoració, feta per l'alumnat, de la utilització del LACG

Aquesta experiència es va realitzar amb l'alumnat de quatre grups de tercer d'ESO, cent-quatre alumnes, de l'IES Sixto Marco. Hi ha tres professors que hi imparteixen l'àrea de Física i Química en els diferents grups. Mentre es va realitzar l'activitat de LACG amb l'alumnat, sempre hi era present un dels autors d'aquest article, el qual introduïa el LACG amb una descripció bàsica, i l'alumnat monitor s'encarregava d'explicar als companys i companyes cadascun dels passos que cal seguir; la resta d'activitats va ser dirigida pel professor o professora corresponent del grup. En la classe següent a la de l'activitat de LACG es va passar a l'alumnat un qüestionari a fi de conèixer la valoració que en feia, i d'arreglar suggeriments per a una aplicació futura millor. Les dues primeres qüestions feien referència a coneixements: forma i interpretació de les gràfiques corresponents a la compressió i descompressió d'un gas tancat en un recipient —aquesta última havia presentat molta diversitat quant a les prediccions—; la resta de preguntes del qüestionari i la comptabilització de les respostes obtingudes apareixen en la taula 3.

Un exemple de 2n curs de batxillerat: la llum polaritzada

La Física és una matèria de modalitat en el batxillerat de Ciències de la Natura i de la Salut. La facilitat del maneig i transport dels equipaments de LACG permeté l'aprofitament d'un altre dels seus avantatges: la realització de la major part del treball d'investigació en casa dels mateixos alumnes.

En els nous ensenyaments, l'Òptica forma part dels continguts del currículum per a segon curs de batxillerat, dins la Física. Un dels objectius generals fixat en aquest currículum estableix que l'alumnat ha de ser capaç d'«utilitzar autònomament les estratègies pròpies de la investigació científica, per resoldre problemes, rea-

litzar treballs pràctics i, en general, explorar situacions i fenòmens desconeguts per a ells/elles». Per a contribuir a assolir aquest objectiu, entre d'altres, es proposà inserir dins de les activitats corresponents a la programació d'aula que tractaven l'Òptica, i en particular la polarització, un problema d'investigació amb l'enunciat obert següent: «De què depèn la intensitat de la llum que travessa dues làmines de polaritzador per absorció, col·locades paral·lelament?».

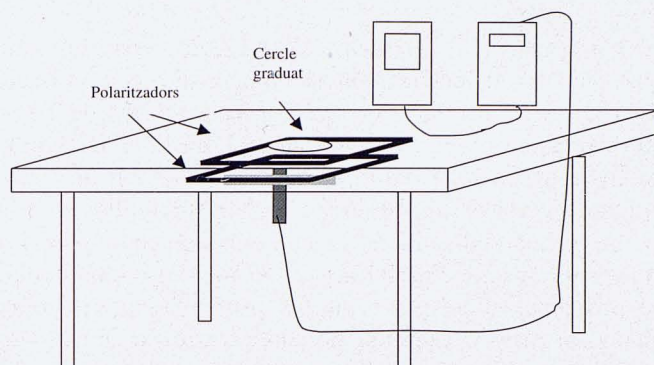


Figura 3: Disseny de l'experiència sobre l'estudi de la variació de la intensitat de la llum a través de dues làmines polaritzadores

Foren suficients unes instruccions mínimes sobre les característiques i l'ús del sensor emprat per a mesurar la intensitat de la llum, Light Sensor Vernier®.

A banda, l'alumnat fou instruït sobre el fet que havia de lliurar una comunicació en la qual s'inclogueren els apartats següents: enunciat del problema plantejat; descripció de la teoria emprada; relació de les hipòtesis formulades; dissenys de les experiències realitzades; problemes i interrogants sorgits en la realització de l'experiència; resultats obtinguts i contrastació d'hipòtesis; conseqüències que deriven dels resultats experimentals relacionades amb fenòmens de la vida quotidiana. Un dels dissenys senzills que es proposaren s'esquematitza en la figura 3.

La gràfica adjunta (fig. 4) forma part d'un dels treballs realitzats. La recerca de la funció matemàtica que modelitzara els valors experimentals l'obtingueren els alumnes mitjançant el programa informàtic Graphical Analysis®, instal·lat en un ordinador i acoblat a la calculadora gràfica. Aquell programa no és imprescindible, ja que la mateixa calculadora gràfica permet assolir uns resultats semblants, tot i que els mostra en una pantalla de dimensions reduïdes.

Quant a la valoració que féu l'alumnat de tenir la possibilitat de realitzar el treball d'investigació a casa, enduent-se els equipaments corresponents, no cal dir que fou unànimement positiva (i de sorpresa: mai no havien tingut una oportunitat semblant en cap altra matèria experimental).

| | Alumnes | Comprensió | | | Alternativa | | | Suggeriments | | |
|--------|---------|------------|----|--------|-------------|----|--------|-------------------|--------------|--------------------------|
| | | Sí | No | Altres | Sí | No | Altres | Utilitzar-la tots | Altres sugg. | Cap sugg. o «va bé així» |
| Totals | 104 | 86 | 13 | 5 | 10 | 87 | 7 | 55 | 24 | 25 |

Taula 3: Resultats de l'enquesta sobre la valoració de l'alumnat de 3r d'ESO de la utilització del LACG. Qüestions: Comprensió (Creus que fer l'experiència amb la calculadora gràfica t'ajuda a comprendre les lleis dels gasos?). Alternativa (Creus que hauria estat suficient que el professor hagués repartit en classe una fotocòpia amb una taula de valors de pressió i volum, sense necessitat de fer l'experiència al laboratori?). Suggeriments (Què suggereixes per a millorar les experiències amb calculadora gràfica?)

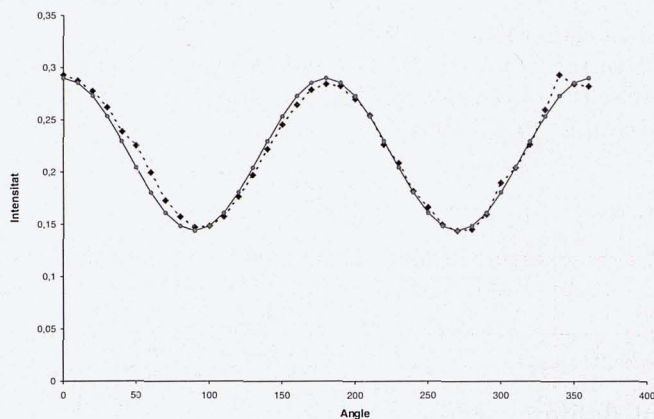


Figura 4: El traçat de creus representa els valors experimentals de la intensitat de la llum que travessa dos polaritzadors els eixos dels quals formen un angle determinat. El traçat amb cercles representa el model matemàtic que ajusta els valors experimentals, $I = 0,15 \times \cos^2 \alpha + 0,14$

Algunes objeccions de l'alumnat

Convé esmentar ací, breument, objeccions que han mostrat alguns alumnes en enfrontar-se al LACG. La primera és el comportament de l'equipament com una «caixa negra». El desconeixement que tenen dels fonaments físics dels sensors portava a la sorpresa i, de vegades, a la desconfiança: es preguntaven, per exemple, si les dades ja hi eren gravades abans de fer l'experiment.

Aquestes observacions ens han suggerit la possibilitat de convertir, en alguns casos, en objecte d'estudi per als estudiants dels últims cursos els fonaments físics dels mateixos sensors. L'ús de muntatges senzills pot servir per a aquesta finalitat.

L'idioma ha estat una altra dificultat apuntada per l'alumnat. Els programes que es fan servir a la calculadora gràfica són en anglès. Tot i ser escassos els textos en anglès que cal reconèixer per engegar una experiència, s'ha constatat que, en particular en l'ESO, esdevé un entrebanc en la realització d'experiències, i afegeix més misteri al funcionament del LACG. Per això els autors han triat d'enllestir una traducció al català dels programes necessaris per al funcionament del LACG.

El nombre d'equipaments pot ser un petit problema. L'alumnat demana ser protagonista en la manipulació de l'equipament i en el tractament de les dades. És indubtable que aconseguir el màxim de protagonisme i d'envolupament de l'alumnat ha de ser un objectiu del docent, en particular si es proposa un ensenyament per investigació. Les disponibilitats pressupostàries dels centres, escasses en general, difícilment poden atendre una demanda que pugui anar més enllà d'uns pocs equipaments de LACG. Només l'assumpció per part de l'administració de les despeses corresponents podria facilitar una dotació suficient per als centres. En l'apèndix es fa una proposta quantificada d'equipament inicial per a un LACG.

La necessitat i la dificultat d'avaluar els recursos de LACG

S'ha dit sovint que allò que no s'avalua es devalua. S'avalua, en definitiva, per a millorar i per a identificar les oportunitats d'aprenentatge. Tot i que no disposem de criteris validats suficientment per l'experimentació que serveixen per a descobrir si el LACG aferma els coneixements i en quina mesura afavoreix el canvi conceptual, és evident que es fa necessari disposar d'una eina que avaluï les conseqüències que deriven de l'ús del LACG en l'ensenyament.

Hem suggerit en aquest article, mitjançant exemples, pautes a seguir per a tenir un model per als docents sobre com aplicar els recursos de LACG i crear un ambient educatiu. Els recursos de LACG s'han d'avaluar integrats en una estratègia didàctica d'ensenyament-aprenentatge com la que hem suggerit a tall d'exemple, dins de la qual hom espera que aquest tipus de recurs desenvolupi una funció determinada. Aquestes orientacions didàctiques, però, poden influir notablement en l'avaluació del LACG, i dificultar la possibilitat de tenir criteris universals, és a dir, criteris que puguin usar-se per a comparar el LACG amb altres laboratoris i metodologies didàctiques tradicionals.

Aquest treball d'avaluació ha de romandre pendent per a futures comunicacions dels autors presents. Ara i ací ens limitarem a enunciar alguns dels criteris, que cal afegir als ja enunciatos en l'article anterior, que han guiat la incorporació del LACG com a nova tecnologia

didàctica:

- Contribueix a desenvolupar actituds i pràctiques de cooperació.
- Facilita la participació de l'alumnat en la recerca, generació, assimilació i aplicació del coneixement.
- Té en compte les característiques dels usuaris. del coneixement.
- Promou el desenvolupament d'habilitats, coneixements o destreses relacionades amb els objectius educatius.
- Ofereix al docent i a l'alumnat la possibilitat de viure experiències que difícilment es poden desenvolupar amb altres mitjans.
- Amplia la diversitat de mètodes que pot fer servir el professor per a mantenir l'interès dels estudiants.

Apèndix: Un model de dotació LACG per a secundària

Es relacionen ací els components bàsics i el cost aproximat de l'equipament, incloent-hi un conjunt orientatiu d'experiències que es poden realitzar.

| Equip | Preu aprox. (PTA) |
|--|-------------------|
| 1 <i>TI-CBL system</i> (amb sondes de mesura de temperatura, intensitat de llum, corrent-voltatge , 3 manuals i un disquet del CBL system experiment workbook) | 48.000 |
| 1 <i>TI-82VS view screen</i> i calculadora (permet de fer experiments en l'aula i visualitzar les mesures en una pantalla, en temps real, amb un retroprojector) | 80.000 |
| 1 <i>calculadora gràfica TI-82</i> (hi ha altres models més potents) | 18.000 |
| 1 <i>MD-CBL motion detector for CBL</i> (generador i detector d'ultrasons; mesura posició, velocitat i acceleració d'objectes en moviment) | 16.000 |
| 2 <i>CBL-DIN adapter for CBL probes</i> (cables de connexió sonda-CBL) | 1.000 |
| 1 <i>SFS-DIN student force sensor</i> (com un dinamòmetre, mesura forces, estàtiques o en funció del temps) | 23.000 |
| 1 <i>MCA-CBL microphone for CBL</i> (mesura intensitat del so i, forma de l'ona) | 7.000 |
| 1 <i>PS-DIN pressure sensor</i> (mesura la pressió d'un gas) | 17.000 |
| Manual <i>El món</i> , 24 × 7 (V. Soler i A. Gras, versió maig 1998), inclou una introducció a l'ús de la CBL i la TI82, a més d'una collecció de fitxes d'experiències | — |

Agraïments

El nostre agraïment a les professores Beatriz Vázquez i Ángeles Pastor per la seua participació i l'interès mostrat en la realització d'aquesta experiència didàctica en les seues classes, així com pels suggeriments que ens han fet. S'agraeix també el suport que dona a aquest projecte el Secretariat i el Vicerectorat de Noves Tecnologies de la Universitat d'Alacant.

Referències

CALATAYUD, L. et al., *Trabajos prácticos de Química como pequeñas investigaciones*, ICE-Universitat de València, (València, 1980).
SOLER-SELVA, V. F., GRAS-MARTÍ, A., Laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG), *Revista de Física*, 5, 40-43 (1998).