

# Laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG)

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

## Introducció

El ràpid desenvolupament de la informàtica durant les darreres dècades creà expectatives de canvis importants quant a l'ensenyament aprenentatge de la física i d'altres ciències, en cas d'introduir-hi l'ordinador com a eina didàctica. No obstant això, encara no disposem d'informes que avaluen el grau d'implantació i l'aportació que realment se n'està fent en l'àrea de ciències respecte de la consecució d'un aprenentatge significatiu. Fóra interessant conèixer si els progressos aconseguits fins ara en "l'alfabetització" informàtica, fent servir programes de propòsit general, com ara tractament de text, full de càlcul, base de dades, programes de dibuix i disseny, etc., han tingut el seu equivalent en aplicacions disciplinàries específiques i en l'àrea de física en particular.

Dins l'entorn informàtic i des de principi dels anys noranta, a l'Estat espanyol es van iniciar dos grans projectes sobre experimentació assistida per ordinador: Laboratorio Asistido por Ordenador (LAO), en territori del Ministerio de Educación, i Experimentació Assistida per Ordinador (EXAO) a Catalunya (Aranda i Ruíz, 1991). Les expectatives que despertà van ser importants, com ho prova el fet, per exemple, que molts dels números publicats per la *Revista de Física* incloïen articles que tracten de l'ús de l'ordinador en el laboratori.

No hem aconseguit, però, tot i la nostra insistència, localitzar cap informe d'avaluació o de resultats parcials d'aquests projectes. Si més no en els seus inicis, trobem la declaració de les potencialitats que, dins l'àmbit educatiu, tenien aquestes eines didàctiques, a més de comptar amb l'aprovació del professorat que s'inicià en la implantació de l'ordinador al laboratori i l'imprescindible suport institucional. Les nostres conclusions, doncs, resten obertes en aquest sentit.

Sí que podem aportar el fet que, per causes que desconeixem, al País Valencià, no ha merescut una atenció institucional l'experimentació assistida per ordinador en ensenyament secundari.

És compartit pel docent que les aplicacions dels ordinadors permeten la modificació substancial de la pro-

gramació didàctica, i possibilita que l'estudi dels processos naturals en els laboratoris puguin considerar-se com el resultat de petites investigacions (Gil, 1980). Si demanem menys pràctica del tipus "recepta de cuina" (Pessoa i Gil, 1998), precisament les experiències reals, no simulades, en els laboratoris possibiliten una modificació radical i que, de forma resumida, podríem enunciar dient: menys temps de l'alumnat per a mesurar, més per a dissenyar i reflexionar.

Potser és cert, fins i tot, que "l'adquisició de tècniques i destreses de laboratori —enteses en el sentit del laboratori docent tradicional— tenen poc valor per si mateix" (Hodson, 1994) en el procés d'ensenyament aprenentatge de la física; aleshores, si es veuen desplaçades en favop d'un altre tipus d'ensenyament experimental, res no es perd.

Creiem que el laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG) i que tot seguit passem a descriure, pot constituir un instrument didàctic amb molts avantatges enfront d'altres equipaments anteriors i afavoridor de l'ensenyament aprenentatge de les ciències seguint les orientacions per investigació.

## Descripció física de l'equipament i programari (software)

L'esquema següent mostra, de manera simplificada, els dispositius electrònics i la seua connexió en una experiència típica de LACG.

La calculadora gràfica és programable i fa possible la recollida, emmagatzematge i anàlisi de dades en temps real. El límit, quant al volum d'informació emmagatzemable, ha augmentat espectacularment en els darrers models que han eixit al mercat, i això ha traslladat les limitacions a un altre tipus de qüestions.

Els programes que governen el conjunt acoblat: calculadora/CBL/sensor, estan a disposició dels interessats a través de la xarxa Internet en <http://www.ti.com/calc/> i <http://www.vernier.com/cbl/ibm/dnld.html>, entre d'altres.

Mitjançant una connexió adient i a través d'un port sèrie es poden comunicar la calculadora gràfica (TI) i l'ordinador personal (PC), cosa que possibilita l'exportació d'informació i programes en els dos sentits per a donar per exemple, un tractament més acurat a les dades mitjançant un full de càlcul, elaboració d'informes, impressió de gràfics, etc. Cal esmentar, no obstant això,

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

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

que l'equipament LACG, descrit en la figura 1, sense el PC és autosuficient i en aquest fet rau l'avantatge enfront d'altres opcions, potser més precises i amb més capacitat de memòria, però més complexes de manejar i que han d'estar localitzades sempre en el mateix lloc.

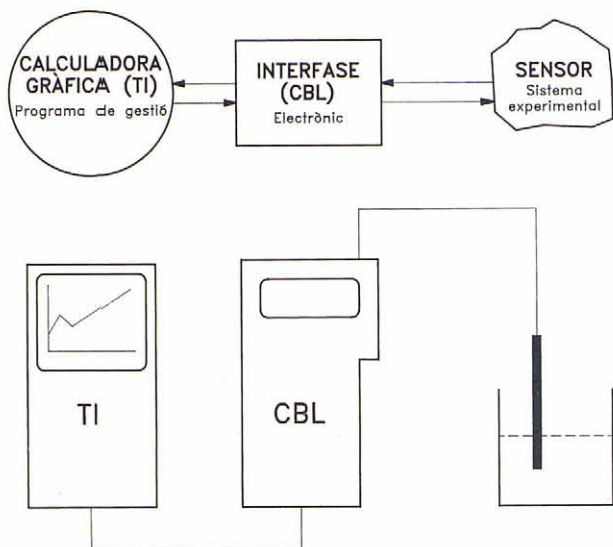


Figura 1: Elements que intervenen en el laboratori assistit amb calculadora gràfica. TI és un dels diversos models de calculadora gràfica Texas Instruments existents al mercat. CBL (Calculator-Based Laboratory System) és un producte de la mateixa companyia

La interfície *Calculator-Based Laboratory-System* (CBL) és un dispositiu electrònic de mà per a la recollida de dades del món real. Les dades enregistrades per la CBL són exportades a la calculadora gràfica per a una anàlisi posterior. Amb la CBL i uns sensors adequats, es pot mesurar moviment, temperatura, llum, so, pH, força, CO<sub>2</sub>, conductivitat, camp magnètic i un llarg etcètera.

Les sondes es connecten a la unitat CBL a través de sis canals d'entrada o eixida. D'aquests sis canals, tres són analògics (CH1, CH2, CH3), un canal específic permet la detecció d'ultrasons (SONIC), hi ha un canal digital d'entrada (DIG IN) i un altre canal digital d'eixida (DIG OUT).

Es poden connectar alhora fins a cinc sondes. El límit en la velocitat d'adquisició de dades se situa en 10.000 mesures/segon. El límit es veu reduït dependent de les opcions que es trien, el nombre de sondes connectades simultàniament, la possibilitat de mostrar les dades en temps real, etc.

La unitat CBL presenta una característica anomenada AutoIDENT que li permet identificar automàticament les sondes connectades als canals específics anteriorment.

Els canals digitals d'entrada i d'eixida de la CBL ens permeten connectar-la a senyals binaris de 0-5 volts

per a la realització d'experiències que manegen dades digitals.

Actualment estan disponibles en el mercat més de quaranta sensors, o sondes, que permeten la mesura de magnituds diferents, però la ràpida expansió que està experimentant el LACG en el seu país d'origen, els Estats Units, ens fa ser prudents sobre el nombre concret de sondes que s'hi poden adquirir. Cada sonda ve acompanyada d'una guia on s'explica, entre d'altres, el fonament físic en el qual es basa, el rang de mesura, la sensibilitat, les limitacions, etc. Els autors d'aquest article han elaborat un compendi de bona part d'aquestes guies, una vegada les han traduïdes al català.

## Avantatges del LACG

L'experiència de més d'un any en l'aplicació docent del LACG, tant en secundària, com en els primers cursos de la Facultat de Ciències de la Universitat d'Alacant, així com els Cursos impartits al professorat i els cursos d'estiu de la Universitat d'Alacant (1998), ens permeten destacar els avantatges següents:

*Aprentatge ràpid:* s'ha constatat que són suficients unes sis hores per a aprendre les nocions bàsiques de la calculadora gràfica que permetran fer rodar els programes adients i processar la informació.

*Manejable:* el pes de tot l'equipament fa un sis-cents grams, la qual cosa ens permet desplaçar-nos fàcilment i realitzar experiències de camp. A més a més, una vegada engegat el procés de mesura, es pot desconnectar la calculadora gràfica i no tornar-la a unir a la CBL fins que ha acabat el procés.

*Realització de treball a casa* ("laboratori casolà/home-lab"): per les característiques dels LACG es poden dissenyar experiències CTSA (ciència-tecnologia-societat-medi ambient) que l'alumnat podria completar a casa, mitjançant l'exploració de fenòmens quotidians del seu entorn.

*Ús compartit:* els pioners en l'ús didàctic de la calculadora gràfica en l'aula han estat els professors de l'àrea de matemàtica (vegeu, per exemple, l'adreça <http://wfs.eun.org/schools/timeline/maths/index.html>). Per aquesta raó molts centres s'han dotat d'aquests tipus de calculadores. Els nous usos dins l'àrea de ciències, amb l'adquisició d'unitats CBL i sensors, amplien el seu àmbit d'aplicació i això fa augmentar la rendibilitat de les calculadores gràfiques dins un centre.

*No calen coneixements informàtics:* l'ús de l'ordinador en el LACG esdevé un complement opcional, una vegada carregats els programes en una calculadora. No calen, doncs, coneixements informàtics per a fer servir els equipaments que constitueixen el laboratori assistit amb calculadora gràfica.

*Intercanvi entre calculadores:* un altre avantatge que cal considerar és la possibilitat d'intercanvi, d'una manera senzilla, d'informació entre calculadores gràfiques; així,

els resultats de les mesures capturades per un equip poden ser compartides per la totalitat de les calculadores de l'aula i ser objecte de tractament col·lectiu a l'aula o a casa, per a una discussió posterior.

*A prova de professor i alumne:* perquè es tractar d'un material educatiu força estès i pensat per al seu ús ja des dels primers cursos de secundària; els equipaments són compactes i amb notables mesures de protecció davant de possibles errades involuntàries de l'usuari.

*Pantalla de cristall líquid:* la possibilitat de connectar l'equipament a una pantalla de cristall líquid específica per a un retroprojector facilita la realització i discussió en temps real d'experiències per part de tot el grup o tota la classe.

*Cost:* és indiscutible la reducció en els costos si es recorre al sistema LACG. Convidem el lector que faci les comprovacions pertinents a través de les adreces d'Internet facilitades.

A més d'aquests avantatges específics del LACG, cal recordar els propis i comuns amb l'experimentació assistida amb l'ordinador, que ara només ens limitem a enunciar: deixa més temps per al disseny de les experiències i valoració de les dades obtingudes; la repetició de la mesura o fins i tot de l'experiència és fàcil i ràpida; elimina bona part de l'error manual ja que permet especificar el nombre de mesures i l'interval entre mesures; en processos qualitius permet apreciar relacions o evolució; permet considerar processos de durada llarga; proporciona al final del procés, i de manera immediata, un registre de taules de valors i gràfics, per a estudiar-lo més detingudament; incrementa la qualitat de les mesures respecte dels equipaments "tradicionals", té major rapidesa, facilitat, quantitat i seguretat en l'adquisició de dades, ja que una vegada enllestit l'experiment es limita la influència de factors distorsionadors de la mesura; i, finalment, permet la construcció de "biblioteques de registres experimentals", la disposició dels quals en registres magnètics afavoreix l'intercanvi i comunicació de resultats.

## Exemples d'experiències

D'ençà que va ser introduït el sistema LACG als Estats Units a principi dels noranta, ha tingut lloc tot un seguit de publicacions amb propostes d'experiències per a les diferents àrees de ciències, entre les quals sobresurten les referides a la física.

A l'adreça <http://www.ti.com/calc/docs/cblwb2.htm> el lector interessat pot accedir, per exemple, a algunes experiències de física. Els autors, a partir de bibliografia i l'experiència pròpia, han reunit documentació referent a més de cent vint experiències diferents que es poden realitzar amb la terna calculadora gràfica/CBL/sensor. Aquesta informació està disponible en l'adreça d'Internet de l'Associació per a l'Ensenyament de la Física i Química-Curie d'Alacant,

<http://www.dfa.es/agm/jornadas/curie1>.

El sensor és un transductor, és a dir, un dispositiu que transforma les variacions d'una magnitud mesurable en un senyal elèctric que s'envia a la interfície. Cada sensor, o sonda, té associat un programa per a comunicar la calculadora gràfica i la CBL; en activar el programa l'operador ha de seguir una ruta de menús on, contestant les preguntes que se li formulen, especifica el nombre de sondes connectades, el tipus (les tria del llistat que li mostra la calculadora gràfica en pantalla) i el canal on són connectades; la velocitat d'adquisició de dades i el nombre de mesures que es volen fer; si es vol fer el calibratge de la sonda o s'utilitza l'emmagatzemat de fàbrica i, finalment, com es vol mostrar la informació que s'obindrà. En aquest últim apartat s'inclou l'opció de dispar (*trigger*), imprescindible en la realització d'algunes experiències, com ara l'estudi de les lleis dels gasos, llei de Malus, etc.

Darrerament han començat a aparèixer en algunes publicacions treballs elaborats amb el sistema LACG. Bergen (1998), per exemple, estudia la força exercida per una cadena quan cau sobre una superfície; el sensor utilitzat en aquesta experiència és el sensor de força, el qual té molts altres usos: moviment vibratori, col·lisions, etc.

## Els riscos: LACG o no LACG?

Hem remarcat en l'apartat anterior els avantatges, però creiem que també hi ha riscos. Poden produir-se també "perills pedagògics" derivats d'una utilització abusiva, com a conseqüència d'un aclapament de les activitats del laboratori per l'equipament automatitzat. Aquests perills es corresponen amb una interpretació errònia basada en el convenciment que, pel fet de ser possible mesurar més i millor, els objectius educatius i científics del treball en els laboratoris s'assoleixen automàticament, cosa que produeix en l'alumnat una falsa impressió de joc, màgia o d'automatisme.

Igual com no totes les activitats són necessàriament adequades per a una sessió tradicional de laboratori, no hem d'esperar que totes les experiències siguin adequades al conjunt calculadora gràfica/CBL/sensor. A més a més, és innecessari advertir que els estudiants han d'entendre que no té cap sentit una mesura que no ve acompanyada d'una valoració dins el context global de l'experiència.

En resum, no cal forçar l'ús de la calculadora gràfica en experiments que no resultaran clarament beneficiats amb la seua introducció. No volèm perdre el referent: l'objectiu és aconseguir un aprenentatge significatiu. Com s'advertia en la presentació de l'EXAO (Regalés, 1992) —cal reflexionar molt seriosament sobre les aportacions que comporten i els riscos inherents que arrossegueuen—, i en aquest sentit hi ha obert un debat al si de l'AEFiQ-Curie d'Alacant sobre el LACG

amb un seguit de presentacions, debats i avaluació d'experiències (AEFiQ-Curie, 1998).

## Conclusions

El laboratori assistit amb calculadora gràfica (LACG) està constituït per un conjunt de tres dispositius: calculadora/CBL/sensor, fàcils de manejar i de baix cost. Aquests equipaments, sota el control de programes personals o ja elaborats, permeten recollir informació a través d'entrades de tipus digital i analògic. El LACG permet realitzar mesures relacionades amb el moviment, temperatura, llum, so, pH, força, conductivitat, etc. i

amb distintes resolucions. El fonament teoricopràctic del LACG, amb matisos, és anàleg a l'EXAO. Els LACG són equipaments adequats per a la introducció a les ciències experimentals en primers cursos de facultats de ciències i en ensenyament secundari. Un ús eficaç del LACG exigeix la programació d'activitats en les quals aquell aparega subordinat a la metodologia emprada i als objectius programats.

A través de la xarxa Internet o adreçant-se als autors es pot aconseguir informació més detallada sobre experiències concretes o altres detalls de funcionament.

## Bibliografia

- AEFiQ-Curie, *Actes de les II Jornades d'intercanvi d'experiències de física i química*, Es pot obtenir una còpia impresa o en format WORD d'un dels autors d'aquest article (AGM), (Alacant, 1998).
- ARANDA, J.; RUIZ, F., L'EXAO: l'ordinador al laboratori, *Revista de Física*, **1**, 50, (1991).
- BERGEN, W., Force Exerted by a Falling Chain, *The Phys. Teach.*, **36**, 44, (1998).
- GIL, D. et. al., *Trabajos prácticos de Física como pequeñas investigaciones*, ICE-Universitat de València, (València, 1980).
- HODSON, D., Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de la Ciencias*, **12**, 299, (1994).
- PESSOA, A. M.; GIL, D., Analysis of training programs for physics teachers, *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education. An I. C.P.E. Book (1998)*. Gratuïtament en <http://www.physics.ohio-state.edu/jossem/ICPE/TOC.html>.
- REGALÉS, J., EXAO'92: Jornada de presentació als professors, *Revista de Física*, **3**, 57, (1992).