

## **LES PRÀCTIQUES VIRTUALS EN L'ENSENYAMENT DE LA BIOLOGIA**

JOSEP M. LLORT

*IES Gabriel Ferrater.*

Adreça per a la correspondència: Josep M. Llorc. IES Gabriel Ferrater.  
Carretera de Montblanc, 5. 43206 Reus. Adreça electrònica: *jllort1@xtec.cat*.

### **RESUM**

Les pràctiques de laboratori són considerades una eina fonamental per a l'aprenentatge de la biologia. L'autor analitza els tipus de pràctiques, per a què serveixen i quins avantatges o inconvenients tenen. Es repassen breument les possibilitats de l'experimentació assistida per ordinador i es classifiquen les pràctiques virtuals en animacions, simulacions i micromons. Es discuteix quines característiques són útils en una bona pràctica virtual i es proposen estratègies per a la seva utilització educativa. S'adjunta una llista amb adreces web d'animacions biològiques.

**Paraules clau:** pràctiques, ordinador, ensenyament, aprenentatge, micromón.

### **VIRTUAL PRACTICE IN BIOLOGY TEACHING**

#### **SUMMARY**

Laboratory practice is considered an essential tool for Biology learning. The author analyzes the types of practice, their use, advantages or disadvantages. The possibilities of computer-assisted experimentation are briefly reviewed and the different types of virtual practice are classified into animations, simulations and microworlds. Characteristics useful in good virtual practice are discussed and strategies for educational use are proposed. A list of web addresses with biological animations is included.

**Key words:** practical work, computer, teaching, learning, microworld.

## INTRODUCCIÓ

Tant entre els professors com entre els estudiants, hi ha pràcticament consens a considerar que les pràctiques de laboratori són molt importants en l'ensenyament de la biologia i, en general, de qualsevol ciència experimental. No obstant això, quan s'analitza el nombre d'hores que s'hi dediquen, es veu que molts professors en realitzen només un petit nombre (Cano i Cañal, 2006). La justificació adduïda en aquests casos acostuma a ser que no tenen temps de fer-ne més, la qual cosa vol dir que, en la seva opinió, hi ha maneres més efectives d'utilitzar el temps escolar (Izquierdo *et al.*, 1999). Al mateix temps, diverses investigacions conclouen que les pràctiques majoritàriament realitzades en els centres escolars són poc adequades, tant per promoure l'aprenentatge de conceptes, i de procediments científics, com per la visió deformada que ofereixen de la metodologia científica (Álvarez i Carlino, 2004).

En aquest context, el desenvolupament de l'experimentació assistida per ordinador ha estat vista per alguns entusiastes com la panacea que permetria millorar i generalitzar les pràctiques de laboratori. Una cosa similar es podria dir de les pràctiques virtuals; les simulacions i els micromons prometen revolucionar tot l'ensenyament. És això cert o es tracta d'una moda més?

En aquest article analitzarem quins tipus de pràctiques de laboratori es poden realitzar i els avantatges i inconvenients que presenten. També analitzarem breument l'experimentació assistida per ordinador i, de manera una mica més àmplia, les pràctiques virtuals (simulacions i micromons). Finalment intentarem aportar uns suggeriments per al professorat que utilitzi aquests mitjans educatius.

## PER A QUÈ SERVEIXEN LES PRÀCTIQUES?

La resposta a aquesta pregunta depèn de la concepció que es tingui sobre l'ensenyament-aprenentatge. Segons el model de transmissió, les activitats pràctiques anirien després de les teòriques, amb diverses funcions, com comprovar els coneixements transmesos, aprendre habilitats pràctiques, motivar els estudiants o veure com es fa la ciència. Aquestes funcions de les pràctiques són valorades com a secundàries pels docents mateixos, que en cas de falta de temps les suprimeixen.

Nosaltres no compartim aquest model. Des del nostre punt de vista, aprendre ciències és aprendre a utilitzar models teòrics per interpretar la realitat. Així, no s'ha après la teoria de l'evolució per selecció natural quan se sap descriure aquesta teoria, sinó quan se sap utilitzar per explicar situacions de la vida real i per fer prediccions sobre el seu futur. Conseqüentment, els alumnes han de tenir oportunitats d'aplicar aquests models teòrics, ja sigui a l'aula, amb problemes de llapis i paper, al laboratori, al camp o davant d'un ordinador. Com diuen Mercè Izquierdo, Neus Sanmartí i Mariona Espinet (1999), «[...] discutir amb els altres sobre els experiments, escriure reflexivament sobre aquests i construir els símbols adequats (taules, gràfics, símbols, paraules) arribant a un consens sobre el seu significat serà el *mètode* que condueixi a la construcció del coneixement científic escolar». Aquesta visió augmenta el valor de les pràctiques que, a més de les funcions de motivació, habilitats i altres, tindrien un paper fonamental en l'ensenyament-aprenentatge de la biologia.

## TIPUS DE PRÀCTIQUES DE LABORATORI

Aureli Caamaño (2004) distingeix quatre tipus de treballs pràctics:

**Experiències.** Són activitats destinades a familiaritzar-se perceptivament amb un fenomen. En serien exemples l'observació de la morfologia d'un cor de be, escoltar els sorolls produïts per un cor humà o notar el pols propi posant un dit damunt l'artèria caròtida.

**Experiments il·lustratius.** La seva finalitat és interpretar un fenomen, il·lustrar un principi o mostrar una relació entre variables. Si són realitzats només pel professor s'anomenen *demostracions*. Alguns exemples són observar el despeniment de bombolles en ficar un tros de fetge dins aigua oxigenada, el creixement d'un ou de gallina posat dins un recipient amb vinagre, o la contracció dels vacúols d'un gladiol vermell banyat en aigua saturada de sal.

**Exercicis pràctics.** Són activitats orientades, amb el mètode perfectament definit. La seva finalitat pot ser comprovar teories presentades prèviament o l'aprenentatge de procediments o habilitats. Són exercicis pràctics les típiques pràctiques-recepta, en què l'alumne segueix una sèrie de passos totalment definits pel seu professor, i arriba al resultat esperat.

**Investigacions.** Una investigació o recerca és una activitat que intenta resoldre un problema teòric o pràctic mitjançant la planificació i la realització d'un experiment i la valoració dels resultats. Aquest tipus d'activitats permeten als estudiants aprendre un dels processos més importants de la ciència real i fins i tot generar coneixement.

Sens dubte, en l'ensenyament secundari predominen els exercicis pràctics de manera aclaparadora. Creiem que aquesta no és una situació desitjable. Les experiències són bàsiques quan es comença a estudiar un tema determinat, mentre que els experiments

il·lustratius són molt eficaços per promoure la construcció i l'aplicació de models teòrics. Per exemple, l'observació al microscopi de pètals de gladiol vermell banyats en aigua saturada de sal, pràctica abans esmentada, permet que els alumnes pensin, parlin entre ells i escriguin utilitzant els conceptes de cèl·lula, paret cel·lular, membrana plasmàtica, citoplasma i osmosi. Aquesta és la millor manera d'aprendre aquests conceptes, aprofundir en el seu significat i corregir els errors que tots cometem quan aprenem una cosa nova.

Pel que fa a les investigacions, el seu nombre ha augmentat considerablement en els centres d'ensenyament secundari catalans, des que el treball de recerca és una matèria obligatòria en el currículum de batxillerat del nostre país. Si exceptuem aquest treball de recerca, però, la seva presència és molt minoritària. És important tenir en compte que molts exercicis pràctics poden ser reconvertits en experiments il·lustratius i, tal com explica Ramon Grau (1991), fins i tot en investigacions. Aquesta reconversió seria altament desitjable per millorar la qualitat educativa de les pràctiques de laboratori.

## L'EXPERIMENTACIÓ ASSISTIDA PER ORDINADOR

L'experimentació assistida per ordinador consisteix en la realització de treball pràctic, en un laboratori real, auxiliat per sensors que recullen dades i les transmeten a un ordinador. Mitjançant un programa adequat, l'ordinador emmagatzema les dades i les organitza, i les mostra en forma de taula de dades, gràfic o altres. Hi ha diverses marques comercials dedicades a l'experimentació assistida per ordinador, però al nostre país la més coneguda és la basada en els equips Multilog/Multilab, que han estat distribuïts als instituts d'ensenyament secundari pel Departament d'Educació, i for-

men part de les aules de noves tecnologies per a les ciències. En aquests equips hi ha sensors de temperatura, humitat, llum, pH, pressió, oxigen i altres, així com un microscopi i una lupa binocular que poden capturar imatges o seqüències de vídeo. A la pàgina web del Centre de Documentació i Experimentació en Ciències, CEDEC (<http://www.xtec.cat/cdec/>) es pot trobar una descripció detallada de l'equipament, així com diversos protocols per utilitzar l'equip en activitats pràctiques.

L'experimentació assistida per ordinador és, doncs, una experimentació totalment real, en la qual l'ordinador es limita a potenciar (enormement, això sí) la captura i el tractament de les dades. Aquesta potenciació permet fer fàcilment activitats pràctiques que anteriorment eren gairebé impensables, com per exemple observar la variació de pH, minut a minut, durant dotze hores mentre es realitza la fermentació làctica. També permet interpretar més fà-

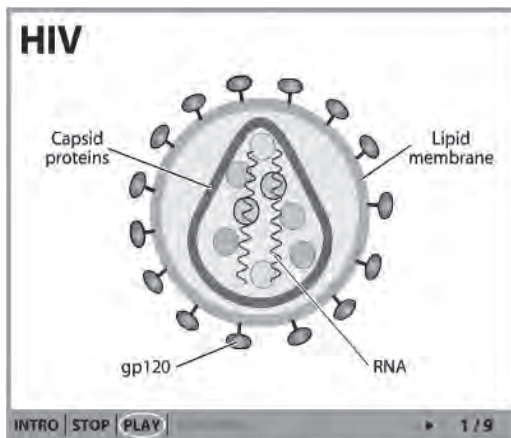
cilment les dades obtingudes, mitjançant la realització automàtica d'una taula de dades i la seva representació gràfica. Finalment, permet replantejar velles activitats pràctiques. Així, en l'observació al microscopi es pot obviar el dibuix del que s'observa i concentrar-se en la interpretació de les imatges, capturades per l'ordinador i mostrades en pantalla o impreses en paper.

Per tant, considerem l'experimentació assistida per ordinador una manera molt útil de potenciar pràctiques conegudes i de fer-ne de noves. Cal tenir en compte, però, tot el que hem dit en l'apartat anterior sobre els tipus de pràctiques. Si l'únic que fem amb aquests nous i potents equips són més exercicis pràctics, més pràctiques-recepta, tot plegat acabarà significat molt soroll per ben poca cosa.

## PRÀCTIQUES VIRTUALS

Hi ha coses i fenòmens d'importància científica que no es poden observar directament en un laboratori escolar. Alguns perquè són massa lents (com l'origen de noves espècies) o massa ràpids, d'altres perquè són massa petits (com les molècules) o massa grans (com la biosfera) i encara uns altres perquè són massa perillosos (com la reacció en cadena durant una explosió nuclear) o bé observar-los és massa car o requereix massa temps d'entrenament. En aquests casos, quan no es poden fer pràctiques de laboratori, les simulacions per ordinador poden ser l'única manera de fer que els estudiants observin i experimentin, tot i que sigui de manera virtual. Però les pràctiques virtuals no són només un substitut de les reals; també presenten avantatges únics que poden donar-los el seu propi espai dins el ventall de recursos didàctics.

Hi ha molts tipus d'activitats que poden considerar-se pràctiques virtuals, i les seves fronteres són difuses. Classificant-les en



The human immunodeficiency virus, or HIV, destroys cells of the immune system, making the body vulnerable to a host of diseases. HIV has surface proteins called gp120 that attach to cells that have CD4 receptors on their surfaces. CD4 is found on the immune system's helper T (T<sub>H</sub>) lymphocytes and on scavenger cells called macrophages.

FIGURA 1. Animació que representa el cicle vital del virus de la immunodeficiència humana (Sumanas INC). (<http://www.sumanasinc.com/webcontent/anisamples/lifecycle-hiv.html>)

TAULA 1. Tipus de pràctiques de laboratori (Caamaño, 2004)

Tipus de pràctiques de laboratori	Finalitat
Experiències	Familiaritzar-se perceptivament amb un fenomen.
Experiments il·lustratius	Interpretar un fenomen, il·lustrar un principi o mostrar una relació entre variables.
Exercicis pràctics	Comprovar fets o teories. Aprendre procediments o habilitats.
Investigacions	Resoldre un problema planificant i fent un experiment i interpretant els resultats.

TAULA 2. Tipus de pràctiques virtuals

Tipus de pràctiques virtuals	Breu descripció
Animacions	Representació visual simplificada d'un fenomen. Poca capacitat d'interacció.
Simulacions	Animacions amb alta capacitat d'interacció.
Micromons	Entorn informatitzat que pot ser explorat utilitzant la matèria que s'aprèn.

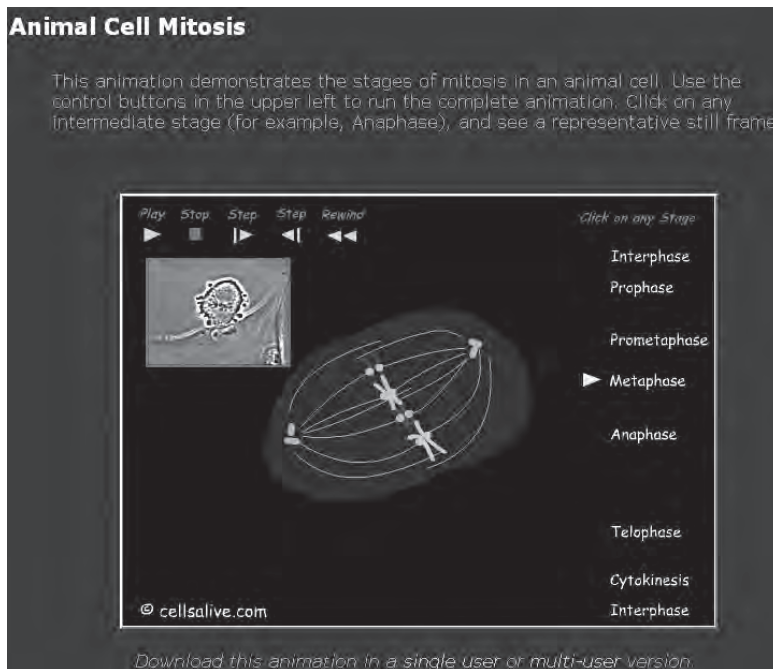


FIGURA 2. Animació que mostra els processos durant la mitosi (Cells Alive). (<http://www.cellsalive.com/mitosis.htm>)

funció de la capacitat de control que permeten a l'usuari podem distingir *animacions*, *simulacions* i *micromons* (vegeu la taula 2).

### Animacions

Una animació és la representació visual i simplificada d'un fenomen, que intenta reproduir en els seus aspectes més importants. A més d'imatges, moltes animacions contenen també sons.

Certs programes, com l'Adobe Flash, i certs llenguatges de programació, com Java, són especialment adequats per fer animacions, que es poden integrar fàcilment en una pàgina web. A Internet es poden trobar moltes animacions visualment atractives i al final d'aquest article n'hem recollit unes quantes. Com a exemple, vegeu les figures 1 i 2.

Un aspecte desfavorable de les animacions és que permeten un control molt limitat per part de l'estudiant. En els casos més extrems aquest control es limita a observar una seqüència fixa d'imatges, que es va repetint cíclicament, de manera automàtica o en prémer un botó.

### Simulacions

El món real és massa complex per ser representat fidelment en la memòria i la pantalla d'un ordinador (fins i tot en la ment i els sentits d'un ésser humà). Per entendre el món real, els humans utilitzem models, representacions simplificades de la realitat que siguin adients als nostres objectius. En aquest procés de simplificació, que condueix de la realitat al model, s'ha perdut realisme però s'ha guanyat capacitat de comprensió

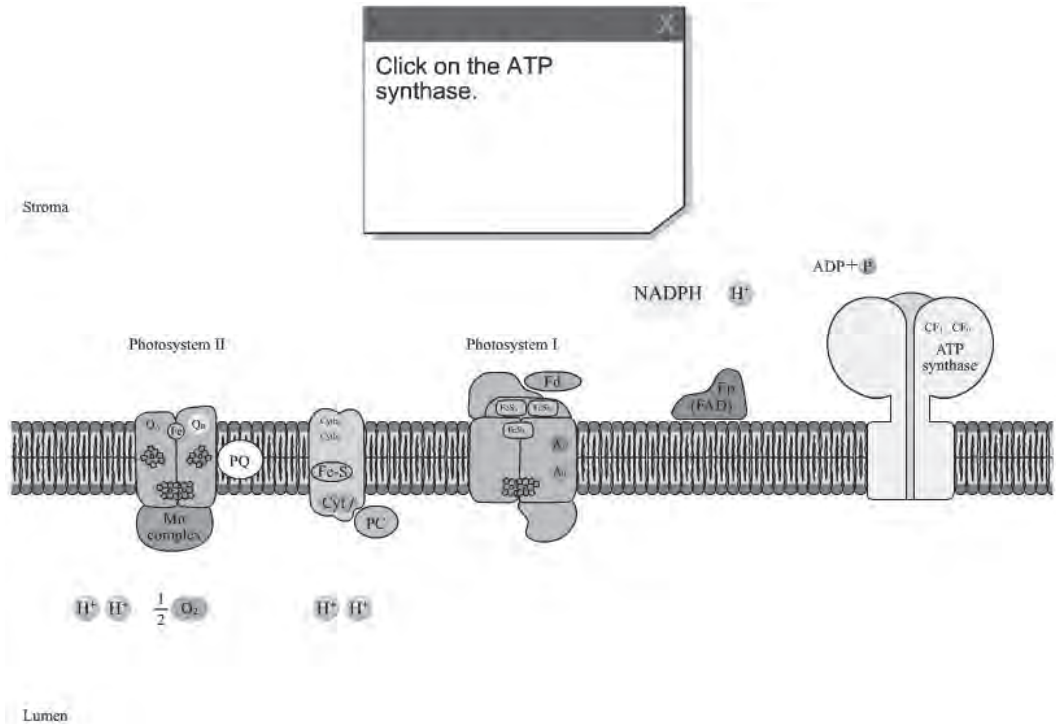


FIGURA 3. Simulació de l'elaboració d'un cariotip (Gizmo). (<http://www.explorellearning.com>)

i de predicció. Una simulació per ordinador és la representació informatitzada d'un model (Llort, 2000). Les bones simulacions permeten modificar algunes variables i, segons el model adoptat, observar-ne les conseqüències. Es diferencien, doncs, de les animacions, en el fet que permeten una interacció més profunda amb el model simulat. Hi ha simulacions que permeten realitzar virtualment un procediment, com l'elaboració d'un cariotip (vegeu la figura 3), o l'observació d'un procés biològic, com la microevolució d'una població (vegeu la figura 4).

Un tipus especial de simulacions són els laboratoris virtuals. Aquest tipus de programes representen un laboratori real, amb els aparells i reactius més importants, i permeten fer algunes manipulacions. Un bon exemple és el Virtual Transgenic Fly

Lab, accessible des de la web del Howard Hughes Medical Institute, que permet, pas a pas, simular l'obtenció de drosòfiles transgèniques (vegeu la figura 5).

### Micromons

Els micromons són una idea de Seymour Papert, que ha creat el primer dels micromons matemàtics, el llenguatge LOGO. Segons Papert (1995) un micromón seria un entorn informatitzat en què els nens aprendrien una matèria utilitzant-la per explorar-lo. Aquest entorn hauria de permetre representar de manera concreta alguna activitat i hauria de fomentar que s'explicitessin les concepcions pròpies, de manera que se'n pugui reflexionar i parlar.

Quina diferència hi ha entre simulacions

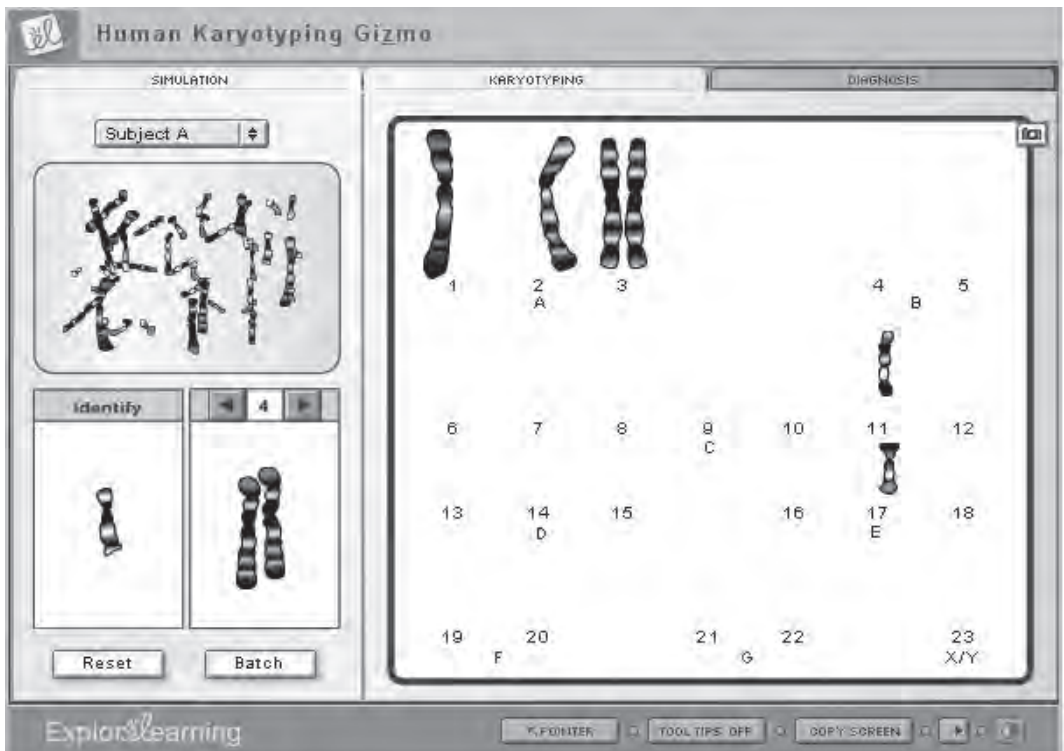


FIGURA 4. Simulació d'un procés d'evolució per selecció natural (Gizmo). (<http://www.explorelearning.com>)

i micromons? Ja hem comentat que la frontera és difusa, però el tipus més freqüent de micromons són simulacions en les quals l'usuari té un gran control, i pot explorar-lo lliurement i fins i tot, en alguns casos, modificar el model i observar-ne les conseqüències.

Hi ha pocs micromons disponibles en la nostra llengua. Un d'aquests, distribuït pel PIE i amb les aules TIC, és el Joc dels Gens. Es tracta d'un micromón de genètica mendeliana, en què els estudiants poden triar entre diversos problemes, amb diferents patrons d'herència. En cada problema reben l'encàrrec d'una botiga d'animals o d'uns criadors de determinar el genotip de deu animals concrets, que fins i tot tenen nom. Els genotips de cada animal es

determinen aleatòriament en començar el problema, de manera que ni un alumne que l'hagi resolt anteriorment, ni el professor, en saben la solució anticipadament. Per esbrinar-ho, els estudiants han de planificar i realitzar encreuaments (vegeu les figures 6 i 7) i, basant-se en els resultats obtinguts, presentar un petit informe amb les seves conclusions.

Un programa auxiliar, el generador de problemes, permet als professors i als alumnes, crear els seus problemes propis. Per a una descripció més detallada, vegeu Llort (2000) o Llort i García (2000). Podeu obtenir el programa a la web del PIE, a la del CEDEC o a la pàgina personal de l'autor.

FIGURA 5. Un laboratori virtual: The Virtual Transgenic Fly Lab. ([http://www.hhmi.org/biointeractive/vlabs/transgenic\\_fly/index.html](http://www.hhmi.org/biointeractive/vlabs/transgenic_fly/index.html))



## CARACTERÍSTIQUES QUE LES FAN ÚTILS (O NO)

La primera característica, absolutament imprescindible, és que els programes no continguin errors conceptuals greus. Sembla que aquest tipus d'errors haurien de ser inexistents en qualsevol aplicació educativa, però per desgràcia no sempre és així. Fa alguns anys, una animació de la mitosi, feta per cert grup de mestres, situava la replicació de les cromàtides al final de la metafase, just abans de la seva separació. Un error d'aquest tipus converteix el programa en educativament inútil, quan no en perjudicial.

De manera similar, s'ha de procurar que no facilitin l'aparició d'errors conceptuals en els alumnes. Seguint amb la mitosi, moltes animacions comencen a la profase, par-

tint de cromosomes replicats, sense establir cap relació amb la fase S ni amb la resta del cicle biològic. Diverses investigacions suggereixen que aquesta presentació descontextualitzada facilita l'aparició d'errors conceptuals com el *ploidia-estructura* (Llort, 2000).

A més, una bona aplicació educativa no pot limitar-se a transmetre informació. Ha de permetre que els estudiants es facin preguntes, pensin en les possibles respostes i argumentin amb els seus companys i amb el professor sobre aquestes. És a dir, ha de fomentar la reflexió.

Ja fa més de vint-i-cinc anys que Kenneth Tobin va publicar els resultats de les seves recerques sobre la influència del temps d'espera en el rendiment dels estudiants. Tobin (1980) va descobrir que si el professor feia una pausa de cinc segons en-

FIGURA 6. Un micromón: El Joc dels Gens.

tre la seva pregunta oral i la resposta dels alumnes, aquesta millorava molt. El *wait time* de Tobin és una pura qüestió de sentit comú: es necessita un mínim de temps per elaborar una bona resposta raonada. Sorprenentment aquesta qüestió continua sent ignorada per molts professors, que volen respostes perfectes i immediates, i per moltes animacions i simulacions. Aquests programes han de permetre als estudiants modificar el ritme, fins i tot fer pauses en l'execució. Hi ha massa animacions que simplement s'executen a velocitat de vertigen, i són comprensibles només per als que ja eren experts en el tema.

Pel que fa a la seva interfície, els programes han de ser atractius i han de defugir la monotonia, i han d'evitar que l'usuari hagi de fer tasques repetitives i inútils. També han de ser fàcils d'utilitzar i d'aprendre, seguint els estàndards més habituals del sector informàtic. Si són una mica complexos, haurien de tenir un sistema d'ajuda sensible al context. En qualsevol cas, el professor ha de valorar si els guanys en aprenentatge justifiquen la inversió de temps necessària per aprendre com funciona, igual que en qualsevol altra activitat educativa.

També estem d'acord amb Jonathan Osborne i David Squires (1987) en el fet que les situacions presentades haurien d'estar contextualitzades, en lloc de ser abstractes. També haurien d'assumir que els nens tenen concepcions científiques de la realitat i haurien de poder suportar concepcions alternatives.

També, David H. Jonassen (1994) va proposar una altra idea amb la qual estem d'acord: els programes educatius haurien de suportar la construcció col·laborativa del coneixement per negociació social, en lloc de la competició entre els estudiants.

Els laboratoris virtuals mereixen unes consideracions addicionals. Alguns, com el Virtual Transgenic Fly Lab abans esmentat, tenen una gran qualitat i poden ser considerats com una alternativa a algunes pràctiques reals, especialment perquè aquest tipus de pràctiques virtuals són molt més ràpides i barates que les reals i reproduïxen molts dels seus aspectes. S'ha de tenir en compte, però, que en general es limiten a reproduir de manera rígida els passos d'una pràctica-recepta. Si només volem que els estudiants aprenguin el procediment de la pràctica, llavors poden ser molt útils.

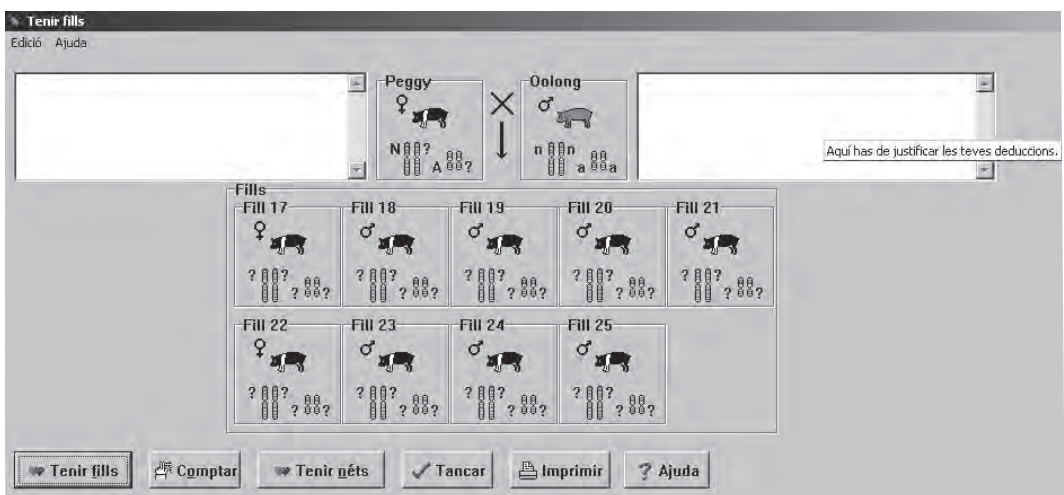


FIGURA 7. Tria del proper encreuament a fer en El Joc dels Gens.

Per a altres objectius, els experiments il·lustratius i les investigacions reals, així com els micromons, són alternatives molt més aconsellables.

## ESTRATÈGIES PER A LA SEVA UTILITZACIÓ EDUCATIVA

Les pràctiques virtuals poden ser utilitzades seguint les següents estratègies (Llort, 2000, d'acord amb Spain, 1985):

**Treball en grups petits.** Al nostre parer aquesta és la millor de les estratègies, sempre que els estudiants del grup hagin de consensuar les decisions que prenen. Això els obliga a parlar i argumentar utilitzant els conceptes representats en el programa. Naturalment, el professor hauria de revisar els arguments produïts pels grups i corregir els errors que inevitablement sorgiran. Hem d'advertir, però, dels inconvenients del mètode: calen bastants ordinadors, s'ha d'invertir temps perquè els alumnes aprenguin a utilitzar el programa i els grups haurien d'estar formats per dos o tres alumnes. Tal com varen observar Roth *et al.* (1996), només participen en les discussions en grup els estudiants que s'asseuen just davant la pantalla i que poden tocar-la, gesticular i apuntar al seu contingut; els que s'asseuen en segones files, més lluny de la pantalla, gairebé es limiten a fer d'espectadors.

**Demostracions i exploracions per a tota la classe.** El professor, amb un sol ordinador i un sistema de projecció, mostra el programa a tota la classe i l'utilitza per plantejar preguntes i promoure una discussió general. Aquesta estratègia té l'avantatge que no cal que els estudiants aprenguin a utilitzar el programa. No obstant això, és fàcil que alguns alumnes desconnectin i no participin (com passa, de fet, en qualsevol classe magistral).

**Utilització individual per a tots els estudiants.** Aquesta és, al nostre parer, la

pitjor de les estratègies. Alguns dels seus inconvenients són que es necessiten molts ordinadors (un per alumne) i que cada estudiant aprengui a utilitzar el programa. Però sobretot, la interacció verbal alumne-ordinador és molt pobre i es perd la dimensió social que és tan útil en l'aprenentatge significatiu. Només trobem justificable aquest mètode quan es tracta d'aprendre alguna habilitat mecànica (per exemple, mecanografia) o purament memorística (com les taules de multiplicar o els símbols dels elements químics).

## PER QUÈ NO HI HA MÉS MICROMONS I SIMULACIONS DE QUALITAT?

Hem vist que tenim a la nostra disposició unes quantes animacions, simulacions i micromons útils, i alguns que no ho són tant. Si volem realitzar una bona pràctica virtual en un centre d'ensenyament secundari, en la majoria dels temes en trobarem poques que siguin d'alta qualitat, especialment si volem que estiguin en català o en castellà. Per què passa això? Per què no hi ha més animacions, simulacions i micromons de qualitat?

Des del nostre punt de vista, una de les causes és que fer un bon programa educatiu d'ordinador no és fàcil. Es necessita que els autors siguin experts en programació, en disseny gràfic, en biologia i en ensenyar biologia. Molt poques persones dominen tots aquests camps alhora, per la qual cosa caldria un equip interdisciplinari. A més, fer un bon programa representa molta feina, i està molt mal pagada. En el nostre país, la majoria de la gent no té gaire respecte per la propietat intel·lectual i prefereix piratejar un programa abans que comprar-lo, per bo i econòmic que sigui. Els organismes educatius públics podrien paliar aquesta situació premiant els bons programes. El

Ministeri d'Educació i Ciència convoca periòdicament premis a programes educatius, però en les darreres convocatòries és insensible a tot el que no siguin aplicacions web. El PIE de la Generalitat de Catalunya és una rara excepció entre el desinterès generalitzat en moltes altres comunitats autònomes. Amb aquestes condicions, molts autors han de treballar en massa ocasions amb esperit d'ONG, creant aplicacions educatives a canvi de poca cosa més que la satisfacció personal.

### Adreces d'Internet amb pràctiques virtuals

Animation biologischer und chemischer vorgänge (en alemany): <http://www.hschockor.de/animat.htm>.

Cells alive (en anglès): <http://www.cellsalive.com>.

Edu365, simulacions (portal amb enllaços a diverses animacions): [http://www.edu365.com/aulanet/comsoc/Lab\\_bio/bio\\_simula.htm](http://www.edu365.com/aulanet/comsoc/Lab_bio/bio_simula.htm).

Edu365, portal amb enllaços a recursos de tot tipus en la xarxa: [http://www.edu365.com/batxillerat/recursos\\_xarxa/biologia.htm](http://www.edu365.com/batxillerat/recursos_xarxa/biologia.htm).

Gizmos, online simulations (en anglès): <http://www.explorelearning.com>.

Howard Hughes Medical Institute (animacions i laboratoris virtuals, en anglès): <http://www.hhmi.org>.

Pàgina personal de Josep M. Llort Planchadell (descripció dels programes de l'autor, incloent-hi El Joc dels Gens, amb possibilitat de baixar-se'l): <http://www.xtec.cat/~jllort1/>.

Parlem d'evolució (pàgina creada per Cristina Villalba, amb lliçons interactives, animacions i activitats): <http://www.xtec.cat/~cvillalb/evolucio/indexf.htm>.

Sumanas inc (en anglès): <http://sumanasinc.com/webcontent/animation.html>.

The gene machine (en anglès): <http://www.sonic.net/%7Enbs/projects/bio115l>.

### BIBLIOGRAFIA

- ÁLVAREZ, S. M.; CARLINO, P. (2004). «La distancia que separa las concepciones didácticas de lo que se hace en clase: el caso de los trabajos de laboratorio en biología». *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2): 251-262.
- CAAMAÑO, A. (2004). «Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos?». *Alambique*, 39: 8-19.
- CANO, M.; CAÑAL, P. (2006). «Las actividades prácticas, en la práctica: ¿Qué opina el profesorado?». *Alambique*, 47: 9-22.
- GRAU, R. (1991). «Es poden transformar les pràctiques en treballs d'investigació?». *Butlletí del Col·legi de Llicenciats*, 78: 50-52.
- IZQUIERDO, M.; SANMARTÍ, N.; ESPINET, M. (1999). «Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales». *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1): 45-59.
- JONASSEN, D. H. (1994). «Thinking technology: toward a constructivist design model». *Educational Technology* (abril): 34-37.
- LLORT, J. M. (2000). «El Joc dels Gens: un micromón per ensenyar i aprendre genètica mendeliana». [Tesina no publicada, UAB]
- LLORT, J. M.; GARCIA, P. (2000). «El juego de los genes: aprendiendo a utilizar modelos biológicos en un micromundo genético». *Bio, Revista del Colegio Oficial de Biólogos*, 20: 6-9.
- OSBORNE, J.; SQUIRES, D. (1987). «Learning Science through Experiential Software». A: HELM, N. [ed.]. *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics*. Nova York: Cornell University, 1, 373-380.
- ROTH, W. M.; WOSZCZYNA, C.; SMITH, G. (1996). «Affordances and constraints of computers in science education». *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9): 995-1017.
- SPAIN, J. D. (1985). «Classroom strategies for using microcomputer courseware». *The American Biology Teacher*, 47(2): 120-122.
- TOBIN, K. (1980). «The effect of an extended wait time on science achievement». *Journal of Research in Science Teaching*, 17: 469-475.