



# Pensar, fer i entendre ciència a través de l'error.

Jordi Soler Garcia

Institut Escola Mirades (Barcelona).

Departament de Biologia Evolutiva, Ciències Ambientals i Ecologia. UB.

[jsoler40@xtec.cat](mailto:jsoler40@xtec.cat)

**Resum** • El procés de construcció del coneixement científic és complex, dinàmic i col·lectiu a partir de l'argumentació basada en evidències, on l'error hi té un paper fonamental. La identificació d'errors i la reflexió al voltant d'aquest element són pràctiques científiques habituals, i sovint actuen com a motor d'aprenentatge, fent que les recerques avancin. Tanmateix, la ciència escolar sovint encara fomenta una visió de la ciència massa simple, lineal i centrada en el producte final, on l'error no hi té cabuda. En aquest article es descriuen algunes experiències d'aula basades en un enfocament indagatiu on l'error s'aprofita per a desenvolupar la competència científica de l'alumnat.

**Paraules clau** • error, indagació, ECBI, IBM, pràctiques investigadores, competència científica

---

## Thinking, doing and understanding science from errors.

**Abstract** • The process of construction of scientific knowledge is complex, dynamic, collective and built on evidence-based argumentation, in which error plays a fundamental role. The identification of errors and the subsequent reflection are common scientific practices, and often act as a learning engine, moving research forward. However, school science often continues to foster a vision of science that is too simple, linear and focused on the final product, where there is no room for error. This article describes some classroom experiences based on an inquiry approach in which error is used to develop students' scientific competence.

**Keywords** • error, inquiry, IBSE, IBM, research practices, scientific competence

---

## L'ERROR I LA CIÈNCIA

L'error és part fonamental del procés de construcció del coneixement científic i, en una escala de temps inferior, és present en el dia a dia de científics i científiques. L'error, com l'atzar, genera situacions imprevistes que obren la porta a noves preguntes i conviden a la reflexió i la discussió sobre la metodologia utilitzada o sobre la concepció de determinats models. De fet, la història de la ciència està farcida de descobriments imprevistos –anomenats serendipitats–, alguns dels quals es van produir fruit d'un error. La por a equivocar-se sobrevola les ments de científics i científiques, que mai podem estar segures que els resultats de les nostres recerques no reflecteixin errors procedimentals o conceptuals. Com es pot tenir la certesa que els resultats d'una recerca són vàlids si ets la primera persona en investigar aquella mostra o en utilitzar una metodologia particular? Bona part del nostre temps, el dediquem a pensar noves maneres de comprovar que els nostres resultats són vàlids o a fer nous anàlisis i proves per identificar possibles errors. També és habitual sentir frustració de saber que estem fent alguna cosa malament però no saber el què. Els i les científiques assumim l'error com una part inherent, gairebé inevitable, de la nostra feina i l'aprofitem com una oportunitat de millora constant de les nostres pràctiques.

Segons l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE), el domini de la competència científica implica l'habilitat d'utilitzar models per interpretar la realitat (dimensió conceptual), el desenvolupament d'habilitats de raonament científic (dimensió procedimental) i la comprensió de la naturalesa de la ciència i sobre la manera com es construeix el coneixement científic (dimensió epistèmica) (OECD Publishing, 2019). A Catalunya, per tal d'afavorir el desenvolupament de la competència científica, el currículum es fragmenta en 15 competències científico-tecnològiques. En aquest entramat de competències, hi ha dues que fan referència al procés de construcció del coneixement científic. Per una banda, la competència 4 suposa ser capaç de dissenyar i realitzar recerques científiques per tal

de resoldre problemes científics d'àmbit escolar. Això implica fer preguntes investigables, identificar les variables que hi intervenen, fer hipòtesis sobre la relació entre les variables, controlar les altres variables, planificar les rèpliques, efectuar mesures amb precisió, enregistrar i representar dades, avaluar els resultats, extreure conclusions, comunicar la investigació, entre d'altres processos. Per altra banda, la competència 6 té un caire epistèmic, i implica reconèixer i aplicar processos relacionats amb el procés d'elaboració i validació del coneixement científic. Per tal que l'alumnat pugui assolir aquestes competències és evident que cal incorporar la realització de recerques i activitats investigadores dins l'aula.

Les pràctiques investigadores o indagatives són aquelles que tenen per objectiu el desenvolupament d'una recerca orientada a respondre una pregunta per a la que l'alumnat encara no té resposta. En contrast amb les pràctiques instrumentals o demostratives, que tenen poc valor competencial, en aquestes pràctiques el domini de tècniques i instruments o model científics s'adquireixen en el context d'una recerca, que implica habilitats de raonament científic, com formular preguntes, dissenyar experiments o extreure conclusions a partir de la interpretació de dades (Domènech-Casal & Ruiz, 2016). Cal aclarir, per tant, que les pràctiques de laboratori no es poden considerar investigables només pel fet de fer-se en el laboratori o utilitzar instruments científics. En aquest sentit, encara és massa freqüent el plantejament de pràctiques de laboratori com una part íntegra del currículum; de manera que l'alumnat treballa unes hores fixes a la setmana en aquest espai, on du a terme activitats bolet, sovint de caire demostratiu o procedimental (aquesta setmana toca fer una dissecció d'un peix, la setmana vinent toca observar cèl·lules al microscopi i d'aquí dues setmanes estudiarem els processos osmòtics).

Tanmateix, la preparació d'activitats investigables no és senzilla i un mal disseny pot ser contraproductiu en tant que poden tenir un baix valor educatiu i plantejar una sèrie d'interferències que dificultin l'aprenentatge de l'alumnat (Hodson, 1994). En concret, les pràctiques científiques

escolars tendeixen a simplificar el procés de construcció del coneixement científic, generant una visió de la ciència basada en un mètode científic lineal, rígid i perfecte, on els resultats sempre s'ajusten a les hipòtesis, allunyada de les pràctiques reals basades en un mètode complex, dinàmic i consensuat a partir de l'argumentació basada en evidències (Fernández *et al*, 2002). Per tal de promoure el desenvolupament d'una competència científica íntegra, les estratègies basades en la indagació, com l'Ensenyament de les Ciències Basades en la Indagació (ECBI) o la Indagació Basada en la Modelització (IBM), proposen la realització d'activitats investigadores a través de les quals l'alumnat s'immergeix en les pràctiques cognitives, epistemiques i socials de la ciència necessàries per a la construcció de models i explicacions rellevants (Duschl & Grandy, 2013; Simarro Rodríguez, Couso, & Pintó, 2013; Tena Gallego & Couso, 2020). En aquest sentit, la literatura ofereix nombrosos exemples on es descriu el desenvolupament d'activitats basades en la indagació (per exemple, Domènech-Casal & Ruiz, 2016; Tena Gallego, Garrido Espeja, & Babot, 2018). Tanmateix, i malgrat que l'error és un element inherent a qualsevol investigació, encara manquen experiències que mostrin l'error com a quelcom normal en el transcurs d'una recerca i descriguin situacions d'aula on l'error es pugui utilitzar com un recurs per tal de promoure el desenvolupament de la competència científica de l'alumnat.

## L'ERROR I L'APRENTATGE

A banda de ser un element inherent de la ciència; en tant que permet avançar en la construcció de nou coneixement, l'error també juga un paper destacat en l'aprenentatge (no només de les ciències). Els errors de l'alumnat informen de possibles concepcions alternatives o de les seves dificultats conceptuals i procedimentals i l'exploració d'aquests errors permet pensar estratègies per superar aquestes dificultats (Sanmartí, 2020). En aquest sentit, l'error és quelcom normal i necessari en qualsevol procés d'aprenentatge. Aprendre comporta avaluar els errors i les dificultats que es van generant al fer

qualsevol activitat; i l'objectiu d'una bona avaluació és que l'alumnat sigui capaç d'autoregular-se i d'aprendre cada vegada de manera més autònoma. Com a font d'autoavaluació i aprenentatge, l'error juga un paper en el desenvolupament de les habilitats i competències metacognitives de l'alumnat (què sabia i què sé ara; quines dificultats i errors he tingut i com els he superat; què he de tenir en compte la propera vegada que em trobi amb una dificultat o un error similar, etc.).

Tot i que una bona gestió de l'error és clau per aprendre, en moltes aules encara es percep com quelcom negatiu, que s'ha d'evitar i que, si apareix, s'ha de penalitzar. Si volem canviar aquesta concepció de l'error i convertir-lo en un aliat dels i les aprenents, el professorat hem de treballar per crear un bon clima d'aula, on aquest component es pugui expressar amb total naturalitat per tal de revisar-lo posteriorment. És imprescindible disposar d'espais on l'alumnat tingui l'oportunitat d'identificar dificultats i errors i trobi camins per superar-los.

## APROFITAR L'ERROR PER A GENERAR APRENTATGES CIENTÍFICS

Per tant, l'error és un element inherent en la ciència i en el seu aprenentatge. Per això, en aquest article es relaten quatre situacions d'aula on s'aprofita aquest element com a palanca per promoure el desenvolupament d'aprenentatges i habilitats pròpies de la competència científica en l'alumnat, de tal manera que tan professorat com alumnat puguem canviar la percepció que tenim dels errors. L'objectiu de l'article és identificar quins elements o punts clau comuns en aquestes situacions possibiliten la introducció de dinàmiques epistemiques al voltant de l'error en les activitats d'indagació escolar.

Les quatre narracions, algunes de les quals presenten un exemple concret i d'altres són més abstractes, fan referència a experiències viscudes durant algunes de les activitats investigadores dutes a terme a la matèria de biologia i geologia de 1r d'ESO de l'Escola Augusta durant el curs 2020-2021. Tot i que en un principi es va considerar la inclusió d'altres experiències en l'article, les quatre

descrites s'han seleccionat perquè exemplifiquen diferents tipus d'errors que apareixen en diferents etapes d'una activitat investigadora i mostren com aquests es poden aprofitar per tal de treballar les diverses dimensions de la competència científica (dimensió conceptual, procedimental i epistèmica).

### 1. Aprofitar l'error per a revisar models científics

Hi ha errors que criden molt l'atenció de l'alumnat i generen un munt de preguntes, les quals es poden aprofitar per iniciar i revisar la construcció de models científics. En aquest sentit, l'última recerca del curs 2020-2021 va consistir en investigar l'efecte antimicrobià de varies substàncies, inclòs el gel hidroalcohòlic present en totes les nostres aules. Per fer-ho, l'alumnat va dissenyar un experiment que requeria l'ús de plaques de petri. En el moment de repartir el material estèril entre l'alumnat, el professor (com el professor soc l'autor de l'article, a partir d'ara em dirigiré a mi mateix en primera persona), va observar que en algunes d'elles havien crescut bacteris i floridures. En aquest punt, podria haver retirat les plaques contaminades i iniciar l'experiment tal i com estava previst. En canvi, en aquell moment vaig decidir fer visible l'error en el material i mostrar les plaques contaminades a l'alumnat. Us podeu imaginar les cares de sorpresa i fàstic dels nens i nenes, que per primera vegada veien aquelles taques grogues, blanques i negres, i l'allau de preguntes que van formular. Les primeres preguntes estaven relacionades amb l'observació; amb el què. *Què és aquesta taca groga?, La taca groga i la blanca són el mateix?, La taca blanca és peluda?* Després d'identificar que les taques eren bacteris i fongs –l'alumnat ja tenia coneixements previs d'aquests éssers vius–, les preguntes es van tornar més interessants i es van centrar en el per què i el com. *Per què s'ha contaminat les plaques?, Com han arribat els bacteris a les plaques?* o –atenció a aquesta pregunta que em va fer una alumna– *Com has posat els bacteris i les floridures a les plaques?* La discussió que es va produir a l'aula arran d'aquestes i d'altres preguntes em van permetre explorar les idees prèvies de l'alumnat envers la teoria de la generació espontània i fer trontollar algunes de les seves preconcepcions. A més, una de les plaques de petri mostrava una

petita taca de condensació. Com que en unitats anteriors l'alumnat havia treballat la funció de nutrició, vaig aprofitar-ho per continuar enriquint el model de nutrició i d'ésser viu. Així, quan es va preguntar a l'alumnat *Com ha arribat aquesta aigua fins la placa?*, els nens i nenes, de manera guiada, van ser capaces d'identificar l'origen de l'aigua com un producte de la respiració cel·lular, arribant a la conclusió que es trobaven davant d'una evidència de que els bacteris respiren. Aquest procés de construcció i revisió en espiral de models científics s'anomena modelització (Couso, 2014; Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008).

La sessió va donar molt de sí. No es va iniciar l'experiment, però va servir per explorar les idees inicials de l'alumnat envers la teoria de la generació espontània (en sessions posteriors es va recuperar el debat sobre l'origen dels bacteris i les floridures per tal de començar a construir el model de reproducció dels éssers vius) i per revisar i seguir construint d'altres models, com el de la nutrició. I tot això es va produir gràcies a que el professor va decidir donar visibilitat a un petit error com era l'aparició d'uns bacteris i unes floridures allà on no tocava, en un material teòricament estèril.

### 2. Aprofitar l'error per aprendre procediments científics

El disseny d'experiments és un dels processos propis de les activitats investigadores que generen majors dificultats en l'alumnat de 1r d'ESO. El control de variables i l'ús de rèpliques són dos elements que no són massa obvis i, en general, els i les alumnes tendeixen a plantejar experiments sense tenir-los en compte. Els errors comesos durant el procés de disseny experimental permeten treballar el desenvolupament de les dimensions procedimentals i epistèmiques de la competència científica.

En termes generals, es poden distingir dues estratègies a l'hora d'aprofitar els errors que apareixen en aquesta etapa de les activitats investigadores: es pot promoure la identificació dels errors i la reflexió entorn a la millora del disseny de l'experiment abans o després d'haver-lo dut a terme. Aquestes dues estratègies, que promouen aprenentatges relacionats amb la dimensió

procedimental de la ciència, no són oposades i, sovint, és recomanable revisar la validesa d'un disseny experimental abans i després de fer l'experiment.

La primera estratègia consisteix en promoure la reflexió de l'alumnat envers la validesa d'un disseny experimental abans de fer l'experiment, de tal manera que els i les alumnes tenen l'oportunitat d'identificar possibles errors i corregir-los. Per tal d'ajudar l'alumnat a pensar experiments ben controlats i fer prediccions dels possibles resultats es recomana l'ús de bastides didàctiques, com la taula de desenllaços (Domenech Casal, 2013), que ajudin l'alumnat a pensar experiments ben controlats i a fer prediccions dels possibles resultats (taula 1). Sovint l'ús d'aquestes eines ha d'anar acompanyada d'un diàleg socràtic entre professorat i alumnat, que guiï aquesta reflexió.

DISSENY D'EXPERIMENTS				
En què ens fixarem, què observarem:				
Taula de Desenllaços	Mostra 1		Mostra 2	Voldria dir que...
Si...	.....	i...	.....	
Si...		i...		
Si...		i...		

Taula 1: Taula de desenllaços. Imatge extreta de Domènech-Casal & Ruiz (2016).

Aquesta primera estratègia resulta útil quan es realitzen experiments llargs (per exemple, observar si la llum influeix en el creixement d'una planta), de tal manera que no és viable tornar a repetir tot l'experiment. Si optem per aquesta opció, és important que els i les alumnes disposin de diversos espais i moments per pensar i repensar els dissenys experimentals, de tal manera que puguin aparèixer aquells punts conflictius (o errors) que ens interressi més treballar. La figura 1 mostra un exemple d'unes activitats extretes d'una seqüència didàctica més extensa, on el disseny d'un experiment es pensa de manera col·lectiva, a través d'un dossier de treball estructurat. L'alumnat havia de pensar un experiment per comprovar diferents hipòtesis relacionades amb la fermentació del llevat (potser la massa de la pizza augmenta de volum perquè el llevat es divideix, potser la massa de la pizza augmenta de volum perquè el llevat augmenta de mida, potser la massa de la pizza

**Activitat 8.** Formeu grups de 4 persones, segons el vostre identificador. Cada grup ha de pensar i dissenyar un experiment per tal de resoldre una de les 3 hipòtesis plantejades.

Per fer l'experiment disposeu del següent material, però no heu d'utilitzar tot el material obligatòriament.

- 10 ampolles d'aigua
- Proveta (mesurar volum d'aigua)
- Comptagotes
- Bàscula de laboratori
- Microscopi
- Portaobjectes i cobreobjectes
- Aigua calenta
- Llevat
- Sucre
- Globus

Penseu amb el vostre grup quin experiment faríeu per tal de comprovar si la vostra hipòtesi és certa o falsa. Després descriuiu-lo en el següent espai, de la manera més concreta possible:

**Activitat 9.** Presenteu la vostra proposta a la resta de la classe i apunteu els comentaris de millora que rebeu per part del professor i de la resta de companys/es:

**Activitat 10.** Torneu a descriure la vostra proposta d'experiment, incorporant totes les millores rebudes.

Figura 1: Fragment d'una fitxa on es pot veure la seqüenciació proposada enfocada al disseny experimental. En primer lloc, l'alumnat (en grups petits) pensa una primera proposta experimental. A continuació, cada grup rep *feedback* d'altres grups i del professorat, i torna a redactar l'experiment, incloent les millores rebudes. En aquesta segona part (activitat 9), el professor és responsable de guiar la posada en comú i conduir la reflexió de l'alumnat cap a la detecció d'errors en el disseny experimental i la cerca de possibles solucions. Una explicació més detallada de la seqüència didàctica i el dossier utilitzat es poden trobar en el següent enllaç [2].

augmenta de volum perquè el llevat allibera un gas).

Tanmateix, de vegades a l'alumnat li resulta complicat preveure els errors que pot tenir un determinat disseny experimental i, per tant, hi ha ocasions on pot ser interessant animar a l'alumnat a fer l'experiment tal i com el planteja des d'un inici, *empenyent-los* a cometre diversos errors procedimentals (experiments no controlats, manca de rèpliques, etc.). En aquests casos, la segona estratègia es basa en que la reflexió sobre la idoneïtat de l'experiment i la proposta de millores metodològiques es produeix després de l'obtenció de resultats. Segons la meua experiència, aquesta estratègia didàctica funciona molt bé quan es tracta d'experiments curts (observar cèl·lules, observar si el llevat fa la fermentació, etc.) o d'experiments virtuals, perquè permet a l'alumne/a corregir el seu disseny experimental i tornar a fer l'experiment de nou. Aquesta revisió es pot dur a terme a partir de

preguntes que posin de manifest possibles conflictes o punts crítics de l'experiment. El següent diàleg mostra un exemple de com es pot promoure la reflexió sobre la validesa d'un disseny experimental. El diàleg es va produir en el context d'un experiment virtual utilitzant el laboratori virtual Photolab, de Golatz [1].

- Professor (P): Aleshores, a quina conclusió has arribat després de fer l'experiment?
- Alumne (A): Que la temperatura afecta a la intensitat amb que la planta fa la fotosíntesi.
- P: I com has arribat a aquesta conclusió?
- A: Per què quan hi ha menys temperatura surten menys bombolles; i quan hi ha més temperatura es veuen més bombolles.
- P: La intensitat de la llum era constant tota l'estona?
- A: Al principi estava tancada i després quan m'he adonat d'això, l'he obert.
- P: Per tant, has comptat moltes bombolles quan hi havia alta temperatura i llum; i n'has comptat poques quan hi havia baixa temperatura i no hi havia llum, oi?
- A: Sí.
- P: Aleshores, pots estar segura que la intensitat fotosintètica depèn únicament de la temperatura?
- A: Potser també de la llum.
- P: Ah. Però nosaltres volem investigar si depèn de la temperatura. Com ho podem fer?
- A: Variant la temperatura i deixant constant la intensitat de la llum.
- P: És clar. Això és el que anomenem control de variables. Per què creus que és important mantenir constants totes les variables excepte una, la variable que volem investigar (independent)?
- A: Si no ho fem no podem saber si els resultats són deguts als canvis en aquesta variable independent o hi ha altres variables que estan influïent.

Quan l'alumnat està immers en el procés de disseny experimental, és un molt bon moment per tal de reflexionar i aprendre sobre el procés de construcció del coneixement científic. En aquest sentit, moltes vegades les discussions d'aula que s'inicien per conflictes dins del disseny experimental es poden enfocar des d'un punt de vista epistemològic, promovent la comprensió de la

naturalesa de la ciència. Per exemple, si una alumna proposa l'elaboració d'un experiment sense rèpliques, es pot promoure la seva reflexió sobre la relació entre el nombre de rèpliques i la certesa dels resultats, a través de preguntes molt senzilles com *Després de fer aquest experiment, estaràs 100% segura que els resultats són certs?, Què podries fer per estar encara més segura dels resultats obtinguts?* En aquest sentit, a la següent experiència s'aprofundeix una mica més en com es pot aprofitar l'error per tal de comprendre la naturalesa de la ciència i del coneixement científic.

### 3. Aprofitar l'error per entendre la naturalesa de la ciència

Tot i que un experiment segueixi un disseny impecable, els resultats sempre estan associats a un determinat grau d'error (o, dit d'altra manera, de certesa). En aquest sentit, l'alumnat ha de comprendre que la ciència no ofereix certes absolutes, si no que genera explicacions que considerem més o menys certes a través d'un procés d'argumentació en comunitat basada en les evidències disponibles en cada moment. De fet, la base del progrés científic és la naturalesa canviant del coneixement, i les idees i els procediments que es consensuen com a més adequats en un determinat moment solen requerir l'experiència d'errors previs.

Hi ha instruments expressament dissenyats per ajudar l'alumnat a desenvolupar la capacitat de pensar i avaluar els coneixements científics en termes de certesa-incertesa, com l'escala de certes (Domènech-Casal, 2019), però les activitats investigadores permeten promoure el desenvolupament d'aquesta habilitat d'una manera molt natural. Així, és interessant que al final d'una experimentació es fomenti la discussió sobre la validesa dels resultats obtinguts o la certesa de les conclusions a les quals s'arriba.

En relació amb la validesa dels resultats, l'alumnat hauria de ser capaç de determinar si les dades recollides són prou precises i reproduïbles, o si, pel contrari, s'ha comès algun tipus d'error durant el disseny o el desenvolupament de l'experiment i, en conseqüència, cal posar en quarantena algunes de les dades o, fins i tot,

repetir l'experiment. En l'experiència anterior s'han abordat algunes estratègies per a gestionar adequadament els errors que apareixen en el disseny experimental, tanmateix, l'anàlisi de les observacions o resultats experimentals hauria de tenir en compte la seva pertinència, exhaustivitat i precisió. En aquest sentit, per tal de fer un anàlisi crític dels resultats d'una recerca, l'alumnat ha de ser capaç de comprendre que el resultat més cert d'un experiment és aquell que incorpora una probabilitat d'error més petita. Per tal de treballar el desenvolupament d'aquesta habilitat cal començar a incorporar l'error en la representació de dades. Per exemple, una idea que es podria dur a terme a 1r d'ESO és el plantejament de preguntes curtes amb un estil TSS (*Testing Scientific Skills*) que incorporin dades amb els seus errors associats, per exemple a través de gràfics amb barres d'error (Goytia, Besson, & Domènech-Casal, 2016). La representació de dades en forma de gràfics de dispersió també és una eina que dona molt de joc a l'hora de reflexionar sobre la validesa de les dades recollides. A tall d'exemple, la figura 2 mostra els gràfics de dispersió que va fer l'alumnat en el marc de la recerca descrita en la primera experiència en la que s'observa el nombre de colònies bacterianes que creixien en diferents plaques de petri després d'haver-se rentat les mans amb diferents substàncies (aigua, sabó o gel hidroalcohòlic). Com es veu en la figura, l'alumnat va haver de registrar les dades observades, primer en forma de taula i posteriorment en forma de gràfic de dispersió. Tot i que el registre de dades en forma de taula permet una interpretació adequada d'aquestes, la representació gràfica facilita una discussió més profunda al voltant de la naturalesa de les observacions i permet treballar diversos continguts i habilitats de raonament científic, així com introduir un llenguatge propi de les matemàtiques en les explicacions de l'alumnat d'una manera natural. Així, l'alumnat va poder interpretar les observacions en termes d'agrupació i dispersió de dades, van sorgir conceptes com mitjana o *outliers* i es van associar algunes dades amb possibles errors procedimentals.

En referència a la certesa de les conclusions, l'alumnat hauria de ser capaç de determinar si les interpretacions que es fan dels resultats d'un

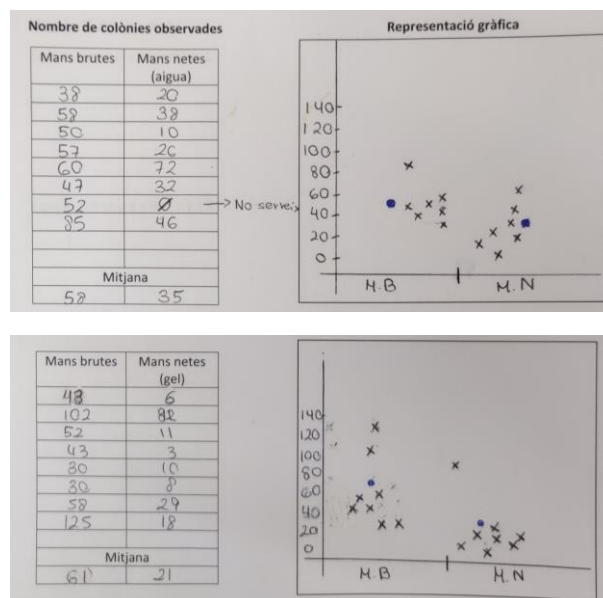


Figura 2: Registre de les colònies observades durant l'experiment. A les taules de l'esquerra, l'alumnat registra el nombre de colònies observades en una placa de petri abans de rentar-se les mans i després de rentar-se-les amb aigua (primera taula) o gel hidroalcohòlic (segona taula). Per reduir la mida de la figura, no es presenten els registres de les colònies observades després de rentar-se les mans amb sabó. Cada observació correspon a una placa de petri (cada placa de petri correspon a un/a alumne/a). A la dreta es representen les mateixes dades en forma de gràfica de dispersió. Les observacions es representen amb una "x" i la mitjana de cada tractament es representa amb un punt blau.

experiment són raonables, sempre tenint en compte els coneixements i models previs. En aquesta interpretació també haurien d'utilitzar-se arguments epistèmics; sobre com funciona la ciència. En cursos més avançats aquesta discussió pot arribar a nivells de profunditat elevats, tanmateix, a 1r d'ESO és un èxit si s'aconsegueix que l'alumnat sigui conscient que una conclusió és més certa a mesura que hi ha més evidències i que el resultat que s'obté després de fer 100 experiments té un grau de certesa superior al que s'obté en un sol experiment. És recomanable dedicar, de manera sistemàtica després de cada recerca, una franja de temps per a fomentar la reflexió sobre el rang de certesa-incertesa de les conclusions. Aquesta reflexió es pot estimular a través de les preguntes del professorat. A continuació es mostra la reconstrucció d'un diàleg on es poden llegir algunes d'aquestes preguntes,

en el context de la mateixa recerca que la que es mostra en la figura 2.

- Professor (P): De l'1 al 100%, com de segura estàs que els resultats observats són certs?
- Alumna (A): Un 60% segura.
- P: Per què estàs segura en un 60%?
- A: Per què potser no totes les persones ens hem rentat les mans amb la mateixa quantitat de substància (aigua, sabó o gel) o hi ha algú que s'ha rentat les mans més estona que la resta (vam acordar rentar-nos les mans durant 10 segons) [3]
- P: Què podríem fer per tal d'estar més segurs dels resultats?
- A: Podríem repetir l'experiment una vegada més.
- P: Si repetíssim l'experiment una vegada més, podríem estar segurs que no es produirien els mateixos errors que has comentat abans?
- A: No, però si els resultats són els mateixos o molt similars aleshores podem estar més segurs de la seva validesa.
- P: Aleshores, què podríem fer per estar encara més segurs, gairebé amb un 100% de confiança, de la certesa de les teves conclusions?
- A: Repetir l'experiment moltes vegades més.
- P: Si repetíssim l'experiment 100 vegades, estaries 100% segura que els resultats són vàlids i que la teva conclusió és certa?
- A: No podria estar 100% segura però m'hi acostaria.

#### 4. Els professors i les professores també ens equivoquem

Els errors descrits anteriorment són propis de les activitats d'indagació (contaminació de mostres, experiments mal dissenyats, l'error associat als resultats). A continuació, s'introdueix un error que, malgrat no ser inherent del funcionament de la ciència, qualsevol docent ha experimentat: l'error

en l'organització de les activitats i la gestió de l'aula. Qualsevol errada en aquests àmbits pot convertir una activitat en un autèntic desastre.

Justament això és el que va passar en una de les sessions d'aquest passat curs. L'alumnat havia dissenyat una sèrie d'experiments, força complexos i llargs, per tal de comprovar quatre hipòtesis relacionades amb l'increment de volum de la massa de la pizza quan es deixa fermentar. Tot i una bona preparació, tant per part del professor com de l'alumnat, el dia de l'experimentació va ser un desastre absolut, fins el punt de no poder acabar l'experiment. Les condicions en les que havia de dur-se a terme l'activitat no eren les més adequades. L'experimentació havia de fer-se en una franja d'una hora de durada, amb la presència d'un sol professor i en dues aules ordinàries que no estaven equipades adequadament (degut a les mesures anti-covid, aquest passat curs el laboratori es va convertir en l'aula de 4t d'ESO). En aquest context, durant les sessions anteriors es va fer una planificació molt acurada dels passos a seguir el dia de l'experimentació amb la intenció que l'alumnat treballés de manera autònoma, però a l'hora de la veritat els i les alumnes van tenir moltes dificultats per seguir les instruccions acordades prèviament i les demandes al professor van ser constants, amb el resultat que vaig acabar sobrepasat i frustrat per no poder arribar a tot arreu. El més fàcil per mi hauria estat assumir l'error en l'organització de l'activitat i oblidar-me de la recerca. En canvi, la sessió següent la vam dedicar a pensar, conjuntament entre l'alumnat i jo, per què no havia rutllat l'organització de l'experiment. El primer que vaig fer a l'arribar a classe va ser reconèixer l'error i demanar disculpes. Si es vol aconseguir que l'alumnat normalitzi i aprengui de l'error i, no menys important, aprengui a gestionar la frustració o la decepció derivada d'aquests, ha de tenir oportunitats de veure com es fa. Posteriorment, l'alumnat va donar la seva opinió i es va arribar a la conclusió que la recerca plantejada era massa ambiciosa i que no disposàvem ni de suficient temps ni suficients recursos materials i personals per dur-la a terme amb èxit. Aleshores vam decidir repensar l'experimentació i fer-la més senzilla (quan la vam repetir, va funcionar molt bé). Arran



de la situació viscuda, l'alumnat va experimentar de primera mà la importància que tenen els recursos en qualsevol recerca i es va promoure un espai de diàleg on es va parlar sobre temes propis del funcionament de la ciència, com és la diferència de recursos entre grups d'investigació (diners, temps, persones i tecnologia), el sistema de finançament de la ciència (beques i projectes d'investigació) o la importància que tenen les col·laboracions entre grups per tal de dur a terme recerques més ambicioses.

Aquest exemple pretén demostrar com, fins i tot a partir dels errors més rotunds, si es promouen espais de reflexió, exploració, anàlisi, discussió i argumentació, es poden generar situacions potencialment riques d'aprenentatges, en aquest cas sobre la naturalesa de la ciència, per ajudar a transformar la mirada naïf de l'alumnat envers la ciència.

## CONCLUSIÓ: EQUIVOQUEM-NOS

L'error és part fonamental de la ciència. Es tendeix a pensar que el coneixement científic és un saber immutable i definitiu, quan en realitat és provisional i està sotmès a revisió permanent. El que es considera vàlid en un moment determinat, pot considerar-se erroni en un altre, a la llum de noves evidències. Així, l'error i la incertesa són dos elements intrínsecs a la pròpia naturalesa del coneixement científic. Ahora, l'error és un factor fonamental en el dia a dia de científics i científiques. Moltes recerques segueixen un principi de prova-error i, sovint, l'aprenentatge sorgeix de la reflexió post-error. En aquest sentit, és evident que si volem que l'alumnat tingui una visió el més real possible de la ciència i del seu funcionament, cal introduir l'error com un ingredient més de les pràctiques investigadores.

En aquest article s'ha volgut mostrar algunes situacions d'aula en les que es pot utilitzar l'error per tal de promoure aprenentatges de ciència i sobre ciència. L'error permet impactar en aspectes molt diversos de la competència científica i, com a mostra, en les quatre narracions compartides s'hi tracten, per ordre, la dimensió conceptual,

procedimental i epistèmica de la ciència; i també s'hi presenta una humil reflexió metacognitiva.

Incorporar una mirada explícita a l'error ha millorat les pràctiques científiques escolars que proposo a l'aula i penso que també pot ser d'ajut per a d'altres docents. A banda, l'error forma part del procés d'aprenentatge i jo, com a docent, estic aprenent i cometent errors constantment. Amb els anys he après a gestionar els errors de manera positiva, i a no tenir por d'equivocar-me; ja que, de fet, he descobert que quan cometo errors es generen noves situacions a l'aula, que estan potencialment carregades de nous aprenentatges inesperats, i m'agrada estar alerta per poder-les aprofitar.

En aquest sentit, les situacions narrades en aquest article comparteixen alguns elements o claus que m'ajuden a utilitzar l'error com a palanca d'aprenentatges. En primer lloc és imprescindible generar un clima d'aula de confiança, on l'alumnat entén l'error com un element normal (fins i tot positiu, perquè ens permet identificar on hem de posar el focus d'atenció per seguir aprenent) i qualsevol alumne/a respecta els seus propis errors, els dels i les companyes i els del professorat. Els i les docents hem de ser models i respectar els nostres errors i els de qualsevol alumne/a. Només d'aquesta manera aconseguirem que l'error s'expressi dins l'aula, i sigui percebut de manera positiva; com a quelcom necessari per aprendre.

En segon lloc, és necessari que el professorat estiguem a l'aguait i donem visibilitat a qualsevol error, però sobretot a aquells que puguin donar més de joc a l'aula. En relació amb aquest punt, penso que els i les docents hem de perdre la por a compartir les experiències d'aula que no ens han funcionat i hem d'animar-nos a explicar amb quins errors ens trobem habitualment. En aquest sentit, qualsevol eina o mitjà (articles, formacions, piulades a twitter, etc.) que ens ajudi a preveure quines dificultats o errors podem trobar en diferents situacions d'aula i com les podem aprofitar per tal de generar aprenentatges en base a la seva reflexió és molt valuosa. Per exemple, Domènech-Casal (2014) i Ferrés-Gurt (2017) comparteixen algunes de les dificultats amb que se sol trobar l'alumnat durant la confecció de preguntes

investigables i proposen algunes estratègies didàctiques que el professorat podem fer servir per revertir aquestes situacions.

En tercer lloc, una vegada l'error s'ha fet explícit a l'aula, cal destinar espais per entendre'l (per què diem que això és un error?) i reflexionar al seu voltant, des de diferents punts de vista, ja sigui metacognitiu o més propi de l'aprenentatge de les ciències. Tot i que aquestes reflexions poden ser més o menys estructurats (poden tenir forma de diàleg, de diari d'aprenentatge, etc.) és imprescindible reservar moments en el dia a dia per dur-les a terme. Per una banda, des d'un punt de vista metacognitiu, hem de promoure la reflexió sobre la importància que tenen els errors dins del procés d'aprenentatge (per què creus que t'has equivocat? si una persona ho fa tot bé a la primera, creus que està aprenent? Què has de fer per no tornar a repetir aquest error? En què s'ha de fixar el teu company per no cometre aquest error?, etc.). Per altra banda, el professorat també hem de preveure de quina manera podem aprofitar els errors que s'expressen a l'aula de ciències per tal de promoure nous aprenentatges competencials relacionats amb les dimensions conceptual, procedimental o epistèmica de la ciència. Tot i que hi ha situacions on és fàcil incorporar aquesta previsió (per exemple, si en una sessió es treballa el disseny experimental, és molt probable que es pugui donar visibilitat a un error per tal de tractar la importància de fer rèpliques o de controlar algunes variables); hi ha d'altres moments on apareixen errors inesperats i hem de ser suficientment àgils per identificar-los, ajudar l'alumnat a reconèixer-los i utilitzar-los en favor de nous aprenentatges. En aquest procés de construcció de coneixement a partir de l'error, l'ús del diàleg socràtic em resulta especialment útil com una primera estratègia per a captar l'atenció de l'alumnat i plantar la llavor del dubte; que després s'haurà de regar utilitzant altres estratègies per tal que cada alumne/a en pugui treure beneficis educatius. Aliberas Maymí (2006) mostra algunes tècniques pròpies d'aquesta estratègia didàctica.

Finalment, en relació amb el rol que juga l'error en el procés d'avaluació, cal tenir en compte que només pot corregir els errors la persona que els ha

comès (Sanmartí, 2020). Aquesta idea és fonamental si volem que l'alumnat desenvolupi la capacitat d'autoregular el procés d'aprenentatge. En aquest sentit, la tasca del professorat ha de centrar-se en promoure sistemes que afavoreixin l'autoavaluació, entesa com a reflexió sobre què cal millorar, i la coavaluació, entesa com a regulació entre iguals. Hem de passar d'una visió de l'avaluació entesa com a correcció de les produccions de l'alumnat a una avaluació entesa com a punt d'avituallament, on cada alumne/a pugui trobar i escollir el que necessita per aprendre (concepte proposat per la Clara Mestres i la Laura Espasa, i sovint utilitzat pel Jordi Domènech). En aquesta avaluació reguladora, el *feedback* o la retroalimentació esdevé una part essencial. El *feedback* implica processos dialògics mitjançant els quals els aprenents donen sentit a la informació que tenen provinent de diverses fonts i el fan servir per millorar les seves estratègies de treball i d'aprenentatge (Miller, 2015). Un bon *feedback* ha de promoure pensament i ha de ser constructiu, adequat, específic i facilitador; és a dir, ha de promoure la reflexió sobre la qualitat de les produccions de l'alumnat a través de preguntes i pistes, sense donar respostes (McCarthy, 2016). A més, un bon *feedback* ha d'oferir criteris per avançar (*feedforward*); de tal manera que només té sentit fer-lo si l'alumnat tindrà noves oportunitats de millorar les seves produccions. Quan es programen activitats investigadores (de fet, quan es programa qualsevol tipus d'activitat) és essencial pensar quins moments i quines estratègies es destinaran a l'avaluació.

En resum, en aquest article s'ha pretès compartir una sèrie de punts potencialment útils per tal de donar visibilitat als errors que apareixen a l'aula de ciències i explorar-los per tal de generar nous aprenentatges.

## AGRAÏMENTS

Agraeixo al Víctor López el suggeriment que em va fer d'escriure un article de divulgació, i al Jordi Domènech, el seu suport en la revisió d'aquest treball. Finalment, vull donar les gràcies als i a les joves que protagonitzen aquestes experiències i

que van fer que el meu pas per l'Escola Augusta fos apassionant.

## BIBLIOGRAFIA

- Aliberas Maymí, J. (2006). Diàleg socràtic a la classe de ciències. *Ciències*, 3, 29–33.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.320>
- Couso, D. (2014). *De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica*. 26EDCE. *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante*. Recuperat de <https://encuentrodedidcticadelamatematicayciencias.files.wordpress.com/2015/12/couso-2014.pdf>
- Domènech-Casal, J. (2014). Indagación en el aula mediante actividades manipulativas y mediadas por ordenador. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 76, 17–27.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4672679>
- Domènech-Casal, J. (2019). Escalas de certidumbre y balanzas de argumentos. Una experiencia de construcción de marcos epistemológicos para el trabajo con Pseudociencias en secundaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(2), 37–53.  
<https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.2.4930>
- Domènech-Casal, J., & Ruiz, N. (2016). De l'epiteli de ceba a la indagació. Un marc per a construir pràctiques investigadores cap a la Competència Científica. *Ciències*, 32, 9–19.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.24>
- Domenech-Casal, J. (2013). Escritura de artículos y diseño de experimentos: andamios para escribir, pensar y actuar en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, número especial. IX Congreso Internacional sobre investigación en Didáctica de las Ciencias (Girona 9-12 Setembre, 2013).  
<https://app.box.com/s/f0iqxkzftox4mn5nsapi/file/11647970107>
- Domènech-Casal, J. (2013). Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31(3), 249–262.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.851>
- Duschl, R.A., & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science and Education*, 22(9), 2109–2139.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9539-4>
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa Alís, J., Cachapuz, A.F., Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 20(3), 477–488.
- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 410–426.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.09](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.09)
- Goytia, E., Besson, I., & Domènech-Casal, J. (2016). Protocol TestingScienceSkills: una eina senzilla per dissenyar preguntes d'examen per a l'avaluació de les habilitats científiques de l'alumnat. *Ciències*, 30, 20–28. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.46>
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 12(3), 299–313  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4417>
- McCarthy, J. (2016). Timely Feedback: Now or Never. Recuperat de <https://www.edutopia.org/blog/timely-feedback-now-or-never-john-mccarthy>
- Miller, A. (2015). Feedback for Thinking: Working for the Answer. Recuperat de <https://www.edutopia.org/blog/feedback-for-thinking-working-for-answer-andrew-miller>
- OECD Publishing. (2019). PISA 2018 Science Framework. Dins *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework* (pp. 97–117). Paris.  
<https://doi.org/10.1787/f30da688-en>
- Sanmartí, N. (2020). Avaluar és aprendre. <https://educacio.gencat.cat/web/.content/home/departament/publicacions/colleccions/competencies-basiques/eso/avaluar-aprendre.pdf>
- Simarro Rodríguez, C., Couso, D., & Pintó, R. (2013). Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic. *Ciències*, 25, 35–43.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.92>
- Tena Gallego, È., & Couso, D. (2020). Com es pot ajudar l'alumnat a investigar en ciències? *Revista Guix. La Recerca Científica a l'aula*, (471).

<https://www.grao.com/es/producto/com-es-pot-ajudar-lalumnat-a-investigar-en-ciencias-gu47199373>

- Tena Gallego, È., Garrido Espeja, A., & Babot, Z. (2018). Involucrant a l'alumnat de primària en una pràctica científica autèntica : el taller Plantes Mutants. *Ciències*, 35, 2–8. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencias.387>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967. <https://doi.org/10.1002/SCE.20259>

## NOTES

- [1] <https://www.golabz.eu/lab/photolab>
- [2] Soler, J (2021). Fil de Twitter. Recuperat de: <https://twitter.com/jsolerga91/status/1390328122537558016?s=20>
- [3] A l'experiment es van controlar aquestes dues variables. Es va acordar que només una persona subministraria el sabó i el gel a la resta de participants i que totes les persones haurien de rentar-se les mans durant 10 segons. Una altra persona s'encarregava de controlar el temps per assegurar-se que es complien els termes acordats.