BLOC 8





La ciència experimental i la investigació

44. Recerca experimental

44 La ciència experimental i la investigació

La ciència

La **ciència** és una activitat humana que intenta conèixer i explicar el funcionament del món. Això també permet resoldre problemes i satisfer necessitats.



Figura 1. Els fòssils són evidències de l'evolució, un concepte teòric fonamental en la biologia moderna.

Per aconseguir-ho, els científics generen **teories**, que descriuen, expliquen i prediuen el funcionament del món. Les teories científiques no són «la veritat», sinó les millors idees raonades sobre com funciona el món.

Les teories científiques han de poder:

- **explicar** observacions i resultats d'experiments;
- **ser conceptualment coherents**, tant internament (entre els diferents elements de la teoria) com amb altres teories científiques importants;
- **predir** els resultats de noves observacions o experiments.

Quan un científic proposa una nova teoria, ha de convèncer la comunitat científica seguint aquests tres criteris. Algunes teories es basen en tantes evidències i fan previsions tan fiables que són acceptades per tota la comunitat científica, gairebé com un fet; això passa actualment amb la *teoria cel·lular*, la *teoria microbiana de les malalties infeccioses* i l'*evolució*. Però no totes les teories aconsegueixen l'acceptació científica.

La comunitat científica canvia i sovint fa observacions i experiments nous o proposa noves idees. La conseqüència és que **les idees i les teories científiques canvien amb el temps**. D'aquesta manera, es corregeixen errors i es guanya capacitat d'explicació i de predicció, fins i tot es donen avenços revolucionaris.

La **biologia** és la ciència que intenta conèixer i explicar els éssers vius i com funcionen. Té aplicacions en medicina, gestió del medi ambient, producció d'aliments, etc.

Els mètodes de la ciència

- Els científics es fan preguntes, formulen possibles respostes (**hipòtesis**) i les posen a prova.
- El **pensament creatiu**, entès com a **raonament inductiu**, genera idees, planteja preguntes noves i imagina possibles respostes.
- El raonament **hipoteticodeductiu** posa a prova les idees, és a dir, permet dissenyar recerques per descartar algunes de les respostes possibles, utilitzant diferents mètodes, entre els quals destaquen:
  - **Observacions:** es recullen i s'interpreten dades, sense modificar les condicions de l'ambient, com recollir fòssils en un jaciment, observar i identificar les espècies que es troben en un bosc o en una bassa, o observar cèl·lules amb el microscopi.
  - **Experiments:** es fa una acció i se n'observen les conseqüències. Són els únics procediments que permeten establir relacions de causa-efecte. Un exemple pot ser determinar experimentalment la influència d'una variable concreta (temperatura) sobre un fenomen biològic (germinació).



Figura 2. Realització d'un experiment en biologia.

Les explicacions científiques

Les persones que fan recerca en biologia sovint es plantegen preguntes del tipus «Per què...?», «Quina influència té...?», «Quina relació hi ha...?»...

Les respostes acceptables han de buscar explicacions i relacions. Si el context de la pregunta és evolutiu, aleshores cal explicar el mecanisme evolutiu que ha conduït a aquella situació. Si el context no és evolutiu, cal buscar la causa en els nivells d'organització inferiors (molecular, cel·lular...).

Algunes de les respostes que s'han proposat al llarg de la història de la ciència s'han descartat perquè són de tipus:

- **Tautològic:** diuen el mateix que l'enunciat amb altres paraules.
- **Descriptiu:** es limiten a afegir algunes dades sobre el tema, sense buscar-ne realment la causa.
- **Finalista:** es basen a perseguir un objectiu, com la utilitat, la supervivència de l'espècie o de l'ecosistema, etc. Per tant, en comptes de detallar-ne les causes, n'expliquen les conseqüències.

Per exemple:

Pregunta
Per què els paons mascle tenen una cua tan llarga i vistosa?

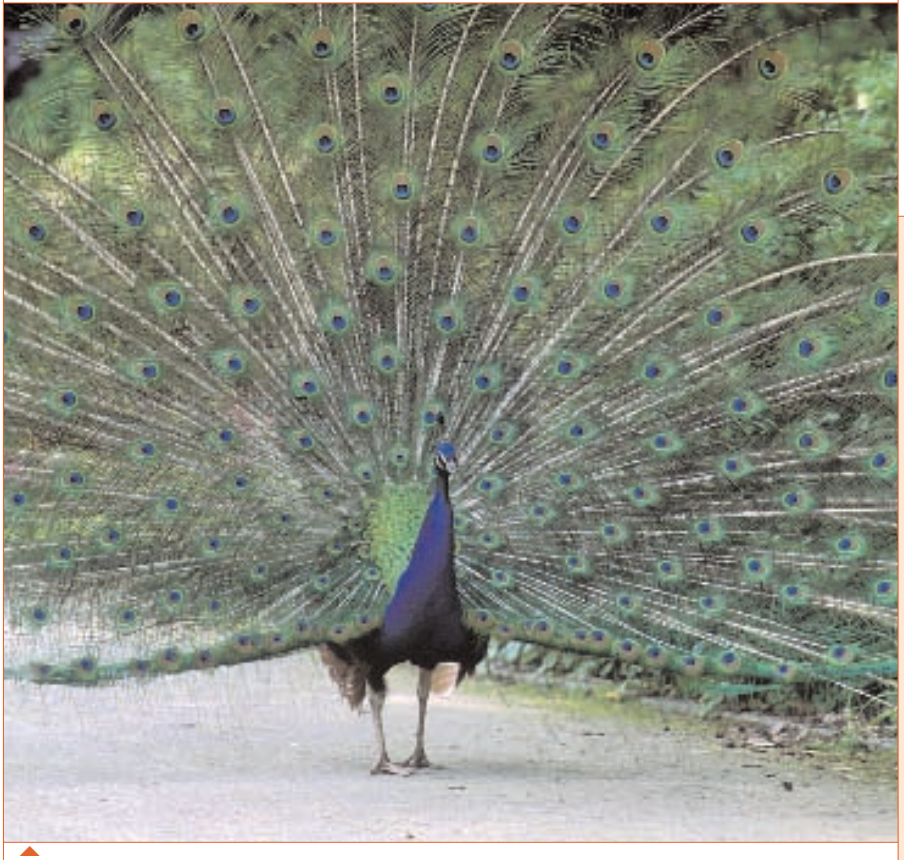


Figura 3. Els paons mascle (*Pavo cristatus*) tenen una cua molt llarga i vistosa que els molesta quan s'han de moure o necessiten fugir.

Resposta en context cel·lular i molecular
Perquè la testosterona (hormona sexual masculina) fa que les cèl·lules productores de plomes a la cua fabriquin plomes d'aquest tipus.

Resposta en context evolutiu
Perquè, entre els avantpassats dels paons, les femelles trobaven més atractius els mascles amb una cua llarga i acolorida. Per això, aquests mascles van deixar més descendents, que heretaven el seu tipus de cua. Aquesta selecció continuada ha acabat fent que predomini la cua vistosa en aquesta espècie.

Respostes inacceptables

- Perquè les plomes de la cua són molt llargues i tenen colors molt vius (resposta tautològica).
- Perquè els mascles tenen característiques, com el color i la llargada de les plomes, que no tenen les femelles; fins i tot les proporcions del cos són lleugerament diferents (resposta descriptiva).
- Perquè aquesta cua els és molt útil per cridar l'atenció de les femelles (resposta finalista).
- Perquè la natura és sàvia i els ha fet així (resposta finalista i tautològica).
- Perquè, si no la tinguessin tan vistosa, els seria molt més difícil trobar parella i l'espècie s'extingiria (resposta finalista).

44 La ciència experimental i la investigació

Experiments qualitatius

Els **experiments qualitatius** són aquells amb els quals es vol estudiar si un factor, que hi pot ser o no, influeix en els resultats.

Aquí seguirem pas a pas l'experiment de Francesco Redi (1626-1698). Des de l'antiguitat, molta gent defensava la **teoria de la generació espontània**, segons la qual els éssers vius més simples (per exemple, els cucs o les floridures) es podien formar espontàniament a partir de matèria no viva. Redi creia que aquesta teoria era falsa, que tots els éssers vius neixen a partir d'altres éssers vius. Es va proposar comprovar-ho experimentalment.

Processos	Descripció	Experiment de Redi
Problema	Una pregunta que no té una resposta segura. S'ha de plantejar en forma de pregunta i fer l'esforç de concretar-la al màxim. Si es vol relacionar dos factors, tots dos haurien d'aparèixer a la pregunta.	• D'on surten els cucs de la carn en descomposició?
Hipòtesis	Són possibles respostes al problema. Han de ser falsables (s'ha de poder comprovar si són falses). Les hipòtesis s'haurien de formular començant amb un *potser*.	**Hipòtesi acceptada anteriorment:** *Potser* els cucs s'han format espontàniament. **Hipòtesi de Redi:** *Potser* els cucs són fills de mosques que han post els ous a la carn.
Deducció	S'imagina una situació en la qual cada hipòtesi predigui un resultat diferent. Hi ha d'haver una deducció per a cada hipòtesi. La **deducció** és una oració composta amb l'estructura següent: *Suposem que* <hipòtesi>; *llavors si* <acció> *aleshores* <resultat esperat>.	• *Suposem que* els cucs de la carn són fills de mosques; *llavors si* impedim que les mosques ponguin ous a la carn, *aleshores* no trobarem cucs a la carn. • *Suposem que* els cucs es formen espontàniament; *llavors si* impedim que les moques ponguin ous a la carn, *aleshores* igualment hi trobarem cucs.
Variables independent i dependent	**Variable independent:** variable que modifiquem en l'experiment per comprovar si influeix en els resultats. Els diferents valors que donarem a aquesta variable s'anomenen *tractaments*.	• Accessibilitat de les mosques i els seus ous a la carn.
	Variable dependent: variable que observem si s'ha modificat durant l'experiment. Per tant, segons la deducció, la variable dependent depèn de la variable independent.	• Aparició o absència de cucs a la carn.
Variables controlades	Són factors, diferents de la variable independent, que podrien influir en els resultats raonablement. Per evitar que interfereixin en els resultats, les altres variables s'han de mantenir constants, és a dir, s'han de fixar en uns valors que permetin l'obtenció de resultats durant tot l'experiment.	Aquests valors són: • El tipus de carn amb el qual treballem. • La temperatura. • La humitat. • La llum. • El temps que mantenim la carn.

Processos	Descripció	Experiment de Redi
Disseny	S'ha de desenvolupar la situació imaginada en les deduccions i detallar clarament tots els passos que cal seguir. S'ha de **modificar la variable independent** i **observar els canvis en la variable dependent**.	• Posar carn dins d'un pot i tapar-lo amb una gasa, que deixi passar l'aire però no les mosques ni els seus ous. Deixar-lo al balcó, a l'ombra, en un dia d'estiu. • Durant els dies següents, observar els pots, l'arribada de mosques i l'aparició de cucs. 
	Control: conjunt d'accions per assegurar-nos que els resultats són deguts tan sols a les modificacions de la variable independent que hi introduïm. • S'ha de fer un experiment idèntic al principal amb totes les variables controlades, però sense modificar la variable independent. • Si l'experiment principal i el control donen resultats diferents, això permet assegurar que els resultats són deguts a la variable independent.	• Posar el mateix tipus i la mateixa quantitat de carn en un altre pot idèntic que el primer. Deixar-lo destapat al costat i en les mateixes condicions (llum, temperatura...). Observar-lo igual que el primer. 
	Rèplica: no n'hi ha prou amb un sol experiment per demostrar un fet. Se n'han de fer rèpliques, **repetir l'experiment** una o més vegades. Això permet descartar que els resultats siguin deguts a l'atzar (o a altres factors).	Repetir l'experiment dues vegades més en les mateixes condicions i amb el mateix tipus de control. Comprovar que els resultats siguin els mateixos.
Resultats	**S'observen** els canvis en la variable dependent al llarg de l'experiment, així com qualsevol altre canvi o fet que ens sembli rellevant. Les dades dels resultats **s'enregistren** (notes, taules, gràfics, fitxers, dibuixos, fotografies...).	• Les mosques es van posar damunt la gasa del primer pot i damunt la carn del pot sota control. • Al cap d'uns quants dies, al primer pot hi havia cucs damunt la gasa però no a la carn. En canvi, a la carn del pot sota control hi havia cucs.
Conclusions	**S'analitzen i s'interpreten els resultats**, d'acord amb el marc teòric de l'investigador. Es descarten les hipòtesis que havien predit resultats diferents dels obtinguts.	• Els cucs de la carn són larves de mosques (o d'insectes en general), que hi han post els ous. • Els cucs de la carn no s'originen espontàniament.

Experiments quantitatius

En els **experiments quantitatius**, la variable independent pot adoptar un gran nombre de valors i no se'n pot evitar l'efecte. Això modifica el nombre de tractaments necessaris i el tipus de control; per exemple, el pH o la temperatura poden presentar molts valors diferents i és impossible fer un control en què se n'evitin els efectes. Aleshores s'ha de fer un bon nombre de tractaments (almenys cinc), cadascun dels quals amb un valor diferent de la variable independent. I el control és fer tots aquests tractaments amb els mateixos valors de les variables controlades. Seguirem pas a pas l'experiment per investigar quin efecte té el pH (grau d'acidesa) de l'aigua sobre la producció fotosintètica de les llenties d'aigua (*Lemna minor*), unes plantes que viuen directament sobre l'aigua.



Figura 4. Llenties d'aigua (*Lemna minor*).

Processos	Descripció	Experiment proposat
Problema	Una pregunta que no té una resposta segura. S'ha de plantejar en forma de pregunta, fent l'esforç de concretar-la al màxim. Si es vol relacionar dos factors, tots dos haurien d'aparèixer en la pregunta.	Quin efecte té el pH de l'aigua sobre la producció fotosintètica de les llenties d'aigua?
Hipòtesis	Són possibles respostes al problema. Han de ser falsables (s'ha de poder comprovar si són falses). Les hipòtesis s'haurien de formular començant amb un *potser*.	• *Potser* el pH de l'aigua influeix sobre la producció fotosintètica, havent-hi un pH òptim. • *Potser* el pH de l'aigua no influeix sobre la producció fotosintètica.
Deducció	Cal imaginar una situació en la qual cada hipòtesi predigui un resultat diferent. Hi ha d'haver una deducció per a cada hipòtesi. La deducció és una oració composta amb l'estructura següent: *Suposem que* <hipòtesi>; *llavors si* <acció> *aleshores* <resultat esperat>.	• *Suposem que* el pH de l'aigua influeix sobre la producció fotosintètica; *llavors si* posem llenties d'aigua a diferents pH, *aleshores* observarem que la quantitat de biomassa varia amb relació al pH. • *Suposem que* el pH de l'aigua no influeix sobre la producció fotosintètica; *llavors* si posem llenties d'aigua a diferents pH, *aleshores* observarem produccions similars.
Variables independent i dependent	**Variable independent:** variable que modifiquem per comprovar si influeix en els resultats. Els diferents valors d'aquesta variable s'anomenen *tractaments*.	• El pH.
	Variable dependent: variable que observem si s'ha modificat durant l'experiment. Per tant, segons la deducció, la variable dependent depèn de la variable independent.	• La producció fotosintètica de les llenties d'aigua. / L'increment de biomassa de les llenties d'aigua.

Processos	Descripció	Experiment proposat
Variables controlades	Són factors, diferents de la variable independent, que raonablement podrien influir en els resultats. Per evitar que interfereixin en els resultats, s'han de mantenir constants, és a dir, s'han de fixar en uns valors que permetin l'obtenció de resultats durant tot l'experiment.	Consultar la bibliografia o fer una recerca prèvia per determinar els valors adequats: • del tipus de llentia d'aigua; • de la composició química de l'aigua; • de la temperatura; • de la llum; • de l'aire amb el qual estan en contacte.
Disseny	S'ha de desenvolupar la situació imaginada en les deduccions i detallar clarament tots els passos que cal seguir. S'han de **fer diferents tractaments, donar un valor de la variable independent a cada un** i **observar els canvis en la variable dependent**.	• Preparar petits aquaris amb deu litres d'aigua amb prou nutrients. • Modificar el pH de l'aigua en cadascun dels aquaris fins als valors següents: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. • Posar a cada aquari la mateixa biomassa inicial de llenties d'aigua (100 grams).
	Control: conjunt de mesures que prenem per assegurar-nos que els resultats són deguts a les modificacions que introduïm. En tots els tractaments, s'han de mantenir els mateixos valors en les variables controlades.	Tots els aquaris: • han de tenir la mateixa biomassa del mateix tipus de llenties d'aigua; • han de contenir la mateixa quantitat i el mateix tipus d'aigua; • han de ser al mateix lloc, a la mateixa temperatura i amb la mateixa il·luminació.
	Rèplica: no n'hi ha prou amb un sol experiment per demostrar un fet. Se n'han de fer rèpliques, **repetir l'experiment** una o més vegades. Això permet descartar que els resultats siguin deguts a l'atzar (o a altres factors).	Repetir l'experiment dues vegades més en les mateixes condicions i amb el mateix tipus de control. Comprovar que els resultats siguin els mateixos.
Resultats	**S'observen** els canvis en la variable dependent al llarg de l'experiment, així com qualsevol altre canvi o fet que ens sembli rellevant. Les dades dels resultats **s'enregistren** (notes, taules, gràfics, arxius, dibuixos, fotografies...).	• Durant els deu dies següents, observar els aquaris i registrar amb cura els canvis. • Al cap de deu dies, mesurar la biomassa de les llenties d'aigua en cada aquaris. • Recollir les dades en una taula i representar-les gràficament. • Estudiar la taula i el gràfic per determinar l'efecte de la temperatura sobre la producció fotosintètica.
Conclusions	**S'analitzen i s'interpreten els resultats**, d'acord amb el marc teòric de l'investigador. Es descarten les hipòtesis que havien predit resultats diferents dels obtinguts.	• Observant la taula i el gràfic, es determina si el pH influeix sobre la producció fotosintètica en les llenties d'aigua. S'enuncia, a partir de les dades de producció, quin és el pH òptim.