

7

La ciència i el mètode científic

Coneixement per experiència i coneixement científic

És prou sabut que si es llança un objecte des d'una certa alçada, aquest cau cada vegada més ràpidament. L'experiència ensenya que el cop o impacte d'un objecte és més fort com més elevat és el lloc d'on ha caigut. Però aquest coneixement per experiència no és pròpiament coneixement científic. El coneixement científic voldria esbrinar la causa d'aquest fet (la força de la gravetat), utilitzaria conceptes ben definits per descriure'l (velocitat, gravetat, temps...) i els relacionaria en la fórmula: $\text{velocitat} = \text{gravetat} \times \text{temps}$. Aquest coneixement científic concret actualment és a l'abast de tothom: un científic el va descobrir, el va fer públic i ara qualsevol investigador se'n pot servir i el pot sotmetre a proves per verificar-ne la validesa. La ciència també necessita, doncs, comunicació. I aquesta comunicació ha d'especificar clarament la metodologia que s'ha fet servir; així, altres investigadors se'n podran beneficiar i fer-ne, si cal, una anàlisi crítica.

Els treballs de recerca són una aproximació a la manera de treballar dels científics, al tipus de coneixement a què accedeixen i al mètode o tècniques que utilitzen. D'entrada, cal dir que no tots els mètodes ni totes les formes de coneixement són científics. Efectivament, qualsevol persona sap que a l'estiu fa calor i que a l'hivern fa fred. És un coneixement obtingut a través de l'observació repetida dels fets any rere any. Però, quina explicació té aquest comportament de les temperatures? Per què a l'estiu fa calor i a l'hivern no en fa? Una observació ingènua o superficial de l'entorn no ens permet d'obtenir respostes fiables i objectives a partir d'aquestes preguntes: ens

calen els procediments propis del coneixement científic. Gràcies a aquest coneixement, i després d'un seguit d'estudis i experiments, aconseguirem relacionar el fred i la calor amb l'òrbita que segueix la Terra al voltant del Sol i amb l'angle d'incidència dels raigs solars sobre la superfície del planeta. D'aquesta manera, superem el simple coneixement per experiència i entrem en el món de la ciència.

La ciència pot definir-se com un conjunt organitzat de coneixements objectius obtinguts gràcies a una metodologia ben establerta. En aquesta definició intervenen diversos elements que convé analitzar detingudament:

- La ciència és un **conjunt organitzat** de coneixements, i no consisteix en una simple acumulació desordenada de dades, sinó que tots els conceptes de què se serveix es defineixen amb precisió i es classifiquen de la manera més completa possible. Això fa que la ciència sigui diferent dels coneixements «per experiència», com els que pot adquirir un pagès que és capaç de predir el temps que farà l'endemà gràcies a una experiència acumulada durant anys, però que no disposa plenament d'un seguit de conceptes meteorològics ben establerts ni d'una classificació exhaustiva dels factors implicats, elements que sí que manegen els meteoròlegs, que són els científics que estudien aquests fenòmens. Per tant, en els treballs de recerca cal precisar els conceptes utilitzats, fixar i classificar els coneixements de manera rigorosa i clara.

conjunt organitzat de coneixements

- Els coneixements científics han de ser **objectius**. Això significa que qualsevol afirmació sobre un fet o fenomen s'ha de fonamentar en observacions fetes directament per la persona que investiga o per altres científics, o bé s'ha de basar en teories ben establertes i acceptades universalment. Així doncs, cap treball de recerca no pot presentar conclusions sense justificar-les.

coneixements objectius

D'altra banda, qualsevol científic ha de poder accedir als treballs de qualsevol altre investigador, amb l'objectiu d'estudiar-los, de continuar-los, d'ampliar-los o, si és el cas, de contradir-los. Així, la comunicació o publicació dels resultats de les investigacions és imprescindible si volem una ciència oberta, crítica i en progrés constant. La memòria escrita i l'exposició oral dels treballs de recerca no són, doncs, elements superflus, sinó dos aspectes fonamentals de l'activitat investigadora.

- La ciència és una activitat regulada, és a dir, disposa d'una **metodologia** que serveix per a l'obtenció dels coneixements. **El mot *metodologia* ve del grec, i significa aproximadament 'camí mitjançant el qual s'arriba a algun lloc'**. La metodologia, doncs, no és altra cosa que el conjunt de procediments (o 'manera d'obrar') per obtenir un coneixement ben fonamentat. La metodologia no depèn dels capricis de cadascú, sinó que ja està ben establerta i consensuada per investigadors en cadascun dels àmbits o àrees del coneixement; només cal saber aplicar-la amb precisió, cosa que permet

metodologia

d’obtenir d’una manera rigorosa resultats objectius. El fet d’ajustar-se a una metodologia determinada, tal com s’exigeix en els treballs de recerca, lluny de complicar la feina, guia i facilita la tasca de l’investigador.

En els treballs de recerca de Batxillerat, cal tenir en compte aquests principis, que ens acostaran a les exigències que ha de satisfer tot treball científic. Així, encara que els treballs siguin d’àmbits ben diversos (llengua, química, història, psicologia, botànica...), cal aplicar-hi sempre una metodologia que garanteixi el rigor dels resultats. Tal com s’explica al capítol 1 de la primera part del llibre, una recerca es fa delimitant l’objecte de la investigació, fent tasques d’observació i/o d’experimentació, explicant la manera com s’ha treballat, indicant els resultats obtinguts i les conclusions que se’n deriven, suggerint noves investigacions que puguin complementar les que ja hem realitzat, etc. Tots aquests elements han de formar part d’una investigació.

7.1 Tipus de ciències

La ciència s’ocupa d’una gran diversitat de matèries o coneixements; per això, abans d’escollir el tema del treball de recerca pot ser útil conèixer els diferents tipus de ciències tot classificant-les segons els objectes d’estudi.

- Els coneixements sobre entitats no materials, és a dir, sobre nombres, figures geomètriques, operacions algebraiques, deduccions lògiques, etc., són propis de les **ciències formals**, com les matemàtiques i la lògica.
- Els coneixements sobre el món físic, és a dir, els àtoms, els planetes, les substàncies químiques, els vegetals, els animals, etc., són propis de les **ciències de la naturalesa**, com la física, la química, la biologia, la geologia, etc., que tenen com a característica comuna que s’acosten a la realitat material.
- Els coneixements sobre l’ésser humà i la societat, la conducta de les persones, l’evolució de les civilitzacions, la llengua que parlen, etc., són propis de les **ciències socials**, com ara la psicologia, la sociologia, la història, la geografia, la lingüística, etc.

<i>Ciències formals</i>	<i>Ciències de la naturalesa</i>	<i>Ciències socials</i>
matemàtiques lògica	física química biologia geologia astronomia ...	psicologia sociologia economia història antropologia ...

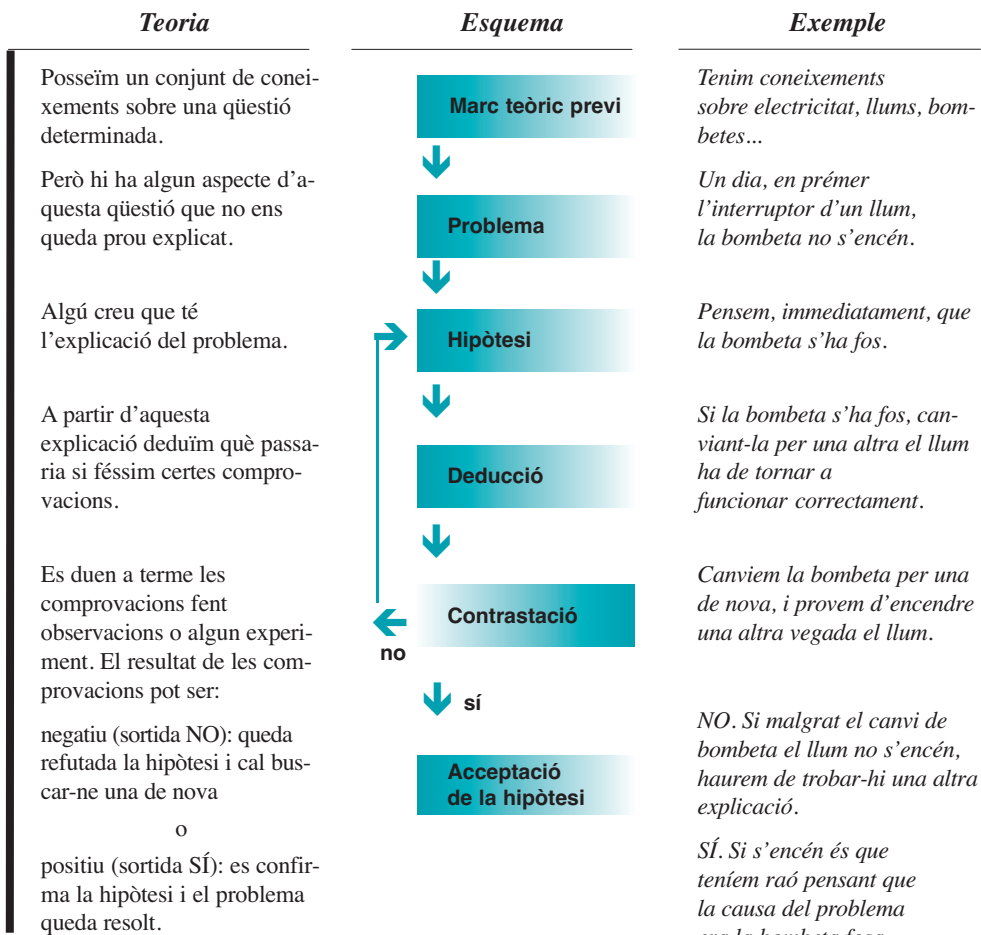
Un treball de recerca es pot situar dins el marc de qualsevol d'aquestes disciplines. Si encaixa perfectament dins d'una, serà un treball **monogràfic**. Si relaciona diverses d'aquestes disciplines, serà **interdisciplinari**.

Els apartats següents s'ocupen de la metodologia de les ciències socials i de les ciències de la naturalesa, i exclouen les ciències formals, que, per les seves característiques, disposen d'una metodologia molt específica i diferenciada.

7.2 El mètode hipoteticodeductiu

El mètode més habitual en les ciències empíriques és l'**hipoteticodeductiu**, conegut amb aquest nom perquè, davant de qualsevol problema, parteix d'una possible solució, o hipòtesi, a partir de la qual es dedueixen unes conseqüències que s'espera de poder comprovar, ja sigui per observació directa de la realitat o bé mitjançant la realització d'algun experiment.

Podríem representar esquemàticament el mètode hipoteticodeductiu de la manera següent:



Aquest exemple no és, òbviament, un experiment en sentit estricte, però reproduceix adequadament la lògica d'aquest tipus de metodologia. És a dir, encara que les qüestions que s'investiguen solen ser més complexes, la *manera de pensar* amb què l'investigador s'enfronta als problemes s'assembla a la que reproduceix l'esquema anterior.

A la pràctica, però, les coses poques vegades són tan simples, ni tan sols en el cas de l'exemple anterior, perquè sempre hi pot haver un seguit de factors que compliquen l'experiment i poden conduir-nos a conclusions errònies:

- Podria passar, per exemple, que la segona bombeta també estigués fosa. En aquest cas, podria ser que descartéssim la hipòtesi, per dolenta, i que busquéssim una avaria en l'interruptor. No obstant això, la hipòtesi de partida era correcta, i no hem obtingut els resultats esperats perquè la bombeta nova també era fosa (un factor que no havíem tingut en compte).

- També podria haver passat que, en prémer el llum la primera vegada, la bombeta no s'hagués encès perquè, casualment, la companyia d'electricitat n'hagués tallat el subministrament, i que en el temps de canviar la bombeta, l'hagués restablert. En aquest cas, el llum funciona amb la segona bombeta, però l'explicació real dels fets és ben diferent de la conclusió a què pot haver arribat l'*investigador*; haurà solucionat el problema acceptant una hipòtesi completament falsa.

Pot semblar que estem davant de petits inconvenients que qualsevol persona acaba resolent sense dificultat, però cal tenir present que sempre que es fa una recerca es treballa sobre qüestions que presenten aspectes desconeguts o, almenys, poc coneguts (i que precisament per això s'investiguen); cal actuar, doncs, amb prudència i tenir present que és possible que ens passin per alt certs factors que poden alterar el resultat d'un experiment. En definitiva, s'ha d'acceptar que les conclusions d'un experiment són sempre provisionals i que han de ser sotmeses a nombroses proves complementàries abans de ser acceptades com a definitives.

Altres exemples d'experiències en què s'ha utilitzat el mètode hipoteticodeductiu:



Tenim una planta que no fa gaires flors. Ens adonem que el lloc on es troba no és gaire clar, i pensem que l'escassetat de flors és deguda a una insuficiència de llum (hipòtesi). Per tant, si la traslladem a una habitació més clara, farà més flors (deducció). Consegüentment, canviem la planta de lloc i esperem que floreixi més. Si teníem raó (o sigui, si la hipòtesi era correcta), la planta farà més flors i hauréu solucionat el problema. Si no és així, caldrà buscar una altra explicació al problema: potser té una malaltia o bé no té prou aigua o adob.

En una empresa volen trobar la manera d'augmentar la producció sense haver de contractar més persones. Algú té la idea que això es pot aconseguir posant música ambiental a totes les dependències (hipòtesi). És a dir, que si treballen amb música de fons, les persones produeixen més (deducció). Tot seguit es fa la prova i es mesura la producció, sense música i amb música.

Un entrenador de natació vol que els nedadors millorin les marques. Està convençut que amb l'aigua de la piscina una mica més calenta la velocitat dels nedadors augmenta (hipòtesi). Per tant, escalfant una mica l'aigua, els nedadors fan més bones marques (deducció). Cal fer-ne la prova i mesurar els temps obtinguts pels nedadors amb aigua "normal" i amb aigua calenta.

Activitat 1

Llegeix atentament aquestes dues mostres d'experiments i contesta les preguntes que hi ha a continuació.

Experiment 1. Pasteur i la generació espontània

En l'antiguitat s'havia cregut que els organismes vius podien aparèixer a partir de materials no vius; per exemple, que de la carn podrida en naixien cucs, o que de les escombraries en naixien rates. D'aquesta creença se'n diu *teoria de la generació espontània*. No és una creença gens estranya si tenim en compte que es coneixia molt poc el món dels microorganismes (per exemple, dels bacteris), i que l'observació dels fets semblava indicar que, efectivament, certs animals naixien de la matèria en descomposició. Fins al segle XIX no es va demostrar que aquesta teoria era falsa. Va ser el químic i biòleg francès Louis Pasteur qui ho va fer en una sèrie de treballs que constitueixen una mostra excel·lent de l'aplicació del mètode hipoteticodeductiu. Vegem pas a pas com va realitzar l'experiment:

- **Coneixements teòrics previs.** És un fet que en llocs on hi ha putrefacció apareixen éssers vius, i també que molts fenòmens relacionats amb aquest fet, com la fermentació, no tenien una explicació convincent fins aleshores.
- **Plantejament d'una hipòtesi.** Segons Pasteur, els responsables de la fermentació eren els bacteris que es desplacen per l'aire i que, en dipositar-se en certes substàncies, provoquen la fermentació. Aquests bacteris tenen una densitat lleugerament superior a la de l'aire.
- **Disseny d'experiments per comprovar la hipòtesi.** Pasteur va omplir, amb el líquid que volia sotmetre a prova, quatre recipients (matrassos); dos tenien el coll recte, i els altres dos, en forma de S. En aquests segons, els bacteris de l'aire no hi podien entrar: a causa de la seva densitat no podien passar pel coll en S dels matrassos. Va fer bullir un dels matrassos de coll recte i un dels de coll en S. A continuació, va deixar els quatre matrassos en un racó del laboratori durant una temporada llarga.
- **Recollida de les dades.** Passat el temps, va observar que només en un dels quatre matrassos no s'havia produït la fermentació: era el de coll en S que havia estat bullit.

Observació directa de la realitat o experimentació en un laboratori

• **Anàlisi de les dades i conclusions.** Va deduir que en aquest matràs no s'havia produït la fermentació perquè els bacteris de l'aire no hi havien pogut entrar (tenia el coll en S), i els bacteris que hi podia haver hagut en el líquid havien estat eliminats per l'ebullició. Per tant, la fermentació només havia estat possible en el matràs en què els bacteris no havien estat eliminats per ebullició o en aquells en què havien pogut entrar de l'exterior pel fet de tenir el coll recte. La idea que els microorganismes podien néixer de matèria no viva quedava eliminada.

Experiment 2. El contingut significatiu en l'aprenentatge

En psicologia, l'experiència següent posa en relleu el pes que els continguts significatius tenen en l'aprenentatge.

L'aprenentatge consisteix a adquirir coneixements, a enregistrar informacions a la memòria. En un estudi sobre els factors que més contribueixen a facilitar l'aprenentatge, un psicòleg creu que les coses a les quals atorguem un significat s'aprenen més ràpidament que les que no en tenen. Per comprovar-ho, reuneix dos grups d'individus i prepara dues llistes de 16 monosíl·labs cadascuna: una llista conté paraules amb significat (*nas, ull, pèl, cap...*) i una altra en conté sense significat (*bof, mif, pec, gon...*).

Al grup *A*, se li llegeix la llista de paraules amb significat, i al grup *B*, la de paraules sense significat. La lectura es repeteix 16 vegades a cada grup. Tots els subjectes han de memoritzar el major nombre possible de paraules de la llista que han escoltat. L'investigador espera que els subjectes del grup *A* hauran recordat més paraules que els del grup *B*.

Explica amb paraules teves quin és el problema que s'estudia en cadascun dels dos experiments anteriors.

- a. Enuncia en cada cas la hipòtesi que es vol comprovar.
- b. Quins resultats confirmarien i quins desmentirien les hipòtesis?
- c. Prova d'esquematitzar aquest segon experiment de la mateixa manera que ho està el primer.

7.3 Observació directa de la realitat o experimentació en un laboratori

La comprovació de les hipòtesis es pot fer a través de dos procediments diferents: l'observació directa de la realitat o bé l'experimentació en un laboratori. En el primer cas, el treball de camp consistirà a prendre mesures d'alguns objectes i/o fenòmens que no han estat prèviament manipulats. En el cas de l'experimentació, cal preparar una situació artificial, generalment

en un laboratori, dissenyada i controlada per l'experimentador. Un cas concret pot servir per veure'n les diferències: si es vol investigar de quina manera el nivell de soroll repercuteix en el treball de les persones, es pot procedir de dues maneres diferents.

- Una primera manera consisteix a anar directament a **observar la realitat**, és a dir, a buscar una fàbrica on el nivell de soroll sigui molt alt, i una altra fàbrica on sigui més baix. A continuació, podem fer un estudi sobre la productivitat dels treballadors, la quantitat d'errors que cometen, etc. D'aquesta manera, podríem treure conclusions sobre com els afecta el nivell de soroll.

observar
la realitat

- Però també es pot **fer un experiment**; en aquest cas, caldrà convocar un grup de persones en un laboratori i sotmetre-les a una sèrie de proves de soroll, pensades expressament per estudiar-ne la incidència en el desenvolupament d'una activitat. Així, si tenim 30 subjectes, els podem distribuir en tres grups de 10 cadascun. Tots hauran de dur a terme una mateixa activitat, com ara muntar les peces d'un trencaclosques. Els subjectes del grup *A*, però, ho farien en un ambient de silenci; els del grup *B*, en un nivell moderat de soroll, i els del grup *C*, en un ambient de soroll intens. En acabar, podríem comprovar quin dels tres grups ha fet la feina en menys temps, amb menys errors, etc.

fer un
experiment

Cadascun d'aquests dos mètodes o activitats de camp té **avantatges i inconvenients**:

El primer és “més natural”, ja que parteix de l'observació de persones en el seu medi habitual de treball i, per tant, en podem comprovar la conducta considerada “normal”. Però aquest mètode comporta també dificultats: no és fàcil trobar empreses que reuneixin les condicions idònies per fer l'estudi: no sempre ens serà possible controlar amb precisió els nivells de soroll que rep cadascuna de les persones estudiades, etc.


Amb l'experimentació, en canvi, el qui fa la recerca pot controlar plenament el nivell de soroll, la durada, etc., però no pot estar segur que la conducta de les persones que se senten estudiades en un laboratori sigui la mateixa que en el lloc de feina habitual.

Una altra mostra dels avantatges i dels inconvenients de l'experimentació i de l'observació directa, la podem trobar en aquest exemple, referit a dues maneres diferents d'estudiar la conducta animal:



Els psicòlegs que estudien els animals en un laboratori poden repetir diverses vegades els experiments i controlar perfectament tots els factors que hi intervien, però no poden estar segurs que els mateixos animals, en llibertat, es comportin exactament de la mateixa manera.

Observació directa de la realitat o experimentació en un laboratori



Altres estudiosos de la conducta animal observen, en canvi, els animals en el seu medi natural, però han d'afrontar un altre tipus de problemes: la dificultat d'observar animals en llibertat, i la quantitat d'observacions que poden fer-ne mai no serà tan gran com en un laboratori.

Qualsevol treball de recerca, a més de la documentació, necessita obtenir dades a partir de l'observació directa o bé de l'experimentació en un laboratori. La utilització d'un d'aquests dos mètodes, o la combinació de tots dos, dependrà sempre del tema escollit, de l'objectiu del treball i dels recursos de què disposem. Les característiques d'aquests dos procediments s'expliquen als capítols 8 i 9.