

## CIÈNCIES PER AL MÓN CONTEMPORANI



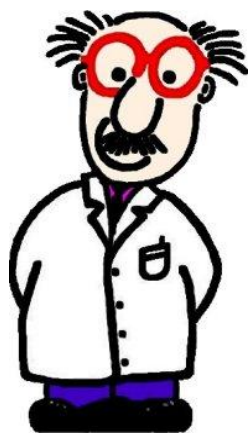
### LLIÇÓ 1ª

# QUÈ ÉS CIÈNCIA?

## ÍNDEX

- 1.- Pressuposicions de la ciència.
- 2.- Ciències formals i ciències fàctiques.
- 3.- Característiques del mètode científic.
- 4.- Les explicacions científiques.
- 5.- Conceptes, hipòtesis, lleis i teories en ciència.
- 6.- Lleis i necessitat nòmica.
- 7.- Què és una hipòtesi científica?
- 8.- Quan diem que un experiment és correcte?
- 9.- El principi de falsació.
- 10.- La *causalitat* en ciència.
- 11.- El mètode científic.
- 12.- El cas Semmelweis. un exemple del mètode hipotètic-deductiu.
- 13.- La construcció de models en ciències.
- 14.- *Error i accident* en ciència.
- 15.- Ciència i interessos extracientífics.

## 1.- PRESSUPOSICIONS DE LA CIÈNCIA



*Ciència és el conjunt de coneixements ordenats sistemàticament sobre l'Univers, obtinguts per observació i per raonament que permeten la deducció de principis i lleis generals.*

La recerca del coneixement és una característica típica dels humans. La ciència és un tipus de coneixement molt específic: per causes, matematitzable, experimental... La ciència no és òbvia: no fa observacions (a l'atzar) sinó experiments (controlats) i s'expressa en un peculiar llenguatge. Tot i que es parli de la teoria de la relativitat d'Einstein o de la teoria dels climes de Lovelock, la ciència (a diferència de la literatura) no depèn tampoc de la subjectivitat dels seus autors sinó del càlcul i de la comprovació empírica de les hipòtesis. Si ha estat possible fer ciència és perquè en la tradició cultural heretada d'Occident es comparteixen tota una sèrie significativa de pressuposicions sobre el paper de la veritat i del coneixement en el món.

**La teoria de la ciència és deutora del que s'anomena 'concepció heretada' segons la qual en ciència hi ha d'una banda experiments i observacions i de l'altra teories (o càlculs) per explicar els experiments i les observacions fets.** Segons aquesta tesi el filòsof no s'ha de preocupar del context del descobriment sinó només de la coherència lògica, de les regles o de la justificació impersonal de les teories científiques. Però els experiments i les teories no són dos àmbits clarament separats: la manera de mirar condiona el que veiem i les teories condionen els experiments que fem. Totes les teories tenen implícits i pressuposicions, heretades o intuïdes, originades en una tradició cultural i sense les qual no hi hauria ciència.

**Les pressuposicions més significatives de l'activitat científica són les següents:**

### 1.- Metafísicament (des del punt de vista del ser en tant que tal):

- a) que el Cosmos està ordenat de manera que les mateixes causes produeixen sempre els mateixos efectes (tesi ontològica de legalitat).
- b) que el Cosmos existeix realment i no és una creació de la nostra ment (tesi ontològica de realisme).

### 2.- Psicològicament (des del punt de vista de la nostra ment):

- a) que la nostra ment és capaç d'entendre el Cosmos objectivament, sense error (tesi psicològica d'intel·ligibilitat).
- b) que la ment humana té un coneixement imperfecte de la realitat però que alhora la facultat de conèixer pot ser perfeccionada mitjançant el debat ben conduït i usant les regles del raonament (tesi psicològica de perfectibilitat).

### 3.- Gnoseològicament (des del punt de vista de la teoria del coneixement):

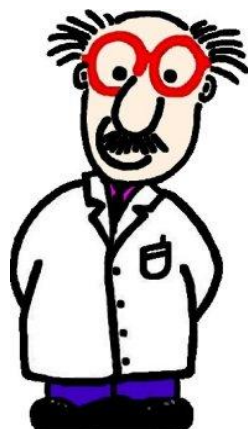
- a) que la realitat es pot conèixer mitjançant la raó i en darrer terme es pot descriure matemàticament.
- b) que la veritat o falsedat de les descripcions científiques es pot establir i demostrar objectivament per observació i experimentació o per càlcul.
- c) que quan s'usa el mètode científic podem, preveure objectivament què succeirà en el futur en un àmbit concret.
- d) que l'explicació ha de ser vàlid universalment (per a tothom), prescindint d'interessos particulars.
- e) que el coneixement no és caòtic, ans al contrari, es pot organitzar des d'un punt de vista racional en sistemes d'idees coherents (teories).

**4.- Èticament (des del punt vista de la realització del bé):**

- a) que el coneixement de la veritat és bo per a la humanitat.
- b) que a través de la ciència fem el món més humà, alliberat de la superstició.

La ciència moderna pressuposa, de vegades sense gaire fonament, que es compateix aquesta concepció del món; però per tal de progressar ha de posar en qüestió el món rebut i considerar que no necessàriament la tradició rebuda, per molt que aporti solucions ja provades, és la millor o la més segura.

## 2.- CIÈNCIES FORMALS I CIÈNCIES FÀCTIQUES



Cal estudiar de manera diferent els objectes observables (el que és fàctic) i els enunciats que, com els de la lògica i les matemàtiques, no diuen res sobre els fets observables sinó que són el llenguatge en què s'expressa el conjunt del coneixement científic.

Existeixen, doncs, dos tipus de ciències: les formals o deductives i les fàctiques o empíriques.

**1.- Ciències formals o deductives: són aquelles els enunciats de les quals no diuen res sobre fets observables i, per tant, la veritat de les seves conclusions només depèn de l'ús correcte de la deducció.** Aquestes ciències donen

coneixements segurs i les seves proposicions no necessiten l'experiència sinó el càlcul (s'acostuma a dir que són 'analítiques'). No estudien fets o objectes reals, sinó conceptes, idees i relacions entre idees.

Les ciències formals són **instrumentals**: proporcionen les eines abstractes que usen les ciències fàctiques per descriure, explicar i predir el funcionament del món.

El punt de partida de les ciències formals són els **axiomes**, val a dir, proposicions bàsiques indemostrables perquè són evidents per si mateixes. Un axioma ha de ser 'consistent', és a dir, no se'n pot derivar al mateix temps una proposició i la seva negació. A partir d'axiomes i de regles que ens permeten operar amb ells es dedueixen **teoremes** que són clàusules derivades dels axiomes.

La ciència és incompatible amb el **dogma**. La paraula 'dogma' en llatí significa 'precepte' i designava una ordre taxativa emanada d'una autoritat indiscutible.

Un axioma és radicalment diferent d'un dogma: els axiomes segueixen regles lògiques (si A és veritat no-A ha de ser fals, necessàriament), mentre que un dogma es basa en la fe o en el criteri d'autoritat.

**2.- Ciències fàctiques o empíriques són les que es refereixen a fets que esdevenen en el món, val a dir, que són observables.** En les ciències fàctiques o empíriques el que s'afirma ha d'estar d'acord amb els fets i s'ha de poder provar. A diferència de les ciències formals, les ciències fàctiques no donen coneixements totalment segurs i les seves proposicions han de recórrer a l'experimentació per saber si els resultats de les seves hipòtesis són o no acceptables.

Les ciències empíriques pretenen explicar els fets i establir lleis i teories que permetin predir el que passarà en determinades circumstàncies. Han de partir de l'observació i realitzar experiments.

**Dins les ciències fàctiques o empíriques es distingeix entre ciències naturals i ciències socials o humanes:**

- a) **En les ciències naturals impera el principi de causalitat.** Les ciències naturals són experimentals i sovint s'anomenen *ciències dures* perquè poden ser mesurades de manera precisa (per exemple, la velocitat de la llum és exactament 299.792.458 metres per segon, i un àtom de ferro és 55.405

vegades més pesant que un àtom d'hidrogen) i, de fet, les ciències naturals usen el llenguatge de les matemàtiques per explicar la realitat. El ciències naturals les matemàtiques no són només instrumentals, sinó que són l'expressió de la realitat mateixa.

- b) En les ciències socials o humanes intervé l'home i es regeixen bàsicament per la intencionalitat.** Estudien la realitat creada pels humans. En la mesura que utilitzen poc les eines matemàtiques i tenen poca base experimental (perquè el factor humà té gran nombre de variables), les ciències socials s'anomenen *ciències toves*. En les ciències socials l'ús de la matemàtica es limita generalment a la teoria de probabilitats i a l'estadística. En són un exemple, la psicologia (només parcialment matematitzada), l'economia (que té aspectes matemàtics i altres de caire psicològic) o la sociologia (on no tots els capteniments són expressables estadísticament).

### EXERCICI: Respon les següents qüestions

**1.- Per què són axiomes aquestes afirmacions que va fer Euclides a la Grècia clàssica:**

1. Les coses que són iguals a la mateixa cosa són també iguals l'una a l'altra.
2. Si s'afegeixen iguals a iguals, els totals són iguals.
3. Si iguals se sostrauen d'iguals, els residus són iguals.
4. Les coses que coincideixen l'una amb l'altra són iguals l'una a l'altra.
5. El tot és més gran que la part.

**2.- Un axioma és una veritat que no pot ser provada perquè és evident per ella mateixa. En canvi, un dogma és una veritat que no cal provar perquè és matèria de fe. Explica per què són dogmes:**

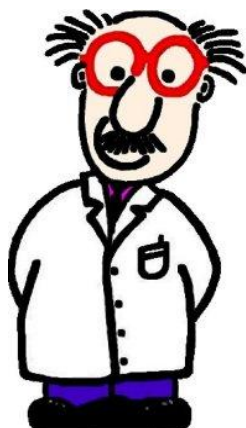
1. L'arribada del comunisme al final de la història.
2. La transmigració de les ànimes.
3. La terra és plana.

**3.- Comenta aquest text i explica per què la psicologia és una ciència tova:**

*«És evident que cada un és diferent. Però també hi ha propietats de la ment que són comunes en tots nosaltres. Aquestes són les propietats fonamentals que els psicòlegs estan intentant descobrir. Els químics tenien exactament el mateix problema amb les roques que estudiaven abans de descobrir els elements químics en el segle divuit. Cada roca era diferent. En comparació amb les ciències 'dures', la Psicologia ha tingut poc temps per descobrir què s'ha de mesurar o com mesurar-ho. La Psicologia existeix des de fa uns 100 anys com una disciplina científica. Estic segur que, amb el temps, els psicòlegs hauran descobert què mesurar i hauran desenvolupat els instruments que ens permetran realitzar aquestes mesures de manera precisa.»*

Frith, C. (2007): *Making up the mind: how the brain creates our mental world*. Oxford: Blackwell.

### 3. - CARACTERÍSTIQUES DEL MÈTODE CIENTÍFIC



La ciència pretén comprendre el món d'una manera objectiva a partir de la base que el coneixement humà és imperfecte però perfectible. Segons Mario Bunge, en el seu assaig «Què és ciència?» (1981) es pot fer un inventari de fins a 15 característiques de la ciència:

- 1.- El coneixement científic és fàctic:** arranca dels fets, els analitza i procura entendre'ls racionalment. Establir els fets és el primer estadi del coneixement científic.
- 2.- El coneixement científic transcendeix els fets:** els científics procuren racionalitzar les experiències, per tant van més enllà de la seva descripció. Per fer-ho elaboren conceptes nous (p. ex., àtom, camp, massa, energia...) i per tant passen dels fets a les teories mitjançant hipòtesis (en particular enunciats de lleis) i sistemes d'hipòtesis (teories).
- 3.- La ciència és analítica:** els problemes de la ciència són sempre parcials i concrets, en ciència es tracta de descompondre els elements un a un per esbrinar els mecanismes dels fenòmens observats. L'anàlisi de cadascuna de les parts d'un fenomen ens permet comprendre la seva relació interna o síntesi.
- 4.- La investigació científica és especialitzada:** és una conseqüència de l'enfocament analític. Només des de l'especialització és possible formar camps interdisciplinaris que fan avançar el coneixement (biofísica, cibernetica, neuropsiquiatria...).
- 5.- El coneixement científic és clar i precís:** a diferència del coneixement vulgar que és vague i inexacte, la claredat i la precisió de model matemàtic orienta l'activitat dels científics. Per tal d'aconseguir la precisió en ciència els conceptes s'han de definir sense ambigüitat, s'ha de crear símbols artificials, s'ha de mesurar i registrar fenòmens, etc.
- 6.- El coneixement científic és comunicable:** no és un llenguatge privat sinó públic i l'ha de poder entendre tothom que hagi estat ensinistrat. La comunicabilitat és possible mercès a la precisió i és una condició necessària per a verificar el coneixement.
- 7.- El coneixement científic és verificable:** ha d'aprovar l'examen de l'experiència. Sense superar proves en contra que posin en qüestió les conseqüències particulars i concretes de les hipòtesis generals no hi ha coneixement científic.
- 8.- La investigació científica és metòdica:** mai no és erràtica sinó planejada. Els investigadors no fan tentines en l'obscuritat, saben què busquen i com trobar-ho. Hi ha regles, tests empírics, etc. Quan els investigadors provoquen l'atzar (per exemple, per tal d'estar segurs de la uniformitat d'una mostra), posen aquest atzar al servei de l'ordre.
- 9.- El coneixement científic és sistemàtic:** una ciència no consisteix en un agregat d'informacions inconnexes, sinó en un sistema d'idees connectades lògicament entre elles. És el caràcter matemàtic del coneixement científic el que li atorga una sistematicitat global.
- 10.- El coneixement científic és general:** ubica els fets singulars en pautes generals i els enunciats particulars en esquemes amplis. El científic s'ocupa del cas



particular en la mesura que aquest és membre d'una classe o cas d'una llei. Més encara: pressuposa que tot fet és classificable i expressió d'una llei.

**11.- El coneixement científic és legal:** busca lleis (de la naturalesa o la cultura) i les aplica. Rere el desordre i la fluïdesa de les aparences, la ciència fàctica descobreix pautes regulars de les estructures i dels processos de canvi.

**12.- La ciència és explicativa:** intenta explicar els fets en termes de lleis i les lleis en termes de principis. Els científics no es conformen amb descripcions detallades: a més d'investigar com són les coses procuren esbrinar per què són així i no d'una altra manera.

**13.- El coneixement científic és predictiu:** transcendeix la massa dels fets d'experiència imaginant com pot haver estat el passat i com podrà ser el futur. La predicció científica es caracteritza més per la seva perfectibilitat que per la seva certesa.

**14.- La ciència és oberta:** no reconeix barreres *a priori* que limitin el coneixement. Si un coneixement no és refutable no pertany a l'àmbit de la ciència. Sempre és concebible que pugui aparèixer una nova situació (noves informacions, nous treballs teòrics, nous experiments) que posin en qüestió idees fixament establertes.

**15.- La ciència és útil:** perquè busca la veritat, la ciència és eficaç en tant que provisió d'eines que poden ser aplicades per al bé i per al mal. La utilitat de la ciència és una conseqüència de la seva objectivitat.

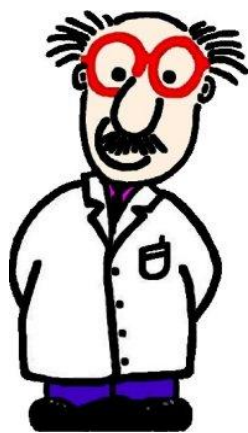
**Mario BUNGE: LA CIENCIA, SU MÉTODO Y SU FILOSOFÍA. Buenos Aires: Siglo Veinte, 1981. Resum parcial, R.A.**

**EXERCICI: Digues quines de les actituds següents són pròpies del mètode científic?**

- **Admetre la pròpia ignorància i la necessitat d'investigar més**
- **Proposar i assajar noves hipòtesis**
- **Buscar contraexemples**
- **Acceptar el criteri d'autoritat**
- **Preveure el resultat d'un partit de futbol**
- **Escriure articles de divulgació**
- **Recollir i contrastar dades empíriques**



## 4.- LES EXPLICACIONS CIENTÍFIQUES



La ciència realitza tres funcions:

- 1.- *Descriure* què passa en un determinat àmbit.
- 2.- *Explicar* per què passa.
- 3.- *Predir* què passarà.

Una explicació científica és un model teòric que ens permet entendre «per què passa una cosa?».

Segons Stephen Hawking (*Breu Història del temps*): 'una teoria és bona si satisfà dos requeriments: (1) ha de descriure amb precisió una extensa classe d'observacions sobre la base d'un model que contingui tan sols uns quants elements arbitraris i (2) ha de realitzar prediccions concretes sobre els resultats d'observacions futures'.

Però no tots els fenòmens requereixen una explicació del mateix tipus. Segons Thomas Nagel, les explicacions científiques es poden agrupar en quatre classes:

**1.- Explicació deductiva:** Segons les regles de la lògica, aplicant els principis generals als casos concrets (exemple; per què s'han rebotat les canonades?: per una llei general: el volum de l'aigua en estat sòlid és més gran que en estat líquid' + una situació inicial que desencadena un procés (baixada sobtada de temperatures) que té com a conseqüència un fet). És l'explicació pròpia de les ciències empíriques 'dures' (física, química) i de les ciències formals (matemàtiques, lògica).

**2.- Explicació probabilística:** És una resposta amb un alt nivell d'hipòtesi, no clarament objectivable i sovint amb un gran nivell d'implicació personal de l'investigador en la validesa de la resposta (exemple, per què un menor comet un delictes?: és més probable que ho faci si l'han maltractat de petit, si viu en una situació de marginalitat i desestructuració, si té desequilibris emocionals o familiars..). Pròpia de les ciències 'toves' (ecologia, psicologia, medicina) en què no tot és matematitzable i també de les ciències socials o humanes (psicologia, sociologia).

**3.- Explicació teleològica:** En què cal recórrer a les intencions o a la finalitat (en grec 'telos') dels qui han realitzat una acció (exemple, per explicar per què Enric VIII va crear l'església anglicana caldria explicar la història dels seus matrimonis, saber que la seva esposa Caterina d'Aragó era estèril i que el rei volia la nul·litat matrimonial que l'església de Roma li negava...). És una explicació molt habitual en ciències socials o humanes.

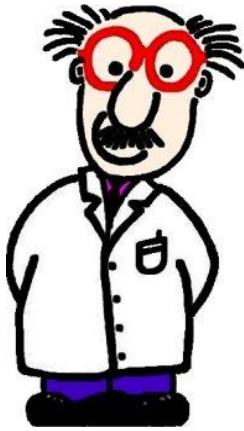
**4.- Explicació genètica:** Quan per explicar una cosa cal fer esment del seu origen (exemple: per què hi ha paraules d'origen àrab en català, especialment al Sud). Explicacions d'aquesta mena són habituals en història, però també en biologia i en ciències de la naturalesa

**EXERCICI:** Explica quin tipus d'explicació es pot donar a cadascuna de les següents preguntes:

- Per què cau el fruit de l'arbre?
- Per què en Jordi ha agafat la grip?
- Per què Franco va nomenar Juan Carlos successor a títol de rei?
- Per què es produeix la síndrome de Down?



## 5.- CONCEPTES, HIPÒTESIS, LLEIS I TEORIES EN CIÈNCIA



**En el llenguatge científic hi ha quatre elements fonamentals a partir dels qual hom procura explicar la realitat: conceptes, hipòtesis, lleis i teories.**

**CONCEPTES CIENTÍFICS** són els termes propis i especialitzats del vocabulari d'una ciència. Sovint cal distingir entre dos sentits dels conceptes que usem en la vida quotidiana: no és el mateix l'ús d'un mot en el llenguatge ordinari o en el vocabulari científic (p. ex., 'àcid'; en el llenguatge ordinari és una sensació determinada del gust, i en el seu ús com a concepte científic és el comportament de determinats compostos que produeixen un intercanvi de protons quan es relacionen amb altres).

Els conceptes científics han d'estar el màxim possible de ben definits: han de buscar la màxima claredat i precisió o, segons Popper, la mínima ambigüitat, tant en la descripció dels fets com en la seva anàlisi. Per això es diu que són 'operatius', en el sentit que ens permeten descriure, mesurar i quantificar els fenòmens. Quan es confonen o s'usen incorrectament els conceptes científics (per ex., 'massa' i 'pes'), el coneixement científic esdevé impossible.

Un exemple de concepte científic que va deixar de ser usat en física a partir del segle XVIII és 'èter', que en la física antiga servia per designar un fluid 'subtil' i invisible que omplia tot l'espai interestel·lar. Com que la paraula 'subtil' era molt imprecisa, no era operatiu usar-la. Avui, en canvi, 'èter' és un concepte científic en química.

En les ciències formals s'usen també llenguatges artificials (informàtica) i en les ciències empíriques s'usen llenguatges operatius (formulació química) perquè permeten aconseguir més precisió.

Hi ha tres tipus de conceptes científics:

- 1.- Classificadoris:** permeten organitzar la realitat en conjunts o grups. Ex: *procariotes* i *eucariotes* són conceptes que permeten classificar les cèl·lules segons tinguin o no tinguin nucli.
- 2.- Comparatius:** permeten ordenar gradualment el objectes d'un conjunt. Ex: *duresa* és un concepte que permet establir una gradació en el conjunt dels minerals.
- 3.- Mètrics:** permeten mesurar numèricament les propietats dels objectes. Ex: *metro* (ens permet mesurar la longitud).

**HIPÒTESIS CIENTÍFIQUES:** són les respostes provisionals a un problema determinat. A diferència d'una tesi que és un raonament sobre objectes i fenòmens ja coneguts, una hipòtesi és un raonament sobre causes i efectes desconeguts.

Una hipòtesi prediu que si passa X en la condició H, la conseqüència hauria de ser N; i ho fa basant-se en dades empíriques fiables i verificades prèviament.

Totes les hipòtesis tenen valor condicional i han de poder ser no només provades, sinó bàsicament refutades sigui per un experiment o per un càlcul. Una hipòtesi irrefutable (és a dir, aquella contra la qual no podem pensar experiments en contra) no seria

científica. D'una hipòtesi irrefutable estrictament no se'n pot dir que sigui correcta o incorrecta. Simplement no hi ha manera de comprovar-la. Un exemple d'hipòtesi irrefutable, i per tant acientífica, és la que afirma que la Lluna es va crear per un xoc del planeta Terra contra un altre cos: simplement, no hi ha manera de fer un experiment que la demostrï.

Elaborar hipòtesis demana imaginació i tota hipòtesi significativa s'ha de construir des de conceptes clars. En altres paraules, una hipòtesi no és una 'profecia', una 'invenció', ni un acudit. Cap hipòtesi és purament subjectiva. Només des de coneixements previs es poden fer hipòtesis significatives.

### **Qualsevol hipòtesi ha de reunir quatre característiques:**

- 1.-** Ha de fer possible que se'n derivin conseqüències significatives, és a dir, que es compleixi el que la hipòtesi preveia.
- 2.-** Ha de ser tan simple de verificar com sigui possible, i al mateix temps capaç d'explicar el màxim nombre de fets possibles. Això de vegades s'anomena 'postulat d'elegància'.
- 3.-** Ha de permetre explicar i predir –i de vegades, també modificar– comportaments futurs dins el mateix àmbit dels observats.
- 4.-** Ha de ser congruent amb els altres coneixements científics ja adquirits. Donat que el món material és bàsicament coherent, una llei científica no pot estar en contradicció amb una altra llei.

Si no es compleix la quarta condició però una hipòtesi està demostrada per experiències repetides o càlculs consistents, es produeix una crisi en les teories científiques. Això s'anomena un 'canvi de paradigma', que és una situació de crisi de fonamentació general del coneixement. Però el 'canvi de paradigma', tot i ser una situació apassionant, succeeix molt poques vegades en ciència. Newton, Darwin o Einstein han passat a la història per haver proposat hipòtesis significatives que obligaren a replantejar teories.

**LLEIS CIENTÍFIQUES:** L'objectiu de tota ciència és elaborar lleis. Tota llei científica és: «una relació necessària que deriva de la naturalesa de les coses» (Montesquieu). Les lleis constitueixen els enunciats bàsics del coneixement científic. Una llei científica és una hipòtesi verificada, sigui per un experiment o per un càlcul.

La veritat en el cas d'una llei científica pot ser provada amb claredat. Ja no té caràcter condicional sinó demostratiu i s'ha de poder expressar en conceptes clars, definits amb precisió i bàsicament a través d'una funció matemàtica.

Una llei científica expressa una regularitat, és a dir, explica com i per què un fenomen succeeix segons pautes fixes. Per tant tota llei científica ha de tenir caràcter universal, és a dir, ha de permetre explicar de la mateixa manera tots els fenòmens de la mateixa classe.

### **Les lleis científiques poden ser de tres tipus:**

- 1.- Llei deterministes:** són les que afirmen que inexorablement un determinat tipus d'accions A, provoquen un determinat tipus de reaccions R sempre i a tot arreu. És a dir, fan previsions de futur que es compleixen sempre dins un sistema donat. Les lleis de Newton són d'aquest tipus.

**2.- Lleis estocàstiques o estadístiques:** enuncien el que probablement succeirà amb caràcter general, però no poden preveure necessàriament una situació concreta o un cas concret. En aquest cas concret, l'incompliment puntual d'una predicció no significa que l'enunciat sigui fals, sinó que no es poden preveure totes les circumstàncies que envolten una situació. Moltes lleis en medicina i en psicologia són d'aquesta mena.

En física, Heisenberg va afirmar que l'observador modifica el que observa ('principi d'indeterminació'). A escala subatòmica (a nivell d'electrons, protons, neutrons, neutrins...) la causalitat determinista no existeix: no es pot conèixer a la vegada la posició i la velocitat de les micropartícules i, en conseqüència, no es poden predir del tot esdeveniments futurs. La frase d'Einstein 'Déu no juga als daus' resumeix la incomoditat d'Einstein davant la teoria física quàntica, que malgrat tot funciona correctament.

**3.- Lleis tècniques:** són la traducció operativa de les lleis deterministes o estadístiques. Fan possible l'ús pràctic de la ciència. De vegades una tecnologia és possible malgrat que les lleis físiques que expliquen el seu funcionament siguin desconegudes. Un cas prou conegut és el de la roda que es va inventar en la prehistòria, però fins al segle XIX no es van descobrir les lleis que expliquen el fregament i, per tant, perquè roden les rodes.

Però les lleis científiques no són «dogmes», és a dir, no se situen fora de tota discussió, sinó que han de ser repensades a partir de nous coneixements o de nous experiments.

**TEORIES CIENTÍFIQUES:** Quan una sèrie de lleis científiques són congruents entre si, és a dir, quan s'estableix una mena de xarxa consistent de lleis que no tenen contradiccions entre elles es parla de **teories científiques**. Una teoria que és un raonament sobre causes i efectes experimentats.

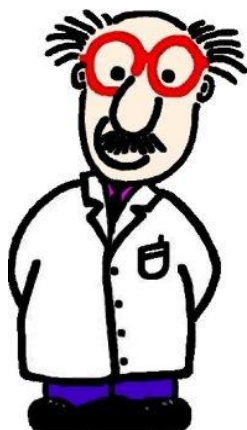
En ciència una teoria és una construcció racional, una manera d'organitzar les dades i atorgar un sentit als conceptes i lleis que han aconseguit superar la prova de l'experiència. Hi ha tres maneres complementàries, o tres enfocaments, a l'hora d'entendre el paper que fa una teoria en ciència:

1. **Enfocament sintàctic:** una teoria és un conjunt de regles (bàsicament expressables en forma matemàtica) que ens permet la definició àgil i clara de les propietats d'un sistema.
2. **Enfocament semàntic:** una teoria és un conjunt de realitzacions, de models o de fets ordenats i que prenen sentit en un context.
3. **Enfocament pragmàtic:** una teoria és un programa (com un programa d'ordinador) que quan l'usem ens permet fer o calcular determinades coses.

Conceptes, hipòtesis i lleis científiques han de complir amb el que s'anomena «**navalla d'Ockham**», o «**principi d'economia**»: Ockham era un filòsof i teòleg franciscà medieval. Segons el principi esmentat, l'explicació més simple sobre el món i sobre els seus mecanismes ha de ser sempre preferida a la més complexa.

Des de Karl Popper sabem que una teoria és, en realitat, una hipòtesi. És a dir, que les teories són explicacions provisionals que de moment han superat amb èxits els intents de proves en contra (o 'falsacions') als quals han estat sotmeses.

## 6.- LLEIS I NECESSITAT NÒMICA



La paraula *nomos* en grec significa 'lleí'. Per tal de viure amb sentit, en un món coherent, comprensible i acollidor, els humans necessitem suposar que el món té regularitats, que s'expressen en forma de lleis. Que hi hagi lleis científiques no vol dir necessàriament que el món sigui uniforme, sinó que hi ha regularitats. La regularitat és un concepte de base estadística no s'ha de confondre amb la igualtat, sinó que expressa una certa constància en el comportament de les diverses variables.

Els filòsofs s'han preguntat sovint si una llei científica té caràcter 'necessari' i què significa la paraula 'necessitat' en ciència. D'entrada cal diferenciar la *necessitat nòmica* (legiforme) de la necessitat lògica. Regularitat nòmica és la que segueix un patró que es confirma de forma necessària, no accidental. Però que hi hagi una llei no significa inevitablement que aquesta llei sigui lògica. No seria absurd des del punt de vista lògic viure en un món on l'aigua bullís a 50 graus centígrads per comptes de fer-ho a 100. Per això D.M. Armstrong a *What is a Law of Nature* (Cambridge University Press, 1983) va afirmar que les lleis de la natura tenen una 'necessitat contingent', o accidental, és a dir, que podem imaginar-nos perfectament un univers on aquestes lleis no existissin. Una llei científica és només una llei en el nostre món. S'anomena 'escepticisme' la teoria que nega l'existència de lleis necessàries (regularitats nòmiques) en ciència i creu que totes les regularitats són accidentals. Per als escèptics, en ciència hi hauria tan sols regularitats accidentals (és a dir que no segueixen un patró o model consistent) i no relacions de necessitat en sentit fort (nòmiques).

Cal distingir la necessitat lògica de la necessitat nòmica. En un món on l'aigua bullís a 50 graus es podia seguir complint la regla lògica que afirma que si A és veritat, No-A és fals. La necessitat nòmica prové de la necessitat que té la ciència d'establir causalitats, fins i tot si el concepte de causa és difícil de justificar lògicament perquè mai podem saber del tot segur si un fet X és causa o només és antecedent d'un fet N. No hi ha res al món extern que garanteixi la necessitat nòmica i per això alguns teòrics de la ciència han defensat que una llei científica és tan sols una generalització feta a partir de l'experiència. Experiències diferents portarien a comprensions diferents i no comparables sobre el món.

Aquesta tesi és, però, argumentativament feble, senzillament perquè hi ha experiències més consistentes que altres. Per exemple, un daltònic veuria les coses de colors diferents a un no daltònic, però no hi ha dos móns realment diferents, sinó una percepció correcta i una que no ho és.

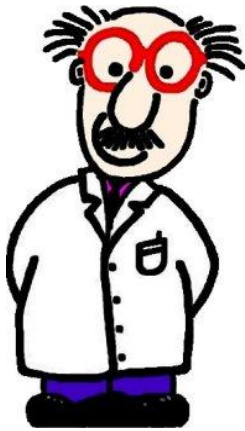
La necessitat nòmica no és una exigència de la naturalesa física, sinó de la naturalesa humana: no podem comprendre el món sense lleis i les lleis reposen sobre la suposició de la causalitat per molt que ens costi justificar la consistència dels arguments causals.



**EXERCICI:** El rellotge és un exemple senzill de regularitat i ordre, i el núvol és un símbol de les teories que assumeixen un món poc ordenat i deixen un espai a imprevisible. Escriu una redacció sobre el tema: *El món és com un rellotge o com un núvol?*



## 7.- QUÈ ÉS UNA HIPÒTESI CIENTÍFICA?



Una hipòtesi en el llenguatge d'ús corrent és una resposta provisional a una pregunta que ens fem i que encara no sabem respondre correctament. En general la hipòtesi respon a una pregunta que es planteja en mode condicional, del tipus: «què passaria si?...». El humans fem hipòtesis sempre al llarg de la nostra vida. Però hi ha hipòtesis que són científiques i altres que no en són.

En teoria de la ciència una hipòtesi no és mai ni una suposició gratuïta, ni una forma desbocada de la imaginació, ni una pensada mancada de lògica, ni una observació que deriva del pur sentit comú. Algú que fes això seria un xarlatà però no un científic. La paraula «hipòtesi» té un significat molt particular dins una teoria científica.

Etiològicament, 'hipòtesi' significa: «el que hi ha sota una afirmació». La paraula 'tesi' vol dir, en grec, posar o afirmar. Una hipòtesi és una afirmació que hem de posar (sotmetre) a verificació.

En teoria de la ciència una hipòtesi pot tenir dos sentits:

**1.- En matemàtiques:** les hipòtesis són les dades d'un problema que hem de resoldre. Són també les proposicions fonamentals que cal admetre per elaborar un raonament, val a dir, els *axiomes* i els *postulats*.

**2.- En les ciències de la naturalesa:** les hipòtesis són explicacions dels fenòmens que hem de sotmetre a verificació mitjançant l'experimentació. Tota hipòtesis consisteix en una explicació plausible i provisional dels fets que ha de ser provada.

El valor que atorguem a una hipòtesi depèn de la seva possibilitat de verificació. Per això quan no hi ha cap experiment possible per demostrar una hipòtesi, no estem davant d'una teoria científica. Per exemple si invoquem 'la còlera dels déus' per explicar un terratrèmol no fem una hipòtesi científica perquè no hi ha manera humana de verificar ni l'existència dels déus, ni la seva còlera.

Una hipòtesi científica ha de poder ser provada, mostrant així a través del càlcul o de l'experiment que té unes determinades conseqüències que havíem previst.

Però mai no podem estar el tot segurs que una hipòtesi està verificada per sempre més. Les hipòtesis científiques són provisionals i per això sovint els científics parlen d'«hipòtesis de treball». Són eines que ens permeten progressar en el coneixement. Per això una hipòtesi pot ser abandonada durant algun temps i represa posteriorment perquè s'han trobat noves maneres de sotmetre-la a prova — i de vegades es diu que un científic va demostrar la hipòtesi d'un altre que l'havia avançat però que no havia aconseguit provar.

Les hipòtesis, fins i tot quan tenen moltes proves a favor, són només provables. La verificació de la hipòtesi sempre ha de ser provisional perquè ningú no pot garantir que algun dia un experiment o l'ús de noves eines no ens porti a fer experiments ara no previsibles, o que no ens doni un resultat inesperat.



Tota hipòtesi implica un risc. Diem que una hipòtesi és 'audaciosa' quan representar un repte per al saber científic d'una època. Per això als seus inicis pot ser rebutjada per una comunitat científica, i fins i tot rebuda amb ironia, com va succeir al principi amb les idees d'Einstein, per exemple.

Per principi, les hipòtesis científiques han de ser el màxim de simples: ha d'establir amb claredat que si es compleix succeirà X i mai no succeirà no-X. Una hipòtesi que no rebutja coses (que no diu que hi ha un no-X impossible), no és científica.

En general quan una hipòtesi és massa complicada els científics tendeixen a malfiar-se'n. Això s'anomena 'postulat d'elegància'. Això no significa que una teoria científica no pugui significar un repte per a la nostra raó i, de fet, que sigui contrària a la nostra imaginació o al sentit comú d'una determinada època. Cal acceptar que el que sembla un absurd de la nostra imaginació no necessàriament és impossible en la naturalesa. Però quan es debaten les hipòtesis en general s'opta sempre per la més clara i simple.

En general les hipòtesis no es verifiquen lògicament per elles mateixes, sinó en la mesura que es compleixen les seves conseqüències previstes: per això un raonament científic esquemàticament funciona en quatre passes:

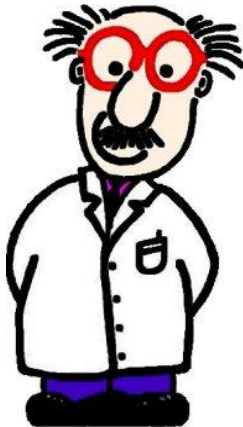
- 1) Si la hipòtesi H és certa succeirà X.**
- 2) S'observa que X succeeix (o que no succeeix).**
- 3) En conseqüència X és veritat (o és fals).**
- 4) D'aquesta manera la comunitat científica accepta H (o oblida H fins que no hi ha proves concloents) i es converteix en una tesi T.**

Hi ha una asimetria radical entre la verificació i la falsació: milers de proves a favor d'una hipòtesi no la demostren i, en canvi, una sola experiència en contra la posa en crisi o la 'falsa', obligant-nos a revisar la nostra explicació. Però, de fet, no sempre les proves disponibles justifiquen la totalitat d'una teoria. Aquest és el cas d'alguns problemes que la genètica planteja a la teoria de l'evolució. En la realitat, sovint una teoria científica no és capaç de justificar 'totes' les hipòtesis i, simplement, triem la que explica millor la majoria dels casos.

#### **EXERCICI:**

- **Explica quina diferència hi ha entre una hipòtesi i una suposició.**
- **Què es necessita en teoria de la ciència per tal que una hipòtesi sigui provisionalment admesa?**
- **Per què l'enunciat: 'Teseu va tancar el Minotaure al laberint' no és una hipòtesi científica?**
- **Per què l'enunciat: 'El fons de radiació còsmica és de tres graus Kelvin' és una hipòtesi científica?**

## 8.- EL PRINCIPI DE FALSACIÓ



El concepte de 'falsació' fou introduït en teoria de la ciència per Karl Popper (1902-1994), com un criteri que ens permet posar a prova la científicitat d'una teoria. Hi ha hipòtesis que són científiques i altres que no en són: el que les diferencia és que les hipòtesis científiques poden ser falsades.

És important no confondre el mot 'falsar' amb 'falsificar'. Falsificar un carnet d'identitat, per exemple, és construir una cosa falsa. En canvi, quan es 'falsa' una teoria, simplement se la sotmet a prova.

Popper proposà considerar científiques només aquelles teories que poden ser sotmeses a una refutació experimental. Falsar una teoria significa fer l'esforç de dissenyar experiments per tal de mostrar que aquesta teoria potser està equivocada.. Tota teoria que no pugui ser sotmesa a experiment, contra la qual no sigui possible dissenyar experiments que la poden posar en crisi, simplement no és científica.

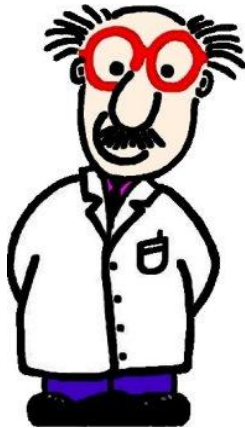
Tota teoria científica és provisional: es tracta simplement d'hipòtesis que, de moment, han superat amb èxit els intents de refutació que han rebut i per això les fem servir com la millor explicació que ara per ara tenim per tal d'explicar algun fet. Això implica que la teoria científica és constantment revisable i està exposada a acceptar que potser les coses no són tal com es preveïen. A l'inversa un dogma seria la negació mateixa de l'ideal científic, perquè el dogma no es pot discutir. Mentre la ciència sempre està oberta a rectificar, el dogma mai no canvia.

El canvi científic pot fer-se de dues maneres: habitualment, una teoria científica posterior engloba i amplia una teoria anterior (com les lleis de Newton, engloben les explicacions de Galileu) i en casos molt extrems una teoria científica nega de manera radical el que abans se sabia sobre un àmbit (com la física de Copèrnic va deixar obsoleta la de Tolomeu).

**EXERCICI:** Explica per què un llibre de física podia ser considerat 'científic' al segle 19 i, en canvi, aquest mateix text avui seria només un text d'història de la ciència?

**La falsació estableix una diferència significativa entre 'lletres' i 'ciències'? Per què no pot ser falsat, per exemple un llibre de poesia?**

## 9.- QUAN DIEM QUE UN EXPERIMENT ÉS CORRECTE?



Un experiment és una estratègia que es projecta per tal de demostrar una hipòtesi. Els experiments per tal de resultar valuosos han de complir dos requisits previs: han de ser intencionals i controlats metòdicament per tal d'evitar l'atzar.

Metodològicament, un experiment científic ha de complir amb quatre requisits fonamentals:

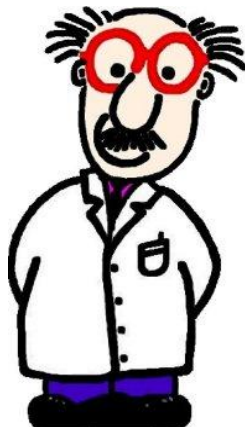
1. **Validesa:** Obtindrem resultats negatius si la hipòtesi amb la qual comencem no és vàlida, i resultats positius quan aquesta hipòtesi és vàlida. Un experiment que no permet descartar res, que accepta igualment a i no-A, no és vàlid.
2. **Replicabilitat:** Cal que diferents observadors puguin arribar als mateixos resultats de forma independent en fer la mateixa experiència.
3. **Verificabilitat intersubjectiva:** Cal que hi hagi acord entre partidaris i crítics d'un experiment respecte als criteris utilitzats per a la seva verificació. Això és el que s'anomena 'consens científic'.
4. **Simplicitat:** (també anomenada 'lleï d'Ockham' o principi d'elegància). Entre dues explicacions d'un experiment sempre resulta preferible la més senzilla.

El problema més complex que planteja la justificació experimental és el de la verificabilitat intersubjectiva, és a dir, l'establiment de les condicions de consens científic. Experiments, com a mínim potencialment, se'n poden fer molts i no sempre tots els científics estan plenament d'acord a valorar de la mateixa manera les conseqüències d'un determinat experiment. A l'hora de fer valdre un experiment com a criteri per justificar una teoria no es tracta només de reivindicar la força del millor argument, sinó que hi ha una sèrie de condicions socials i culturals que poden afectar l'acceptació del que està científicament experimentat.

El consens científic és l'opinió compartida per una comunitat científica al voltant d'una determinada opinió. Es produeix consens bàsicament d'una forma negativa: més que proves a favor, en molts temes el que hi ha és una falta d'arguments concloents en contra. Temes com l'evolució o el canvi climàtic, per exemple, tenen un gran consens tot i que les proves no siguin concloents sinó només probabilístiques.

De vegades un experiment científic no és acceptat perquè desafia el saber acceptat per una època (o com es diu tècnicament, el 'paradigma'). Un cas prou conegut és l'experiment de Barry Marshall i Robin Warren (1982) quan proposaren que la bactèria *Helicobacter pylori* era la causa principal de l'úlcer gàstric. Se'ls va objectar que cap bactèria podia prosperar en l'ambient extremadament àcid de l'estomac. Llavors Marshall va ingerir una dosi de cultiu bacterià i demostrà que l'experiment complia els anomenats *postulats de Koch* que s'empren per determinar l'etiologia dels agents les malalties infeccioses. Ambdós van rebre el premi Nobel (2005).

## 10.- LA CAUSALITAT EN CIÈNCIA



Esponàniament els humans busquem sempre les «causes» —siguin o no científiques— de tot allò que ens passa. Atribuïnt una causa a un fenomen aquest deixa de ser misteriós i esdevé comprensible. Però la ciència no admet qualsevol mena de causalitat. La ciència dóna una interpretació racional i verificable de les causes dels fenòmens, en forma de lleis científiques.

En el pensament màgic les causes dels fenòmens resulten incomprensibles, misterioses o atzaroses. Això s'anomena «antropomorfisme». Però la causa d'un fenomen científic no és una responsabilitat humana: el fenomen es desencadena, vulguin o no els humans, per lleis intrínseques de la matèria. Si sempre que es dóna un esdeveniment A es produeix B direm que A és causa de B. D'una manera senzilla, si cada cop que es produeix A (fricció) es produeix B (calor) direm que la fricció és la causa del calor.

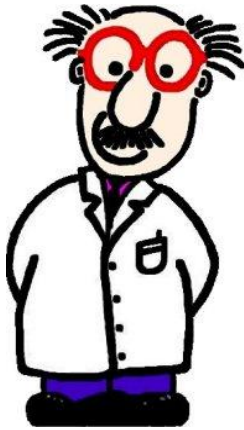
Hume (s. XVIII) va mostrar, però, que la causalitat no és lineal. L'atribució de les causes és un procés relacional que fa la nostra ment. De fet, som els humans els qui pressuposem que hi ha «causes» en la mesura que acceptem que la naturalesa està determinada, és a dir, que segueix un cert nombre de regles invariables de les quals és possible trobar una sèrie de lleis. En realitat, però, en la naturalesa no hi ha «causes», sinó «fets». Som els humans els qui pressuposem que hi ha causes. Factualment no sempre que es produeix qualsevol A es produirà necessàriament un i el mateix B. Per això més que parlar d'una causa és millor raonar en termes de «sistemes causals», considerant cada fenomen com una estructura i cada estructura en relació a d'altres

En aquest sentit convé estar alerta davant alguns errors d'apreciació molt simples:

- 1.-** Cal evitar confondre «causalitat» i «successió». No n'hi ha prou amb què la causa precedeixi la conseqüència; sinó que la conseqüència ha de ser el *resultat* d'una causa. Exemple: no té sentit dir que la nit és la causa del dia, o que el dia és la causa de la nit. L'una i l'altre són dues fases d'un mateix fenomen.
- 2.-** És possible també que A i B siguin efectes d'una mateixa causa. Exemple: l'esclat del tro no és la causa del llamp, es manifesta abans perquè la llum és més ràpida que el so; la causa en aquest cas és la descàrrega elèctrica entre els núvols.
- 3.-** Finalment, de vegades, la relació entre A i B pot ser una simple coincidència. Imaginem-nos que una persona cau malalta un dia després de prendre un whisky i que al cap d'unes setmanes més tard recau en la malaltia després de prendre també un whisky. Com que hi ha un element constant abans de caure malalt (prendre whisky) una explicació ingènua seria suposar que el whisky fa caure malalt, cosa que no és necessàriament certa.

**Per això habitualment en ciència no usem la paraula «causa», sinó que preferim referir-nos a «lleis» científiques, que són matematitzables i experimentals.**

## 11.- EL MÈTODE CIENTÍFIC



Etimològicament, en grec, la paraula mètode significa 'camí'. Un mètode és un procediment o un camí que segueix diverses regles o passos fins arribar a la veritat.

En ciència s'empren tres mètodes: deductiu, inductiu i hipotètic-deductiu.

**1.- MÈTODE INDUCTIU:** Consisteix a extreure una conclusió general a partir de la repetició d'experiències concretes que donen repetidament el mateix resultat. Per a un inductivista les lleis són la conseqüència dels fets. És una forma de generalització que s'elabora a còpia de comparar experiències en principi úniques. Si es repeteix  $X$  cada vegada que analitzem determinats fets concrets ( $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$ ...) llavors podem dir que es tracta de casos d'una llei general.

El filòsof holandès contemporani Bas C. Van Fraassen ha insistit que la inducció és un fenomen pragmàtic (depèn del context) i de caire tripartit: per tal que es faci una inducció en ciència cal una determinada relació entre la teoria, el fet i el context. Així per exemple, la mort de diverses persones en una carretera el metge l'explicarà com a 'hemorràgia', l'enginyer industrial com a 'defecte en els frens' i l'enginyer de camins com a 'defecte en el peraltat de la carretera'. És el context el que fa significativa una inducció.

La inducció és complicada d'acceptar en ciències empíriques perquè gairebé mai resulta és possible exhaurir tots els punts de vista i totes les experiències possibles. Tota inducció sempre té un caràcter de 'presumpció', però mai no es segura. Per això la inducció no permet una absoluta seguretat sinó una probabilitat. Sovint acceptar (o no) una inducció depèn de la seva possibilitat d'aplicar-la i de guiar-nos en la vida.

Un dels problemes psicològics de l'inductivisme és que argumenta a favor del pessimisme: si la majoria de les teories científiques anteriors s'han demostrat falses, ¿quina garantia hi ha que les actuals seran certes?; si quasi sempre perdo ¿per què m'he d'esforçar a guanyar? L'inductivisme pessimista tendeix a desmotivar a l'hora de l'acció.

**2.- MÈTODE DEDUCTIU:** Consisteix a extreure a partir d'una hipòtesi general (una llei científica)  $X$ , una sèrie de conseqüències que demostrin que en el concret es verifica  $X$ . D'una premissa general  $X$  se n'extreu necessàriament una conclusió particular  $x$ . Aquest mètode s'usa en matemàtiques i en ciències formals.

La inducció es basa en la *probabilitat* i la deducció en la *necessitat*.

**3.- MÈTODE HIPOTÈTIC-DEDUCTIU:** Mètode hipotètic-deductiu és el que considera la relació entre una hipòtesi i les seves conseqüències. D'una manera més senzilla, el mètode hipotètic-deductiu té una forma de: 'si..., aleshores...'. 'Si surto de tal base arribaré a tals conseqüències'. És una combinació dels dos mètodes anteriors i consta dels següents passos:

- 1) **Definició del problema:** S'inicia amb el descobriment d'una situació problemàtica (*Ex: la salut dels obesos és inferior al de les persones primes*).

- 2) **Formulació d'hipòtesis:** Es proposa una explicació o solució possible que ha de ser contrastable. Habitualment, les hipòtesis es redacten en forma afirmativa i en mode condicional (*Ex: potser una hormona X impedeix l'obesitat*).
- 3) **Deducció de conseqüències:** Deductivament s'extreuen les conseqüències que tindria la hipòtesi si fos verdadera (*Ex: s'injecta l'hormona X en ratolins suposant que no s'engreixaran encara que segueixin un règim de sobrealimentació*).
- 4) **Contrastació d'hipòtesis:** Es comprova experimentalment, o d'una forma externa verificable, si es compleixen les hipòtesis previstes (*Ex: s'injecta l'hormona X a un grup prou nombrós de ratolins, s'injecta una altra hormona a un segon grup i no s'injecta res a un altre - grup control*).
- 5) **Refutació d'hipòtesis:** Quan no es compleixen les conseqüències previstes (*Ex: quan malgrat injectar-les l'hormona X les rates del primer grup s'han engreixat o no hi ha diferències significatives respecte als altres grups*) cal rebutjar la hipòtesi o reformular-la.
- 6) **Confirmació d'hipòtesis:** Quan podem verificar que es compleixen les conseqüències previstes (*Ex: quan en injectar l'hormona X les rates del primer grup no s'han engreixat i podem observar que hi ha diferències significatives respecte als altres grups*), la hipòtesi queda confirmada.
- 7) **Obtenció de resultats:** Es formula una nova llei o teoria o es confirma la teoria ja proposada.





Popper va observar que hi ha una dissimetria radical entre la verificació i la falsació d'una hipòtesi. Per moltes proves en favor d'una hipòtesi una sola experiència en contra la falsa. Per tant, tota teoria és només provisional. Segons Popper més que buscar experiments que 'demostrin' una teoria el que hem de fer és dissenyar-los buscant fets que demostrin que és falsa. Mentre no se'n trobin la hipòtesi és considerada provisionalment verdadera. Però quan es descobreix un sol cas que s'hi oposa, la hipòtesi queda falsada i, per tant, es refusa.

### EXERCICIS:

**Si afirmo: *En Pere va fumar moltes cigarretes i no va patir càncer, en Pau també va fumar molt i no li va passar res; per tant el tabac no produeix càncer*: quin raonament estic fent? On falla?**

**Afirmar que: *les víctimes d'abusos sexuals tenen l'autoestima baixa és un exemple d'ús del mètode inductiu. Com combatries aquest raonament?***

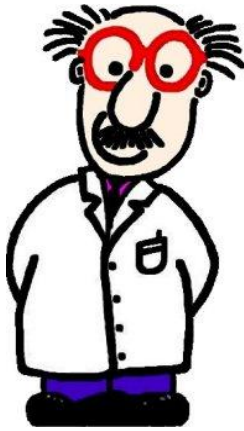


**L'any 1896, el físic Henri Becquerel (1852-1908) va deixar per accident una placa fotogràfica verge en un calaix que contenia sals d'urani i observà posteriorment que la placa s'havia velat. Això el va portar a deduir que l'urani emetia unes radiacions que velaven les plaques fotogràfiques. Aquest fenomen s'anomenà 'radioactivitat'.**

**Explica per què el procés d'investigació d'aquest fenomen va seguir les passes del mètode hipotètic-deductiu.**



## 12.- EL CAS SEMMELWEIS: UN EXEMPLE DEL MÈTODE HIPOTÈTIC-DEDUCTIU



**El cas Semmelweis és un dels exemples més coneguts i dramàtics d'ús del mètode hipotètic-deductiu en ciència.**

**Ignác Fülöp Semmelweis** (1818-1886) era un metge hongarès que treballava al departament de maternitat d'un hospital vienès on hi havia dues seccions destinades al naixement de nadons: la primera secció, de la qual s'encarregaven els metges, i la segona secció, a càrrec de llevadores. A la primera secció es produïa una gran mortalitat entre les dones que anaven de part, a causa d'una malaltia anomenada «febre pauperal» — fet que no succeïa en la segona.

Curiosament l'epidèmia de febre pauperal no es produïa a cap altre hospital de Viena i fins i tot les mares que parien soles o en un carreró rarament en morien. Per acabar de fer les coses més difícils, quan el pavelló de la primera secció es tancava (per pintar-lo o per reparacions), s'aturava la mortalitat.



Semmelweis es proposà descobrir les raons que poguessin clarificar un fet que resultava del tot incompreensible a partir dels coneixements de l'època.

Per això formulà diverses hipòtesis, diverses conjectures que poguessin determinar un resultat tan desastrós. Vegem-les.

**1.-** Estudià les possibles diferències en el tractament de les dones. Veié que, a la segona secció, les dones s'ajeien de costat, mentre que a la primera s'ajeien d'esquena. La hipòtesi podria ser aquesta: la postura de la dona seria significativa a l'hora de contraure la «febre pauperal». Derivà una conseqüència empírica d'aquesta hipòtesi: si canvio la postura de les dones de la primera divisió deixaran de contraure la febre. La comprovació no donà els resultats esperats i la hipòtesi fou rebutjada.

**2.-** Una altra intent d'explicació fou que per la primera secció passava sovint un sacerdot que atenia les moribundes. Formulà una hipòtesi agosarada: el sacerdot provoca un efecte terrorífic i debilitant en les dones, i això fa que tinguin més possibilitat de contraure la malaltia. Per tal de contrastar la hipòtesi canviaren el recorregut del mossèn, fent que no passés per la primera secció, però van veure que aquest fet no era significatiu, ja que no se solucionà res.

**3.-** Va intentar correlacionar també la mortalitat de les parteres amb el clima i amb l'època de l'any i va veure que no hi havia cap relació estadística.

**4.-** Finalment, Semmelweis arribà a la solució del problema quan un metge company seu va morir també de «febre pauperal» després de ser ferit al dit pel bisturí d'un estudiant en el moment de fer una autòpsia. Aquest fet posà

Semmelweis sobre la pista: afirmà que la «matèria cadavèrica» que hi havia en l'escalpel de l'estudiant havia provocat la mort del metge. I s'adonà que ell mateix i els estudiants que feien el reconeixement de les dones anaven a la sala de parts després de practicar disseccions a la sala d'autòpsies, sense netejar-se les mans acuradament. En canvi, a la segona secció la mortalitat era menor perquè les llevadores que atenien les pacients no tenien contacte amb matèria cadavèrica. D'aquesta hipòtesi en derivà una conseqüència contrastable: netejant a fons l'instrumental mèdic i rentant-se molt bé les mans s'evitaria el problema. Aquest últim intent funcionà: mercès a una higiene més acurada morien menys dones.

Quan entre 1851 i 1857 se li encarregà la direcció d'un hospital a Pest (Hongria) Semmelweis aconseguí que la taxa de mortalitat per febre pauperal disminuís fins un 0,85 %, gràcies a una política d'estricta profilaxi, que obligava els metges a rentar-se les mans regularment. Tot i això va tenir molts problemes per tal que la seva hipòtesi fos acceptada, no per raons científiques sinó per motius de tipus polític (Semmelweis pertanyia al partit liberal i com a hongarès era discriminat a Viena).

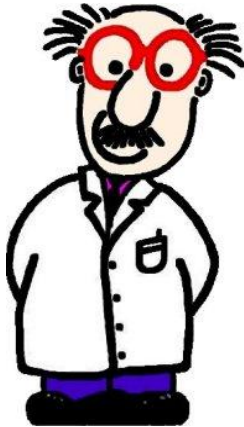
Aquest cas és tot un clàssic de l'ús del mètode hipotètic-deductiu. Semmelweis formulava hipòtesis, és a dir, suposava que es donen determinades relacions entre els fenòmens observats, (p.ex.: entre la febre pauperal i la posició del cos) i després comprovava que la posició del cos no tenia cap incidència sobre l'aparició de la febre. Quan la seva hipòtesi fallava, en buscava una altra i la sotmetia a prova i així successivament. Per això aquest mètode s'anomena *hipotètic-deductiu*, perquè s'inicia amb l'elaboració d'una hipòtesi i s'acaba amb la deducció d'una hipòtesi que es pot comprovar empíricament.

#### **BIBLIOGRAFIA:**

**Sherwin B. NULAND: EL ENIGMA DEL DOCTOR IGNÁC SEMMELWEIS, FIEBRES DE PARTO Y GÉRMENES MORTALES. Barcelona: Antoni Bosch Editor, 2005.**



### 13.- LA CONSTRUCCIÓ DE MODELS EN CIÈNCIES



Un model és una construcció més o menys idealitzada de la realitat, una representació teòrica, simplificada, però eficaç, que després haurà de ser verificada en confrontar-la amb una realitat més complexa. Els concepte de 'model' és central en la comprensió constructivista del mètode científic i cada vegada és més habitual que el concepte de 'teoria' (operatiu) substitueixi el de 'teoria' (substantiu).

Una de les funcions bàsiques de la ciència és la construcció de models que ens permetin comprendre la realitat. Un model és la representació senzilla de comprendre ('a escala') d'un fenomen complex o d'una teoria abstracta. Seguint Ludwig von Bertalanffy, un model en ciències és:

*«Una construcció que, amb una simplificació intencionada, reproduïx aspectes d'un fenomen natural i fa possibles unes derivacions deductives i unes afirmacions que poden comprovar-se per l'experiència».*

**Un model pot presentar-se en forma gràfica, matemàtica o conceptual però l'important és que ens permet descriure, explicar, comprendre i simular fenòmens i processos. En qualsevol cas un model sempre pretén aconseguir dues coses:**

**.- Organitzar les dades disponibles** d'una manera clara (*input*).

**.- Interpretar-les** d'una manera productiva, a partir de la qual sigui possible operar (*output*).

Els models són 'integradors', ens permeten integrar i organitzar d'un sol cop una multitud de dades o informacions. En aquest sentit un model és una ficció útil; a la llarga tots els models acaben entrant en crisi perquè la realitat és més complexa i matisada que la seva modelització, però ens ajuda a pensar. Gràcies a la simplificació s'aconsegueix representabilitat. En aquest sentit un model no és ni veritable ni fals, sinó 'orientador' o 'desorientador', més o menys complet o incomplet. El model s'exhaureix quan ja no ens permet pensar creativament

Un model no és una hipòtesi tot i que sovint ambdós conceptes es confonguin: les hipòtesis han de ser provades, els models recullen dades (ja siguin provades o simplement provables, però no confrontats) i les presenten d'una manera productiva però idealitzada i purament teòrica. En aquest sentit un model és pedagògic.

Per a la teoria constructivista de la ciència, tota teoria científica és un model ja sigui determinista (com les lleis de Newton) o estocàstic - probabilístic (com les lleis de la física quàntica), però, de fet, la teoria és sempre explicativa mentre el model és tan sols descriptiu. El model busca recrear una realitat per al seu estudi i, per tant, simplifica les teories (de la mateixa manera que una pilota de golf no és un àtom però intuïtivament pot ajudar-nos a entendre el concepte).

Els models tenen quatre característiques bàsiques:

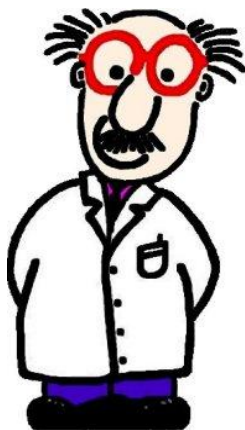
1. **Són teòrics:** analitzen relacions entre variables que caracteritzen un àmbit de la realitat.

2. **Són representacions funcionals:** presenten imatges simplificades de la realitat, de la qual només recullen aspectes simplificats o especialment notables.
3. **Són eines amb finalitat investigadora:** poden ser interessants a efectes d'estudi (d'aquí la seva 'productivitat'), però no tenen finalitat en ells mateixos.
4. **Són susceptibles de matematització:** de vegades s'expressen a través d'equacions i de gràfiques.

Tenint en compte la forma com es construeixen els models es poden dividir en:

1. **Analògics:** que es construeixen a partir de qualitats, estructures o processos que **representen** les qualitats, estructures o processos dels fenòmens estudiats (per ex.: si pensem l'electricitat com un fluid i veiem la pressió com el voltatge i la velocitat com l'amperatge).
2. **Iconístics:** que es construeixen com una **còpia a escala** d'una propietat o conjunt de propietats d'un fenomen empíric (per ex.: un organigrama).
3. **Simbòlics:** quan es relaciona el model i la realitat gràcies a la interconnexió significativa de conceptes).

## 14.- ERROR i ACCIDENT EN CIÈNCIA



De vegades en teoria de la ciència s'ha exagerat el paper de l'error. Del fet que les explicacions científiques estiguin sempre obertes a la possibilitat de crítica no se'n dedueix necessàriament que siguin errònies. És fàcil en veure en la divulgació científica referències al 'paper positiu de l'error' i tesis similars, com si equivocar-se fos una cosa divertida i positiva – i no el que realment és: la constatació d'un fracàs. 'Aprendre dels errors' és una frase feta que no significa res. En realitat les persones intel·ligents procuren treballar bé i no cometre errors (per això diem que són intel·ligents!) i aprenen dels errors dels altres.

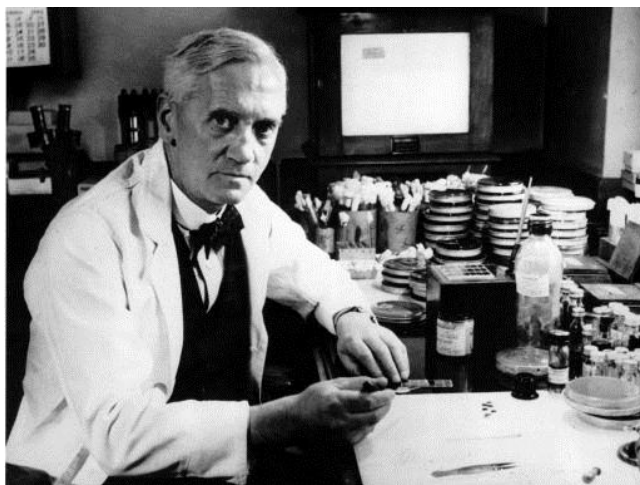
Per això convé no confondre dos conceptes diferents en el treball científic: *error* i *accident* no són el mateix.

L'error en ciència és un fracàs de la teoria i es produeix quan les hipòtesis plantejades es revelen falses. De vegades apareix com a conseqüència de dirigir la investigació d'una manera deliberadament equivocada, o forçada, per exemple, contra les regles del càlcul o de la lògica. La forma més habitual de l'error en ciència consisteix a extreure conclusions excessives a partir de proves molt limitades.

En aquest sentit, **l'error inhabilita per fer ciència**. És un camí que no porta enlloc.

**Però una cosa molt diferent són els accidents.** L'accident és totalment fortuït. Consisteix en una conseqüència inesperada –i feliç o no– d'un experiment que obliga a repensar una qüestió. En l'accident la hipòtesi no es rebel·la falsa, simplement s'arriba a la seva confirmació o a la seva falsació d'una manera inesperada.

L'accident té un punt d'atzarós i ajuda a accelerar les descobertes però només és fèrtil perquè es pot interpretar en un paradigma o model d'investigació consolidat per proves anteriors.



Un exemple és el descobriment de la penicil·lina que es produí per una contaminació accidental d'unes mostres. De fet, els científics estaven buscant el que finalment van trobar i no es van equivocar en l'àmbit de recerca; ni va sonar cap flauta per casualitat, ni va passar res a la primera per assaig i error.

En un accident no hi ha res que derivi «ni de raonaments erronis, ni tampoc d'hipòtesis considerades estrafolàries».

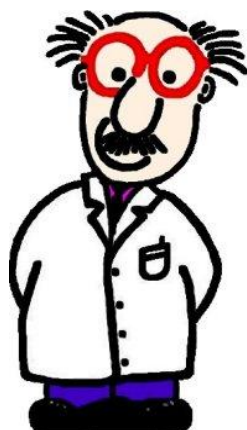
La tradició científica juga un paper central en el treball d'investigació. La penicil·lina no era, ni de lluny el primer fàrmac de la història i forma part d'una tradició científica avalada per moltes proves anteriors. A finals del segle XVIII el metge anglès Edward Jenner havia observat ja els principis de la vacunació i el descobriment de la penicil·lina s'inscriu en aquest corrent com un pas més.

**EXERCICIS:**

- **'Serendipia'** és un lloc de Ceilan on se situa un conegut conte persa. Busca el significat de la paraula **'serendipia'** o **'serendipítia'** a Internet i explica quina relació té el conte amb la tesi del coneixement per accident.
- **Charles N. Goodyear (1800-1860)**, l'inventor del cautxú galvanitzat, va tenir l'any 1840 el seu **'bon any'** (*good year*) en un cas de **'serendípia'**. Busca informació sobre el seu descobriment i explica per què (en aquest cas com en altres), **'serendípia'** no és el mateix que casualitat.
- Busca informació sobre **Edward Jenner (1749-1823)** i la vacunació de la verola. És un exemple de treball empíric o de serendípia? Per què?



## 15.- CIÈNCIA I INTERESSOS EXTRACIENTÍFICS



En teoria de la ciència, de vegades s'ha exagerat el paper de la recerca de la veritat 'pura'; com si no existissin interessos pràctics en la seva mateixa condició de possibilitat. Qüestions poc relacionades amb les ciències 'pures' (com, per exemple, les concepcions del món, les religions, les ideologies polítiques o els interessos econòmics) han estat determinants a l'hora de fer ciència perquè han orientat la manera d'observar el món pròpia dels científics. Per exemple, la matemàtica fou potenciada tant al món musulmà com en l'època medieval cristiana per la idea (religiosa) de la unitat de la veritat i la química rebé un gran impuls al segle 19 com a conseqüència del desenvolupament dels tenyits industrials en la roba i que va ajudar a la popularització de la moda en el vestir.

La ciència no és només una activitat objectiva i racional; s'inclou també en un context social amb interessos i sobreentesos culturals molt importants. En la mesura que la ciència transforma el món (en forma de 'tècnica'), les religions, les ideologies polítiques i els interessos econòmics actuen sobre ella, potenciant o intentant evitar les conseqüències de la seva acció. La ciència no és neutral, perquè els humans tenim emocions, passions i interessos i pot ser instrumentalitzada tant per raons polítiques com econòmiques...

Això, de vegades, pot portar al frau científic, és a dir, a l'ús deliberat de la mentida o de la manipulació, creant, trametent, inventant o plagiant dades i experiments. Els científics poden ser igual de manipuladors que la resta dels humans i, per tant, també hi ha científics que falsegen proves tant per qüestions de prestigi personal (atribuint-se descobriments que hom no ha fet), com per interessos polítics (és coneguda la vinculació entre els nazis i algunes teories biològiques). Manipular estadístiques i inventar o alterar dades per tal que donin el resultat desitjat és un tipus de frau científic relativament senzill de cometre i molt perjudicial. La revisió dels resultats experimentals per part d'altres equips o laboratoris (que s'anomena 'avaluació entre iguals') és una pràctica científica habitual per evitar el frau.

A més del frau, el coneixement científic pot ser manipulat també per interessos extracientífics i, bàsicament, econòmics. Avui la ciència no és una qüestió individual, ni depèn de la genialitat d'un 'gran home', que fa recerca tancat al seu laboratori. Per tal d'investigar cal disposar de grans centres, amb molta maquinària i equips formats per molta gent i el mateix fet de la creixent complexitat de la investigació pressiona per tal d'obtenir rendibilitat cada cop a més curt termini.

Les indústries farmacèutiques i de l'alimentació, per exemple, són cada cop més grans i estan directament vinculades a les innovacions tecnocientífiques, de tal manera que poden decidir investigar (o no) sobre determinats temes en funció de la rendibilitat econòmica immediata. Això té conseqüències immediates sobre els països empobrits. A principis del segle 21, tan sols el 0,9% dels pressupostos d'investigacions en farmàcia es dediquen a les malalties tropicals... simplement perquè aquestes malalties les pateix gent pobre i de països del Sud que no poden pagar el preu de les vacunes. Pel mateix motiu, de les onze companyies farmacèutiques més importants del món, només dues investiguen sobre la malària. El mateix es podria dir de les lluites d'interessos al voltant de les energies renovables, que durant anys van ser menystingudes i poc estudiades perquè el petroli (molt més contaminant) era més barat i les multinacionals del petroli n'impedien l'estudi comprant les patents per



bloquejar la investigació i impedit que els governs donessin ajuts a investigadors independents.

Al segle 19, els filòsofs positivistes (com Comte o el sociòleg català Sales i Ferrer) pensaven que la ciència guiaria la humanitat a una època de veritat i de progrés. A parer seu, la ciència vindria a ser com una nova religió, que ells anomenaven 'la religió de la humanitat'. En la mesura que el coneixement científic estava vinculat a la recerca de la veritat tenia també un paper fonamentalment moral. La ciència s'enfrontava així a la superstició. Avui sabem que les coses no són tan senzilles i que cal un 'responsabilitat social del científic' que és de tipus moral.

Potenciar el que s'ha anomenat '**l'ethos de la ciència**' (concepte elaborat pel sociòleg Robert Merton), que consisteix en una combinació d'universalisme, de recerca comunitària i compartida, de desinterès i d'escepticisme organitzat, és bàsic per tal que la ciència ajudi a desenvolupar una vida més lliure i feliç.

### EXERCICIS:



**Un dels fraus científics més famosos de tots els temps és el del suposat Home de Piltdown; la falsificació d'un fòssil ('descobert' al sud d'Anglaterra l'any 1912), que en realitat era una barreja de mandíbula d'orangutan i crani humà. Amb aquesta falsificació es va pretendre desacreditar el darwinisme i trobar un 'fòssil anglès', perquè altres països ja n'havien localitzat de propis.**

**Busca informació sobre aquest frau i explica quin ús polític o social pot tenir, de vegades, el frau científic.**

**.- Una de les polèmiques més importants sobre plagi i falsificació científica a finals del segle passat fou la que enfrontà els científics Max Gallo (nord-americà) i Luc Montagnier (francès), a propòsit de qui era l'autèntic descobridor del virus del VIH (virus d'immunodeficiència adquirida, SIDA). L'any 2008, Montagnier fou guardonat amb el Nobel i es bandejà Gallo, perquè en els seus treballs havia aprofitat els descobriments anteriors de Montagnier. De fet, des de 2002, Gallo i Montagnier (que personalment són amics), han publicat alguns articles científics conjuntament. Busca informació sobre la picabaralla i explica la relació entre ciència i interessos extracientífics en aquest tema.**



**Al llarg dels segles el color púrpura ha estat un símbol del poder i de la reialesa. Tant en la religió hinduista, com en el budisme i en el cristianisme, la roba de color púrpura s'ha associat al sacerdoti. Això era degut al fet que s'havia d'extreure d'un músclo gasteròpode relativament rar i que en produïa poca quantitat, de manera que el producte resultava fins i tot més car que l'or. Però al segle 19, amb la revolució industrial, William**

**Perkin (1838-1907) va descobrir un procediment de química industrial per fer tints barats per a la indústria tèxtil (i de pas es feu milionari).**

**Investiga la vida de William Perkin i explica a través del seu exemple la utilitat de la ciència per a canviar el món i la vinculació teoria-pràctica.**