

METODOLOGIA DE LA CIÈNCIA

MATERIALS PER A UNA METATEORIA DE LA GEOLOGIA

Facultat de Geologia

Margarida Boladerra i Cucurella



Col·lecció Documents A 60

METODOLOGIA DE LA CIÈNCIA

**MATERIALS PER A UNA METATEORIA
DE LA GEOLOGIA**

publicacions
edicions
universitat
de barcelona



1982



METODOLOGIA DE LA CIÈNCIA

MATERIALS PER A UNA METATEORIA
DE LA GEOLOGIA

Margarida Boladeras i Cucurella

publicacions
edicions
universitat
de barcelona



Avda. Xile, s/n.
BARCELONA-28

EDICIONS DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

DISSENYAT PER CESCA SIMÓN
ALBO 1982

DISSENYAT PER CESCA SIMÓN ALBO 1982

© Edicions de la Universitat de Barcelona
Publicacions de l'ICE Universitat de Barcelona
Director: Miquel Siguán
Composició: Margarida Fàbregas
Imprimeix: Edicions de la Universitat de Barcelona
Disseny: cesca simón
ISBN.: 84-7528-041-2
Dipòsit Legal B.: 38.496-1982

INDEX

"*Uns mots al davant*", Dr. Salvador Reguant,
Degà de la Facultat de Geologia. 7

INTRODUCCIO

1. L'estudi de l'estructura de la ciència 11

CAPITOL I

- | | |
|---|----|
| 2. Sentit del terme 'metodologia'..... | 15 |
| 3. La relació filosofia-ciència..... | 16 |
| 4. La Geologia dins del context general de les ciències . | 16 |
| 5. ¿Es possible una "teoria de la ciència geològica"? | 19 |
| Apèndix | 22 |

CAPÍTOL II

- | | |
|---|----|
| 6. La relació llenguatge-realitat | 27 |
| 7. Taxonomies i codi geològic | 31 |
| Apèndix | 33 |

CAPÍTOL III

- | | |
|---|----|
| 8. Els signes i les coses | 39 |
| 9. Termes observacionals i termes teòrics | 43 |
| 10. Termes observacionals i teòrics en Geologia | 48 |
| 11. La definició dels termes científics | 52 |
| Apèndix | 54 |

CAPÍTOL IV

- | | |
|--|----|
| 12. La qüestió dels principis generals | 61 |
| 13. L'estructura del coneixement científic | 67 |
| Apèndix | 69 |

CAPÍTOL V

- | | |
|----------------------------------|----|
| 14. Les lleis científiques | 75 |
| 15. Teories rivals | 77 |

16. Rivalitats teòriques en Geologia	80
17. ¿Com s'arriba a la formulació de lleis científiques?	84
18. Inductivism	85
19. Deductivism. Popper o el falsacionisme	91
20. Les critiques a l'inductivism	96
Apèndix	98

CAPÍTOL VI

21. Hipòtesis, lleis i teories segons K. Popper	103
22. Lleis: explicació i predicció o retrodicció	106
23. Matemàtica i càlcul de probabilitats	108
24. Geologia com a ciència històrica: lleis i retrodicció	109
Apèndix	113

CAPÍTOL VII

25. Internalisme, externalisme. L'aportació de Kuhn	117
26. Ciència normal i ciència extraordinària	118
27. Els conceptes de "comunitat científica" i "paradigma" segons Kuhn	120
28. Les revolucions científiques o canvis de paradigma	122
29. "Canvis de paradigma" a la Geologia	125
30. Consideracions sobre la "metodologia" de Kuhn	127
31. Consideracions sobre l'obra de Popper	128
Apèndix	132

CAPÍTOL VIII

32. El concepte de model	137
33. Definicions lògico-formals del concepte de model	139
34. Models i teories	141
35. Diferents tipus de models	142
36. Els models estratigràfics segons Krumbein i Sloss	146
Apèndix	151

Uns mots al davant

Heus ací el resultat, ben interessant per cert, d'uns pocs anys de dedicació de la Dra. Margarita Boladeras a la nostra Facultat en un tema tan essencial com discutit.

La presència d'un seminari sobre metodologia científica en general i de la ciència geològica en particular fou, a la nostra Facultat, el resultat de llargues converses i fins de discussions apassionades.

Les dues cultures de Snow, la "humanística" i la "científica", existeixen sovint com a compartiments estancs amb evident perjudici tant per a les mateixes cultures com, sobretot, per als seus cultivadors.

En el cas de la cultura "científica" a la qual pertanyem, podem constatar que els seus cultivadors no sois tenim una excessiva pobresa de coneixements humanístics, sino que tenim una inapetència pertinaç àdhuc pels temes que, essent humanístics en el tractament, són científics en contingut i interès. Entre aquests cal comptar-hi el de la metodologia científica. Cada any, i recentment encara, s'ha sentit la veu dels qui consideren inútil dedicar una part del propi esforç intel.lectual per tal de comprendre com funciona el raonament científic, en quins aspectes pot resultar fàcilment inoperant o tautològic i com repercuteix i ha repercutit el seu encertat ús en l'avang de la ciència. Dit altrament, hi ha molts homes i també a la nostra Facultat, que consideren inoperant coneixer-

se a si mateixos en el més específic del seu comportament intel.lectual. Per sort, la pròpia evolució de la nostra ment en el treball científic continuat ens dóna una certa metodologia i una certa cosmèsió de la ciència que adquirim, creem i usem. També les deficiències del nostre ensenyament geològic professional les podem suprir amb la dedicació més intensa al treball de camp o de laboratori, corregint progressivament les nostres mancances.

Amb aquest argument, però, no podem justificar ni l'existència de plans d'estudi inadequats, ni la baixa qualitat de l'ensenyança.

Per aquestes raons, la Facultat ha estimat que era bo donar a conèixer aquests apunts de Metodologia per tal de poder contribuir a un examen personal de les actituds metodològiques dels membres d'aquesta Facultat, sobretot professors. També perquè es pugui fer una anàlisi crítica del valor d'aquests temes en la formació d'un geòleg i, per tant, establir en quin moment de la carrera acadèmica cal collocar aquesta assignatura de metodologia.

Dins d'aquestes perspectives, la claredat i senzillesa de les pàgines que segueixen, escrites pensant en alumnes majoritàriament amb una migrada formació filosòfica, les fan particularment útils per als objectius que els atribuim.

En certa manera, aquest és un llibre per a la polèmica, no perquè plantagi els temes polèmicament, sinó perquè en primer lloc ens enfronta a la nostra freqüent indigència intel.lectual en el camp de la metodologia científica. En segon lloc, ens obliga a entendre'ns i a jutjar si una persona que no és del nostre gremi ha entès els mecanismes de la nostra ment en la nostra pròpia aventura intel.lectual. En tercer lloc, farà aflorar les nostres posicions intel.lectuals de fons, sovint ben divergents i que expliquen les nostres perspectives diverses en l'enfoc del nostre treball, la nostra "modernitat", el nostre "oportunisme" i la nostra "ingenuïtat" científiques.

I fins el conjunt d'aquest petit llibre pot ser polèmic perquè reflecteix una actitud ben definida d'adscripció de l'autora a una línia de gloriosos antecessors, entre els quals citaria sobretot Popper i Kuhn, però que malgrat la seva gran categoria no estan exempts de tendenciositat a l'hora d'entendre i d'interpretar la ciència contemporània.

*Dr. Salvador Reguant
Degà de la Facultat de Geologia.*

INTRODUCCIÓ

1. L'estudi de l'estructura de la ciència

Davant de qualsevol activitat humana resulta útil de pre-guntar-se quins són els procediments òptims per a dur-la a terme amb un mínim d'esforç i un màxim d'eficàcia, així com també quines són les possibilitats d'assolir un estadi supe-rior de desenrotillament. No sempre és fàcil de contestar aquestes preguntes, i la dificultat augmenta segons el grau de complexitat de l'activitat humana a la qual ens referim.

La ciència és el resultat d'un conjunt molt ampli de factors socials, des del treball solitari de l'estudiós i de l'inves-tigador, fins a la interacció institucional, la manipulació econòmica i política, etc. La història i la sociologia de la ciència ens ensenyen que mai no ha estat ociosa la pregunta per la raonabilitat i el fonament de les afirmacions que creiem poder fer a partir de l'experiència, sobretot quan ens interessa d'una manera especial atényer un grau d'abstracció i de generali-tat important, a fi d'arribar a l'enunciació de lleis generals que expressim adequadament la realitat dels fenòmens naturals.

Les grans etapes de progrés científic es caracteritzen per les innovacions metodològiques, per la introducció de nous concep-tes i categories que afinen la capacitat de referència a la realitat, i per l'elaboració d'hipòtesis que trenquen amb la "Weltanschauung" anterior. Aquests elements es presentaren, per exemple, en la revolució galileana, o en les decisives aporta-cions de Newton, o en els plantejaments relativistes d'Einstein,

tres etapes cimeres del desenvolupament científic occidental. Naturalment, hi ha moltes altres etapes intermèdies i aportacions tant especials com espectaculars: tal és el cas de les teories evolucionistes, les geometries no-euclidianes, etc.

Al costat de científics que han fet abundoses i substancials aportacions metodològiques, altres investigadors no sempre gaudeixen d'un coneixement precís de la lògica, ni dels supòsits i les bases epistemològiques que es troben implícits en la seva tasca de construcció teòrica. Les conveniències de l'especialització han fet que, cada vegada més, siguin els "teòrics de la ciència", els "lògics" o els "filòsofs de la ciència" els encarregats d'explicitar les estructures internes del llenguatge científic.

Contemporàniament l'interès per aquestes qüestions s'ha intensificat. El lligam ciència-tecnologia, el paper central que la ciència té en les nostres formes de vida, l'afany de creativitat i la recerca constant de noves fites no assolides, han fet créixer l'atenció cap a l'àmbit de la metodologia de les ciències. Els estudis s'han diversificat considerablement, abastant aspectes lògics, metateòrics, sociològics, històrics, etc.

L'aspiració i la convicció dels metodòlegs rau en el fet que la clarificació i explicitació de les estructures internes del llenguatge científic, així com l'enunciació de les regles que hi regeixen, no solament poden facilitar i afinar la tasca del científic, sinó que admuc haurien de possibilitar l'elaboració de "programes d'investigació" d'una major efectivitat en l'emresa del "descobriment".

Tanmateix, aquesta agosarada aspiració no pot fer-nos oblidar que hi ha un bon nombre de qüestions elementals que són completament desconegudes o marginades en el nostre àmbit universitari i cal començar per aquests temes bàsics abans d'emprendre camins de més ampla volada. Per això tindran preferència en les pàgines que sequeixen.

CAPÍTOL I

2. Sentit del terme 'metodologia'

El sentit del terme 'metodologia' és d'arrels gregues i, etimològicament, significa "ciència del procediment o camí mitjançant el qual s'arriba a algun lloc".

La metodologia de les ciències estudia els procediments científics. Opera a un nivell metateòric, és a dir, el seu objecte d'estudi són les teories científiques, les quals analitza, formalitza, compara, etcétera.

Per això alguns autors prefereixen el terme de 'teoria de la ciència', o "lògica de la investigació científica", o 'filosofia de la ciència'. Cal remarcar que es tracta dels mètodes de raonament científic (per tant, de l'aparell conceptual emprat pels científics), no dels procediments merament manipulatius de determinades eines o màquines, ni dels standards operacionals de totes i cada una de les tècniques superespecialitzades.

El terme, en aquest sentit, procedeix de la tradició acadèmica alemanya, on hi havia càtedres de 'Methodenlehre' (teoria del mètode). Paulatinament aquesta expressió ha anat deixant pas a una altra: 'Wissenschaftslehre' (teoria de la ciència), i amb aquesta denominació s'han creat càtedres a les Facultats d'especialització més diversa. Un procés semblant ha succeït a Anglaterra i als EE.UU., car l'interès per aquesta matèria ha crescut arreu.

3. La relació filosofia-ciència

Tots sabem que, pràcticament fins al segle XVII, els savis gaudien d'un saber "universal". Aristòtil, a més d'escriure la Metafísica, va preocupar-se també per la física, la botànica, la zoologia, etc. Les primeres i tímides aportacions a la geologia foren proporcionades per personatges que són famosos com a filòsofs: Tales, Anaximandre, Pitagòres, Filó el Jueu, i els mateixos Plató, Aristòtil i Teofrast. Aquest últim fou l'autor del primer Tractat de Geologia (encara que s'ha perdut, és conegut per referències).

En aquest primer temps, hi havia una relació directa, assumida per cada autor, entre els problemes de la teoria del coneixement en general, la lògica, el llenguatge, la cosmovisió, etcètera, i els de l'establiment de nous coneixements en àrees més concretes.

No vull ara entrar en la consideració d'aquest gran primer període, perquè en el nostre context crec més interessant referir-me a la situació existent d'ençà del segle XVII.

A partir de Bacon, Descartes, Kant, Stuart Mill, Comte, Mach i altres, s'elaboren una sèrie de conceptes i principis que seran definitoris de les noves vies del desenrotllament científic i metodològic. Es evident que ambdues formes de progrés es troben interconnectades, de manera que, des de la perspectiva històrica, el problema consisteix precisament en la determinació d'aquesta dependència.

4. La Geologia dins del context general de les ciències

En qualsevol moment històric la recerca de coneixements en un determinat camp ve possibilitada i delimitada pel conjunt del saber d'aquesta mateixa època. La influència és doble:

per una banda al nivell dels principis implícits, cada època accepta uns tipus "d'evidències", expressades en un determinat llenguatge que està vinculat a una cosmovisió específica. Per altra banda, el coneixement referit a un àmbit concret sempre té lligams amb altres sabers: préstecs teòrics, complementaritat d'experiències, dades, tècniques, etcètera.

El cas de la Geologia no és pas una excepció, ans al contrari. Les observacions i explicacions de caire geològic que trobem en els llibres dels savis antics són nombroses i fins i tot sorprenents: Anaximandre creu que l'origen dels animals és anterior a l'origen de l'home; Xenòfanes planteja el problema de la procedència dels fòssils marins que va veure en zones de l'interior, etcètera. Però són qüestions disperses que, o no es resolen i s'obliden, o s'expliquen d'una manera vaga a partir de determinades creences cosmològiques. En el segle XVII, el mateix Leibniz especula amb la hipòtesi que els animals terrestres poden haver-se derivat dels marins, per mitjà dels anfibis, però tot seguit afegeix: "Tanmateix, això contradiu les Sagrades Escriptures i apartar-se d'elles és pecat" (Protogea, 1749) (1).

Malgrat la llarga història de la Geologia, no és fins als començaments del segle XIX quan esdevé un cos de coneixements una mica consistent: es formulen llavors els principis i teories generals que permetran d'establir més concretament el camp d'estudi i de desenvolupar la investigació dels diferents sectors: paleontologia, paleoclimatologia, petrografia, cristallografia, estratigrafia, etcètera.

¿Per què han estat necessaris tants de segles? Fa uns anys s'hauria dit que calia que el temps corregués fins que la "genialitat" d'alguns homes donés com a fruit una ciència geològica consistent com la que tenim avui. Naturalment,

(1) Cf. A. CAILLEUX, Història de la Geologia, Buenos Aires EUDEBA, 1964, p. 56.

aquesta explicació no ens satisfà, perquè no entra en la consideració seria de l'esdevenir científic concret.

¿Podem assenyalar alguns elements teòrics i socials que fossin rellevants en les segles XVIII-XIX i que manquessin en èpoques precedents? Sí, efectivament: des de la perspectiva científica, el progrés generat per la mecànica i l'òptica newtonianes, la "revolució" provocada per les teories lamarckianes i darwinistes, les aportacions de la termodinàmica, etcètera. Sobretot la comesa de Darwin fou indispensable per al trencament definitiu amb les velles interpretacions bíbliques.

Pel que fa al marc social, la revolució burgesa i la societat industrial van fornir els materials ideològics i les necessitats pràctiques que feren brollar l'interès per les realitats de l'àmbit geològic: les escoles de mines són un bon exemple d'interès pragmàtic.

En el segle XX el desenvolupament de la tècnica juga un paper importantíssim en les diferents branques de les ciències geològiques: observació de microorganismes, mesuratge d'edats per radiometria i altres, control de les variacions del magnetisme a la terra, cartografia del fons mari, observació des de satèl·lits, i un llarg etcètera. I de la mà d'estudis tan sofisticats i de l'elaboració teòrica interdisciplinari prové el que s'anomena la "segona revolució" (o primera, segons com es miri) de les ciències geològiques: la tectònica de plaques.

Tornant, però, enrera, voldria insistir aquí en la rellevància paradigmàtica que les teories darwinistes tingueren per la ciència geològica. Es una bona mostra de fins a quin punt la ciència necessita el suport d'una gran teoria general, que li permeti de generar hipòtesis en una determinada direcció. Mentre l'exégesi bíblica anterior fou un obstacle, el naturalisme evolucionista ha estat la "Weltanschauung" fecunda per al desenrotllament de les ciències geològiques.

5. ¿Es possible una "teoria de la ciència geològica"?

Tot coneixement amb una certa entitat ha procurat sempre explicitar els seus principis i el seu fonament o justificació teòrica. La història de la ciència ens mostra que, gràcies a aquest esforç, s'han objectivat esquemes de raonament i de procediment que han incidit positivament en la recerca. Les discussions metodològiques, quan no han estat més pretextos de lluites personals, han esperonat l'acuitat dels científics, obrint camins alternatius d'enfoc sistemàtic, i això vol dir, també, diversificació de vies teòriques, pràctiques i pedagògiques.

Penso, per exemple, en els plantejaments galileans enfront dels anteriors, defensats aferrissadament pels seus contemporanis; en les disputes sobre qüestions matemàtiques i físiques entre Descartes i Gassendi, Leibniz i Clarke; en les preocupacions de Newton per establir un saber cert i no meraument hipotètic; l'impacte de les geometries no-euclidianes (Lobačevskij, Bolyai i Riemann); en fi, en les àmplies discussions que al llarg del segle XIX tenen lloc en diferents camps (física, termodinàmica, biologia, economia, sociologia, etcètera): en aquests casos, l'intent de consolidar una ciència o la preocupació per assolir nous resultats es troben sempre lligats a una consideració especial de la importància del mètode.

¿S'ha donat una preocupació semblant en el camp de la Geologia? ¿Es possible una teoria de la ciència geològica? ¿Es convenient esmerçar-se en aquesta línia?

La Geologia s'ha desenvolupat com a ciència autònoma a l'últim segle. Es, per tant, una ciència "jove" i amb els problemes típics de tal situació: l'atenció dels geòlegs està concentrada en el camp professional (obtenció d'un treball adequadament remunerat i reconeixement d'un status social) i en el desenvolupament de noves investigacions empíriques i experimentals.

Però la història de la Geologia és tan rica com perquè s'hagi

donat ja una "revolució teòrica" i un interès considerable per les qüestions metodològiques i metateòriques, sobretot en els darrers anys. El recull de treballs que trobem en el llibre The fabric of Geology (2) n'és una bona mostra, així com els articles que han estat publicats en diferents revistes (3), cicles de conferències, congressos, etcétera (4).

La necessitat de formulació sistemàtica i d'elaboració teòrica d'una ciència ve determinada per la "standardització" i la profundització de la recerca (dos aspectes ben diferents). La institucionalització de l'ensenyament científic obliga a cercar unes perspectives pedagògiques eficaces i rendibles, així com a analitzar i promoure els factors de caràcter heurístic que intervenen en el progrés de la ciència.

Les Ciències Geològiques han assolit ja un status específic com a ciències particulars amb personalitat pròpia, i s'està desenvolupant la seva constitució metateòrica.

- (2) C.C. ALBRITTON, jr. (ed.), The fabric of Geology, Stanford, Califòrnia, Freeman, Cooper and Comp., 1963. Trad. cast.: Filosofia de la Geologia, Mèxic, Comp. Editorial Continental, 1970.
- (3) D.B. KITTS, "Certainty and uncertainty in Geology", American Journal of Science, vol. 276, January 1976, pp. 29-46.
J.E. O'ROURKE, "Pragmatism versus materialism in stratigraphy", American Journal of Science, vol. 276, January 1976, pp. 47-55.
J.W. VALENTINE i F.J. AYALA, "On Scientific Hypotheses. Killer Clams and Extinctions", Geology, Feb. 1974, pp. 69-71.
- (4) Cicle de conferències sobre "Història i actualitat del mètode científic en Biologia i Geologia", Institut d'història de la Ciència de la Universitat Complutense de Madrid (Febrer-Març 1981). Participaren, entre altres: J.L. Amorós, M. de Renzi, J.M. García Ruiz, A. Arche. Simposium Internacional "Conceptes i mètodes en Paleontologia", Departament de Paleontologia, Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona, Maig 1981.

Tanmateix, la tasca no és gens fàcil per diverses qüestions: ¿podem parlar de "lleis geològiques" en el mateix sentit que parlem de "lleis físiques"? ¿Quin tipus de proposicions han d'ésser considerades "principis de la geologia"? Si bé queda clar que aquestes són pressuposicions elementals, ¿tenen caràcter axiomàtic, o estipulatiu, o de quina mena? ¿Es possible de delimitar adequadament les interrelacions de les ciències geològiques? ¿I entre aquestes i les altres ciències?

En les pàgines que segueixen donaré algunes respostes a aquestes preguntes. Però de bell antuvi serà convenient constatar, d'una banda, que ja en les antigues disputes entre geòlegs (uniformistes i catastrofistes (5), neptunistes i vulcanistes, etc.) es dilucidaven qüestions de principi (6); i d'altra banda, si podem parlar de revolucions científiques dins la Geologia, és perquè s'han operat tems fonamentals en la comprensió de la possible estructura de la realitat que intenten explicar les teories geològiques (7).

(5) El terme anglès '*uniformitarianism*' es troba traduit com a "*uniformitarisme*" o "*uniformisme*" (i els derivats *uniformitariste* o *uniformiste*). Els darrers són els termes emprats en aquest treball.

(6) Un bon exemple d'això i de com es pot escriure la història de la Geologia avui, l'ofereix el cap. VII del llibre de S. TOULMIN i J. GOODFIELD, El descubrimiento del tiempo, Buenos Aires, Paidós, 1968 (original anglès, The Discovery of Time, Londres, Hutchinson, 1965.)

(7) A. HALLAM parla de "*revolució teòrica*" i "*canvi de paradigma*" en el seu llibre, De la deriva de los continentes a la tectónica de placas, Barcelona, Labor, 1976, tot seguint les teories de T.S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas (1962), Mèxic, F.C.E., 1971.

APÉNDIX

"James Hutton y la Filosofía de la Geología", C.C. ALBRITTON (ed.), Filosofía de la Geología, Méxic, CECSA, 1970, pp. 11-12.

Antes de Hutton, la geología no existía y se acepta en lo general, que la ciencia fue creada en los cincuenta años comprendidos entre 1775 y 1825. En 1775 el amigo íntimo de Hutton, James Watt, construyó la primera máquina de vapor y Werner, quien fue el conductor de los neptunistas, comenzó a impartir enseñanza en la Mining Academy de Freiberg. En 1825 operó el primer tren de pasajeros, y Lyell, quien nació en el año en que falleció Hutton, preparaba su Principles of Geology - "la piedra del remate" de la nueva ciencia. Los mismos años presenciaron la Guerra de Independencia de los Estados Unidos, las Revoluciones Industrial y Francesa, y las Guerras Napoleónicas. Fue la época de Wordsworth y Coleridge, Byron y Shelley, Goethe y Schiller, Scott y Burns.

Durante este periodo, los trabajos de Haüy sobre cristalográfia, el de Werner sobre las propiedades físicas de los minerales y el de Joseph Black sobre la composición química, pusieron los cimientos de la petrología y los del estudio de los materiales de la corteza. La paleontología estratigráfica y la técnica de la cartografía de campo fueron iniciadas por William Smith; pero no fue sino Hutton, y solamente Hutton, quien suministró a la geología un esquema dinámico -una teoría en el sentido original de "algo visto en la mente"-. De esta manera, Hutton desarrolla el mismo papel en la geología que Newton en la astronomía o Darwin en la biología. El poder de la mente para entender es la comprensión, y estos gigantes intelectuales nos han dado la comprensión de los grandes procesos que nos rodean. Por esta razón, Hutton merece el título de "Fundador de la Geología Moderna".

JAMES HUTTON, Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe,
Roy. Soc. Edinburgh, Tr., 1788, pp. 209-304.
(ALBRITTON, op. cit., p. 359, tradueix:)

Al examinar los objetos actuales contamos con datos para razonar en relación a lo que ha sido y, partiendo de lo que realmente ha sido, tenemos datos para concluir en cuanto a lo que ha de suceder en lo venidero. Por tanto, en la suposición de que las operaciones de la naturaleza son iguales y constantes, encontramos, en apariencias naturales, medios para concluir que ha transcurrido necesariamente una porción de tiempo en la producción de aquellos acontecimientos cuyos efectos observamos.

CAPÍTOL II

6. La relació llenguatge-realitat

Tota possibilitat de coneixement ve donada en la mediació del llenguatge. Aquest fet porta un seguit de conseqüències que convé explicitar.

L'experiència quotidiana i la realitat coneguda són determinades pel marc conceptual del nostre llenguatge i, en principi, per la capacitat humana d'observació. Això vol dir que, de bon començament, els fets empírics, tal com són coneguts per l'home, no constitueixen dades "pures" o intrínsecament "objectives", sinó que es situen dins d'un esquema de coordenades limitatives:

- 1) Els límits categorials i formals del llenguatge (1)
- 2) Les restriccions derivades de les possibilitats d'observació.

A més, aquestes coordenades són interdependents: l'estruració semàntica del sistema lingüístic permet de remarcar determinats trets de l'entorn, alhora que dificulta la constatació d'altres. Tanmateix, la parcialitat del llenguatge el situa constantment sota la "pressió" de la realitat. Per això el llenguatge és quelcom viu, canviant, que es reestructura paulatinament, no només a un nivell terminològic sinó també semàntic (els camps semàntics queden modificats per les innovacions terminològiques).

(1) "Los límites de mi lenguaje significan los límites de mi mundo", diu L. WITTGENSTEIN en el seu Tractatus logico-philosophicus, Madrid, Alianza Ed., 1973, proposició 5.6.

Tota aquella part de la realitat que desborda el status lingüístic d'un moment donat va erosionant els seus esquemes categorials fins a produir les ruptures que permeten noves articulacions lèxico-semàntiques.

En aquesta dinàmica tenen un paper primordial tant la recerca científica com l'intent filosòfic d'anàlisi i crítica del saber, o l'aspiració poètica d'expressar noves experiències (2).

El llenguatge i l'experimentació científics no són aliens a aquesta problemàtica, i la Geologia n'és una prova ben estriant. Cada ciència necessita un determinat context cultural-conceptual (una "Weltanschauung" específica) per poder-se desenrotillar àmpliament. Mentre que la matemàtica va assolir una ferma entitat a la Grècia clàssica, altres camps del saber van quedar-se només al nivell de registre d'observacions i col·leccions de dades que abonaven determinades explicacions generals i metafísiques, o que es deixaven senzillament "registrades" sense relligar amb una explicació precisa.

Van ésser necessaris molts de segles perquè pogués donar-se

(2) Són molts els autors que han escrit llargues obres sobre aquesta temàtica. Per citar-ne solament alguns d'especialment representatius:

MICHEL FOUCAULT, Les mots et les choses, París, Gallimard, 1966.

EDWARD SAPIR, El lenguaje (1921), Mèxic, F.C.E., 1971-3a.
E.L. WHORF, Language, Thought and Reality, JOHN B. CARROLL (ed.), Cambridge, Press Massachusetts Inst. of Technology, 1956.

MARIO BUNGE, Teoría y realidad, Barcelona, Ariel, 1975.
T.S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, (1962), Mèxic, F.C.E., 1971.

S. TOULMIN i J. GOODFIELD, El descubrimiento del tiempo, Buenos Aires, Paidós, 1968.

un gran pas en la teoria i l'experimentació científiques, de manera que fins a la revolució copernicana i les recerques de Galileu, Huyghens, Newton, etcètera, no podem parlar de ciència en un sentit modern (3).

El meu entendre, per a la constitució de la Geologia com a ciència particular, va ésser condició necessària el desenvolupament de 1) la mecànica i la física, 2) la teoria evolucionista en general i la biologia en particular, 3) la química, i finalment, 4) la termodinàmica. Es a partir de l'àmbit teòric obert per aquests coneixements que es pot constituir la Geologia com a ciència pròpiament dita: a l'entremig d'aquelles disciplines, profunditzant en una perspectiva dins de la qual són rellevants variables i relacions no considerades des de la simplificació i abstracció

- (3) També aquí caldria citar una àmplia bibliografia. KOYRE és un dels grans especialistes del tema: Etudes d'histoire de la pensée scientifique (1966), Etudes galiléennes (1940), La Révolution astronomique. Copernic, Kepler, Borelli (1961), Etudes newtoniennes (1965), Du monde clos à l'univers infini (1952). Algunes traduccions al castellà han estat fetes per l'editorial Siglo XXI. T.S. KUHN, La revolución copernicana, Barcelona, Ariel, 1978.
- R.S. WESTFALL, La construcción de la ciencia moderna, Barcelona, Labor, 1980.
- H. KEARNEY, Orígenes de la ciencia moderna, 1500-1700, Madrid, Guadarrama, 1970.

- (4) Tota ciència explica un conjunt de fenòmens que han estat estudiats mitjançant mètodes empírics o experimentals; aquests, necessàriament operen amb un nombre reduït de variables, a fi de poder-les controlar exhaustivament. Això suposa sempre una abstracció o eliminació de factors irrelevants, ja que la seva insignificant repercussió en el fenomen estudiat permet de fer-ho així. Però aquests mateixos factors poden ésser absolutament rellevants dins d'una recerca d'un altre caire, realitzada

que procuren aquelles ciències (4). Es el procés habitual de constitució de noves àrees de coneixement.

Això vol dir que la Geologia, d'una banda, depèn de les teories físiques, termodinàmiques, químiques, etcétera, nodrint-se de l'anàlisi empírica i les construccions categorials i teòriques d'aquestes ciències. Però, d'altra banda, investiga un àmbit ben delimitat de la realitat i desenrotilla un aparell teòric i observacional específic per assolir el coneixement adequat d'aquesta parcel·la de la natura.

Una parcel·la, per cert, molt àmplia, com posen de manifest les diferents definicions de Geologia. Sens dubte és una ciència d'un gran abast, fet que pot produir greus dificultats de sistematització, teorització i transmissió (pedagogia) (5), i, en darrera instància, planteja la qüestió de la possibilitat o impossibilitat futures de romandre com un cos unitari de coneixements.

Es clar que tota sistematització teòrica que ens permet explicar i preveure un conjunt de fenòmens, es caracteritza pels següents elements:

des d'una altra perspectiva, a partir de l'intent d'explicació d'un tipus de fenomen distint.

En un altre ordre de coses, és evident que, a més de les ciències esmentades, la Geologia empra la matemàtica.

Però no estic parlant aquí de tot el que integra la Geologia avui, sinó d'aquells coneixements que van obrir el camp en què va poder créixer la Geologia.

(5) Convindria reflexionar sobre els problemes plantejats en els treballs recollits en La formació del Geòleg de l'immediat futur, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 1979.

- 1) Llenguatge perfectament definit:
 - a) termes referits a dades observacionals.
 - b) termes teòrics.
- 2) Principis generals que són el punt de partença i el suport de la construcció teòrica.
- 3) Lleis explicatives i predictives.

Evidentment, la geologia conté aquests elements, encara que no sempre es trobin especificats com a tals.

7. Taxonomies i codi geològic

En el que acabo de dir es fa palès que la importància del llenguatge no es redueix a la funció taxonòmica dels termes classificatoris, sinó que és quelcom inherent al propi establiment teòrico-experimental de la ciència (6).

La Geologia té plantejats alguns problemes peculiars pel que fa a l'acceptació generalitzada de termes taxonòmics i descriptius. Em refereixo a les incidències, encara no ben resoltos, del codi geològic internacional. Les causes d'aquesta situació són variades; en destacaré dues: 1) Les discrepànccies teòriques existents entre les diferents "escoles" geològiques (filles de tradicions investigadores de caràcter divers), i 2) els interessos nacionals que abonen el protagonisme de cada una d'elles.

En aquest fet trobem un bon exemple de l'estret lligam que es dóna en la tasca científica entre factors d'ordre heterogeni. En primer lloc, la relació entre els termes observacionals, taxonòmics i teòrics. En segon lloc, la vinculació més o menys indirecta entre teories científiques i interessos socio-polítics.

(6) Com es veurà, no vull tractar aquí de la teoria taxonòmica. Tanmateix, potser serà bo d'klärir el terme 'taxonomia': s'empra, a vegades, com a sinònim de "classificació", però pot referir-se també a la teoria dels procediments i sistemes classificatoris. Per això Gregg parla de "taxonomia pròpiament dita" i "taxonomia meto-

Malgrat aquestes dificultats, és també un fet que la ciència fa progressos considerables de cara a la internacionalització del seu llenguatge i mètodes. Esperem que en el futur les desigualtats econòmiques no arribin a ensorrar els esforços dels països menys dotats.

dològica". Una classificació divideix un conjunt o classe (univers del discurs) d'objectes (elements o membres de l'univers) en subclasses o subconjunts (grups jeràrquicament ordenats).

APÉNDIX

THOMAS S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas,
Mèxic, F.C.E., 1971, pp. 176 i 197-198:

Las revoluciones como cambios del concepto del mundo

Examinando el registro de la investigación pasada, desde la atalaya de la historiografía contemporánea, el historiador de la ciencia puede sentirse tentado a proclamar que cuando cambian los paradigmas, el mundo mismo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos y buscan en lugares nuevos. Lo que es todavía más importante, durante las revoluciones los científicos ven cosas nuevas y diferentes al mirar con instrumentos conocidos y en lugares en los que ya habían buscado antes. Es algo así como si la comunidad profesional fuera transportada repentinamente a otro planeta, donde los objetos familiares se ven bajo una luz diferente y, además, se les unen otros objetos desconocidos. Por supuesto, no sucede nada de eso: no hay transplantación geográfica; fuera del laboratorio, la vida cotidiana continúa como antes. Sin embargo, los cambios de paradigmas hacen que los científicos vean el mundo de investigación, que les es propio, de manera diferente. En la medida en que su único acceso para ese mundo se lleva a cabo a través de lo que ven y hacen, podemos desear decir que, después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente.

.....

¿Es fija y neutra la experiencia sensorial? ¿Son las teorías simplemente interpretaciones hechas por el hombre de datos dados? El punto de vista epistemológico que con mucha frecuencia dirigió la filosofía occidental durante tres siglos, sugiere un sí inequívoco e inmediato. En ausencia de una alternativa desarrollada, creo imposible abandonar completamente ese punto de vista. Sin embargo, ya no funciona efectivamente y los intentos para que lo haga, mediante la introducción

de un lenguaje neutro para las observaciones, me parecen por ahora carentes de perspectivas.

Las operaciones y mediciones que realiza un científico en el laboratorio no son "lo dado" por la experiencia, sino más bien "lo reunido con dificultad". No son lo que ve el científico, al menos no antes de que su investigación se encuentre muy avanzada y su atención enfocada. Más bien, son índices concretos del contenido de percepciones más elementales, y, como tales, se seleccionan para el examen detenido de la investigación normal, sólo debido a que prometen una oportunidad para la elaboración fructífera de un paradigma aceptado. De manera mucho más clara que la experiencia inmediata de la que en parte se derivan, las operaciones y las mediciones están determinadas por el paradigma. La ciencia no se ocupa de todas las manipulaciones posibles de laboratorio. En lugar de ello, selecciona las pertinentes para la xuxtaposición de un paradigma con la experiencia inmediata que parcialmente ha determinado el paradigma. Como resultado, los científicos con paradigmas diferentes se ocupan de diferentes manipulaciones concretas de laboratorio. Las mediciones que deben tomarse respecto a un péndulo no son las apropiadas referidas a un caso de caída forzada. Tampoco las operaciones pertinentes para la elucidación de las propiedades del oxígeno son uniformemente las mismas que las requeridas al investigar las características del aire deflogistizado.

En cuanto al lenguaje puro de observación, todavía es posible que se llegue a elaborar uno; sin embargo, tres siglos después de Descartes nuestra esperanza de que se produzca esa eventualidad depende aún exclusivamente de una teoría de la percepción y de la mente. Y la experimentación psico

lógica moderna está haciendo proliferar rápidamente fenómenos a los que es raro que esa teoría pueda dar respuesta. El experimento del pato y el conejo muestra que dos hombres con las mismas impresiones en la retina pueden ver cosas diferentes; los lentes inversores muestran que dos hombres con impresiones diferentes en sus retinas pueden ver la misma cosa.



¿ocell o conill?



¿vella o jove?

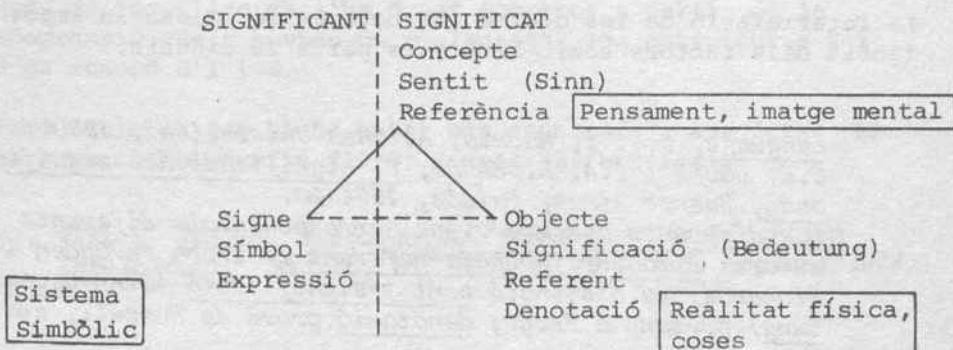
CAPÍTOL III

8. Els signes i les coses

Des d'una perspectiva ingènua pot semblar que el llençatge és només una forma d'expressar els nostres pensaments o de reproduir la realitat d'una manera immediata, directa. Aquesta "reproducció" i "expressió" seria espectral segons aquesta concepció, és a dir, similar a la d'un mirall que reflecteix la imatge del nostre rostre, per exemple.

Durant els dos darrers segles l'estudi del llenguatge s'ha desenvolupat molt, en totes les diferents vessants: sintàctica, semàntica, pragmàtica, psicològica, històrica, sociològica, antropològica ..., i és ben clar que el lligam realitat - experiència personal - pensament - llenguatge constitueix una xarxa o estructura més complexa del que molts pensen. Per simplificar al màxim, veiem l'esquema següent (1):

Signe (significant, mot): expressió simbòlica
d'una realitat aliena al propi signe
(significat).



(1) Veg. UMBERTO ECO, Signo, Barcelona, Ed. Labor, 1976.
JOSE HIERRO, S. PESCADOR, Principios de Filosofía del

DIFERENTS AMBITS DE LA REALITAT

FÍSIC	LINGÜÍSTIC	DEL PENSAMENT	DE LA CIÈNCIA
Fenòmens físics químics, empírico-naturals.	Fenòmens lingüístics, simbòlics.	Fenòmens subjectius psicològics.	Coneixement objectivitat. Teories.

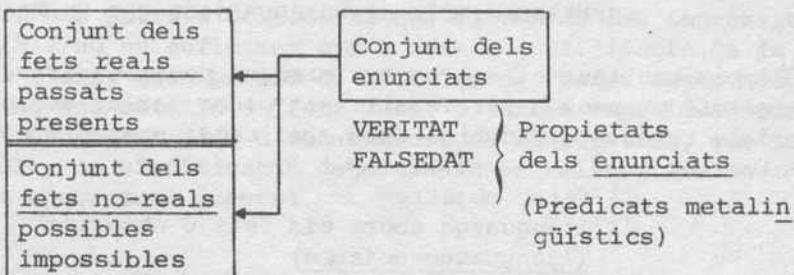
Estructura 1 (dinàmica empírica)	Estructura 2 (dinàmica simbòlica)	Estructura 3 (dinàmica psicològica)	Estructura 4 (dinàmica simbòlico-inter-subjectiva)
ESTRUCTURA PONT Mediació entre 1 i 3, 4.			Construcció teòrico-experimental. Críteris específics d'objectivació i experimentació.

La interrelació de les quatre estructures fa palesa la importància dels factors socio-històrics per a la ciència.

Lenguaje, vol. I, Madrid, Alianza Universidad, 1980.
C.K. OGDEN i I.A. RICHARDS, El significado del significado, Buenos Aires, Paidós, 1964-2a.

Les diferents denominacions corresponen als diferents autors: símbol-referència-referent es troba en Ogden i Richards; la distinció sentit-significació (Sinn-Bedeutung) pertany a Frege; denotació prové de Russell, etc.

L'estructura 3, el món del pensament subjectiu, solament és possible gràcies a la vida i a l'acció del subjecte dins de les estructures 1 i 2, que aprèn a conèixer simultàniament. Tots hem conegit les coses mitjançant un llenguatge. El nostre pensament és un llenguatge social interioritzat. Però aquesta simultaneïtat de l'aprenentatge no pot fer-nos oblidar que les estructures 1 i 2 són ben diverses, constitueixen dos tipus de realitat diferents, i per això es planteja el problema de la veritat, o sigui, la qüestió de saber quina relació certa o probable hi ha entre el que diem i els fets.



A partir del segle XVII els científics han insistit en la conveniència de referir-se als fets, ampliant al màxim els procediments d'observació, experimentació i aplicació matemàtica a la realitat empírica. En altres paraules, el progrés de les ciències s'ha donat sobretot a partir de la comprensió que s'havien de replantejar les estructures 2 i 3 en funció d'1 i 4.

Però ¿quin lligam hi ha entre els enunciats i els fets? En la seva Autobiografia (1976) Popper (3) explica:

(3) KARL R. POPPER, Búsqueda sin término. Una biografía intelectual, Madrid, Ed. Tecnos, 1977 (ed. anglesa 1976)

"¿Cómo puede uno nunca esperar entender lo que se significa al decir que un enunciado (o una "sentencia significativa", como Tarski la llama) corresponde a los hechos? Parece, ciertamente, que a menos que se acepte algo parecido a la teoría figurativa del lenguaje (como hizo Wittgenstein en el Tractatus), no puede hablarse de nada semejante a una correspondencia entre un enunciado y un hecho. Pero la teoría figurativa es desesperanzadora e ignominiosamente errónea; por tanto, no parece haber perspectiva alguna de explicar la correspondencia de un enunciado con un hecho". (4)

Popper continua el seu escrit prenent posició a favor de la soluciò proposada per Tarski: per poder parlar amb precisiò de la relaciò llenguatge-fets, cal tenir presents els tres nivells.

- 1) fets, objectes
- 2) llenguatge sobre els fets o objectes
(llenguatge-objecte)
- 3) metallenguatge o llenguatge per a parlar del llenguatge-objecte, des del qual es delimita aquest i la relaciò existent entre 1) i 2).

Es a dir, només quan tenim un sistema metalingüistic, 3), que ens explica l'ús de 2) en relaciò amb 1) podem establir correspondències estrictes entre 1) i 2). (Veg. també Popper, pàgines següents a les ja assenyalades.)

Aquesta precisiò tan elemental comporta conseqüències ben rellevants:

- 1^a) La relaciò llenguatge-fets és estipulada i raonada des del metallenguatge. No és, per tant, una relaciò "immediata", "natural", o "necessària" des d'un punt de vista lògic o empíric.

(4) Op. cit., pp. 188-189.

- 2^a) La veritat o falsedat d'un enunciat és relativa al sistema lingüístic dins del qual es defineixen les regles de la seva correspondència amb la realitat designada.
- 3^a) Tant la delimitació dels fets (i la seva possible atomització en fets elementals) com els enunciats que hi corresponen vénen estipulats dins d'un llenguatge i un metallenguatge.

Tot això ens porta a considerar que el món de les impressions sensorials no és suficient com a base i justificació de la ciència i que, quan parlem de "fets" y de "dades observacionals", no ens referim a "fets purs" o "dades empíriques pures". Tot fet és copsat dins d'una estructura lingüística, que li confereix una significació determinada en relació amb un context conceptual general.

9. Termes observacionals i termes teòrics

El que acabo de dir fa palesa la relació existent entre les dades de l'experiència perceptiva i els sistemes lingüísticos-conceptuals que els subjectes utilitzen per aprehendre-les.

Els termes més directament referits a l'experiència empírica tampoc no es produueixen ni signifiquen d'una forma deslligada del context lingüístic general o del sistema conceptual específic al qual pertanyen. En concret, si parlem dels termes observacionals d'una ciència, cal veure la seva relació -- intrínseca amb els aspectes teòrics d'aquesta ciència. No hi ha termes observacionals "purs", independents dels termes teòrics (termes de referència més abstracta, no vinculada a dades perceptives), ni és a partir dels "purs" enunciats observacionals que elaborem generalitzacions com a inferències inductives dels enunciats de fets.

"Puesto que tenía acceso al laboratorio de psicología, dirigi algunos experimentos, que pronto me convencieron de que los datos sensibles, las "simples" ideas o impresiones, y otras cosas semejantes, no existían: no eran más que ficciones -invenciones basadas en equivocados intentos de transferir el atomismo (o la lógica aristotélica -véase más adelante) de la física a la psicología. Los proponentes de la psicología de la Gestalt mantenían puntos de vista similarmente críticos, pero me parecía que sus posiciones no eran lo suficientemente radicales. Comprobé que mis puntos de vista eran similares a los de Oswald Külpe y su escuela (la Würzburger Schule); especialmente Bühler y Otto Selz, quienes habían descubierto que no pensamos en imágenes, sino en términos de problemas y sus soluciones tentativas."

(5)

"(...) podía aplicar mis resultados relativos al método de ensayo y error hasta el punto de reemplazar la entera metodología inductiva por una metodología deductiva. La falsación o refutación de teorías mediante la falsación (6), o refutación de sus consecuencias deductivas, era claramente una inferencia deductiva (*modus tollens*). Este punto de vista implicaba que las teorías científicas, si no son falsadas, permanecen por siempre como hipótesis o conjeturas.

(...) Esta consideración dió lugar a una teoría en la cual el progreso científico resultó consistir no en la acumulación de observaciones, sino en el derrocamiento de teorías menos buenas y su reemplazo por otras mejores, en particular por teorías de mayor contenido. Así pues, existía la competición entre teorías -una especie de

(5) KARL R. POPPER, op. cit., p. 101.

(6) 'Falsació' i 'falsar' s'empren en aquest context de la teoria popperiana en lloc de les possibles traduccions 'falsificación' i 'falsificar', que tenen connotacions alienes al sentit aludit per Popper de "fer fals", "cercar una implicació que pugui ésser refutada".

"lucha darwiniana por la supervivencia".(7)

(Tornaré sobre aquest tema més endavant).

Podem afirmar, doncs, que en els termes científics es dóna una gradació que va des d'una referència molt directa a la realitat empírica (termes observacionals) fins a un nivell d'abstracció i complexitat que pot ésser enorme (termes teòrics), però tots ells són elements integrats en un sistema que els fa d'alguna manera interdependents.

Aquesta interdependència prové del lligam existent entre

(7) KARL R. POPPER, op. cit., p. 106.

La importància de Popper dins la metodologia contemporània, així com la seva trajectòria antiinductivista que den ben expressades en el text de LAKATOS, Matemáticas, ciencia y epistemología, Madrid, Alianza Univ., 1981, p. 178: "El método clásico exige en general que el conocimiento siga una marcha cautelosa, que avance lentamente desde una verdad probada a otra verdad probada, evitando el error que se perpetúa por sí mismo. Para el empirismo, en particular, esto significa que se ha de partir de proposiciones fácticas indubitable, desde las que, por medio de una inducción gradual válida, se podía llegar a teorías de nivel cada vez más alto. El desarrollo del conocimiento consistía en una acumulación de verdades eternas: de hechos y de "generalizaciones inductivas". En una tal teoría del "ascenso inductivo" se cifra un mensaje metodológico de Bacon, Newton y -de forma modificada- de Whewell. El método crítico demolió la idea clásica de inferencias válidas que aumentan el contenido tanto en matemáticas como en ciencia, y distinguió entre "deducción" válida

les teories o hipòtesis de treball i les observacions empíriques.

Vegem l'exemple clàssic de la recerca galileana sobre el moviment accelerat:

"Ya se sabía antes de Galileo que los aristotélicos estaban equivocados en sus teorías sobre la caída libre, pero fue él quien descubrió los detalles de la descripción correcta de este movimiento y la incluyó como una parte de un sistema más general de la mecánica. La tarea que se impuso en Dos nuevas ciencias fue inventar conceptos, métodos de cálculo y medida, etc., para llegar a una descripción del movimiento de los objetos en una forma rigurosamente matemática.

En los siguientes extractos no podemos perder de vista el plan principal. En primer lugar, Galileo discute las matemáticas de un posible tipo de movimiento que define como uniformemente acelerado. Después sienta la hipótesis de que el movimiento de caída de los cuerpos que ocurre en la Naturaleza es, realmente, uniformemente acelerado. Sin embargo, no era posible comprobar esta hipótesis directamente

y "prueba informal" e "inducción" inválidas. Sólo se consideraron válidas aquellas inferencias que no aumentan el contenido lógico. Este fue el fin de la lógica de la justificación del empirismo clásico. Su lógica del descubrimiento fue sacudida primero por Kant y Whewell, luego fue destruida por Duhem, y por último fue reemplazada por una nueva teoría del desarrollo del conocimiento, la teoría de Popper."

També CARL G. HEMPEL és un important deductivista. Veg. la seva obra Filosofía de la ciencia natural, Madrid, Alianza Universidad, 1973-1a (original anglès 1966).

por experiencias en tiempos de Galileo. Él, por tanto, arguye que la hipótesis sería confirmada si tuviera éxito al describir otro tipo de movimiento íntimamente relacionado con la caída libre: el desplazamiento de una bola por un plano inclinado. (En términos actuales, la misma fuerza de la gravedad actuará sobre la bola si se deja caer verticalmente hacia abajo o se deja rodar descendiendo por un plano inclinado; en el segundo caso el movimiento real resulta más lento y, por consiguiente, puede medirse más fácilmente.) Finalmente, describe una prueba experimental de conclusiones cuantitativas deducidas de su teoría del movimiento acelerado cuando se aplica a la situación experimental particular.

Galileo introduce la discusión con estas observaciones:

«Mi objeto es establecer una ciencia muy nueva que trata de una materia muy antigua. Quizá no exista en la Naturaleza nada más viejo que el movimiento, con relación al cual los libros escritos por los filósofos no son ni pocos ni pequeños; sin embargo yo he descubierto algunas propiedades de él que son de reconocido valor y que hasta ahora no habían sido ni observadas ni demostradas. Se habían hecho algunas observaciones superficiales, como, por ejemplo, que el movimiento natural de la caída de un cuerpo pesado era continuamente acelerado; pero no había sido establecida hasta aquel punto en que esta aceleración se ajusta a la realidad...

Se había observado que los proyectiles y las armas arrojadizas describen una trayectoria curva; sin embargo, ninguno había puesto de manifiesto el hecho de que esta trayectoria es una parábola; pero he tenido éxito al demostrar estos y otros hechos, no pocos en número ni menos de reconocido valor, y lo que yo considero más importante, se ha abierto el camino, del cual mi trabajo es simplemente el comienzo, a esta vasta y excelente ciencia, por el

cual otras mentes más agudas que la mía explorarán sus rincones.»⁸ (8)

10. Termes observacionals i teòrics en Geologia

Els metodòlegs acostumen a fer les seves anàlisis a partir de les ciències que es consideren més desenvolupades i estructurades, ciències "model de racionalitat", com són les ciències físiques. En aquestes la interrelació fets-teories sembla incontestable. Però ¿qué hem de dir d'altres ciències tradicionalment més "descriptives" i eminentment històriques com són les ciències geològiques?

Els teòrics de la ciència abonen la idea que el nivell descriptiu constitueix només un estadi primari de la formació d'una ciència. ¿Cal aplicar aquest criteri a la Geologia?

Un geòleg i bon coneixedor dels temes metodològics com és David B. Kitts ja va plantejar aquestes qüestions el 1963 (9). En el seu treball es plany dels pocs conceptes pròpiament teòrics que poden trobar-se en la Geologia:

"(...) ¿hay términos geológicos cualesquiera que puedan calificarse sin reserva como teóricos? Esta es una pregunta difícil de contestar debido a que, como muchos autores lo han señalado, aún no puede precisarse con claridad la distinción entre los términos teóricos y los de la observación. Indudablemente no hay términos geológicos tan abstractos como los teóricos de nivel superior, por ejemplo los que se inventan para la mecánica cuántica. Por otro lado, hay cierto número de términos geológicos que sin duda pueden calificarse y que son los que podrían llamarse "términos teóricos de

(8) GERALD HOLTON, Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas, Barcelona, Ed. Reverté, 1979, pp. 124-125.

(9) DAVID B. KITTS, "Teoría de la Geología" a C.C. ALBRITTON (ed.), Filosofía de la Geología, Mèxic, C.E.C.S.A., 1970, pp. 71-94.

nivel inferior", esto es, términos de extensión relativamente limitada. Me parece que "Geosin-clinal" es uno de tales términos. De acuerdo con Kay (1951, p.4) un geosinclinal puede definirse como una "superficie de extensión regional que se hundió a través de un largo periodo de tiempo mientras se acumulaban las rocas sedimentarias y volcánicas que contiene; un gran espesor de estas rocas es una prueba casi invariable del hundimiento, aunque no es un requisito necesario. Los geosinclinales son predominantemente lineales aunque las depresiones sin esta característica tienen propiedades que son esencialmente de geo-sinclair".

Otro candidato para el título de "término teórico" es el de "corriente graduada". (...)" (10)

Kitts s'adona que certs termes geològics, malgrat que es refereixen a diverses dades observables, no poden ésser trivialment considerats com a observacionals. La seva definició és feta en termes observacionals però inclou implicacions que van més enllà de les dades observables. En l'exemple esmentat la relació temps-acumulació-especificitat dels materials-enfonsament constitueix una estipulació teòrica, encara que no arribi al grau d'abstracció extrem característic d'altres conceptes científics, com per exemple el "quantum" de la mecànica quàntica.

Kitts sintetitza així la situació de la Geologia respecte a aquesta temàtica:

"Se ha insistido repetidamente que en el pasado la geología fue "descriptiva" y aún actualmente lo sigue siendo en cierto grado. Por ejemplo, Leet y Judson (1954, p.11) establecen: "En el principio la geología fue descriptiva esencialmente, una rama de la historia natural. Pero a mediados del siglo XX se desenvolvió como una

(10) DAVID B. KITTS, op. cit., p. 82

ciencia física completamente madura utilizando en forma liberal la química, la física y las matemáticas, las que a su vez contribuyeron a su desarrollo. En este enunciado, ¿qué es lo que trata de darse a entender con la palabra *descriptiva*? Sin duda no puede aceptarse para indicar que la geología está actualmente interesada, o que en cualquier época lo ha estado durante los últimos doscientos años, totalmente o en su mayor parte, en el simple informe de observaciones. El hecho real es que durante este periodo los geólogos han persistido en su punto de vista histórico, para desmentir cualquier discusión. La formulación de los enunciados históricos requiere procedimientos deductivos que indudablemente van más allá de una simple "descripción".

El rasgo que ha sido admitido aparentemente por los que aceptan lo descriptivo como una característica de la geología, y que en realidad tenemos que aceptarlo, es que muchos términos geológicos pueden construirse con el lenguaje de la observación o ser completamente eliminados de cualquier enunciado geológicamente significativo en favor de los términos ya así construidos. Esto quiere decir simplemente que muchos términos geológicos no son teóricos. Aun los cuatro grandes "axiomas" de Steno pueden considerarse más bien como "observacionales" que como "teóricos".

La abundancia de términos históricos en la geología puede producir alguna confusión cuando trata de hacerse la distinción entre los términos de la observación y los términos teóricos. Los términos históricos implican desde algún tipo de deducción histórica hasta un acontecimiento o condición del

pasado y en consecuencia, para su definición es requisito que se refieran a cosas que no hemos observado. Por ejemplo, considérese el término "falla normal" la cual ha sido definida como aquella "en la que el muro colgado o alto de la falla aparentemente se ha deslizado hacia abajo del muro de pie o bajo de la falla" (Billings, 1954, p. 143). El título "teórico" es un término que probablemente sería rechazado por muchos filósofos de la ciencia debido a que el acontecimiento pasado puede describirse en el lenguaje de la observación y consecuentemente podría ser observado en principio, al menos." (11)

Aquestes darreres línies romanen un xic obscures, però el seu aclariment és relativament fàcil.

La dificultat que se li presenta a Kitts és que un terme històric com "falla normal" implica una component teòrica, però, alhora, es deixa definir en termes observacionals i, per tant, l'enunciat corresponent pot ésser considerat com a observacional. La contradicció apareix per la inadequada oposició que ha establert Kitts entre observacional/teòric. Que puguem definir en termes observacionals el que és una "falla normal", no vol dir que aquest fenomen sigui immediatament conegit per les dades perceptives. "Falla", "muro de pie o bajo de la falla" són termes de significació específica dins de l'univers conceptual geològic i no dins del llenguatge referit a les percepcions sensorials elementals.

Aquesta diferenciació és fonamental i sempre que s'ometen es creuen confusions. La més important i extesa és aquella que considera els enunciats descriptius 2) com a equivalents dels enunciats perceptius bàsics 1):

(11) DAVID B. KITTS, op. cit., p. 81, Veg. també, en aquest mateix llibre, l'article de G.G. SIMPSON, de la Universitat de Harvard.

- 1) "Aquí hi ha una taca negra."
- 2) "L'estratificació paral·lela pot ésser contínua o discontínua."

El significat d'aquesta darrera proposició no s'infereix immediatament de la mera percepció sensible. Per molt elemental que sigui dins de l'àmbit de la Geologia, la seva significació s'inscriu dins de l'estructura teòrico-pràctica d'aquesta ciència i, més concretament, dins de les coordinades teòrico-observacionals de l'estratigrafia. L'enunciat 2) no pot separar-se de les explicacions generals sobre l'estructura i la dinàmica dels cossos sedimentaris.

11. La definició dels termes científics

La ciència empra termes teòrics i termes observacionals. Ambdós depenen de l'estructura teòrica de la ciència en qüestió i llur definició ve determinada per aquesta:

- (T) conjunt de teories, articulades a partir de:
 - (V_t) vocabulari teòric
 - (V_o) vocabulari observacional
 - (U) univers de discurs o àmbit específic de la realitat estudiada.
- (V_t) (V_o)
 { interdependents
 \longleftrightarrow

La concreció necessària i característica de tot el procediment científic ha estimulat l'ús de definicions matemàtiques i operacionals, on les constants i les variables que intervenen com a definiens o explicitació del concepte al·ludit (definiendum) queden perfectament especificades, amb l'ajut, respectivament, de la matemàtica o de la pragmàtica experimental.

L'operacionalisme va ésser metodològicament desenrotllat pel físic Bridgman, el qual considerava que "un concepte qualsevol no significa altra cosa que un conjunt d'operacions; el concepte es sinònim del corresponent conjunt d'operacions"

(12). En paraules de Hempel:

"La idea central del operacionalismo es que el significado de todo término científico debe ser especificable indicando una operación definida de contrastación que proporcione un criterio para su aplicación. Estos criterios reciben con frecuencia el nombre de "definiciones operacionales". Si son o no definiciones en sentido estricto, es una cuestión de la que nos ocuparemos más tarde. Veamos antes algunos ejemplos: En un estadio temprano de la investigación química, el término "ácido" podía ser "definido operacionalmente" del siguiente modo: con el fin de averiguar si el término "ácido" se aplica a un líquido dado -es decir, si el líquido es un ácido-, introduzcamos una tira de papel tornasol azul en él; el líquido es un ácido si y sólo si el papel tornasol se vuelve rojo. Este criterio indica una operación contrastadora definida, la operación de introducir un papel tornasol azul, para descubrir si el término se aplica a un líquido determinado, y enuncia un resultado de la contrastación (el que el papel se vuela rojo) que se ha de considerar como indicador de que el término se aplica a ese determinado líquido." (13)

Ara bé, hi ha moltes altres formes de definició possibles: analítiques, estipulatives, recursives, nominals, descriptives, etc.

- (12) BRIDGMAN, The Logic of Modern Physics, Nova York, The Macmillan Comp., 1927, p. 5
- (13) HEMPEL, Filosofía de la ciencia natural, Madrid, Alianza Un., 1973, p. 131.

APÈNDIX

Els termes i llur diversitat de funcions. (Terme-concepte)

Mario Bunge (14) proposa el següent esquema classificatori dels conceptes:

1. Per llur estructura formal/no-formal:

1. Conceptes individuals ("c", "x").
2. Conceptes de classes ("coure", "ésser vivent").
Predicat monàdic: P(x).
3. Conceptes relacionals:
 - No comparatius: relacions propiament dites ("ε", "entre")
operadors: "&", "+".
 - Comparatius ("≤", "més adaptat que").
4. Conceptes quantitatius ("població", "longitud"). (15)

2. Per llur funcionalitat:

-Formals: Básics, és a dir, els que proporcionen les fonamentacions racionals, com "i", "tots", "conjunt", "arrel quadrada", "distància", "grup".

Metalògics: els emprats en l'anàlisi i teories de teories formals: "fórmula ben formada", "demostrable", "axioma", "teorema", "teoria".

(14) MARIO BUNGE, La investigación científica, Barcelona,
Ariel, 1980-7a.

(15) MARIO BUNGE, op. cit., p. 79.

-No formals: Descriptius: els que permeten descriure material fàctic de l'experiència, com "cos", "vermell" "a prop", "esdeveniment", "líquid".

Interpretatius: els que permeten la interpretació de descripcions, com "espècie", "àtom", "taxa de naixements", "motivació", "inhibició".

Prescriptius: els que es presenten essencialment en normes, regles i convencions, habitualment designats per verbs en imperatiu. (16)

3. Sistemàtica dels conceptes teorètics factuais:

-Genèrics: Ontològics: tema propi de l'ontologia, com "matèria", "sistema", "esdeveniment", "procés", "evolució", "esperit", "llei", "atzar".

Metacientífics: tema propi de la metaciència, com "hipòtesi", "enunciàt legaliforme", "contrastació", "confirmació", "sistemàtica".

-Específics: Observacionals: es refereixen a entitats o propietats observables: "cos", "posició", "juxtaposició", "estímul", "resposta", "nombre de confirmacions".

No-observacionals: que no denoten entitats o propietats d'experiència: "centre de gravetat", "aprenentatge", "valència", "poder polític". (17)

(16) MARIO BUNGE, op. cit., p. 110.

(17) MARIO BUNGE, op. cit., p. 112.

La catalogació dels conceptes és quelcom molt complex i aquesta classificació, com altres, presenta certes ambigüïtats. Vegem, per exemple, el comentari de Mario Bunge a la distinció observacional/no-observacional:

"Los conceptos teoréticos específicos, a diferencia de los genéricos, son propios de teorías especiales o grupos de ellas. Conceptos observacionales son los que denotan objetos directamente observables, como "cuerpo" y "estímulo". Las teorías referentes a sistemas que son en parte accesibles a la observación directa -como la mecánica clásica, por ejemplo- pueden contener conceptos observacionales, pero no es necesario que los tengan; estos conceptos se toman frecuentemente del conocimiento ordinario, y la teoría los dilucida. Pero las teorías que manejan objetos inobservables -como la teoría del campo electromagnético en el vacío, o una teoría de la formación de conceptos- pueden no contener ningún concepto observacional. Estos conceptos se presentarán siempre, sin embargo, en los enunciados que tengan como objetivo someter una teoría a contrastación, aunque esa teoría no contenga conceptos observacionales.

Los conceptos no-observacionales son característicos de los supuestos iniciales (axiomas) de una teoría; algunos de esos conceptos teoréticos llegan hasta el nivel de los teoremas. Así, en la mecánica newtoniana, "punto material", "masa" y "fuerza" -los tres conceptos indefinidos típicos de la teoría- son no-observacionales. Se presentan ex-abrupto en los axiomas (o sea, son nociones primitivas, o indefinidas) y no refieren a ningún rasgo observable de experiencia. La relación es de otro tipo: hay una gran parte de la experiencia que puede describirse y -cosa más interesante- interpretarse con ayuda de tales conceptos no-observacionales. Los conceptos básicos de la mecánica son pues a la vez descripti-

vos e interpretativos; pero no describen cuidadosamente hechos actuales, sino reconstrucciones más o menos idealizadas de hechos actuales y posibles. Algunos de los conceptos no-observacionales de la mecánica newtoniana están ausentes de los niveles inferiores de la teoría, en los que sólo la construcción teórica "punto material" aparece frecuentemente (pues es el objeto al que se refieren los enunciados de esa mecánica), junto con los conceptos de distancia y de duración." (18)

(18) MARIO BUNGE, op. cit., p. 112-113.

CAPITOL IV

12. La qüestió dels principis generals

En el llibre de Krumbein i Sloss, Estratigrafía y sedimentación, podem llegir:

"(...) la estratigrafía carece de aquellas leyes de generalización y principios de guía que proporcionan en las disciplinas más maduras una base para la explicación precisa y la predicción acertada." (1)

Aquest judici s'estén ben sovint a altres parts de la Geologia. Em proposo defensar aquí la tesi contrària, amb base a la història de la Geologia i a les aportacions metodològiques d'alguns geòlegs.

Començaré per diferenciar entre principis i lleis, com ja he fet abans. També cal admetre que en les Ciències Geològiques els principis acostumen a ésser suposicions (o pressupòsits) de caire molt elemental, però no per això menys necessaris i previs a qualsevol altra afirmació possible. Una metodologia acurada els ha d'explicitar i donar-ne raó.

Comencen, per exemple, pel principi d'uniformisme. Obviament, el supòsit d'un regularitat dels esdeveniments naturals és

(1) KRUMBEIN & SLOSS, Estratigrafía y sedimentación, Mèxic, UTEHA, 1969, p. 57.

inherent a tota la ciència natural. Ara bé, els geòlegs van trobar-se amb el problema de determinar si aquesta regularitat incloia els períodes remots de constitució del planeta terra, o bé s'havien de considerar com a períodes de daltabaix, de cataclisme geològic. La pugna entre catastrofistes i uniformistes va esclarir, fins a guanyar terreny, ja en el segle XIX, el principi uniformista. Tot i acceptar-lo com a necessari, els vells autors tingueren clara consciència del caràcter conjectural d'aquest principi; Hutton escriví:

"Hemos estado representando el sistema de esta Tierra como si procediese con una cierta regularidad, lo cual quizá no suceda en la naturaleza, pero es necesario para nuestra clara concepción del sistema de la naturaleza ." (2)

I després, Lyell:

"A aquella intensidad de la misma o de otras fuerzas terrestres puede ser efectiva ; nunca negué su posibilidad, aunque es conjetal. Lamenté que al intentar explicar los fenómenos geológicos, los prejuicios siempre hayan estado del lado malo; siempre ha habido una disposición para razonar a priori sobre la violencia extraordinaria y lo repentina de los cambios, tanto en la corteza terrestre inorgánica como en los tipos orgánicos, en vez de intentar construir teorías vigorosas de acuerdo con las operaciones ordinarias de la naturaleza ." (3)

- (2) JAMES HUTTON, *Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe*, Edinburgh, Royal Soc., 1788, pp. 301-302, Cf. ALBRITTON, jr. (ed.), *Filosofía de la Geología*, Mèxic, Buenos Aires, Comp. Ed. Cont., 1970, p. 88.
- (3) LYELL, *Lletra a WHEWELL*, 1837. Cf. ALBRITTON, jr. (ed.), *op. cit.*, p. 88.

En el nostre temps, David B. Kitts, afirma:

"En función de la forma en que opera un geólogo, no hay pasado sino hasta después de que se ha hecho la suposición de uniformidad. En efecto, elaborar enunciados acerca del pasado sin algo de suposición inicial de uniformidad, es permitir, en todo caso, cualquier enunciado relativo al pasado. El interés principal de los geólogos, como lo he sugerido al principio, radica en deducir y comprobar enunciados singulares relacionados con el pasado. El principio de la uniformidad representa, entre otras cosas, una restricción establecida en los enunciados que pueden ser admitidos para un argumento geológico inicialmente al nivel de la deducción histórica primaria. Una vez hecha la suposición de la uniformidad para los propósitos de la deducción histórica primaria, puede ser posible "demostrar" alguna uniformidad o puede haber una carencia de la misma, lo cual depende, en primer lugar, de qué tan estrictamente se aplique el principio de la uniformidad. El punto esencial consiste en que la suposición de este principio debe preceder a la demostración de la uniformidad y no a la inversa." (4)

I George Gaylord Simpson, delimita el context teòric (catastrofisme) a què va enfocar-se l'uniformisme:

"El uniformismo surge alrededor de los siglos XVIII y XIX, y su significado original solamente puede ser entendido en el contexto. (Los antecedentes históricos están bien respaldados en Gillispie, 1951 (5).)

- (4) D.B. KITTS, "Teoría de la Geología", en ALBRITTON, jr. (ed.), op. cit., p. 87. (Conservo intacta la trad. d'aquesta edició, malgrat que seria desitjable una formulació castellana més correcta.)
- (5) Ch. C. GILLISPIE, Genesis and geology, a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain, 1790-1850. Cambridge, Harvard Un. Press, 1951.

Fue la reacción contra la establecida escuela del catastrofismo, la cual tuvo como base dos dogmas principales: 1) la creencia general de la intervención de Dios en la historia, por lo que incluyó sucesos naturales y sobrenaturales (milagros); y 2) la proposición particular de que la historia de la Tierra consiste, en lo principal, en una serie de grandes catástrofes consideradas por costumbre como de origen divino de acuerdo con el primer dogma. (Para una revisión histórica véase Hooykaas, 1959 (6).) El uniformismo, como era expresado en aquel entonces, se presentó bajo varios aspectos diferentes y no siempre se enfrentó a estos temas de discusión separada y abiertamente. Sin embargo, en conjunto, abarcó dos proposiciones contradictorias al catastrofismo: 1) La historia de la Tierra (si no es que la historia en general) puede explicarse en función de fuerzas naturales que todavía pueden observarse en la actualidad en acción y 2) la historia de la Tierra no ha sido una serie de catástrofes universales o casi universales, sino que en lo principal ha estado regida por un desarrollo prolongado, gradual -lo que llamaríamos en nuestra época una evolución (el término "evolución" no era entonces utilizado habitualmente en este sentido). Un ejemplo clásico de la aplicación de estos principios en conflicto es la creencia catastrofista de que los valles se originaron por la abertura repentina de grietas debido a una revolución ordenada por el ser supremo, lo cual está en contra de la creencia uniformista que sostiene que los valles han sido formados gradualmente por los ríos, que todavía siguen erosionando sus fondos." (7)

- (6) R. KOOYKAAS, *Natural law and divine miracle: a historical-critical study of the principle of uniformity in geology, biology and theology*, Leiden, E.J. Brill, 1959.
- (7) G.G. SIMPSON, "La ciencia histórica", a ALBRITTON, jr. (ed.), *op. cit.*, p. 48.

També podem considerar el "primer principi de l'estratigrafia" formulat ja per Steno (1638-1686) i després redescobert per Smith: el sòl està format de capes successives (els estrats), que es dipositen horizontalment; hi ha, doncs, una successió històrica dels estrats i, si es troben inclinats o trencats, és que han estat deformats.

A la constatació precedent s'hi afegí la que cada estrat conté fòssils específics (espècimens diferenciats d'una època a l'altra); esdevenen, doncs, un element complementari important per a la datació dels materials estratigràfics (Cuvier, Brongniart). Aquest principi inspirarà en època més recent l'ampli desenrotllament de les interconnexions de la cronoestratigrafia i la bioestratigrafia.

Finalment, no sempre resulta clara la distinció entre principi i llei, com ha estat subratllat per W.H. Bradley:

«"principio" es una palabra que nosotros y otros naturalistas utilizamos sin reserva, y, sin embargo, no he encontrado una forma satisfactoria de discriminar entre leyes específicas o generalizaciones empíricas, por un lado, y principios por otro. Quizás son equivalentes. En tal caso, es muy extraño cómo los geólogos reaccionan tan constantemente hacia unas y tan ocasionalmente hacia otros.»⁽⁸⁾

Efectivament, trobem que es parla de "llei d'inèrcia" i de "principi d'inèrcia". O bé podem preguntar-nos si la idea d'isostàsia cal considerar-la "principi", "llei" o "teoria" (9).

Alguns teòrics de la ciència importants, com Mario Bunge (10),

- (8) W.H. BRADLEY, "Leyes geológicas", a ALBRITTON, jr. (ed.), op. cit., p. 27.
- (9) En el proper capítol parlaré de les lleis i teories científiques i tractaré de determinar les principals característiques de cadascun d'aquests nivells de generalització.
- (10) MARIO BUNGE, La investigación científica, Barcelona, Ariel, 1980-7a.

Holton (11) i altres dilueixen el concepte de "principi" en el de "lleí". Aquesta tendència es dóna normalment en els autors dedicats a l'anàlisi de les ciències experimentals. Convé constatar que el terme "principi" està sobretot lligat a la tradició matemàtica i racionalista, i que, potser per això, no troba un lloc prou adequat en la sistemàtica empírista.

El seu sentit és clar en la tradició analítico-deductivista dels geòmetres: els principis són proposicions generals tan clares i evidents que l'esperit humà no pot dubtar de la seva veritat i d'ells es deriva tot altre coneixement. Cal parlar llavors del caràcter axiomàtic dels principis i del seu paper fonamentador de la ciència.

Però enfront d'aquesta metodologia racional-matemàtica (característica de l'època clàssica), la ciència empírica ha volgut construir un cos de coneixements "derivat" dels fets, no de principis generals. Lakatos ha exposat magistralment (12) la situació de complexi-

- (11) G. HOLTON, Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas, Barcelona, Ed. Reverté, 1980, p. 299: "La palabra 'ley' usualmente se reserva en las ciencias físicas para aquellas afirmaciones de generalidad fidedigna cuya descripción incluye una relación matemática. Otras palabras se utilizan, frecuentemente, para aquellos enunciados que son, principalmente, cualitativos (por ejemplo, la afirmación de que las componentes horizontal y vertical en el movimiento de los proyectiles se suman sin perturbarse mutuamente) o cuando corresponden a la naturaleza de un modelo o un mecanismo oculto que ayudan a la comprensión de los fenómenos (...). En aquellos casos pueden encontrarse varios términos: 'principio' (por ej., principio de superposición), 'hipótesis' en un sentido amplio, o 'teoría' en sentido limitado (por ej., hipótesis de Avogadro o teoría atómica), 'postulado', 'regla', etc. No daremos demasiada importancia a las posibles diferencias entre estas palabras y usualmente nos referimos a todas ellas como leyes, de momento".
- (12) IMRE LAKATOS, Matemáticas, ciencia y epistemología, Madrid, Alianza Un., 1981.

itat metodològica creada a partir de les obres de Descartes, Newton, etcètera, és a dir, en el món científic dels segles XVII i XVIII, en relació amb la inducció-deducció i la justificació del procediment científic.

13. L'estructura del coneixement científic

El que hem dit fins ara fa palès que no es pot donar una adequada comprensió dels diferents elements que estructuren la ciència (termes, diferents tipus d'enunciats, regles de correspondència, d'interpretació, etc.) fora d'una perspectiva global del que és la racionalitat científica i en la qual tots ells ocupen un lloc determinat pel seu lligam amb la totalitat de l'estructura (13). ¿Què vol dir això?

Al llarg de la història ha anat variant el propi concepte de "ciència". Els savis no sempre han tingut la mateixa auto-comprensió del que estaven fent, ni s'han guiat per consideracions metodològiques invariables, ans al contrari. El progrés del saber es realitza en un llarg camí, on l'única constànt ha estat la recerca crítica.

La recerca crítica va ésser presidida per la lògica i la matemàtica en el món clàssic grec, per la dialèctica teològica i el neoplatonisme en l'època medieval, per l'interès naturalista i l'afany de ruptura metodològica en els segles XVII i XVIII, per l'enginy constructiu, l'algebrització i el functionalisme en l'època contemporània (14).

(13) Un important metodòleg contemporani, Paul Feyerabend, no creu en la "racionalitat" de l'activitat científica.

Veg. PAUL FEYERABEND, Tratado contra el método (1975), Madrid, Tecnos, 1981. En aquest treball no tindré en compte les aportacions de Feyerabend i consideraré que els procediments científics són racionals.

(14) A més, a cada època trobem "escoles" o grups de savis confrontats, a causa del xoc que es produeix, grossso modo, entre tradicionalistes, innovadors i altres projectes intermedis. No em proposo ara entrar a fons en aquestes qüestions. Veg. també cap. VII.

Aquestes transformacions afecten tant la praxi de la investigació com les formes de raonament del procediment científic.

Els aspectes més importants de discrepància teòrica rauen en les diferents consideracions del valor ontològic ("real") de les afirmacions científiques, és a dir, del tipus de captació de la realitat o de vinculació amb la realitat que es dóna en les generalitzacions científiques, i de llur fonament justificatiu.

Això fa que la discussió metodològica giri, sobretot, entorn del que són i del que no són les lleis o generalitzacions nomològiques (15) de la ciència, del problema de la seva fonamentació racional, així com el de promoure el descobriment científic per mitjà d'una metateoria que es preocupa dels aspectes heurístics.

El proper capítol versarà sobre les lleis científiques. Es aquest el punt central, sense el qual tots els temes anteriors quedarien mancats de sentit.

(15) 'Nomos' en grec significa regla, norma, llei, prescripció, ordre.

APÉNDIX

MARIO BUNGE, La investigación científica, Barcelona, Ed. Ariel 1980-7a, pp. 435-437:

"Una teoría axiomática puede representarse como un tejido que cuelga de sus supuestos iniciales. Estos supuestos son un manojo de fórmulas relativamente ricas y precisas (proposiciones y/o funciones proposicionales), llamadas axiomas o postulados, que satisfacen la condición de unidad conceptual. Por debajo de los axiomas se encuentran todas las demás hipótesis de la teoría; que se llaman teoremas de la misma, aunque ésta tenga contenido factual, pues el término "teorema", igual que el término "axioma", indica un estatuto lógico con independencia del contenido.

En una teoría completamente axiomatizada todos los teoremas pueden derivarse de los supuestos iniciales por medios puramente formales (lógicos o matemáticos), o sea, mediante la aplicación de las reglas de la inferencia deductiva. Dicho de otro modo: dados los axiomas de la teoría y las reglas de inferencia presupuestadas por la teoría (o sea, los subyacentes sistemas de lógica y matemática), todos los teoremas quedan unívocamente determinados, aunque ninguno de ellos se haya derivado aún efectivamente. La preeterminación lógica es la única efectiva, y es peculiar a las teorías axiomáticas.

En la ciencia formal un axioma o postulado es un supuesto no demostrado cuya función consiste en permitir la demostración de otras fórmulas de la teoría. En la ciencia factual un axioma es también una fórmula sin demostrar y sirve para demostrar otros enunciados, pero su introducción está justificada en la medida en que esos otros enunciados (las teorías) quedan convalidados de un modo u otro por la experiencia. La tarea más ambiciosa que puede plantearse un teórico

es la de inventar un conjunto axiomático para cubrir totalmente un campo dado de conocimiento. (Otra cuestión es la de si ese objetivo puede alcanzarse íntegramente.) Ninguna acumulación de datos observacionales, por enorme que sea, le solucionará esa tarea: la información empírica es precisamente lo que él desea explicar, y, por tanto, aunque funcionará como estímulo y como control de la construcción de teorías, no podrá ser nunca ni su fuente ni siquiera su guía. Todo lo que puede hacer el teórico para inventar una buena teoría es explotar al máximo lo que le suministre su herencia genética y cultural. Una vez establecidos los axiomas de la teoría, el teórico puede (i) derivar de ellos nuevos teoremas, o (ii) establecer conexiones con otros campos de la investigación, o (iii) intentar modificar algunos de los axiomas, con objeto de obtener un sistema más compacto, o más económico, o más rico; o bien puede (iv) intentar especificar la significación factual y/o empírica de los axiomas, si la tienen. A la inversa, dado un conjunto de resultados parciales más o menos inconexos de la investigación (como, por ejemplo, las varias generalizaciones referentes a la estructura nuclear, antes de introducirse el modelo actual), la tarea del teórico consistirá en introducir (inventar) una base axiomática a partir de la cual aquellos resultados puedan derivarse, o sea, convertirse en teoremas. Una vez inventada una tal base, puede esperarse que resulten derivables nuevas proposiciones antes desconocidas. (Si los axiomas existieran por sí mismos en un platónico reino de las ideas, o si cualquier fórmula sugiriera por sí misma el conjunto de postulados a partir del cual puede derivarse, podríamos hablar de descubrimiento de axiomas. Pero como los axiomas no están ya confeccionados y listos para llevar, ni están nunca únicamente determinados por las preexistentes fórmulas de nivel inferior, no debemos vacilar en hablar de invención o creación de axiomas.)

En toda teoría puede apreciarse un grupo de axiomas o fórmulas del nivel más alto, pero no toda teoría es axiomática, autocontenido. Por de pronto, ninguna teoría factual es plenamente axiomática y, como veremos dentro de poco, la axiomatización no agota el contenido de una teoría factual. La razón de esa imposibilidad es que las teorías factuales tienen que ser abiertas a la experiencia. Más precisamente: las teorías factuales no pueden prescindir de proposiciones singulares (datos) que no se encuentran entre los axiomas ni son lógicamente derivables de ellos. Y no servirá para nada el colocar esa información empírica entre los axiomas de la teoría: primero, porque no implican nada interesante; segundo, porque los datos constituyen un conjunto abierto, y, por así decirlo, un conjunto vivo, puesto que crece y se mantiene joven mediante la sustitución de elementos informativos caducados por otros nuevos y más precisos. Por otro lado, si se cambia o añade un axioma se produce una teoría nueva. Lo mismo prácticamente vale por lo que hace a los supuestos auxiliares (por ejemplo, las hipótesis simplificadoras) que se añaden oportunísticamente a los axiomas cada vez que la teoría se aplica a un caso particular. Como los datos y los supuestos auxiliares son indispensables para la derivación de enunciados singulares, y como estos últimos son los que pueden compararse y con la experiencia, tenemos que admitirlos en nuestras teorías; pero como los datos y los supuestos auxiliares no son ni axiomas ni teoremas, no pueden pertenecer al núcleo axiomático de las teorías. Dicho de otro modo: las teorías factuales no pueden axiomatizarse plenamente.

Las premisas de una teoría factual son de algunas de las clases siguientes: (i) supuestos iniciales, o axiomas, y (ii) premisas subsidiarias, como las hipótesis especiales, los temas y los datos. Deben llamarse lemas las hipótesis demostradas como teoremas en

otras teorías y tomadas en préstamo de ellas; se presentan frecuentemente en las deducciones propias de la ciencia factual. Así, por ejemplo, un cálculo realizado en fisiología puede exigir la introducción de fórmulas del análisis matemático y de la mecánica. Y algunas hipótesis especiales, así como informaciones particulares, son naturalmente necesarias para explicar y prever con la ayuda de una teoría. Por ejemplo, si deseamos prever lo que ocurrirá a un individuo particular en circunstancias dadas, necesitamos información específica acerca del individuo y acerca de las circunstancias."

CAPÍTOL V

14. Les lleis científiques

Les ciències empíriques constitueixen un cos de coneixements articulats en un conjunt d'enunciats generals que anomenem "lleis científiques" (L). Les característiques més rellevants d'aquest tipus d'enunciats universal són: especificitat, exactitud, completitud i simplicitat.

Es diu que són específiques perquè expliciten una relació constant entre fenòmens ben delimitats d'un àmbit concret de la realitat. Aquesta especificitat va lligada a l'ideal (1) d'exactitud, és a dir, a la determinació quantitativa de les constants i de les variables que intervenen, cosa que possibilita la predicció o la retrodicció. A més, aquestes no seran adequadament assolides si la llei, ultra l'exactitud descriptiva dels factors considerats, no abasta a tots els individus o fenòmens que són membres de l'univers considerat (completitud). Finalment, les lleis expressen d'una forma sintètica i simplificada l'experiència cognoscitiva de la dinàmica empírica; aquesta simplicitat o economia del llenguatge científic fa possible l'operativitat de la ciència (i, de retruc, el seu desenvolupament accelerat, així com la seva creixent manipulació de la realitat).

- (1) Parlo "d'ideal d'exactitud" perquè ben sovint les lleis són només aproximatives, de manera que, si bé aquesta característica es reflecteix habitualment, no sempre es presenta amb la mateixa claredat, no sempre es resol per la via de la quantificació matemàtica.

Les lleis científiques són anomenades per molts metodòlegs contemporanis explicacions nomològiques, perquè consideren que una llei no fa més que explicar-nos amb un cert grau d'exactitud el que succeeix en la realitat.

No obstant, cal remarcar que el terme "lleii" és emprat, encara avui, de diferents maneres, al·ludint a conceptes diferents:

- 1) Llei natural (L_1): regularitat manifesta en la natura (o, com diu Ferrater Mora, "relació constant objectiva en la natura").

Nivell empíric.

- 2) Llei científica (L_2): enunciat universal que estipula l'existència de (L_1).

Nivell lingüístico-científic.

- 3) Llei metateòrica (L_3): enunciat metacientífic que explica principis generals o regles relatius a (L_2).

Nivell metalingüístic.

Alguns autors parlen de L_1 com si es tractés d'una realitat que s'aprehén directament i objectualment, com una veritat revelada (lleii natural = veritat absoluta que jo puc conèixer i descobrir). Cal tenir present que allò que coneixem com a lleii natural no és res més que una generalització estipulativa del nivell 2), una invenció que explica determinats tipus de relacions regulars que semblen característiques del món empíric, i no el descobriment del "codi secret de la natura" (com es creia en el segle XVII).

Per tant, L_2 pressuposa l'existència de L_1 , però no ens garanteix que una L_1 s'acompleixi realment en la dinàmica-empírica tal com ha estat prescrita en L_2 : pot donar-se el cas (com ens ensenya la història de la ciència) que una classe de fènòmens sigui copsat i explicat per lleis diferents i parcialment oposades. ¿Com podem dir aleshores que hem descobert

"lleis naturals" diverses per a una sola classe de fets empírics? ¿No és més seriós pensar que inventem o construïm teories per explicar les realitats fenomèniques?

Al meu entendre, és millor referir-nos només a lleis científiques i caracteritzar-les dient que són enunciats universals que estipulen l'existència de certes regularitats relacionals entre determinats fenòmens ben definits.

15. Teories rivals

En la ciència ¿és freqüent la pugna entre hipòtesis o teories contradictòries? (2) La seva història ens mostra que sí; alguns casos han esdevingut ja un lloc comú d'aquesta temàtica:

Estudis sobre la naturalesa de la llum:

-Newton proposà una concepció corpuscular, segons la qual la llum es compon de partícules extremament petites que es desplacen a gran velocitat (3).

-Huyghens (i després Fresnel i Young) treballà en la hipòtesi que la llum consisteix en ones transversals que es propaguen en un medi elàstic (l'èter). Aquesta és l'anomenada teoria ondulatòria (4). (Reformulada per Maxwell i Hertz amb la seva teoria de les ones electromagnètiques transversals.)

- (2) "Contradiccòries" entre si, es sobreentén.
Aquí no mantindré una distinció clara entre hipòtesis, lleis i teories. Crec que el mateix text en mostrerà el motiu.
- (3) Veg. HEMPEL, Filosofía de la ciencia natural, Madrid, Alianza Un., 1973, p. 48.
- (4) Veg. HEMPEL, op. cit., pp. 47 a 49.

En ambdós casos s'arribava a unes mateixes conclusions: lleis de propagació rectilínia, de reflexió i de refracció. Però també hi havia una discordança important: la teoria ondulatòria implicava una quarta llei: la major velocitat de propagació en el medi aire que en el medi aigua, mentre que la teoria corpuscular portava a la inferència contrària.

-Einstein (1905) proposà la teoria dels quanta (que alguns autors consideren una versió modificada de la teoria corpuscular, reproduint l'enfrontament amb la teoria ondulatòria). "L'energia de la llum no està distribuïda d'una manera uniforme sobre el front de l'ona, com en la imatge clàssica, sinó que està concentrada o localitzada en petites regions discontinues (com en "blocs" o "paquets" d'energia, podríem dir)" (5).

Holton parla del dilema ona-fotó i mostra les dificultats definitòries i la incomoditat descriptiva derivades de la idea de fotó, malgrat la seva incontestable fecunditat teòrica:

"En verdad, la idea de los fotones presentaba muchas dificultades reales. Representan "paquetes de energía" sin masa en reposo; en esto diferían de los corpúsculos de luz newtonianos, con los cuales tenían una débil semejanza, a pesar de que es costumbre referirse a la teoría de los fotones de Einstein como la teoría corpuscular o teoría de las partículas luminosas. Pero nuestras mentes tienden a tantener aquellas ideas que pueden visualizarse claramente y es necesario un considerable autocontrol para imaginar un cuanto de energía radiante, sin pensar en algo material que le sirva de soporte. En cambio, era más fácil de imaginar con Maxwell que la energía radiante se extendía uniformemente sobre un frente de ondas. Había otras cuestiones aún más difíciles. ¿Cuál es el volumen y el área de la sección transversal de la "zona" sobre el frente de ondas donde el fotón está localizado? ¿Cuál sería el significado de la "longitud de onda" y "frecuencia" de la luz que determina el contenido energético del fotón

(5) Veg. HOLTON, Int. a los conceptos y a las teorías de las ciencias físicas, Barcelona, Ed. Reverté, 1979, p. 646.

según la ecuación $E=hc$, si el fotón, por decirlo así, es sólo una "zona" del frente de onda y no parte de todo el tren de ondas? ¿Qué ocurriría con los fenómenos de interferencia y polarización que sólo pueden explicarse con una teoría ondulatoria?, y ¿cómo absorbe un electrón la energía de un fotón para convertirse en un fotoelectrón?

(...) Para nuestro propósito, lo importante es que veamos cómo la mayoría de las dificultades que han surgido recientemente, provienen de querer aplicar conceptos obtenidos de la experiencia con cuerpos a gran escala que obedecen las leyes de Newton a fenómenos submicroscópicos. (...) un fotón, cuando es absorbido por un detector, tal como una emulsión fotográfica, cede su energía y con esto cesa de existir. Además, una radiación no revela nunca todas sus características al mismo tiempo y en un conjunto de experimentos. El que revele sus propiedades de fotón o de onda, en un experimento en particular, depende de la naturaleza del experimento. Como ha dicho el físico Max Born:

«En último término, la dificultad se encuentra en el hecho (o principio filosófico) de que estamos obligados a utilizar las palabras del lenguaje común para describir un fenómeno, no por un análisis lógico o matemático, sino por una imagen que llame la imaginación. El lenguaje común se ha desarrollado por la experiencia diaria y nunca puede sobrepasar estos límites. La física clásica se ha restringido al uso de conceptos de este tipo; analizando los movimientos visibles, se han desarrollado dos modos de representarlos por procesos elementales: partículas en movimiento y ondas. No habiendo otro modo de dar una visión representativa de los movimientos -tenemos que aplicarlos a la región de los procesos atómicos donde falla la física clásica.

Todos los procesos pueden interpretarse, bien en términos de corpúsculos o en términos de ondas, pero, por

otro lado, está más allá de nuestro poder el probar que sean corpúsculos u ondas con lo que estamos tratando, pues no podemos determinar simultáneamente el conjunto de propiedades que son distintas de un corpúsculo o de una onda, según sea el caso. Podemos, por tanto, decir que la descripción ondulatoria y corpuscular han de considerarse como modos complementarios de imaginar un único proceso objetivo, proceso que solamente en casos límites, definidos, admite una completa definición gráfica..." (Atomic Physics, Nueva York, Hafner, 1946-4a, p. 92).

Sin embargo, a pesar de lo inconfortable que nos parezca la dualidad onda-fotón o de la gran disparidad entre concepto e intuición, la teoría del fotón permanece firme con su potencia probada para explicar, predecir y estimular nuevos descubrimientos." (6)

Aquesta situació és una mostra més que el nostre coneixement de la realitat no es basa en la identitat estructural o l'isomorfisme del nostre pensament i el món, sinó que és una forma complexa de constructivisme que s'articula sobre les coordenades món empíric/estructura lògica.

16. Rivalitats teòriques en Geologia

¿Podem trobar en la Geologia situacions semblants a la descrita en les investigacions del fenomen lumínic? Certament, sembla que sí. Vegem-ne alguna:

Si cerquem un exemple que, com en el cas anterior de la llum, ens permeti considerar teories rivals referides a un fenomen concret, serà perfectament il·lustratiu referir-nos a les diverses hipòtesis científiques de la salinitat messiana.

(6) HOLTON, op. cit., pp. 650-652.

Salinitat messiniana

Em refereixo a la troballa d'una massa de sal i evaporites que, en un gruix estimat de 2.000 metres, jeu a les àrees més deprimitides de la Mediterrània (edat inferior als sis milions d'anys), i que ha plantejat la qüestió de la possible dessecació de la Mediterrània durant el Messinià (6a). Les diverses hipòtesis explicatives es basen en els models següents:

- 1) Model d'aigües marines i conca profundes (Schmalz, Sell, Sonnenfeld, Richter-Bernburg, etc.).
"Aquest model, aplicat a la Mediterrània, consisteix en la precipitació de les sals dins una conca d'aigües profundes, confinades i estratificades per densitats, en què la precipitació de les sals s'esdevé davall la capa d'aigües saturades tocant el fons i per efecte d'una intensa evaporació superficial. Aquest model implica un potent flux d'entrada (inflow) d'aigües atlàntiques a través d'un llindar som i sense corrent d'eixida (outflow) d'aigües atlàntiques a l'estret de Gibraltar, el qual compensaria la pèrdua d'aigua per evaporació i el manteniment del nivell de la nostra mar igual que el de l'oceà, o molt feblement per sota." (6b)
- 2) Model de conca profunda amb aigües somes (Hsü, Cita, Ryan). Hom considera el fons de la Mediterrània com una conca de concentració "amb la formació d'unes llacunes d'evaporació com les sebkhas, amb aigües somes i moments de sequedad total, i d'altres amb aports d'aigües, adés d'origen mari, adés de procedència continental" (6c).

(6a) *C. RIBA i ARDERIU, Aspectes de la geologia marina de la conca mediterrània balear durant el Neogen, Memòries de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.*

Vol. XLV, núm 1. Barcelona, 1981. Investigacions molt rellevants dins aquesta àrea han estat fetes pels professors J. Serra-Raventós i Andrés Maldonado.

(6b) *O. RIBA i ARDERIU, op. cit., p. 39.*

(6c) *O. RIBA i ARDERIU, op. cit., p. 42.*

3) Model de conca poc profunda i d'aigües somes
(Nesteroff, Stanley, Finetti, la major part de l'Escola Francesa, etc). "(...) les conques mediterrànies eren somes, de 200 a 500 metres de gruix d'aigua; un subministrament d'aigua oceànica quasi continu; i el pla d'aigua mediterrània sempre per sota el nivell oceànic, el qual sofriria oscil.lacions molt fortes especialment en esdevenir-se els cicles de les evaporites superiors, tot podent-hiassolir la sequedad total." (6d)

De cadascun d'aquests tres models explicatius es deriven implicacions diferents que concorden en major o menor grau amb el conjunt d'anàlisis portades a terme fins ara: dades geofísiques, geodinàmiques, sedimentològiques, geoquímiques, micropaleontològiques... Així, per esmentar només alguna de les qüestions, el model 1) sembla insuficient per a explicar el gruix de la massa de sal; el model 2) implica una sèrie de fenòmens geomorfològics (erosions marginals de la Mediterrània, rius, canyons, etc.) que solament han estat trobats i analitzats de manera parcial; i, en general, resten plantejats nombrosos problemes de correlació del Messinià o Andalusia.

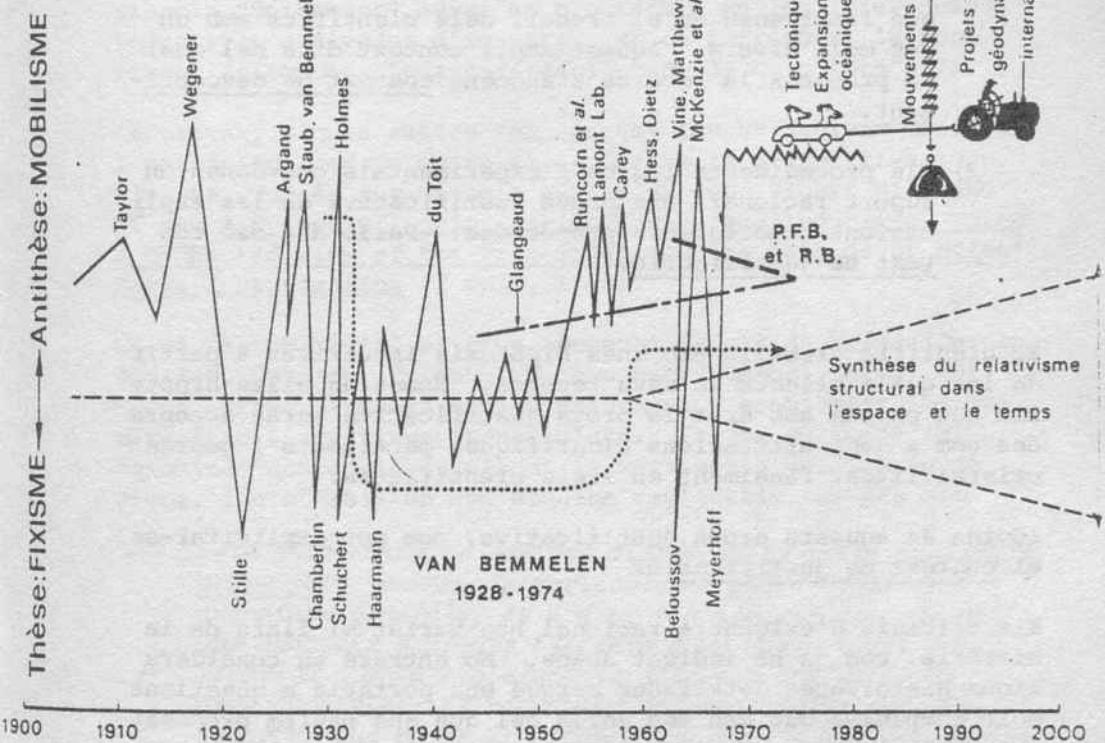
.....

Tanmateix, els casos més coneguts de rivalitat teòrica dins la Geologia consisteixen en teories d'abast general:

- catastrofisme versus uniformisme o actualisme;
- discontinuitat o rupturisme versus evolucionisme o continuisme;
- fixisme versus mobilisme.

Sobre aquesta darrera oposició és ben expressiu l'esquema de R.W. Van Bemmelen, recollit per P.F. BUROLLET i R.S. BYRAMJEE, "Reflexions sur la tectonique globale", Notes et mémoires, Compagnie Française des Pétroles, n. 11, París, p. 79 i que reproduexo a la pàgina següent.

(6d) O. RIBA i ARDERIU, op. cit., p. 44.



Evolució de les diferents tendències geodinàmiques
a partir de 1900 (segons R.W.VAN BEMELEN).

17. ¿Com s'arriba a la formulació de lleis científiques?

La pregunta conjumina dues qüestions de diferent ordre:

- 1) Els recursos emprats pels científics per concebre les lleis: són molt variats i van des dels factors pròpiament tècnics fins a l'atzar, passant pels elements psicològics, lògics, sociològics, històrics, etc., que intervenen en el treball dels científics amb un pes molt divers. Aquest ampli context dins del qual es produeix la recerca s'anomena context de descobriment.
- 2) Els procediments lògics i experimentals que donen un suport racional, una prova justificativa de les explicacions nomològiques proposades. Parlo ara del context de justificació.

El científic treballa amb unes hipòtesis intuitives a partir de les quals orienta la seva recerca. Només aquelles hipòtesis que passin amb èxit la prova justificativa seran acceptades com a generalitzacions científiques pertinents i podran cristal·litzar finalment en lleis científiques.

¿Quina és aquesta prova justificativa, com pot explicitar-se el context de justificació?

Els criteris d'exigència racional han variat al llarg de la història, com ja he indicat abans. No entraré en consideracions històriques detallades perquè ens portaria a qüestions molt complexes que van més enllà del que ens havíem proposat en aquest escrit. Em referiré tan sols als dos criteris en pugna en el debat metateòric, d'acord amb la formulació que han rebut en el darrer segle:

- 1) inductivism (criteri empirista del significat -que s'utilitza alhora com a criteri de demarcació-, atomisme).

- 2) Deductivisme (definició tarskiana de veritat, teoria de l'assaig i error).

18. Inductivism

Emportats per un zel empirista malentès, alguns autors han cregut en un esquema de justificació racional de la ciència "únicament" basat en els fets i en les inferències inductives derivades d'aquests. No és infreqüent la incorrecta afirmació: "generalització deduïda dels fets" (7).

Certament, alguns autors han aportat investigacions lògiques i metodològiques de molta vàlua des de la perspectiva inductivista, com és per exemple el cas de John Stuart Mill amb el seu A System of Logic, ratiocinative and inductive, being a connected View of the Principles and the Methods of Scientific Investigation (2 vol., 1843).

En el nostre segle, el grup anomenat Cercle de Viena (Carnap, Schlick, Neurath, H. Hahn, Reichenbach, Hempel, etc.) (8) féu un esforç extraordinari d'afinament i acoblament lògico-matemàtic i empirisme inductivista. Frederick Suppe (9) denomina "concepció heretada" la metateoria del Cercle de Viena, i n'ofereix un bon esquema explicatiu (encara que

- (7) *Dels fets només es deriven altres fets. Dels enunciats sobre fets (enunciats particulars) poden inferir-se enunciats generals, és a dir, l'affirmació que fem del que succeeix a alguns elements d'un conjunt pot ésser referida a tots els elements d'aquest conjunt. En això consisteix el raonament anomenat inductiu. Cal remarcar que no és un procés dels fets a les generalitzacions, sinó dels enunciats particulars als enunciats generals. Recordi's el primer apartat del cap. III.*
- (8) *Molt influents, primer a Europa en els anys 30 i després als Estats Units, on van emigrar a causa del nazisme i de la Segona Guerra Mundial.*
- (9) *F. SUPPE, La estructura de las teorías científicas, Madrid, Ed. Nacional, 1979.*

aquesta ha tingut una llarga evolució i ha sofert variants significatives):

"En lo esencial, esa versión inicial de la Concepción Heredada concebia las teorías científicas como teorías axiomáticas formuladas en una lògica matemàtica L , que reunia las siguientes condiciones:

- (I) La teoría se formula en una lògica matemàtica de primer orden con identidad, L .
- (II) Los tèrminos no lògicos o constantes de L se dividen en tres clases disjuntas llamadas vocabularios:
 - a) El vocabulario lògico, que consta de constantes lògicas (incluídos tèrminos matemàticos).
 - b) El vocabulario observational V_0 , que contiene tèrminos observacionals.
 - c) El vocabulario V_t , que contiene tèrminos teòricos.
- (III) Los tèrminos de V_0 se interpretan como referidos a objects físics o a características de los objects físics, directamente observables.
- (IV) Hay un conjunto de postulados teòricos T , cuyos únics tèrminos no lògicos pertenecen a V_t .
- (V) Se da una definición explícita de los tèrminos de V_t en tèrminos de V_0 mediante reglas de correspondencia C, es decir, para cada tèrmino F' de V_t debe de ser dada una definición de la siguiente forma:
(x) $(Fx \equiv Ox)$,
donde ' Ox ' es una expresión de L que contiene símbolos solament de V_0 y posiblemente del vocabulario lògico.

Es un corolario de esta caracterización que todos los términos teóricos son cognitivamente significativos en el sentido de que cada uno de ellos satisface el criterio verificacionista de significado. El conjunto de axiomas T es el conjunto de leyes teóricas de la teoría. El conjunto de reglas de correspondencia estipula las aplicaciones que pueden hacerse de la teoría a los fenómenos; la teoría se identifica con la conjunción TC de T y C." (10)

L'estructura racional de la ciència, el fonament de la seva justificació rau, doncs, segons aquesta metateoria, en la base empírica (entesa com a objectualitat "neutra") i el procediment lògic inductiu, el qual permet donar suport a les teories, encara que aquestes siguin presentades com a "teories axiomàtiques formulades en una lògica matemàtica L", o, almenys, es pretengui això idealment, ja que, de facto, els científics mai no ho han fet.

Cal remarcar el valor que en aquest esquema té el terme "observacional", car és diferent de l'establert aquí anteriorment. El autors del Cercle de Viena pensen que els termes observacionals estan directament referits a les dades qualitatives o quantitatives físiques ("neutres") i a partir d'elles s'estipulen els termes teòrics. Però, quan intenten analitzar amb detall aquests qüestions, es troben amb greus problemes: els conceptes quantitatius vénen delimitats pels sistemes de mesuratge emprats, només els conceptes qualitatius molt elementals poden referir-se directament a la percepció sensorial-primària, etc. (problemes de les proposicions protocol.lars, de l'anàlisi fenomenològica, etc.). Carnap no va trigar gaire a abondonar el fisicalisme per treballar dins d'una línia lògico-sintàctica i lògico-semàntica (anàlisi lògica de les estructures sintàctiques i semàntiques dels llenguatge científic).

(10) F. SUPPE, op. cit., pp. 35-36.

Una altra formulació de l'inductivism es la que es dona en aportacions com la d'A.B. Wolfe:

"Si intentamos imaginar cómo utilizaría el método científico... una mente de poder y alcance sobrehumanos, pero normal en lo que se refiere a los procesos lógicos de su pensamiento, el proceso sería el siguiente: En primer lugar, se observarían y registrarían todos los hechos, sin seleccionarlos ni hacer conjeturas a priori acerca de su relevancia. En segundo lugar, se analizarían, compararían y clasificarían esos hechos observados y registrados, sin más hipótesis ni postulados que los que necesariamente supone la lógica del pensamiento. En tercer lugar, a partir de este análisis de los hechos se harían generalizaciones inductivas referentes a las relaciones, clasificatorias o causales, entre ellos. En cuarto lugar, las investigaciones subsiguientes serían deductivas tanto como inductivas, haciendo inferencias a partir de generalizaciones previamente establecidas." (11)

Aquest text pot utilitzar-se com a caricatura grotesca dels extrems als quals pot arribar l'inductivisme. Encara que l'autor situa la seva proposta en una pla ideal, és evident que creu en l'existència de fets observables i registables en el buit, en la possibilitat de definir conceptes comparatius i classificatoris fora de tota base conceptual prèvia, en la suficiència de la inducció com a procediment justificatiu de la racionalitat científica. Finalment, però, reconeix que hi ha un procés inductivo-deductiu (afirmació que hom troba en altres inductivistes, sempre com un afegitó sense més conseqüències...).

Bertrand Russell platejà també la qüestió en termes inductivo-deductius. Segons ell, en el treball científic hom prodeix per aquest ordre:

(11) A. B. WOLFE, "Functional Economics", citat per HEMPEL, Filosofía de la ciencia natural, op. cit., p. 27.

- 1) Observació de fets significatius (12).
- 2) Proposta d'hipòtesis que, si son vertaderes, expliquen aquests fets.
- 3) A partir d'aquestes hipòtesis, deducció de conseqüències que poguin ésser posades a prova per l'observació.

"En el estado actual de la ciencia, ni los hechos ni las hipótesis están aislados: existen dentro del cuerpo general del conocimiento científico. El significado de un hecho es relativo a dicho conocimiento. Decir que un hecho es significativo, en ciencia, es decir que ayuda a establecer o a refutar alguna ley general; pues la ciencia, aunque arranca de la observación de lo particular, no está ligada esencialmente a lo particular, sino a lo general. Un hecho en ciencia no es un mero hecho, sino un caso." (13)

Russell explica aquí claramente el fet fonamental de la ciència, no solament de la contemporània com ell diu, sinó de tot coneixement estructurat.

Malgrat el lligam que estableix entre fets i hipòtesis, la concepció russelliana és inductivo-deductiva. Al text anterior segueixen les següents afirmacions:

"La ciencia, en su Último ideal, consiste en una serie de proposiciones dispuestas en orden jerárquico; refiérense las del nivel más bajo en la jerarquía a los hechos particulares, y las del más alto, a alguna ley general que lo gobierna todo en el universo. Los distintos niveles en la jerarquía tienen una doble conexión lógica: una hacia arriba y la otra hacia abajo. La conexión ascendente procede por inducción; la descendente, por deducción."

- (12) Cal remarcar que parla de fets significatius i no de fets. La diferència és important i el mateix Russell l'explica en el text que recullo tot seguit.
- (13) B. RUSSELL, La perspectiva científica, Barcelona, Ariel, 1969, pp. 48-49. La primera edició anglesa de l'obra

Con otras palabras, en una ciencia perfeccionada procederíamos como sigue: los hechos particulares A, B, C, D, etc., sugieren como probable una determinada ley general, de la que, si es verdadera, todos son casos. Otra serie de hechos sugiere otra ley general, y así sucesivamente. Todas estas leyes generales sugieren, por inducción, una ley de un mayor grado de generalidad, de la cual, si es verdadera, son casos aquellas otras leyes. Habrá muchas otras etapas al pasar de los hechos particulares observados a la ley más general que se ha descubierto. De esta ley general procederemos en cambio, deductivamente, hasta llegar a los hechos particulares de los que ha arrancado nuestra inducción anterior. En los libros de texto se adopta el orden deductivo; el inductivo se sigue en el laboratorio." (14)

Des de la perspectiva inductivista, el context de justificació ve donat per la base empírica i el raonament inductiu. En el mateix llibre de Russell apareix, però, el dilema de la inducció i, per això, pretén remeiar el problema de justificació de les generalitzacions apel·lant al raonament condicional:

"Todas las leyes científicas descansan sobre la inducción; la cual, considerada como un proceso lógico, está abierta a la duda, y no es capaz de dar certeza. Hablando claramente, un argumento inductivo es del género siguiente: Si cierta hipótesis es verdadera, entonces tales y cuales hechos serán observables;

és de 1931, i la segona, revisada, de 1949 (la traducció castellana s'ha fet d'acord amb aquesta darrera). Les dates són d'interès per als historiadors de la pugna inductivisme-deductivisme en el nostre segle. (Veg. més endavant les dates de les aportacions de Popper.)

(14) B. RUSSELL, op. cit., p. 49.

ahora bien, estos hechos son observados; consiguientemente, la hipótesis es probablemente verdadera. Un argumento de esta clase tendrá grados variables de validez, según las circunstancias. Si pudiésemos probar que ninguna otra hipótesis es compatible con los hechos observados, podríamos llegar a la certeza; pero esto es apenas posible. En general, no habrá método para pensar en todas las hipótesis posibles, o, su lo hay, se encontrará que más de una de ellas es compatible con los hechos. Cuando sucede esto, el hombre de ciencia adopta la más sencilla, como hipótesis de trabajo, y sólo acude a hipótesis más complicadas cuando nuevos hechos prueban que la hipótesis más sencilla es inadecuada. (...) En sus formas mejores, la inducción está basada en el hecho de que nuestra hipótesis conduce a consecuencias que resultan verdaderas, pero que si no hubiesen sido observadas, habrían parecido extremadamente improbables." (15)

Curiosament, aquí l'autor justifica la inducció amb el ratiónament lògic deductiu de tipus condicional.

19. Deductivisme. Popper o el falsacionisme

En el llibre La lògica de la investigació científica (Logik der Forschung, Viena, 1934) (16), Popper atacà frontalment la metodologia inductivistai explicà que la justificació del procés racionalitzador de la ciència rau en la lògica deductiva, l'única que pot donar suport justificatiu al raonament.

"Muchos aceptan como fuera de toda duda la doctrina de que las ciencias empíricas pueden reducirse a percepciones sensoriales, y, por tanto, a nuestras

(15) B. RUSSELL, op. cit., p. 57.

(16) K. POPPER, La lògica de la investigación científica, Madrid, Tecnos, 1971.

experiencias. A pesar de ello, la suerte de esta doctrina está ligada a la de la lógica inductiva, y en la presente obra la rechazamos juntamente con ésta. No pretendo negar que hay algo de verdad en la opinión de que las matemáticas y la lógica se basan en el pensamiento, mientras que las ciencias de hechos lo hacen en las percepciones de los sentidos; pero este grano de verdad apenas pesa en el problema epistemológico. Mas, por otra parte, difícilmente se encontrará un problema de la epistemología que haya sufrido más a consecuencia de la confusión de la psicología con la lógica que el que nos ocupa ahora: el de la base de los enunciados de experiencia.

(...) no es posible proponer un enunciado científico que no trascienda lo que podemos saber con certeza "basándonos en nuestra experiencia inmediata" (hecho al que nos referiremos con la expresión "la trascendencia inherente a cualquier descripción" -es decir, a cualesquiera enunciados descriptivos-): todo enunciado descriptivo emplea nombres (o símbolos, o ideas) universales, y tiene el carácter de una teoría, de una hipótesis." (17)

En altres paraules, mentre que l'empirisme inductivista postula la l'existència d'una relació directa entre l'experiència immediata i el coneixement, Popper, al contrari, mostra que aquesta relació és més complexa, com ens ensenya la lògica, la lingüística i la psicologia (i com ja havien sistematitzat especulativament filòsofs com Kant, Fries, etc.). Tot enunciad descriptiu diu més del que apareix en l'experiència immediata. La justificació dels enunciats científics no pot reduir-se a la base empírica, ni al raonament inductiu suposadament derivat d'aquesta.

Popper pensa que la ciència progressa segons l'esquema universal que regeix els sers vius: l'assaig-error. En el camp del coneixement això es realitza mitjançant temptatives teòriques per a resoldre determinats problemes (les hipòtesis intenten donar resposta a problemes específics, delimitats

(17) K. POPPER, op. cit., pp. 89-90.

a partir d'un status previ del coneixement). La justificació d'aquest procés de raonament vindrà donada pel sil. logis me hipotètic.

El «mètode deductiu de contrastar» és explicat per Popper així:

"La teoría que desarrollaremos en las páginas que siguen se opone directamente a todos los intentos de apoyarse en las ideas de una lógica inductiva. Podría describirsela como la teoría del método deductivo de contrastar, o como la opinión de que una hipótesis sólo puede contrastarse empíricamente -y únicamente después de que ha sido formulada." (18)

"Con ayuda de otros enunciados anteriormente aceptados se deducen de la teoría a contrastar ciertos enunciados singulares -que podremos denominar "predicciones"-; en especial, predicciones que sean fácilmente contrastables o aplicables. Se eligen entre estos enunciados los que no sean deductibles de la teoría vigente, y, más en particular, los que se encuentren en contradicción con ella. A continuación tratamos de decidir en lo que se refiere a estos enunciados deducidos (y a otros), comparándolos con los resultados de las aplicaciones prácticas y de experimentos. Si la decisión es positiva, esto es, si las conclusiones singulares resultan ser aceptables, o verificadas, la teoría a que nos referimos ha pasado con éxito las contrastaciones (por esta vez): no hemos encontrado razones para desecharla. Pero si la decisión es negativa, o sea, si las conclusiones han sido falsadas, esta falsación revela que la teoría de la que se han deducido lógicamente es también falsa."

Conviene observar que una decisión positiva puede apoyar a la teoría examinada sólo temporalmente,

(18) K. POPPER, op. cit., p. 30.

pues otras decisiones negativas subsiguientes pueden siempre derrocarla. Durante el tiempo en que una teoría resiste contrastaciones exigentes y minuciosas, y en que no la deja anticuada otra teoría en la evolución del progreso científico, podemos decir que ha "demonstrado su temple" o que está "corroborada" por la experiencia.

En el procedimiento que acabamos de esbozar no aparece nada que pueda asemejarse a la lógica inductiva. En ningún momento he asumido que podamos pasar por un razonamiento de la verdad de enunciados singulares a la verdad de teorías. No he supuesto un solo instante que, en virtud de unas conclusiones "verificadas", pueda establecerse que unas teorías sean "verdaderas", ni siquiera meramente probables".
(19)

La proposta de Popper pot esquematitzar-se de la següent manera:

$$\begin{array}{ll} h \rightarrow i & (\text{si } h, \text{ llavors } i) \\ \neg i & (\text{i és fals,}) \end{array}$$

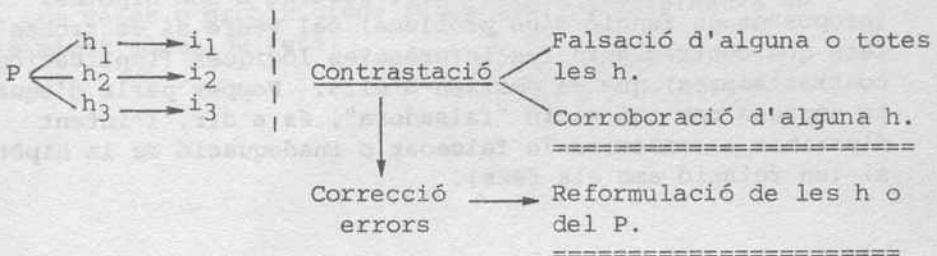
$$\begin{array}{ll} \neg h & \text{també serà fals } h) \\ & (\text{MODUS TOLLENDO TOLLENS}) \end{array}$$

h = hipòtesi (enunciat universal; antecedent del condicional)

i = implicacions contrastables (enunciat singular o particular; conseqüent del condicional).

"fals": l'enunciat i no correspon als resultats de la nostra experiència o observació.

(19) K. POPPER, op. cit., pp. 32-33.



P = problema

h = hipòtesi

i = implicacions

Hempel ha sistematitzat de manera semblant aquest tema: Filosofía de la ciencia natural, op. cit., p. 21 i La explicación científica, Buenos Aires, Paidós, 1979.

Popper empra també l'esquema

$$P_1 \longrightarrow TT \longrightarrow EE \longrightarrow P_2$$

on P₁ fa referència al problema, TT a les teories que s'elaboren per resoldre'l, EE als errors que es detecten en el plantejament gràcies a la contrastació empírica, P₂ a la reformulació dels termes del problema (20).

La metodologia popperiana s'anomena falsacionista, i s'oposa al verificacionisme. La racionalitat científica no

(20) K. POPPER, Conocimiento objetivo, Madrid, Tecnos, 1974, pp. 117, 270, etc.

Veg. també K. POPPER, "La verdad, la racionalidad y el desarrollo del conocimiento científico", en el llibre del mateix autor, El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones, Buenos Aires, Paidós, 1967.

s'ateny per la troballa d'un cas que permet justificar una generalització, sinó al contrari, partint d'una hipòtesi (proposada en funció d'un problema) cal veure si es troben fets que contradiguin les inferències lògiques (implicacions contrastadores) que es deriven d'ella. Popper parla d'aquesta empresa com una acció "falsadora", és a dir, l'intent d'arribar a constatar la falsedat o inadequació de la hipòtesi (en relació amb els fets).

20. Les crítiques a l'inductivism

Ja s'ha fet palès que aquest plantejament va lligat a la crítica de l'inductivisme. Els arguments lògics contra la inducció són de dos tipus: el referit al principi d'inducció i els relatius a la insuficiència lògica de la inducció incompleta.

Per principi inductiu s'entén la proposició universal que afirma que tot enunciat general procedeix de l'experiència sensorial. ¿Aquest principi és un enunciat analític o sintètic? No pot ésser un enunciat analític perquè la seva veritat no s'infereix de la seva estructura lògica, i, si li donem un caràcter apriorístic, entra en contradicció amb si mateix. Hem de dir que és un enunciat sintètic, a posteriori. Però en aquest cas també arribem a una situació difícil, ja que caiem en un raonament encadenat de regressió infinita: és un enunciat general semblant a una generalització científica, per tant es troba al mateix nivell d'allò que intentem justificar. Si per obviar aquesta dificultat apel·lem a una distinció de "graus de generalitat", topem amb la regressió infinita.

D'altra banda, dels enunciats particulars d'existència ("algunes platges són de sorra") l'única inferència lògica possible és la negació de l'enunciat general contrari ("no totes les platges són de quelcom diferent de la sorra"); de la mateixa manera que de l'affirmació d'un universal ("totes les platges són de sorra") l'única equivalència lògicament vàlida és la negació de l'existencial contrari ("no hi ha

una platja que no sigui de sorra") (21). Aquesta fórmula explica l'affirmació popperiana que els enunciats generals són com vetos o prohibicions referides a l'existència de determinat tipus de fets.

(21) Passar de "algunes platges són de sorra" a "totes les platges són de sorra" seria una generalització induktiva fàcticament errònia (en aquest cas) i lògicament injustificada (en qualsevol cas).

APÈNDIX

El text que segueix és la primera part d'una aportació de J.W. VALENTINE (Dep. de Geologia, Universitat de Califòrnia) i F.J. AYALA (Dep. de Genètica, Universitat de Califòrnia), "On Scientific Hypotheses. Killer Clams and Extinctions", publicada a la revista Geology, feb. 1974, pp. 69-71, i proporciona una bona síntesi de la metodologia popperiana.

Popper ha formulat el "criteri de demarcació" amb el qual separa les ciències empíriques d'altres dominis del discurs com els de la lògica i la metafísica. Una hipòtesi és empírica o científica només si pot ésser contrastada (tested) per l'experiència. Les proves experimentals d'una hipòtesi consisteixen a descobrir si les prediccions en relació amb el món de l'experiència derivades de la hipòtesi com a conseqüències lògiques concorden o no amb l'estat de fets actualment observat. El que distingeix les ciències empíriques d'altres classes de coneixement és que les hipòtesis i les teories científiques poden ésser falsades (falsified).

La ciència empírica empra un mètode hipotètic deductiu, que consisteix en dos exercicis o fases interdependents, l'una imaginativa i l'altra crítica. Tenir una idea, proposar una hipòtesi o suggerir el que pot ésser verdader és un exercici imaginatiu o creatiu, però la idea o hipòtesi ha d'estar subjecta a l'examen crític i a la prova. Una hipòtesi o teoria ha d'ésser examinada, primerament, segons la seva consistència interna, i, després, segons la seva consistència en relació amb les altres teories acceptades en aquest camp de la ciència. També cal que es posi a prova de manera empírica, examinant la congruència o la manca d'ella entre les implicacions lògiques derivades de la hipòtesi i els resultats de les observacions empíriques rellevants o experiments.

Les hipòtesis i altres exploracions imaginatives són la base de la investigació científica. La preconcepció imaginativa del que pot ésser verdader és el que proporciona l'incentiu

per cercar la veritat i una guia d'on podem trobar-la. Les hipòtesis guien l'observació i l'experiment, reduint el domini de les observacions rellevants a un conjunt més petit que l'univers total dels observables. Si les observacions empíriques porten a la corroboració o falsació d'una hipòtesi, contribuiran al progrés de la ciència.

El contingut empíric d'una hipòtesi científica es defineix per la seva probabilitat a priori d'ésser falsada per observacions rellevants. Una hipòtesi científica divideix tots els enunciats particulars de fet en dues subclasses no buides: primer, la classe de tots els enunciats amb els que és inconsistent -aquesta és la classe dels falsadors potencials de la hipòtesi-; i, segon, la classe de tots els enunciats empírics amb els quals no hi ha contradicció, és a dir, amb els quals és consistent (enunciats "permesos"). Una hipòtesi és científica només si la classe dels seus falsadors potencials no és buida, perquè només fa assercions relatives als seus falsadors potencials; és a dir, afirma que són falsos. Sobre els enunciats "permesos" no diu res. Aquests enunciats permesos poden ésser consistents amb altres hipòtesis; per tant, la veritat dels enunciats empírics amb els quals la hipòtesi és consistent no verifica aquesta, simplement contribueix a la seva corroboració provisional. El punt important és que el contingut empíric d'una hipòtesi es mesura per la classe dels seus falsadors potencials; com més gran és l'extensió d'aquesta classe, major és el contingut informatiu de la hipòtesi. Una hipòtesi o teoria compatible amb tots els estats de fet possibles en el món de l'experiència és no-informativa. L'elegància i economia del pensament intrínscues a la formulació d'hipòtesis científiques són característiques a partir de les quals també poden ésser jutjades aquestes.

CAPÍTOL VI

21. Hipòtesis, lleis i teories segons K. Popper

Com hem vist, Popper afirma que tot coneixement és conjectural i que la racionalitat científica consisteix preci sament en la recerca de la coherència teòrica i de la crí tica mitjançant la contrastació empírica, que permet mante nir o porta a reformular les hipòtesis inicials. Aquesta posició sorgeix de l'anàlisi del procés de desenrotllament científic en els darrers segles. Popper considera les apor tacions científiques més rellevants: Kepler, Galileu, New ton, Darwin, Lamarck, Laplace, Bohr, Schrödinger, Heisenberg; és amic personal d'Einstein, etc. (1). Les ruptures teòri ques que reiteradament s'han donat en la història de les ciències, és el fet que el porta a la formulació d'una me todologia que respongui als problemes del canvi teòric, compatibilitat o incompatibilitat de teories ("teories ri vals"), contingut empíric de les teories, etc. A més, la seva proposta pugna alhora contra l'essencialisme i contra el convencionalisme.

Des d'aquesta perspectiva, doncs, hipòtesis, lleis i teories, no són mai absolutament definitives, però cadascun d'aquests termes marca un grau divers de corroboració i d'abstracció. Una llei és aquell enunciat universal corresponent a una hipòtesi o conjunt d'hipòtesis que han passat la prova de la contrastació, permetent la formulació d'una generalització explicativa altament sintètica, de contingut empíric perfec tament delimitat. Una teoria és una generalització més

(1) Popper estudià, a la Universitat de Viena, *Filosofia, Psicologia, Matemàtiques i Física*. Doctor en Filosofia, obtingué el títol de professor de *Matemàtiques i Física* (*Escoles Secundàries*). Veg. K. POPPER, *Búsqueda sin término. Una autobiografía intelectual*, Madrid, Tecnos, 1977, p. 105 i anteriors.

abstracta que una llei i, per tant, d'un camp d'aplicació més ampli, que pot ésser explicativa d'un conjunt de lleis o pot suscitar hipòtesis contrastables.

"Debemos considerar todas la leyes o teorías como hipótesis o conjeturas; es decir, como suposiciones. (...) En efecto, nunca ha habido una teoría tan firmemente "establecida" como la de Newton y es poco probable que vuelva a haber otra semejante y, sin embargo, la teoría de Einstein, piénsese lo que se quiera de ella, sin duda nos obliga a considerar la teoría de Newton como una "mera" hipótesis o conjetura.

Un segundo caso es el descubrimiento que hizo Urey en 1931 del deuterio y el agua pesada. En aquella época, el agua, el hidrógeno y el oxígeno eran las sustancias químicas mejor conocidas, constituyendo los pesos atómicos del hidrógeno y el oxígeno las normas mismas de toda medida química. Había una teoría sobre cuya verdad todo químico se hubiera jugado el cuello, al menos hasta la conjetura de Soddy de 1910, sobre los isótopos y, de hecho, hasta mucho después. Mas he aquí que Urey dio con una refutación (que a la vez constituyó una corroboración de la teoría de Bohr)." (2)

"El descubrimiento darwinista de la teoría de la selección natural se ha comparado muchas veces con el descubrimiento newtoniano de la teoría de la gravedad. Es un error. Newton formuló un conjunto de leyes universales con el fin de describir la interacción y comportamiento consiguiente del

(2) K. POPPER, Conocimiento objetivo, Madrid, Tecnos, 1974, pp. 22-23.

universo físico. La teoría de la evolución de Darwin no propuso tales leyes universales. No hay leyes darwinistas de evolución. De hecho, fue Herbert Spencer quien trató de formular las leyes universales de la evolución -las leyes de "diferenciación" e "integración". Como he intentado señalar, dichas leyes no carecían de interés e incluso pueden ser verdaderas. Mas son vagas y, comparadas con las leyes de Newton, están casi vacías de contenido empírico. (El propio Darwin encontraba que las leyes de Spencer poseían un interés más bien escaso.)

No obstante, la influencia revolucionaria de Darwin sobre nuestra imagen del mundo en torno fue, por lo menos, tan grande -si bien no tan profunda- como la de Newton, ya que la teoría darwinista de la selección natural mostró que en principio era posible reducir la teleología a la causación, mediante la explicación, en términos puramente físicos, de la existencia en el mundo de planes y propósitos. (...) Darwin mostró que tenemos plena libertad para recurrir en biología a explicaciones teleológicas -incluso quienes creemos que toda explicación debe ser causal-. La razón de ello estriba precisamente en que lo que él mostró es que, en principio toda explicación teleológica podrá algún día ser reducida a -o ulteriormente explicada en términos de- una explicación causal." (3)

La teoria de la selecció natural de Darwin ha estat una aportació de primer ordre, d'una influència decisiva en diferents branques de la ciència. Però cal reconèixer que la seva fertilitat heurística no ha tingut una correspondència adequada en la formulació de lleis específiques.

(3) K. POPPER, op. cit., pp. 245-246.

En el nostre context interessa especialment recollir la caracterització popperiana de la teoria de la selecció natural:

"La teoria de la selecció natural es de caràcter històrico: construye una situació para mostrar que, dada dicha situació, es muy probable que ocurran aquellas cosas cuya existencia deseamos explicar. Para decirlo con mayor exactitud, la teoria de Darwin es una explicació històrica generalizada. Lo que esto quiere decir es que la situació no es única, sino típica. Por tanto, algunas veces puede ser posible construir un modelo simplificado de la situació." (4)

En el capítol VIII parlaré de models i del seu lligam amb les teories. Però aquest text fa ja palesa la possibilitat i la importància d'elaborar hipòtesis de caràcter històric, que, a partir d'un model simplificat de situació-típus inicial, permeten derivar processos i situacions que expliquin l'estat present. Aquest tipus de comesa és perfectament coherent amb la lògica del desenrotllament científic explícitada en les obres de Popper.

22. Lleis: explicació i predicció o retrodicció.

Dues són les característiques pròpies de les lleis científiques:

- 1) Que siguin explicatives de la realitat empírica (d'algun conjunt o tipus de fenòmens).
- 2) Que permeten la predicció o la retrodicció de fets concrets.

Hom considera que una llei és un enunciat universal, el contingut del qual, quan es dóna juntament amb una especificació de circumstàncies inicials precises, ens permet saber

(4) K. POPPER, Conocimiento objetivo, op. cit., p. 248.

la situació o el fet que s'esdevindrà (o que es va esdevenir en altre temps, en el cas de la retrodicció).

U (llei universal)	}	<u>Explicans</u>
I (condicions inicials específiques)		<u>Explicandum</u>
E (Enunciat particular referit a un fet)		<u>Explicandum</u>

L'explicandum es refereix a un fet que s'ha d'explicar. L'explicans està constituit pels enunciats que permeten explicar l'explicandum (5). L'explicació que proporciona la llei ha d'ésser prou precisa perquè, en conjunció amb l'especificació de determinades condicions inicials, permeti derivar lògica-ment l'enunciat E. El tipus d'explicació nomològica va, doncs, lligada a la possibilitat de prognosi o de reconstrucció racional d'esdevinements passats.

¿Es pot dir que l'explicans és la causa de l'explicandum (efecte)? Cal remarcar que els termes causa i efecte han estat motiu de moltes discussions metodològiques i filosòfiques (encara no closes), i, per això, alguns autors prefereixen evitar-los. Popper puntualitza la qüestió d'aquesta manera:

"El estado de la cuestión descrito por las condiciones iniciales singulares puede denominarse la "causa" y el descrito por el explicandum, el "efecto". Sin embargo, me da la impresión de que es preferible evitar estos términos, estando como están tan cargados de asociaciones históricas. Si a pesar de todo queremos utilizarlos, hemos de tener siempre presente que sólo adquieran un significado con respecto a una teoría o ley universal. Es la teoría o la ley la que constituye el nexo lógico entre la causa y el efecto, por lo que el enunciado "A es la causa de B" ha de analizarse: "Hay una teoría T que es contrastable y ha sido contrastada independientemente, de la cual, en conjunción con una descripción, A, de una

(5) K. POPPER, op. cit., p. 316.

Hempel utilitzà els termes explanans i explanandum. Végeu Filosofía de la ciencia natural, op. cit..

situación específica independientemente contrastada, podemos deducir lógicamente una descripción B, de otra situación específica". (Muchos filósofos, incluso Hume, han pasado por alto la existencia de un nexo lógico entre "causa" y "efecto" que está presupuestado en la utilización misma de estos términos). (6)

Finalment, pel que fa a la diferència entre 'predicció i retrodicció', cal dir que no és de caràcter lògic o metodològic, sinó que pertoca més aviat a la possibilitat de contrastació. No sempre és possible localitzar el fet passat que permet la contrastació de les inferències derivades de la hipòtesi. (Veg. l'aportació completa a què he fet referència en l'apèndix del darrer capítol.)

23. Matemàtica i càlcul de probabilitats.

Fins ara no he fet esment de la importància de la matemàtica per a la formulació de lleis científiques. La rellevància de la matemàtica és quelcom tan evident en tot el progrés científic que sembla ocios referir-se explícitament al tema. L'especificitat, completitud i exactitud que es demana a les formulacions científiques serien inabastables sense el concurs del llenguatge matemàtic.

Les explicacions científiques són bàsicament determinacions d'ordre relacional entre diferents factors ben definits. Les proves empíriques consisteixen en l'examen de les interrelacions detectables entre uns elements constants i altres variables. Per tot això cal l'aplicació de la matemàtica, no solament com a instrument de quantificació, sinó també com a llenguatge peculiar que ofereix possibilitats pròpies d'anàlisi, operativitat i control de dades.

(6) K. POPPER, Conocimiento objetivo, op. cit., p. 317.

Dins la Geologia hi ha exemples molt eloquents d'aquesta extraordinària eficàcia de les matemàtiques, com és la troballa de Krumbein que molts caràcters quantitatius dels dipòsits sedimentaris obereixen a lleis logarítmiques (7). Cada dia més, la ciència esdevé inseparable de l'aparell matemàtic.

Tanmateix, convé adonar-se, també, que els problemes fonamentals de caire explicatiu i heurístic que les ciències tenen plantejats no es resolen amb la matemàtica.

Alguns metodòlegs creuen en la importància decisiva de l'ús de la lògica matemàtica (Sneed, Moulines, Stegmüller) (8), per a la correcta formulació de les teories científiques.

Altres autors com Popper i Hempel (9) dediquen un bon espai de les seves obres a un tema ben diferent del suscitat aquí: critiquen l'ús que fan alguns inductivistes de les teories probabilistes com a sistema de raonament científic, i mostren que un probabilisme d'aquest tipus du a contradiccions lògiques.

24. Geologia com a ciència històrica: lleis i retrodicció

En totes les aportacions metodològiques pertanyents a la Geologia apareix una mateixa preocupació, mai ben resolta: la Geologia és una ciència històrica, i aquesta característica la diferencia d'altres ciències com la Física o la Química. ¿Com es poden sistematitzar els seus procediments teòrics, que són alhora dependents dels físics, químics, etc., i de la reconstrucció històrica de fets i situacions del passat?

(7) A. CAILLEUX, *Historia de la Geología*, Buenos Aires, EUDEBA, 1964, p. 72.

(8) J.D. SNEED, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht, Reidel, 1971. "Philosophical problems in the empirical science of science: a formal approach", *Erkenntnis*, vol. 10, 1976, pp. 115-146.

En aquesta pregunta és palès un altre problema d'importància cabdal per a la definició de la Geologia: ¿pot ésser caracteritzada com una ciència teòrico-pràctica (formulació de lleis específiques, interrelació dels diferents camps que componen l'ample ventall de les "ciències geològiques", etc) o cal considerar-la com un conjunt de tècniques aplicades a l'estudi de la terra, derivades de lleis i sistemes teòrics físic-químics, matemàtics, etc.?

La història de la Geologia mostra la seva dependència d'altres ciències, així com també la peculiaritat i personalitat del seu desenrotllament. En el nostre segle l'aplicació de tècniques sofisticades a l'estudi dels fenòmens geològics ha permès l'establiment d'explicacions teòriques de gran abast, d'una indubtable especificitat. Penso, per exemple, en els estudis oceanogràfics, en la teoria del camp geomagnètic, en la tectònica de plaques...

En primer lloc, aquesta interdependència de les teories geològiques respecte a lleis i teories d'altres ciències, els transfereix consistència teòrica i suport empíric indirecte.

C.U. MOULINES, "A logical reconstruction of simple equilibrium thermodynamics", *Erkenntnis*, vol. 9, 1975, pp. 101-130. "Approximate application of empirical theories: a general explication", *Erkenntnis*, vol. 10, 1976, pp. 201-277. "Theory-nets and the dynamics of theories: the example of Newtonian mechanics", *Synthese*, 41, 1979, pp. 417-439.

W. STEGMUELLER, La concepción estructuralista de las teorías, Madrid, Alianza Universidad, 1981.

(9) K. POPPER, La lógica de la investigación científica, op. cit., pp. 128 i ss.

C.G. HEMPEL, La explicación científica, op. cit., pp. 61 i ss.

I aquest tret no és quelcom particular de la Geologia, sinó una característica de les ciències contemporànies. Ara bé, crec que s'hauria de distingir entre lleis i teories geològiques i la mera aplicació de lleis físiques o d'altra mena a la resolució d'alguns problemes geològics particulars (duresa, resistència, pes, solubilitat, etc. de materials, determinació de característiques químiques, etc.).

En segon lloc, parlar de lleis i teories geològiques suposa l'acceptació que la Geologia pot establir lleis generals, qüestió que per alguns geòlegs entra en contradicció amb la necessitat d'explicar fets particulars inherent a aquesta ciència: els Alps, els Pirineus, el Canyon del Colorado o el Cinturó de Foc són fenòmens particularíssims que, com molts d'altres menys espectaculars però també singulars, han d'esser explicats pels geòlegs. ¿La Geologia és, doncs, una ciència de fets particulars o de fets que es repeteixen ("regularitats empíriques")? Amb aquesta pregunta tornem al tema del caràcter històric de la Geologia. Podem formular-la amb altres termes:

¿Es tasca de la Geologia l'establiment de lleis generals, o, al contrari, s'ocupa de l'explicació de la gènesi i la història que ha portat a un esdeveniment geològic singular?

La metodologia popperiana aclareix aquests dilemes, derivats de metodologies del segle XIX que enfrontaven les ciències històriques (que "comprenen" fets particulars) a les ciències empíriques (que "expliquen" classes de regularitats fenomèniques), i de metodologies ingènuament empiristes i inductivistes que consideren els enunciats generals com una resultant de l'establiment de classes de fets perfectament homogenis.

Tal com hem vist, en la metodologia popperiana, les generalitzacions estan lligades lògico-deductivament als enunciats singulars. Que una explicació científica sigui general, no vol dir que no pugui donar raó o preveure un fet singular (10),

(10) D'altra banda, cal recordar que tots i cadascun dels fets són singulars, únics.

sempre i quan s'explicitin les circumstàncies específiques que accompanyen l'aplicació de la llei. Aquest és precisament el sentit de l'esquema anterior, on es parlava del fet que per mitjà d'una llei universal (U), més l'enunciació de les condicions inicials específiques (I), hom pot preveure i explicar un esdeveniment singular (enunciat per E). El descobriment del planeta Neptú per Leverrier (i, separadament, per Adams) és un exemple, entre molts, del que estem tractant (11).

¿Es sempre possible determinar amb exactitud els condicionaments específics? No; aquest és el cavall de batalla de les ciències històriques. No obstant això, crec que les enormes dificultats que es presenten a l'hora de fer Història (dels homes), no es presenten amb tanta complexitat a l'hora de fer Geologia. Això no vol dir que la Geologia no sigui una ciència complexa; però la referència a elements i processos físics permet circumscriure amb precisió els diferents tipus de condicionaments en relació amb els quals és eficaç l'establiment i aplicació d'una llei.

En altres capítols hom ha fet referència a les aportacions metodològiques de Kitts, Simpson, Bradley, etc., en les quals, certament, no es donava cap solució clara a aquestes qüestions fonamentals. Crec que el desenvolupament de la via iniciada aquí podria fornir la Geologia d'uns principis metodològics metateòrics que no ha tingut fins ara.

(11) *El descubrimiento de Plutón fou també un afer similar. Veg. HOLTON, Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas, op. cit., pp. 228-229.*

APENDIX

KARL R. POPPER; La lógica de la investigación científica,
Madrid, Tecnos, 1971, pp. 101-103:

Los enunciados básicos se aceptan como resultado de una decisión o un acuerdo, y desde este punto de vista son convenciones. Por otra parte, se llega a las decisiones siguiendo un proceder gobernado por reglas, y entre éstas tiene especial importancia la que nos dice que no debemos aceptar enunciados básicos esporádicos -es decir, que no estén en conexión lógica con otros enunciados- y que, por el contrario, hemos de admitir enunciados básicos en el curso de nuestra contrastación de teorías: cuando suscitamos cuestiones esclarecedoras acerca de éstas, cuestiones que tienen que contestarse gracias a la admisión de enunciados de aquel tipo.

(...)

Por regla general, se llega a un acuerdo sobre la aceptación o rechazo de enunciados básicos con ocasión de aplicar una teoría: en realidad, el acuerdo forma parte de la aplicación que consiste en someter a contraste la teoría. El ponerse de acuerdo acerca de ciertos enunciados básicos es, lo mismo que otros modos de aplicación, ejecutar una acción con una finalidad -guiado por consideraciones teóricas diversas.

(...)

Quizá podamos responder ahora a la pregunta acerca de cómo y por qué aceptamos una teoría con preferencia a otras.

Ciertamente, tal preferencia no se debe a nada semejante a una justificación experimental de los enunciados que componen una teoría, es decir, no se debe a una reducción lógica de la teoría a la experiencia. Elegimos la teoría que se mantiene mejor en la competición con las demás teorías, la que por selección natural muestra ser más apta para sobrevivir; y ésta será la que no solamente haya resistido las contrastaciones más exigentes, sino que sea, asimismo, contrastable del modo

más riguroso. Una teoría es una herramienta que sometemos a contraste aplicándola, y que juzgamos si es o no apropiada teniendo en cuenta el resultado de su aplicación.

CAPÍTOL VII

25. Internalisme, externalisme. L'aportació de Kuhn

Les propostes metodològiques de Karl Popper han suscitat polèmiques: primer per part dels empiristes lògics del Cercle de Viena, els quals van reformular llurs teories arran de les crítiques ineludibles de Popper. Després, una nova generació de metodòlegs, tot assimilant idees centrals de Popper, han platejat noves qüestions. En aquest capítol tractaré breument l'obra de Thomas S. Kuhn. (1).

Kuhn pensa que la "lògica de la investigació", la reconstrucció racional del procés lògico-metodològic del raonament científic o anàlisi internalista de la ciència, és insuficient per a caracteritzar aquesta. Cal adonar-se que el context general del coneixement i l'engranatge social de la pròpia estructura científica constitueixen el marc extern però fonamental que determina la praxi científica. A partir d'aquesta idea hom parla d'història interna (l'activitat professional dels científics) i d'història externa (existència de "comunitats científiques", relació entre aquestes i la cultura gene-

(1) THOMAS S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas (1962), Mèxic, F.C.E., 1971. Die Entstehung des Neuen, Frankfurt a. M., Suhrkamp V., 1977.
Pel que fa a la polèmica Kuhn-Popper-Feyerabend-Lakatos, Veg. LAKATOS i MUSGRAVE (eds.), La crítica y el desarrollo del conocimiento, Barcelona, Grijalbo, 1975.

ral, lligam ciència-educació-religió, ciència-política, etc.).

Per a descriure la dinàmica del desenvolupament científic convé conèixer la història interna, la història externa i la seva interrelació.

26. Ciència normal i ciència extraordinària

Kuhn retreu a Popper haver-se fixat només en els episodis extraordinaris de la història interna de la ciència, en les grans aportacions que suposen una ruptura o un plantejament nou en algun terreny. En definitiva, ha basat la seva lògica de la investigació en allò que s'ha anomenat ciència extraordinària, en contraposició al que fan habitualment els científics que és la ciència normal. Aquesta es caracteritza per l'activitat d'assimilació i reproducció d'uns standards, amb els quals s'eixamplen al màxim (dins de les línies establertes) els camps d'investigació oberts.

"Estas tres clases de problemas -la determinación del hecho significativo, el acoplamiento de los hechos con la teoría y la articulación de la teoría- agotan, creo yo, la literatura de la ciencia normal, tanto empírica como teórica. Por supuesto, no agotan completamente toda la literatura de la ciencia. Hay también problemas extraordinarios y su resolución puede ser la que hace que la empresa científica como un todo resulte tan particularmente valiosa. Pero los problemas extraordinarios no pueden tenerse a petición; surgen sólo en ocasiones especiales, occasionados por el progreso de la investigación normal. Por consiguiente, es inevitable que una mayoría abrumadora de los problemas de que se ocupan incluso los mejores científicos, caigan habitualmente dentro de una de las tres categorías que hemos mencionado. El trabajo bajo el paradigma no puede llevarse a cabo en ninguna otra forma y la deserción del paradigma significa dejar de practicar la ciencia que se define.

Pronto descubriremos que esas deserciones tienen lugar. Son los puntos de apoyo sobre los que giran las revoluciones científicas." (2)

La ciència normal ocupa la major part de científics durant tota la seva vida; hom no pot, doncs, ignorar-la, ni deixar de sistematitzar el paper que juga dins de la dinàmica general del progrés científic.

"En este ensayo, "ciencia normal" significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior. En la actualidad, esas realizaciones son relatadas, aunque raramente en su forma original, por los libros de texto científicos, tanto elementales como avanzados. Esos libros de texto exponen el cuerpo de la teoría aceptada, ilustran muchas o todas sus aplicaciones apropiadas y comparan éstas con experimentos y observaciones de condición ejemplar." (3)

"Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal es tâ encaminada a provocar nuevos tipos de fenômenos; en realidad, a los fenômenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente, ni siquiera se los ve. Tampoco tienden normalmente los científicos a descubrir nuevas teorías y a menudo se muestran intolerantes con las formuladas por otros.

Es posible que sean defectos. Por supuesto, las

(2) T.S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p. 66.

(3) T.S. KUHN, op. cit., p. 33

zonas investigadas por la ciencia normal son minúsculas; la empresa que está siendo discutida ha restringido drásticamente la visión. Pero esas restricciones, nacidas de la confianza en un paradigma, resultan esenciales para el desarrollo de una ciencia." (4)

27. Els conceptes de "comunitat científica" i "paradigma" segons Kuhn

En el darrer text, parla Kuhn del fet que la ciència normal accepta, aplica i desenrotlla un paradigma, que s'ha guanyat la confiança de la comunitat científica. Cal remarcar les referències d'aquests termes, perquè són centrals en les formulacions kuhnianes.

La praxi científica és una activitat gremial, en el sentit que és portada a terme per grups d'investigadors i especialistes que comparteixen una sèrie de coneixements i tècniques. Kuhn afirma que aquesta comunitat científica treballa d'una forma estabilitzada a partir d'uns esquemes teòrics i uns patrons d'investigació, acceptats per tots els membres de la comunitat. Aquesta base teòrico-pràctica comuna és anomenada paradigma:

"(...) llegó a reconocer el papel desempeñado en la investigación científica por lo que, desde entonces, llamo "paradigmas". Considero a éstos como realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica." (5)

"Los hombres cuya investigación se basa en paradigmas compartidos están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica. Este com-

(4) T.S. KUHN, op. cit., p. 53.

(5) T.S. KUHN, op. cit., p. 13.

promiso y el consentimiento aparente que provoca son requisitos previos para la ciencia normal, es decir, para la génesis y la continuación de una tradición particular de la investigación científica." (6)

En altres textos posteriors, Kuhn prefereix distingir diferents aspectes relativs al paradigma amb termes com matriu disciplinària i exemplificadors:

"Arriba, en la sección 4, he señalado que una nueva versión de mi libro sobre las revoluciones científicas comenzaría con una discusión de la estructura comunitaria. Una vez aislado un grupo de especialistas, me preguntaría qué es lo que tienen en común sus miembros que les permite resolver enigmas y que explica su relativa unanimidad en la elección de problemas y en la evaluación de las soluciones a los problemas. Una de las respuestas que mi libro sugiere para esa pregunta es "un paradigma" o "un conjunto de paradigmas". (...) Pero ahora preferiría alguna otra frase para indicarlo, quizás "matriz disciplinaria": "disciplinaria" porque es común a quienes practican una disciplina científica; "matriz" porque está formada por elementos ordenados que requieren una especificación individual. Todos los objetos que mi libro describiría como paradigmas, partes de paradigmas o paradigmáticos ocuparían un lugar en la matriz disciplinaria, pero no se les incluiría bajo el título de paradigmas, sea individual o colectivamente. Entre ellos estarían: generalizaciones simbólicas comunes, como " $f=ma$ ", o "los elementos se combinan en proporción constante en cuanto a su peso"; modelos comunes, ya sean metafísicos, como el atomismo, o heurísticos, como el modelo hidrodinámico de un circuito eléctrico; valores comunes, como el én-

(6) T.S. KUHN, op. cit., p. 34.

fásis en la exactitud de las predicciones, tratado más arriba; y otros elementos de esa índole. Entre los últimamente citados subrayaría especialmente las soluciones concretas de problemas, los ejemplos standard de problemas resueltos con que los científicos se encuentran primero en los laboratorios como estudiantes, en los finales de capítulo de los textos científicos y en los exámenes. Si pudiera yo llamaría paradigmas a estas soluciones-de-problemas, porque son las que primero me llevaron a la elección de este término. De ahora en adelante las llamaré ejemplizadores." (7)

28. Les revolucions científiques o canvis de paradigma

La feina dels científics consisteix a resoldre "enigmes" o puzzles amb l'ajut dels standards paradigmàtics. La mateixa selecció de problemes tractats ve donada pel paradigma vigent. Hi ha qüestions que no hi encaixen i queden marginades fins que llur força arriba a promoure nous plantejaments, noves recerques de solució que entren en conflicte amb el paradigma establert.

Una situació així, mantinguda i estesa, pot provocar la crisi del paradigma.

"Hasta el grado en que se dedique a la ciencia normal, el investigador es un solucionador de enigmas, no alguien que ponga a prueba los paradigmas. Aunque durante la búsqueda de la solución de un enigma particular puede ensayar una serie de métodos alternativos para abordar el problema descartando los que no le dan los resultados deseados, al hacerlo no estará poniendo a prueba al paradigma. En lugar de ello, será como el jugador de ajedrez

(7) T.S. KUHN, "Consideración en torno a mis críticos" a La crítica y el desarrollo del conocimiento, I. LAKATOS

que, frente a un problema establecido y con el tablero física o mentalmente ante él, ensaya varios movimientos alternativos para buscar la solución. Estos intentos de prueba, tanto si son hechos por el jugador de ajedrez como si los lleva a cabo el científico, son sólo pruebas para ellos mismos, no para las reglas del juego. Sólo son posibles en tanto se dé por sentido el paradigma. Por consiguiente, la prueba de un paradigma sólo tiene lugar cuando el fracaso persistente para obtener la solución de un problema importante haya producido una crisis. E incluso entonces, solamente se produce después de que el sentimiento de crisis haya producido un candidato alternativo a paradigma. En las ciencias, la consolidación de la prueba no consiste simplemente, como sucede con la resolución de enigmas, en la comparación de un paradigma único con la naturaleza. En lugar de ello, la prueba tiene lugar como parte de la competencia entre dos paradigmas rivales, para obtener la aceptación por parte de la comunidad científica." (8)

La pugna entre paradigmes diferents és quelcom complex, molt incompletament percebut pels mateixos protagonistes i no dilucidable d'una forma taxativa:

"Si no hubiera más que un conjunto de problemas científicos, un mundo en el que poder ocuparse de ellos y un conjunto de normas para su resolución, la competencia entre paradigmas podría resolverse por medio de algún proceso más o menos rutinario, como contar el número de problemas resueltos por cada uno de ellos. Pero, en realidad, esas condi-

i A. MUSGRAVE (eds), op. cit., pp. 441-442. No entro aquí en la polèmica suscitada per la polisèmia del terme 'paradigma' en La estructura de las revoluciones científicas, i em limito a presentar la clarificació que proposa el mateix Kuhn. En aquest sentit veg. també T.S. KUHN, Segundos pensamientos sobre paradigmas, Madrid, Tecnos, 1978. La función del dogma en la investigación científica, València, Cuadernos Teorema, 1979.

(8) T.S. KUHN, La estructura de las revoluciones científicas, op. cit., p. 225.

ciones no son satisfechas completamente nunca. Quienes proponen los paradigmas en competencia se encuentran siempre, por lo menos ligeramente, en pugna involuntaria. Ninguna de las partes dará por sentadas todas las suposiciones no empíricas que necesita la otra para poder desarrollar su argumento; como Proust y Berthollet, cuando discutieron sobre la composición de los compuestos químicos, estarán, hasta cierto punto, obligadas a hablar sin entenderse; aunque cada una de ellas podrá esperar convencer a la otra de su modo de ver su ciencia y sus problemas, ninguna de ellas podrá esperar probar su argumento. La competencia entre paradigmas no es el tipo de batalla que pueda resolverse por medio de pruebas". (9)

A voltes, el pas d'un paradigma a un altre només s'acompleix plenament amb el canvi generacional... (10)

Una revolució científica suposa un canvi de paradigma, la ruptura i l'oblit de l'anterior (encara que també es pot doiar el cas que coexisteixin). Kuhn no identifica revolució científica amb progrés científico. Aquest es realitza gràcies a la ciència normal i a la ciència extraordinària (paradigma revolucionari), gràcies a ambdues, i no solament a aquesta darrera, com sovint es creu.

(9) T.S. KUHN, op. cit., pp. 229-230. Veg. les pàgines següents, 233-235.

(10) Kuhn cita Max Planck, que escriví en la seva autobiografia: "una nova veritat científica no triomfa per mitjà del convenciment dels seus oponents, fent-los veure la llum, sinó més aviat perquè aquests oponents arriben a morir i creix una nova generació que es familiaritza amb ella."

29. "Canvis de paradigma" a la Geologia.

A. Hallam (11) afirma que la tectònica de plaques acompleix la gran revolució teòrica de la Geologia en el sentit kuhnian, és a dir, constitueix un canvi de paradigma i afecta, per tant, la concepció global, la Gestalt (configuració estructural) d'aquesta ciència.

"Volviendo a las ciencias de la Tierra, es claro que la tectónica de placas es el paradigma actual. Para definir la revolución en los términos de Kuhn es preciso determinar el paradigma que ha sido reemplazado, y esto es más difícil.

Consideremos, por ejemplo, el problema de la construcción de montañas. Hace algunos años, las personas se adherían a varios puntos de vista totalmente diferentes e incompatibles entre sí. Una escuela pensaba que la causa primordial era la fractura de la corteza por la contracción de la tierra. Otros invocaban la compresión local en un "tectógeno", por corrientes de convección descendentes debajo de la corteza, si bien no se especificaba el origen de dichas corrientes. Un tercer grupo negaba la importancia de la comprensión lateral, e invocaba en cambio la elevación vertical de estrechos sectores de corteza que luego se deslizaban lateralmente por gravedad. Sin embargo, no se hicieron, después del esfuerzo de Suess, tentativas convincentes para integrar los fenómenos orogénicos a otros aspectos de la historia de la Tierra, como los cambios de clima, la actividad ígnea o las transgresiones y regresiones marinas. Las diversas explicaciones de los diversos fenómenos tenían así un carácter ad hoc. No había consenso acerca de las evidencias que podían decidir entre hipótesis rivales, si es que las había, y en consecuencia los debates eran con frecuencia muy

(11) A. HALLAM, De la deriva de los continentes a la tectónica de placas, Barcelona, Labor, 1976.

acres.

Es natural la comparación con la óptica pre-newtoniana que describe Kuhn y que confirma el sentimiento de que la geología ha pasado a ser en los últimos años una ciencia más madura.

Quizá el único elemento común que puede encontrarse en semejante confusión es la creencia en una Tierra "estable" y no "móvil", donde los continentes han permanecido en la misma posición recíprocamente. Como este punto de vista fue combatido seriamente por Wegener, y luego, en menor medida, por Taylor, es evidente que la revolución ha comenzado muy temprano en este siglo. Fue preciso que transcurrieran unos cincuenta años para que nuevas pruebas y nuevas ideas lograran una conversión masiva a los puntos de vista movilistas y la formulación completa de un nuevo paradigma." (12)

És interessant l'observació que fa l'autor. D'un costat, la tectònica de plaques es presenta com una teoria de gran abast, en la qual es coordinen explicacions diverses. No sembla, doncs, gratuit parlar de paradigma. Però, d'altra banda, ¿quin és el paradigma substituit? ¿Només la creença en una terra "estable" i no "móbil", on els continents han romàs en la mateixa posició, com diu Hallam? ¿O seria, més aviat, el pas de teories molt limitades i inconnexes a un cos teòric articulat i estructurat? En qualsevol cas, la importància de la tectònica de plaques és palesa; ara bé, ¿quina anàlisi cal fer de la incidència de la teoria, de l'abans i del després? I, fins i tot éno hauriem de diferenciar diverses etapes en la configuració del paradigma nou?

Hallam, que explica molt bé el llarg procés que va de Wege-

(12) A. HALLAM, op. cit., pp. 152-153.

gener, Holmes i Du Toit a Hess, Tuzo Wilson i L.R. Sykes, sembla més interessat en el concepte de paradigma com a caracterització general teòrica que com a instrument d'anàlisi historiogràfica.

30. Consideracions sobre la "metodologia" de Kuhn

Les aportacions de Kuhn es situen dins d'una línia històriogràfica (sòcio-històrico-teòrica) (13). Han tingut un ressò espectacular que les ha fet eixir del seu àmbit propi, o, almenys, ha succeït que els seus conceptes fonamentals han estat emprats amb profusió (signe del seu valor intuitiu), sense que això hagi portat aparellat el desenrotllament analític que li correspon.

Kuhn ha desenrotllat idees valuoses, però la seva perspectiva externalista deixa de banda moltes qüestions metodològiques significatives que una metateoria actual ha de plantejar-se.

Ara bé cal adonar-se que avui ja no es pot fer història de la ciència "lineal", "biogràfica", o de recull de dades disperses. Kuhn, com altres grans historiadors de les idees de divers tarannà (Duhem, Koyré, etc.) (14), mostra pregonadament la importància de l'ensenyament que podem extreure de les investigacions sobre el procés de desenvolupament de la ciència, sempre que es duguin a terme amb els mitjans analítico-conceptuals adients (coordinació diacronia-sincronia; reconstrucció estructures conceptuals i dinàmica institucional; relacions ciència-no ciència; etc.). Al meu entendre, és sobretot en aquest sentit que val la pena coneixer i

(13) Aquesta línia és sempre palesa. Tanmateix, alguna de les seves obres sobresurt com a aportació historiogràfica de primer ordre. Veg. La revolución copernicana (1957), Barcelona, Ariel, 1978.

(14) P. DUHEM, Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic. 10 vols., Paris,

tenir present l'obra de T.S. Kuhn.

31. Consideracions sobre l'obra de Popper

En aquestes pàgines he exposat de forma destacada l'aportació de Popper (15), tot marginant altres autors importants: Harré, Toulmin, Cohen, Nagel, Stegmüller, Feyerabend, Ziman, Geymonat, etc. (16). Aquesta tria no ha estat arbitrària. Popper ha rebut moltes crítiques: contra el "rigorisme" inicial del concepte de falsació, contra la parcialitat de l'esquema metodològic proposat, etc. El volum the Philosophy

Hermann, 1954-1965. La théorie physique, son objet et sa structure, París, Rivière, 1914-2a.

A. KOYRÉ, Etudes Galiléennes, París, Hermann, 1940.

Newtonian Studies, París, Gallimard, 1968. Etudes d'histoire de la pensée scientifique, París, P.U.F., 1966.
Du monde clos à l'univers infini, París, P.U.F., 1962.

(15) Encara que la brevetat de l'exposició no ha permès entrar en detalls ni discutir els punts conflictius.

(16) R. HARRE, Introducción a la lógica de las ciencias, Barcelona, Labor, 1967. El método científico, Madrid, Blume, 1979.

S. TOULMIN, La filosofía de la ciencia, Buenos Aires, Cia. General Fabril Ed., 1964. Voraussicht und Verstehen, Frankfurt a. M., Suhrkamp V., 1968. I juntament amb GOODFIELD: The Fabric of the Heavens, Londres, Pelican 1961. The Architecture of Matter, Londres, Pelican, 1962. El descubrimiento del tiempo, Buenos Aires, Paidós, 1968. M. COHEN i E. NAGEL, Introducción a la lógica y al método científico. 2 vols. Buenos Aires, Amorrortu, 1973-3a. W. STEGMUELLER, Teoría y experiencia, Barcelona, Ariel, 1979.

P. FEYERABEND, Tratado contra el método, Madrid, Tecnos, 1981. Der wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaften, Braunschweig Vieweg, 1978.

J. ZIMAN, La fuerza del conocimiento: La dimensión científica de la sociedad, Madrid, Alianza Ed., 1979.

La credibilidad de la ciencia, Madrid, Alianza Ed., 1981.

of Karl R. Popper (17) ofereix un mosaic de treballs i discussions sobre l'obra de l'autor, i ja he esmentat abans que autors com Kuhn són crítics respecte als plantejaments popperians. Però, malgrat aquestes crítiques adients en molts casos, l'obra de Popper marca una nova etapa en el desenrotillament de la teoria de la ciència, de manera que avui, siguem o no popperians, no podem continuar acríticament dins les perspectives metodològiques pre-popperianes.

El mateix Harré, que no és pas un convers al popperianisme, admet el que acabo de dir:

"Los lógicos se interesaron mucho en lo pasado por aquellos métodos mediante los cuales se derivan hipótesis a partir del acopio de información particular, y su prueba mediante nuevas acumulaciones de ejemplos, el método aprobado por Bacon. Un fuerte correctivo a ese estrecho modo de ver ha sido debido a las ideas del profesor K. Popper. Este argumenta (...). Esta inversión de la dirección habitual de nuestro modo de ver el método científico, aunque demasiado extremosa para dar cuenta de muchas actividades científicas, sirve para atraer

L. GEYMONAT, Ciencia y realismo, Barcelona, Península, 1980. GEYMONAT, GIORELLO i TABLIAGAMBE, Ciencia y materialismo, Barcelona, Grijalbo, 1975.

També cal recordar algunes obres de MARIO BUNGE no esmentades fins ara: Causalidad. El principio de causalidad en la ciencia moderna, Buenos Aires, Eudeba, 1961. Philosophy of Physics, Dordrecht, Reidel, 1972. Teoría y realidad, Barcelona, Aries, 1972.

En aquest cas l'etcètera és realment molt ampli...

(17) P. SCHILPP (ed.), The philosophy of Karl R. Popper, La Salle, 111., Open Court, 1971.

nuestra atención hacia un hecho muy importante: que en muchos casos el descubrimiento de nuevas hipótesis no se hace en absoluto por inducción, sino por el desarrollo de teorías que ya poseemos." (18).

(Harré no fila gens prim a l' hora de caracteritzar la teoria de Popper, però queda palès que el text ens interessa en un altre sentit.)

A la introducció del present treball he avisat dei seu caire elemental. Dins la seva simplicitat era impossible donar una panoràmica completa de les diferents aportacions metodològiques actuals (camp ric i d'extraordinària producció literària). La referència a Popper era ineludible, precisa ment pel caràcter bàsic que ha assolit en el context general.

Aquesta influència no afecta solament els metodòlegs, sinó també els científics. He fet esment de l'explícita referència a la metodologia popperiana per part d'Ayala i Valentine (Apèndix cap. V); altres científics l'han acceptat com a pròpia: Eccles (neurofisiòleg), amic personal de Popper; Einstein, en la seva maduresa; Von Hayek (economista); etc. Ha esdevingut habitual trobar referències a Popper o a Hempel en la literatura de qualsevol branca de l'activitat científica.

Prengui's la meva petita introducció a Popper, no com una guia única a seguir, sinó com una crítica rigorosament vigent de les fal.làcies que cal evitar en les nos-

(18) R. HARRE, Introducción a la lógica de las ciencias, op. cit., pp. 126-127.

tres concepcions de la ciència, de l'estructura interna i del procediment científic (19).

- (19) Un altre gran tema de l'obra popperiana rau en la filosofia social, adoptant una actitud de lluita ideològica contra el marxisme i a favor d'una concepció liberal il·lustrada. Al meu entendre, convé diferenciar metodologia i filosofia social, ja que no són necessàriament dependents. Al llarg del temps, Popper ha accentuat la seva postura idealista, àdhuc pel que fa als temes metodològics.

APÉNDIX

T.S. KUHN, La función del dogma en la investigación científica. Valencia, Cuadernos Teorema, 1979, pp. 21-25:

Un paradigma es, en primer lugar, un logro o realización científica fundamental que incluye a la par una teoría y algunas aplicaciones ejemplares a los resultados del experimento y la observación. Y lo que es más importante, es una realización cuyo término queda abierto, que deja por hacer toda suerte de investigaciones. Y, finalmente, es una realización aceptada en el sentido de ser recibida por un grupo, cuyos miembros no intentan ya rivalizar con ella ni crearle alternativas. Por el contrario, dichos miembros intentan extenderla y explotarla en una variedad de modos sobre la que en breve volveré. Esta discusión del trabajo que los paradigmas dejan por hacer, contribuirá a clarificar aún más tanto su papel como las razones de especial eficacia. Pero primero hay que hacer una consideración sobre ellos de carácter bastante diferente. Aun cuando la recepción de un paradigma parece ser históricamente un prerrequisito de los más efectivos tipos de investigación científica, los paradigmas que aumentan la efectividad de la investigación no necesitan ser, ni usualmente lo son, permanentes. Por el contrario, el modelo de desarrollo de la ciencia madura es usualmente de paradigma a paradigma. Y difiere del modelo característico del período inicial o preparadigmático, no por la total eliminación del debate sobre los fundamentos, sino por la drástica restricción de dicho debate a períodos ocasionales de cambio de paradigma.

(...))

Mucho de lo que hasta ahora se ha dicho tiene la intención de señalar que -excepto en los ocasionales períodos extraordinarios de los que se tratará en la última sección de este ensayo- los profesionales de una especialidad científica madura están profundamente comprometidos con algún modo basado-en-paradigma de ver y de investigar la naturaleza.

Su paradigma les habla de los tipos de entidades que pueblan el universo, y del modo de comportarse de los miembros de esa población; además les informa de los problemas que pueden ser legítimamente planteados acerca de la naturaleza y de las técnicas que pueden ser convenientemente usadas en la búsqueda de respuestas para tales problemas.

CAPÍTOL VIII

32. El concepte de model

Contràriament al que passa amb molts termes científics el de "model" és un mot comú, d'ús habitual en el llenguatge corrent i amb un sentit ambivalent. Això, juntament amb el fet que també en la ciència s'empren models de diferents tipus, ha donat com a resultat una certa indeterminació del concepte al·ludit per aquest terme. Convindrà, per tant, trobar la delimitació adequada, sense perdre, però, la riqueza del seu contingut semàntic.

Si consultem un diccionari de la llengua, hi trobem: "MODEL- Allò que ha de servir d'objecte d'imitació: m. d'escriptura: m. viu, persona que serveix per a l'estudi en el dibuix. 2. Figura de fang, guix o cera que s'ha de reproduir en fusta, marbre o metall. 3. Representació en petit d'alguna cosa. 4. En les obres d'enginy i en les accions morals, exemplar que per la seva perfecció s'ha de seguir i imitar." Fixem-nos que en els sentits 1, 2 i 4 anomenem model a allò que ha d'ésser reproduït, refet o recreat. Al contrari, en la tercera accepció ens referim a allò que reproduceix una altra cosa. Tanmateix, aquestes relacions direccionals model → realitat // realitat ----> model, aparentment irreversibles, queden subsumides en els models que, reproduint més o menys una realitat coneguda o suposada, són descriptius de tots els esdeveniments semblants que succee ran (o seran reconeguts) en el futur.

Aquesta doble vessant ha estat també recollida en la literatura

tura especialitzada. Així, Stachowiak (1), després de fixar-se en l'etimologia del mot (llatí vulgar 'modellus', del llatí 'modulus', és a dir, mida patró, diminutiu de 'modus': arrel grega médo, médomai, métron), dóna les especificacions següents:

- a) reproducció, còpia (Abbildung) d'alguna cosa;
- b) prototipus, tipus ideal (Vorbild für etwas);
- c) representació d'un original determinat;
- d) "servir de model" (pintura i arts plàstiques).

Si tenim en compte que un model és un calc o figuració d'un conjunt estructurat de característiques, podem considerar-lo un sistema. Llavors direm que és un sistema capaç de reproduir algunes propietats d'un sistema original. Funciona com una explicació analògica que intenta sistematitzar determinades dades dins d'un esquema coherent, reproduint certes propietats del sistema original.

En les ciències empíriques i en la matemàtica, els models són també emprats com a a), b) o c) i combinant b) i c). En una primera aproximació general, considerarem que un model científic consisteix en algun tipus de representació d'un original determinat (sigui cosa, fenomen o situació), o conjunt d'originals (tots els elements similars que pertanyen a una classe), que permet de reproduir relacions, característiques externes o internes, etcetera, val a dir, totes aquelles dades rellevants per a la investigació de la realitat representada.

Cal insistir en dos aspectes: primer, que el prototip modèlic suposa sempre una reproducció parcial, una tria de factors rellevants sobre els quals ens interessa treballar; segon, que els elements inclosos en el domini del model no sempre són ben coneguts. En aquest cas, el model és un complement de les hipòtesis explicatives i facilita la investigació.

(1) STACHOWIAK, Allgemeine Modelltheorie, Viena-Nova York Springer V., 1973, pp. 129 i ss.

d'aquests elements.

Constatem, doncs, que els models estan en funció de la pragmàtica científica. L'establiment d'un model no es realitza tan sols a partir de la cosa modelada, d'una manera abstracta, sinó tenint en compte que ha d'ésser emprat per algú, en un temps i amb una finalitat determinada. D'aquí que Stachowiak parli de quatre concrecions:

- 1) de què és model,
- 2) per a qui,
- 3) quan,
- 4) per a què".

Els models no tenen un valor propi, per se, sinó que són un mitjà per a aconseguir un fi dins de la investigació o l'ensenyament d'una matèria.

33. Definicions lògico-formals del concepte de model.

Perfilarem la delimitació del concepte de model a partir dels diferents tipus de models utilitzats en les ciències. Però, des d'un punt de vista lògic, podem ja establir que

M és model de R ($M \hat{=} R$) si i només si:

- 1) el domini de R està constituït per una classe (S), i
- 2) els elements (s) de S són idèntics en algun sentit, d'acord amb una estipulació prèvia, i
- 3) les propietats, relacions o funcions que caracteritzen s són expressades pels predicats P_1, P_2, \dots, P_{n-1} , i
- 4) $M = \langle S^*, P_1^*, P_2^*, \dots, P_{n-1}^* \rangle$, on S^* , P^* són els correlats conceptuals, gràfics o d'altra mena de S i P.

"Esser model de" és una relació extensionalment inclosa en el conjunt de tots els parells ordenats c, f en el qual c és un constructe i f un fet. En la definició formal de model donada, $M = \langle S, P_1^*, P_2^*, \dots, P_{n-1}^* \rangle$ és el constructe c que reproduceix i s'aplica a $R = \langle S, P_1, P_2, \dots, P_{n-1} \rangle$, l'original f considerat (2).

Segons el lògic Jesús Mosterín (3) el concepte de model es basa en la relació de similitud entre dos sistemes. Des d'aquest punt de vista cal definir primer el concepte de sistema i, en segon terme, el de similitud entre sistemes.

(Primer) A és una entitat constituida per una classe no buida i una sèrie d'elements interrelacionats.

Així: A és un sistema si i només per a algun A, R_1, \dots, R_n :

(1) $A = \langle A, R_1, \dots, R_n \rangle$

(2) $A \neq Q$

(3) per a cada i ($1 \leq i \leq n$): R_i és una relació en A , és a dir, per algun número m : $R_i \subseteq A^m$.

(Segon) Dos sistemes són similars si tenen el mateix nombre de relacions i a cada relació n -àdica de l'un li correspon una relació n -àdica de l'altre.

(2) En aquest apartat he reformulat les propostes de MARIO BUNGE, Method, model and matter, Dordrecht-Holland, Reidel Pub., 1973.

(3) JESUS MOSTERIN, "Sobre el concepto de modelo", Teorema VIII/2 (1978).

34. Models i Teories

Es important de considerar la relació que hi ha entre "model" i "teoria". No són termes equivalents, malgrat que en certs autors es confonen. Metodòlegs com Nagel i Suppe entenen que un model és aquella part de la teoria que permet d'interpretar semànticament els seus teoremes, fent que aquests resultin vertaders en l'esmentada interpretació:

"Son muchos los distintos sentidos que se pueden dar a "modelo"; uno de ellos es el de interpretación semántica de una teoría tal que los teoremas de la misma resulten verdaderos en esa interpretación." (4)

Dit d'una altra manera: el model dóna un sentit concret a les formulacions abstractes de les teories. Per això s'affirma que és una "interpretació semàntica" de la teoria. Segons Nagel, el tercer component d'una teoria (després de l'esquelet lògic del sistema explicatiu i del conjunt de regles de correspondència) és

"una interpretación o modelo del cálculo abstracto que dé carne, por decirlo así, a la estructura esquelética, en términos de materiales conceptuales o visualizables más o menos familiares." (5).

Trobem en aquesta formulació una altra característica important dels models: la de facilitar la comprensió i aplicació de les teories, complementada amb la consegüent funció heurística. Ha estat sobretot S. Toulmin qui ha insistit en aquesta qüestió:

- (4) F. SUPPE, La estructura de las teorías científicas, Madrid, Ed. Nacional, 1979, p. 125.
- (5) E. NAGEL, The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation, Nova-York, Harcourt, Brace and World, 1961.

"De hecho, una de las grandes virtudes de un buen modelo es que sugiere otras cuestiones, llevándonos más allá de los fenómenos a partir de los cuales comenzamos, y que nos tienta a formular hipótesis que pueden resultar experimentalmente fértiles... Verdaderamente es este carácter sugestivo, esta desplegabilidad sistemática, lo que hace de un buen modelo algo más que una simple metáfora." (6)

35. Diferents tipus de models

Ampliant els plantejaments de Max Black (7), proposo la següent classificació dels diferents tipus de models:

- 1) Models a escala o icònics,
- 2) Models analògics,
- 3) Model físics,
- 4) Models matemàtics:
 - a) pròpiament dits,
 - b) estadístics,
 - c) probabilístics;
- 5) Models teorètics,
- 6) Models cibernetètics.

Tots aquests tipus de models tenen característiques prou diferenciades per a considerar-los separadament. Però no podem oblidar que tot model es basa en una relació analògica (concepte certament molt ample) o icònica. Per tant, seria adequat de considerar 3), 4), 5) i 6) com a derivacions específiques de 1) i 2).

Una representació icònica és aquella que reproduceix les características materials i físiques externes del conjunt d'elements originals; per exemple, el model a escala d'un tipus de

(6) S. TUULMIN, The Philosophy of Science, Londres, Hutchinson, 1953.

(7) MAX BLACK, Modelos y metáforas, Madrid, Tecnos, 1966.

cotxe, o la maqueta d'una urbanització. Una modelació analògica esquematitza les relacions estructurals que es donen o es suposen en el conjunt d'elements que són figurats; per exemple, els ordinadors com a models funcionals de l'activitat cerebral, o les fórmules químiques que expliciten l'estructura d'un element compost.

En tot cas, fixem-nos que la forma de modelar ve determinada per la perspectiva que interessa copsar. Un model reproduceix un petit nombre de variables o característiques, no totes les circumstàncies que es donen en la realitat. El model fa una selecció significativa de les dades de la realitat i aquesta significació o rellevància és congruent i derivada de les teories amb què treballa l'investigador.

1) Models a escala o icònics

Reproduceixen característiques seleccionades de l'original, possibilitant la lectura immediata d'aquestes. Per a aconseguir aquesta lectura serà necessari:

- 1) Regles o normes d'interpretació que explicitin d'una forma precisa les convencions contingudes en el model.
- 2) Que es doni la identitat parcial de les propietats conjugades amb la invariància de proporcionalitat.

2) Models analògics

Reproduceixen l'estructura de l'original, amb els següents requeriments:

- 1) Hi ha una correspondència biunívoca entre les relacions incorporades al model i les que es donen a l'original.
- 2) Isomorfisme estructural.
- 3) Regles de traducció.

3) Models físics

Són models icònics o analògics que reprodueixen en el labo

ratori les propietats físiques d'una determinada classe de fenòmens. Per exemple: la figuració artificial del moviment de les partícules sedimentàries portades per un corrent d'aigua.

4) Models matemàtics.

Són "models analògics eteris", "projeccions" de l'original sobre l'abstracte domini de les funcions matemàtiques (8). Podem dir també que són figuracions descriptives construïdes amb símbols matemàtics.

Dues notes són pròpies d'aquests models:

- 1) Les simplificacions s'introdueixen amb la finalitat de facilitar la formulació i la manipulació matemàtica de les variables.
- 2) El tractament matemàtic que proporciona el model no forneix explicacions.

Les característiques formals d'aquests models no són diferents de les que han estat formulades precedentment. I aquí, especialment, convé recordar-les.

Hi ha certes aplicacions matemàtiques molt específiques que han introduït formes modelístiques pròpies: els models estadístics i els probabilístics.

Els primers representen les relacions existents entre quantitats de variació simultània en la dinàmica del conjunt modelat.

Els segons representen un determinat ordre de freqüència matemàtica que es dóna entre determinats factors de la realitat considerada.

La major part dels especialistes, Max Black entre ells,

(8) *Expressions de Max Black, obra citada.*

consideren que les matemàtiques ens ofereixen la forma d'una explicació, en mostrar-nos quins tipus de funció s'ajusten aproximadament a les dades conegeudes; però, d'altra banda, cal cercar explicacions causals.

5) Models teorètics.

Són models analògics amb una finalitat eminentment heurística. Maxwell els definia com

"una colección de propiedades imaginarias que puede emplearse para asentar ciertos teoremas de la matemática pura de modo más inteligible para muchas mentes y más aplicable a los problemas físicos que aquel en que sólo se usan símbolos algebraicos."

(9)

Elements constitutius dels models teorètics són:

- Domini original o inicial (fets i regularitats de difícil explicació).
- Domini secundari (ben coneut i que ens permet l'analogia).
- Definicions de les entitats del domini secundari per al domini original.
- Regles de traducció (dels enunciats del domini secundari per al domini original).
- Regles de correlació.

6) Models cibernetics

Reproduen les relacions existents entre els elements d'entrada, sortida i autoregulació d'un sistema o conjunt de sistemes. Formen una part important de la teoria de sistemes.

(9) C. MAXWELL, The Scientific Papers of J.C. Maxwell, Cambridge Un. Press, 1890, pp. 159-160, cf. MAX BLACK, op. cit., p. 223.

36. Els models estratigràfics segons KRUMBEIN i SLOSS

En el seu llibre Estratigrafía y sedimentación (10), aquests autors remarquen la importància dels models, expliquant de passada els models físics, matemàtics, estadístics i probabilístics (pàgina 588). Pel que fa a l'àmbit de l'estratigrafia distingeixen entre

- models estratigràfics de procés
- models estratigràfics de resposta
- models tectònics específics
- models tectònic-ambientals (i dins d'aquests: models purs i models mixtos).

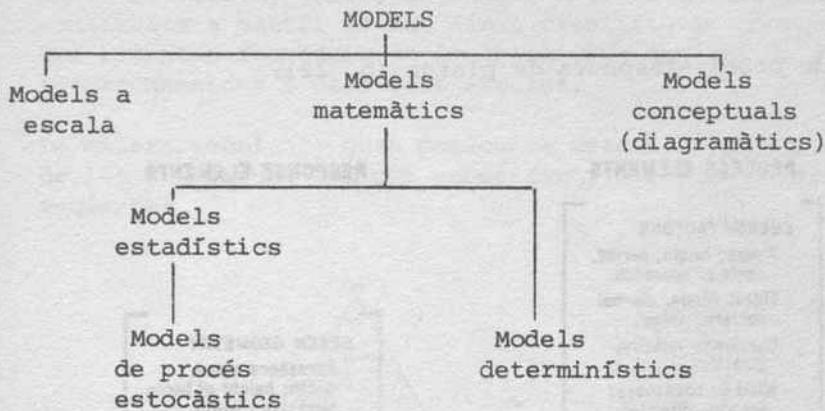
Consideren que un model explicita una constel.lació d'elements estratigràfics associats, establint una estructura relacional. Consta de dues parts: a) l'anàlisi i la descripció dels elements (taxonomies, quadres classificatoris), i b) l'establiment de llurs relacions (descripció de la dinàmica física, biològica, històrica).

De tota manera, els autors no desenrotllen el tema, ni pel que fa al concepte de model, ni pel que fa als diferents tipus de models.

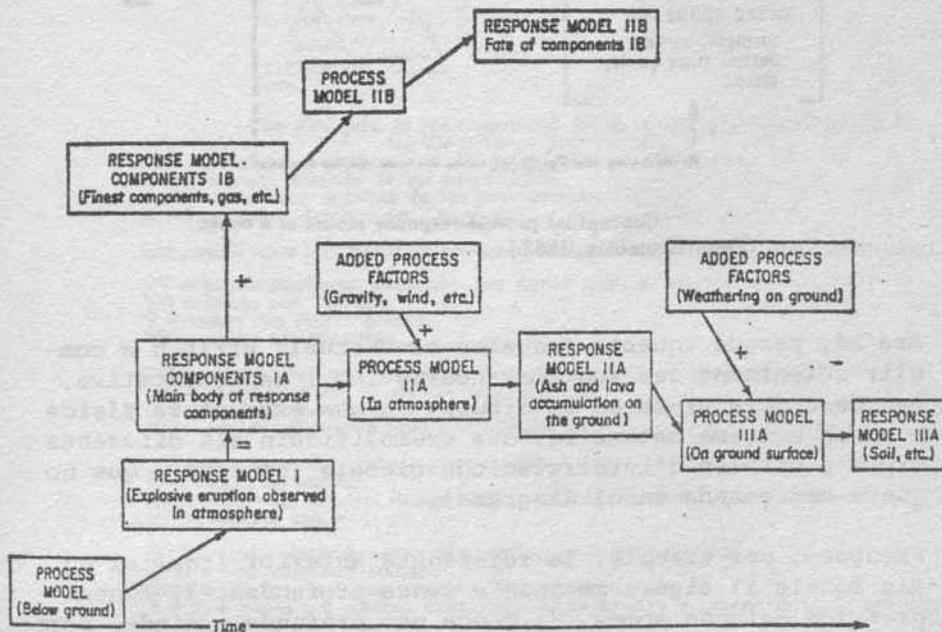
En un altre llibre sobre models estadístics (en aquest sentit molt complet), Krumbein i Graybill (11) dediquen la introducció als models en general. El seu esquema és el següent:

(10) KRUMBEIN & LOSS, Estratigrafía y sedimentación, Mèxic, UTEHA, 1960.

(11) KRUMBEIN & GRAYBILL, An introduction to statistical models in Geology, Nova York, McGraw-Hill, 1965.

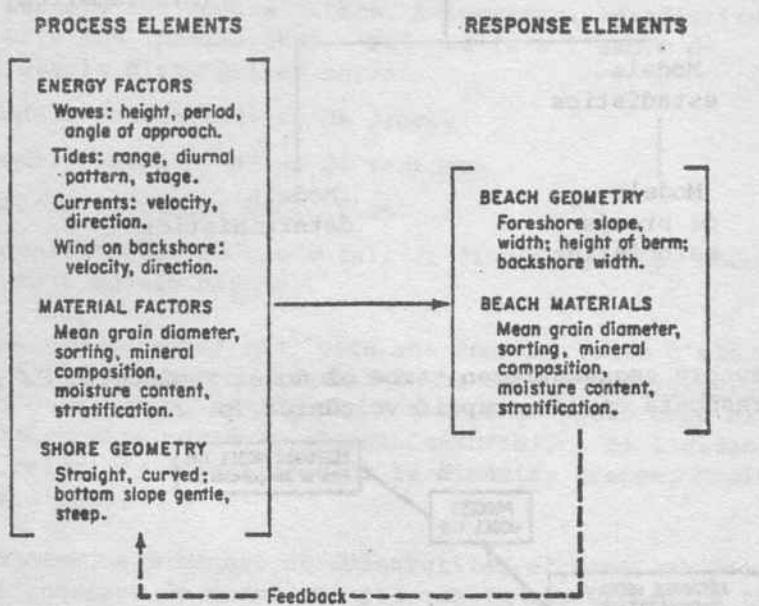


Els autors esquematitzen també el model seqüencial de procés-resposta en una erupció volcànica (p. 21):



Sequential process-response model for a volcanic eruption. (After Whitten, 1964.)

Model de procés-resposta de platja (p. 22):



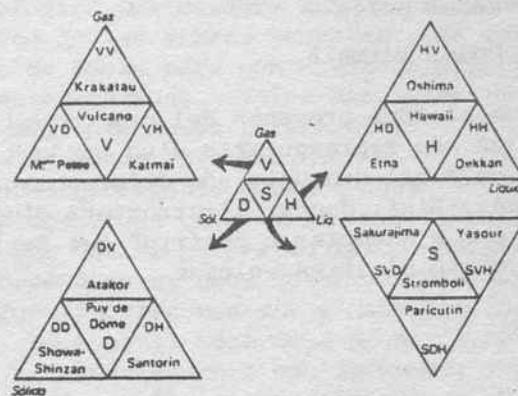
Conceptual process-response model of a beach.
(From Krumbein, 1963.)

Ara bé, perquè aquests esquemes conceptuais arribin a complir adientment les funcions heurística i representativa, han de concretar-se en un dibuix, en una estructura física o en un esquema matemàtic, que exemplifiquin els diferents tipus possibles d'interrelacions globals (concreció que no queda expressada en el diagrama).

Prenguem, per exemple, la referència anterior (capítol V) als models 1) aigües marines - conca profunda, 2) conca profunda - aigües somes, 3) conca poc profunda - aigües somes. Cadascun d'ells representa un determinat tipus de situació

hipotètica, en la qual poden ésser descrits amb una certa precisió comportaments físics, químics, etc., amb ajut de les lleis físiques, químiques, estratigràfiques, biològiques, etc. Es tracta, doncs, de models teòrics o conceptuals construits a partir de les lleis científiques conegeudes, i que intenten reproduir la dinàmica d'un conjunt de factors interconnectats i dels seus efectes.

De manera semblant, quan parlem de volcans i de la dinàmica de les erupcions, hom pot especificar els models dinàmics següents:



— La dinámica de las erupciones. En el centro, el triángulo de los cuatro dinamismos principales.

V = vulcaniano corresponde al dominio de las nubes;

D = domeano, dominio de las extrusiones;

S = stromboliano, dominio de las proyecciones;

H = hawaiiano, dominio de las coladas.

Los cuatro tipos repartidos en los cuatro triángulos correspondientes comprenden:

VV = ultravulcanismo, explosivo con nubes cenicientas;

VD = nubes con bloques;

V = nubes con piedra pómex;

VH = nubes ignimbriticas.

DD = criptodomos con formación de lacolitos poco profundos;

DH = conodomas con tendencia más líquida;

D = cumulodomas pastosos;

DV = agujas sólidas sin nubes importantes.

HV = coladas escoriáceas y piroclásticas;

H = volcán en escudo;

HH = tipo muy líquido, dando lugar a coladas estratificadas o trapps;

HD = coladas con bloques.

SVD = tipo vulcanodomeano con bombas en corteza de pan;

SVH = tipo vulcanohawaiano;

SDH = tipo con coladas variables (domohawaiano);

S = tipo medio con bombas fusiformes, conos de lava y proyecciones alternantes.
(Según B. Gíze.)

P. BELLAIR i CH. POMEROL, Tratado de Geología, Barcelona
Vicens Vives, 1974, p. 439

Per a la plena comprensió d'aquests models és necessari conèixer els referits a l'estructura general dels volcans:

- 1) Model hawaià
- 2) Model strombolià.
- 3) Model vulcanià.
- 4) Model vesubià.
- 5) Model peleà
- 6) Model katmaià.

Aquestes denominacions provenen del nom o del lloc on es troba el volcà més representatiu d'un conjunt de característiques que, com a tal conjunt, són diferenciables d'altres tipus de volcà. Així, doncs, l'estructura d'un volcà concret s'empra com a exemplar o "matriu" que facilita l'estudi i la classificació d'altres volcans.

APÉNDIX

N.R. HANSON, Patrones de descubrimiento. Observación y explicación, Madrid, Alianza Un., 1977. pp. 60-63:

La estructura conceptual desarrollada por medio de la articulación de un modelo, como el modelo saturnal del átomo de hidrógeno, el modelo de capas del núcleo atómico, el modelo del panel telefónico del cerebro humano, el modelo del conducto hidráulico de las fibras neurales, esa estructura sugiere un marco de ideas para conjuntos de descripciones de otro modo no estructuradas. Tales marcos de ideas unen las descripciones mediante lazos inferenciales. El modelo que sugiere estas ligazones inferenciales entre los enunciados promueve la inteligibilidad; ayuda a nuestra comprensión de una materia; proporciona canales de interconexión entre estos dos de hechos que (salvo por estos lazos) podían permanecer aislados e independientes unos de otros. Explicar las perplexidades exige ligarlas con casos normales, con lo no sorprendente. Lo inusual sólo deja de ser sorprendente cuando se conecta inferencialmente con lo usual. Los modelos nos sugieren ámbitos de explicaciones posibles y rutas hacia lo no sorprendente. El conocimiento puede comenzar con la sorpresa, como observó Aristoteles, pero es seguro que no finaliza ahí. El conocimiento pleno de una cosa consiste en esperar cada rasgo de esa cosa "como cosa natural".

Pero decir lo que los modelos hacen no indica en qué medida diferentes modelos pueden funcionar de modo diferente. Ni sugiere cómo en cada modelo puede haber desventajas al igual que virtudes. Dado que proporcionar una estructura inferencial a las proposiciones que describen una materia es un objetivo de todo modelo -estructura que no es ni simple ni perspicua dentro de las descripciones (si no, ¿para qué se necesitaría un modelo que las explicase?) - se sigue que la estructura debe presentarse de un modo diferente en el modelo del que existe dentro de la propia materia. En la medida en que se aprecia la estructura del modelo como sobrepuerta a

los datos, sin engullir también las diferencias (esto es, sin investir a la materia de rasgos propios del modelo y extraños a aquélla), en esa medida, el modelo es útil. Sin embargo, el científico que usa modelos en sus reflexiones debe permanecer siempre alerta frente a la posibilidad de que sus cuestiones sean únicamente inspiradas por las propiedades del modelo, no teniendo nada que ver directamente con la materia misma. Así, el modelo water-closet del instinto animal, tal como lo presentó Niko Tinbergen, nos ayudó a comprender la respuesta "todo-o-nada" del impulso instintivo una vez que se ha tirado de la "cadena de la cisterna". La conducta instintiva "fluye" instantánea y totalmente cuando se abre el desague para utilizar otro modelo). Pero Tinbergen estaba al mismo tiempo a la caza de "goteras en los conductos instintivos", "atascos", "desviaciones", etc. Una parte de esto era sugestiva y servía de ayuda. Otra no lo era en absoluto. Del mismo modo, ¿se parece en algo el área de influencia electrónica que rodea al núcleo del átomo de hidrógeno a los anillos de Saturno? A un Nagoaka, o a un Rutherford, tal sugerencia atraía la atención. Pero la cuestión apenas si se suscita hoy día.

Por tanto, un modelo, que se pretende que presenta una estructura de ideas como posible esquema de los enlaces de las descripciones de una materia dada, debe diferir de la materia. Si no fuera diferente, la estructura original sería observationalmente obvia para todo aquel que se enfrentase con las descripciones, o al menos tan obvia como en el modelo. O bien no sería obvia para nadie, ni siquiera para el constructor del modelo. Los modelos son, por lo tanto, un modo de presentar las estructuras que posiblemente tengan las materias. Lo hacen de modos psicológicamente más convencentes (es decir, más sencillos y más centrados) de lo que lo haría cualquier otro modo de enfrentarse a la materia.

(...)

Lo que los modelos deben hacer para ser modelos está relacionado con lo que las teorías deben hacer para ser teorías, y también con lo que las ciencias deben hacer para ser ciencias.

La comprensión de los fenómenos sorprendentes exige atender a lo que "les hace andar". Dentro de la terrible variedad de modos de dirigir la atención a rasgos especiales de materias complejas, una cosa es común a todas ellas: debe haber siempre algunas diferencias entre (1) el modo de presentación o la representación (esto es, el modelo, la teoría, la ciencia), y (2) las grandes, lozanas, confundientes perplejidades fenoménicas que llevan en primer lugar a los hombres a tratar de entenderlas. Las fotograffías detalladas de un embrollado rompecabezas de piezas irregulares son tan desconcertantes como lo fotografiado; no son lo suficientemente diferentes.

disseny gràfic: cesca simón



publicacions
edicions
universitat
de barcelona

