

APLICACIÓ DEL MODEL DE LAUDAN AL CANVI CIENTÍFIC QUE REPRESENTA LA UNIFICACIÓ DES D'UN PUNT DE VISTA CONCEPTUAL DE L'ELECTRICITAT ESTÀTICA I DE L'ELECTRICITAT VOLTAICA

Marina Castells i Llavanera

Grup d'Història de l'Educació científica i Matemàtica i les seves relacions amb la Didàctica.
Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i de la Matemàtica. Universitat de
Barcelona

Paraules clau: *electrostàtica, electricitat voltaica, Faraday, Història de l'Electricitat, epistemologia.*

Application of the Laudan model of the scientific change that means the unification at conceptual level of the Static Electricity and of the Volta Electricity

Summary: *This paper try to answer the following question: how and when the change that means the consideration of the two Electricities –the electricity produced by friction o Electrostatics and the one produced by the cell or Voltaics– as two manifestations, in different conditions, of a unique Electricity, was done?*

The content is divided in three parts. In the first one, we will present the Laudan Model; in the second one, we will comment how we apply the Laudan Model to the historical case of the unification of the two kinds of Electricity and, finally, we value and comment briefly the difficulties applying the Laudan Model to our particular historical case.

Key words: *electrostatics, voltaic electricity, Faraday, History of Electricity, epistemology.*

1. Introducció

Llegint Faraday ens podem adonar que l'any 1831 parla de diferències entre les dues classes d'electricitat: l'electricitat produïda per fricció o *electrostàtica* i la produïda per les piles o *voltaica* i tracta de trobar-ne una explicació, que comença a entreveure. En les seves famoses «Experimental Researches in Electricity», on Faraday resumeix més de trenta anys de treballs experimentals, podem llegir: «*Even the differences between common and voltaic electricity, when applied to effect chemical decomposition, which Dr. Wollanston has pointed out, seem explicable by the circumstances connected with the induction of electricity from*

theses two sources»¹ (FARADAY, 1938: 22) . Aquest i altres paràgrafs escrits per Faraday ens porten a plantejar-nos la següent qüestió: per als científics del segle XIX les dues electricitats eren fenòmens diferents? I si realment era així, quan i com es va produir el canvi que representaria el fet de considerar-la com a dues manifestacions, en diferents condicions, d'una mateixa electricitat, és a dir, arribar a la conclusió que no té sentit parlar de dues electricitats sinó d'electricitat.

En fer aquesta presentació, per manca d'espai, no detallem el cas històric malgrat que alguns dels seus aspectes seran comentats quan apliquem el Model de Laudan, la descripció del qual presentem resumidament, al canvi conceptual que representa la unificació de les dues electricitats.

Podeu ampliar la informació sobre el cas històric consultant la bibliografia que citem al final de l'article.

2. El model de Laudan

Segons aquest model, l'objectiu principal de la ciència és obtenir teories que siguin molt efectives en la *resolució de problemes*. Des d'aquesta perspectiva, la ciència progressa només si les successives teories resolen més problemes que les seves predecessores.

Per Laudan, la ciència és, en essència, una activitat de resolució de problemes, els problemes seran el punt central del pensament científic i les teories en seran el seu resultat final. D'acord amb Laudan, es podria dir que si els problemes constitueixen les preguntes de la ciència, les teories en constitueixen les respostes.

Laudan, quan es refereix als problemes, distingeix entre *problemes empírics* i *problemes conceptuals*.

Els problemes empírics

Qualsevol esdeveniment o procés del món natural que ens sorprengui com a estrany, o que necessita una explicació, constitueix un *problema empíric*. Tots els problemes (inclosos els empírics) es plantegen dins d'un determinat context d'indagació i es defineixen, en part, per aquest context.

Laudan distingeix entre problemes empírics potencials o *no resolts*, problemes empírics *resolts* i problemes empírics *anòmals*. Els problemes potencials els constitueixen tot allò que es considera que s'ha d'explicar del món, però del que encara no tenim l'explicació. Són problemes resolts aquells problemes que han estat resolts per alguna teoria. Els problemes anòmals són aquells problemes reals que resolen les teories rivals, però que no han estat resolts per la teoria en qüestió. Els problemes no resolts o potencials no tenen perquè ser anòmals. Un problema canvia a problema anòmal quan ha estat resolt per una teoria rival viable.

¹ «Fins i tot les diferències entre electricitat comuna i electricitat voltaica, quan són aplicades a l'efecte de la descomposició química, les quals ha assenyalat Dr. Wollaston, semblen explicables per les circumstàncies connectades amb la inducció de l'electricitat a partir d'aquestes dues fonts» (Faraday, Series I, publicat el 1938, però llegit el 1831: 22).

De fet, els problemes resolts parlen a favor d'una teoria, els anòmals constitueixen proves en contra de la teoria, i els no resolts apunten, simplement, vies per a una indagació teòrica posterior. Usant aquesta terminologia, podem argumentar que *un dels caràcters distintius del progrés científic és la transformació de problemes empírics anòmals i no resolts en problemes resolts.*

Però les coses moltes vegades no són tan clares, un examen curós de molts casos històrics mostra que l'estatus dels problemes no resolts és molt més ambigu del que freqüentment hom s'imagina. Una bona aproximació seria que: *els problemes no resolts només compten, generalment, com autèntics problemes, quan deixen de ser problemes no resolts.* Fins que no són resolts per alguna teoria, són només problemes «potencials» més que actuals.

Quan ens preguntem si un problema ha estat resolt, ens estem preguntant en realitat si guarda una determinada relació amb una teoria o una altra. Per determinar si una teoria resol un problema és irrellevant si la teoria és vertadera o falsa, o si està ben confirmada o ho està amb prou feines.

Laudan considera raonable caracteritzar una anomalia com una situació empírica que, encara que sense oferir raons definitives per a l'abandonament d'una teoria, sí que suscita dubtes racionals sobre les credencials empíriques de la teoria. Per Laudan *els problemes anòmals serien problemes empírics que susciten dubtes raonables sobre l'adequació empírica d'una teoria.*

Els problemes conceptuals

A més dels problemes empírics, les teories poden enfrontar-se a *problemes conceptuals*. Un problema conceptual és un problema *presentat per alguna teoria*. Els problemes conceptuals són característics de les teories, i no tenen existència independentment de les teories que els mostren, ni tan sols aquesta limitada autonomia que de vegades posseeixen els problemes empírics. Si els problemes empírics són preguntes de primer ordre sobre les entitats substantives d'algun domini, els problemes conceptuals són preguntes d'un ordre superior sobre la consistència de les estructures conceptuals (per exemple, teories) que han estat elaborades per respondre a preguntes de primer ordre. De fet, els problemes conceptuals són deficiències de les teories, si mirem les funcions per a les quals les hem dissenyat. Per tant, un problema conceptual serà molt més greu per a una teoria que una anomalia empírica.

El progrés de les teories

Perquè una teoria sigui *progressiva* ha de resoldre el màxim nombre de problemes empírics, generalment tenir un nombre mínim d'anomalies i de dificultats conceptuals. L'eliminació de dificultats conceptuals constitueix tant de progrés com l'augment de suport empíric. Segons aquest model, és possible que la substitució d'una teoria amb bona confirmació empírica per una altra teoria menys confirmada sigui progressiva, amb la condició que aquesta última resolgui dificultats conceptuals rellevants d'entre aquelles amb què s'enfrontava l'anterior.

És important d'assenyalar que moltes teories poden resoldre el mateix problema

(empíric o conceptual): *el valor d'una teoria dependrà, entre altres coses, de quants problemes resolgui.*

Teories i tradicions d'investigació

Les teories representen exemplificacions de visions més fonamentals sobre el món i la manera com són modificades i substituïdes només té sentit si tenim en compte aquests compromisos més radicals. Anomenem *tradicions d'investigació* als sistemes de creences que constitueixen aquestes «visions» fonamentals.

En tota tradició d'investigació activa s'hi troba associada una família de teories. Algunes de les teories, seran mútuament consistents, però altres (per exemple, les teories rivals, dins de la mateixa tradició d'investigació) no ho seran. El que totes les teories tenen en comú és que comparteixen l'*Ontologia* de la tradició d'investigació matriu i poden ser sotmeses a prova i avaluades fent servir les seves normes metodològiques o la seva pròpia *Metodologia*.

Comparades amb les teories, les tradicions d'investigació tendeixen a ser persistents. Així com les teories poden ser abandonades i substituïdes amb molta freqüència, les tradicions d'investigació solen ser més duradores, ja que poden resistir la mort de qualsevol de les seves teories subordinades, les tradicions d'investigació són unitats que perduren a través del canvi de teories i que estableixen, juntament amb els problemes empírics resolts, gran part de la continuïtat que hi ha a la Història de la Ciència.

Si tal com hem dit, una teoria és més adequada (és a dir, més acceptable) que una teoria rival només si la primera ha mostrat una més gran eficàcia en la resolució de problemes que la segona, una tradició d'investigació és més adequada que una altra només si el conjunt de teories que la caracteritzen en un moment donat és més adequat que les teories que componen qualsevol tradició d'investigació rival.

A continuació, resumim esquemàticament els elements principals del model de Laudan.

Tradicions d'investigació	Unitats (U)	Problemes empírics Teories	Problemes resolts Problemes no resolts Problemes anòmals
	Ontologia (O) Metodologia (M)	Problemes conceptuals	

3. Aplicació del model de Laudan al canvi conceptual que representa la unificació de les dues electricitats: la de fricció i la voltaica

En intentar aplicar el model de Laudan al cas concret que representa la unificació dels dos tipus d'electricitat l'hem de situar, per poder-lo entendre, en un canvi de tradicions d'investigació.

La unificació de les dues classes d'electricitat, en el model de Laudan de resolució de problemes, crec que correspondria, per a nosaltres, a la *resolució d'un problema conceptual* dins de la *tradicció d'investigació II*, problema que no havia estat resolt o no ben resolt dins de la *tradicció d'investigació I*. I presentar aquestes tradicions d'investigació i analitzar aquest canvi de tradicions és el que farem a continuació per aclarir el canvi que considerem.

Tradicció d'investigació I: Tradició de l'acció a distància²

ONTOLOGIA. Existeixen *fluids imponderables* que formen part de la matèria. Els components de la matèria s'exerceixen *forces a distància* en la direcció de la línia que els uneix.

METODOLOGIA. Se'ns fa una mica difícil de precisar. La metodologia sembla bàsicament *experimental inductivista*, en el sentit que s'han de treure conclusions generals a partir de l'experiència. De totes maneres, no podem dir que això sigui sempre així, perquè, per exemple, l'existència de fluids imponderables respon més a preconcepcions que no pas a induccions a partir dels fets experimentals. De tota manera, com a cosa general, direm que hi ha el sobreentès que l'experiència serà la que em dirà quines són les lleis.

Un altre aspecte de la metodologia és la *matematització* de les explicacions que es donen dels fets. Això no ho trobem als inicis de la *tradicció d'investigació I*, Franklin encara no fa servir les matemàtiques per expressar les seves lleis però, de fet, posa les primeres bases perquè pugui fer-se. I quan la *tradicció d'investigació I* ja està plenament desenvolupada, la *matematització* ja és clara.

TEORIES. Les entenem com a xarxes d'enunciats que, en conjunció amb certes condicions inicials, condueixen a l'explicació i predicció de fenòmens específics.

Dins de la *tradicció d'investigació I* tenim diverses teories que expliquen diversos fets experimentals:

1) Per explicar les atraccions elèctriques tenim la *teoria d'un sol fluid* de Franklin i Aepinus³ i la *teoria de dos fluids* (1759) de Symmer, defensada després per Coulomb i al-

² Només ens centrarem en els aspectes que fan referència a l'electricitat.

³ Les primeres investigacions experimentals de Franklin daten de 1747. El seu primer descobriment fou l'*efecte dels cossos punxeguts* que poden igualment comunicar i agafar el «foc elèctric» als altres cossos o dels altres cossos. Segons Franklin, l'electricitat no és creada quan es frega el vidre sinó només transferida del vidre a l'altre cos que frega. El vidre quedarà electrilitzat positivament i el que frega, negativament. Segons ell, la quantitat total d'electricitat de qualsevol sistema aïllat es manté constant. Així quedà establert el *Principi de conservació de la càrrega elèctrica*. Explicà amb la seva teoria el funcionament de l'ampolla de Leiden. D'aquesta manera es va precisant la *Teoria d'un sol fluid* (als voltants del 1750).

Quasi bé tots els experiments de l'època s'explicaven per la teoria de Franklin, però hi ha un fet que no sap explicar i és que *els cossos que tenen menys electricitat del que és normal es repel·len*.

Pocs anys més tard Aepinus, per tal d'explicar la repulsió elèctrica, va introduir la idea que *les partícules de matèria ordinària es repel·len les unes amb les altres*. Però la matèria ordinària amarada de fluid elèctric també pot tenir propietats atractives. Assumia també que les forces elèctriques disminueixen quan la distància augmentava. Van aconseguir explicar els fenòmens d'*Influència electrostàtica* a distància.

tres.⁴⁵ Aquestes són teories rivals, en el model de Laudan es preveu que les teories rivals poden existir dins d'una mateixa tradició d'investigació. En realitat, l'oposició entre aquestes teories no fou molt virulenta ja que les dues expliquen pràcticament els mateixos fets experimentals. Aquesta característica de les dues teories fou un dels arguments de Faraday per justificar l'abandonament de la *tradició d'investigació I*.

2) La *teoria de Galvani de l'electricitat animal*⁶ per explicar les convulsions experimentades per una granota en determinades circumstàncies. En realitat, no era una teoria estructurada completament però era una explicació que partia de la idea que en el cos de l'animal existia el fluid elèctric.

3) La *teoria de Volta*⁷ que deia que la causa que feia sortir el fluid elèctric a través del cos d'un animal era el contacte entre dos metalls diferents a través d'un electròlit. Aquesta teoria Volta la va aplicar a explicar la seva o *teoria de la pila de Volta*.

⁴ Galvani va descobrir, el 1780, que quan una granota tenia la part interna del nervi crural en contacte amb un metall i els músculs tancant un arc, es produïa una gran convulsió. Va interpretar el fet com l'existència d'una electricitat inherent a la matèria animal. Per ell, era com una ampolla de Leiden, el fluid s'escapa dels nervis cap als músculs a través de l'arc metàl·lic. A aquest fluid li donà el nom de *fluid galvànic* i a l'electricitat produïda *electricitat animal*. Galvani considerava que aquest fluid era el mateix que l'ordinari però d'altres no ho veien així i es produïren discussions entre els partidaris d'una o altra concepció.

⁵ Symmer va donar la *Teoria de dos fluids* per explicar les atraccions i repulsions elèctriques el 1759. Aquesta teoria fou seguida per Coulomb. La publicació de les idees de Coulomb va originar controvèrsia entre els partidaris dels dos fluids i els d'un fluid. La dels dos fluids fou adoptada més aviat a França i la d'un fluid a Holanda i Itàlia.

⁶ L. Galvani va descobrir el 1780 que quan una granota tenia la part interna del nervi crural en contacte amb un metall i els músculs tancant un arc, es produïa una gran convulsió. Va interpretar el fet com l'existència d'una electricitat inherent a la matèria animal. Per a ell, l'animal era com una ampolla de Leiden, el fluid s'escapa dels nervis cap als músculs a través de l'arc metàl·lic. A aquest fluid li donà el nom de *fluid galvànic* i a l'electricitat produïda, *electricitat animal*. Galvani considerava que aquest fluid era el mateix que l'ordinari, però d'altres no ho veien així i es produïren discussions entre els partidaris d'ambdues concepcions.

⁷ A. Volta refusava l'existència d'un fluid en els nervis. El 1792 va aconseguir demostrar la idea que l'estímul en l'experiment de Galvani era la connexió de dos metalls diferents a través d'un cos humit (conductor) (*Teoria de Volta*).

G. Fabroni també rebutjava l'existència del fluid galvànic. El 1796 deia que alguna acció química era inseparable dels efectes galvànics.

El 1800 A. Volta va aconseguir mostrar molt clarament els efectes químics de Fabroni posant una llarga cadena (pila) de diferents metalls en lloc de dos. Si entre placa i placa hi posava roba humitejada amb una dissolució salina, l'efecte era més notable. El dispositiu de Volta s'assemblava a una ampolla de Leiden amb poder per recuperar automàticament el seu estat de tensió. Volta, sense dubtar, va afirmar que el fenomen de la pila era de naturalesa elèctrica perquè els efectes fisiològics eren com els produïts amb l'ampolla de Leiden i era conduïda pels mateixos conductors. El contacte entre diferents metalls era suficient per produir efectes com els de l'*electricitat estàtica*. Volta va establir la *Teoria de la Pila*, basant-se en el *contacte entre dos metalls diferents*. Va comunicar les seves idees a J. Banks el 1800.

La teoria química de Fabroni i Davy sobre la pila de Volta

Les teories de Volta i Davy semblaven al principi rivals però en realitat no ho foren perquè el mateix Davy va donar una *nova teoria de la pila* en què combinava la idea que el contacte de dos metalls és la causa que destorba l'equilibri mentre que els canvis químics continuament el restableixen. La *teoria química sobre la pila* tingué el suport de Wollanston i Nicholson.⁸

4) La *teoria de Poisson*,⁹ que basant-se en les lleis de Coulomb i la hipòtesi que la força resultant de totes les partícules de càrrega elèctrica d'un conductor ha de ser nul·la en el seu interior, explicava la distribució superficial de càrrega elèctrica en els conductors.

5) La *teoria de Grothus i Davy* per explicar que en l'electròlisi apareixien els productes de la descomposició en llocs molt separats l'un de l'altre. Segons aquesta teoria, l'electròlisi té lloc a través de tota la massa del líquid.¹⁰

La *teoria sobre l'electròlisi de la Rive* que suposa que la dissociació de les partícules es produïa només en els terminals i que els àtoms, en realitat ions, podien traslladar-se a distàncies considerables. Aquestes també eren teories rivals dins de la mateixa tradició.

6) La *teoria d'Ampère*: «Théorie Mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience» (1827), que explicava els experiments d'atracció i repulsió entre corrents.

I va aplicar aquesta teoria per explicar els fenòmens magnètics, poc després d'haver conegut l'experiment d'Oersted.¹¹ Per Ampère, les atraccions magnètiques tenen com a cau-

⁸ W. Nicholson i A. Carlisle varen repetir (1800) els experiments de Volta amb aigua i observaren el desprendiment de gasos al voltant dels conductors que estaven en contacte amb l'aigua (*electròlisi*). W. H. Wollanstone (1766-1828) repetí els experiments de l'electròlisi i els va fer servir per provar la *identitat de les dues classes d'electricitat*. Per tant, sembla que el 1801 queda establerta la identitat de les dues classes d'electricitat a partir dels resultats experimentals. H. Davy, repetí el 1800 els experiments de Wollanstone amb aigua pura i va veure que no es produïa la descomposició. Va donar la seva *Teoria química sobre la pila de Volta*. El seu punt de vista sembla més coincident amb Fabroni que no pas amb Volta. Davy va investigar més accions químiques de l'electricitat i va concloure que *les atraccions químiques i elèctriques són produïdes per la mateixa causa*, idea que serà recollida per Faraday.

⁹ S. D. Poisson va llegir, el 1812, una memòria a l'Acadèmica francesa en la qual acceptava la Teoria dels dos fluids de Coulomb. Poisson diferencia entre *conductors* i *aïllants*. Quan un excés de fluid és comunicat a un metall, aquest es distribueix a la seva superfície en forma d'una capa. La força resultant de totes les partícules d'aquesta càrrega elèctrica ha d'esdevenir nul·la al seu interior. Poisson demostrà a partir dels avenços matemàtics que s'havien aconseguit amb la Gravitació, que amb l'ajut d'aquest principi és possible, determinar la distribució de l'electricitat en la capa superficial.

Green va ampliar els treballs de Poisson (1828). Infereix que la *Funció V* (que mesura el grau d'electrificació) ha de ser constant dins dels conductors.

¹⁰ Sorprengué a Nicholson i Carlisle (1800) que en els seus experiments d'*electròlisi* apareixien productes de descomposició en llocs separats l'un de l'altre (a prop dels pols). Poc després, Grothus i Davy, van avançar una explicació, segons la qual l'*electròlisi té lloc a través de tota la massa del líquid*.

¹¹ Oersted va descobrir (1820) que el corrent elèctric actua sobre una agulla imantada.

sa els corrents moleculars interns que hi ha dins dels imants. Ampère, de tota manera, encara participa de la idea dels fluids.

Contemporanis d'Ampère donaven explicacions diferents, però totes amb el sobrentès que les forces actuaven a distància i en la línia que uneix els elements que intervenen.

PROBLEMES

Problemes no resolts

- *Repulsió electrostàtica*: Fou un problema no resolt per la teoria de Franklin d'un únic fluid i que, encara que Aepinus intentà resoldre, no ho aconseguí plenament. En canvi, la teoria dels dos fluids no ho tenia com a problema.
- *La conservació de la càrrega elèctrica*: No hi havia, ni amb la teoria d'un fluid, ni amb la de dos fluids una explicació satisfactòria.
- *L'electricitat per fricció no penetra en l'interior dels conductors*; en canvi, el *corrent voltaic omple tot el conductor*. Aquest era un problema clar per la identificació de les dues classes d'electricitat.
- *Que els productes de descomposició de l'electròlisi es troben a distàncies considerables els uns dels altres*. Hi hagué diferents teories explicatives, però no en predominà una sobre les altres i podem considerar-lo un problema no plenament resolt.

Problemes resolts

- *L'atracció electrostàtica*.
- *L'ampolla de Leiden*.
- *La inducció electrostàtica*.
- *Els efectes dels cossos punxeguts i els parallamps*.
- La identificació experimental de les dues electricitats *amb els experiments de Wollanston, Marum i Pfaff*¹² però sense una explicació consistent, és a dir, solució incompleta.

Problemes anòmals

El concepte que dóna Laudan de problemes anòmals és que són els problemes que no resolts per una teoria, ho són per una teoria rival.

El descobriment d'Oersted centrà l'atenció dels científics, fins llavors l'electricitat i el magnetisme eren dos fenòmens separats, a partir d'ara es consideren íntimament lligats. La força que es manifesta a l'experiment d'Oersted semblava una força transversal, que no actuava en la direcció de la línia que unia els dos elements tal com se suposava que havia de passar en la concepció de les forces a distància.

¹² Vegeu nota 7. Wollanstone va trobar que l'aigua podia descompondre's pels dos tipus de corrent i va inferir que les diferències observades podien ser explicades perquè que l'electricitat voltaica (corrent) és menys «intensa» però produïda en més gran quantitat.

De fet, per tant, sembla que el 1801 queda establerta la identitat de les dues classes d'electricitat, l'estàtica o de fregament i la voltaica o galvànica (o de corrent), almenys els fets experimentals semblaven confirmarlo. Es tractaria d'una identificació a partir de resultats experimentals.

M.V. Marum i C.H. Pfaff el 1801 arribaren a la mateixa conclusió que Wollanston fent-ho a més gran escala.

Si ens situem dins de la *tradicció d'investigació I* se'ns fa difícil de citar-ne perquè veiem que és més clar parlar de problemes resolts i no resolts dins de la tradició d'investigació perquè les teories sovint van sortint per resoldre problemes i en general no queden com a teories rivals (almenys en els cas històric que he considerat). Per exemple, el cas de la pila no el resol Franklin perquè ni el sospitava, i el resol Volta dins de la concepció d'un fluid, però en l'explicació que dona els fluids no hi surten sinó el contacte de metalls. Si considerem les teories d'un fluid i de dos fluids com a rivals ens trobem amb el fet que pràcticament resolen els mateixos problemes, en la seva època no hi havia la consciència clara que una d'elles fos més progressista que l'altre. Per tant, en aquests casos parlar de problema anòmal sembla força artificial. Veuríem més clar el comparar problemes resolts i no resolts per a teories pertanyents a tradicions d'investigació rivals.

Problemes conceptuals

– *El problema de la unificació de les dues classes d'electricitat* pot considerar-se un problema conceptual. Des d'un punt de vista pràctic (empíric) les dues electricitats ja eren considerades una mateixa cosa a partir de 1801, però conceptualment no se sabia explicar per què i en què consistia la diferència.

Aquest problema va sortint de diferent forma: per exemple, quan Ohm explica la seva llei parlant de *força electroscòpica*, no sé sap ben bé si entén el mateix que Poisson quan considerava el seu *potencial electrostàtic*.¹³

Per a nosaltres, aquest problema de la unificació de les dues classes d'electricitat és un problema conceptual deixat de banda perquè l'interès del moment eren altres coses que Faraday (dins de la *tradicció d'investigació II*) va tornar a plantejar i va resoldre.

- Les primeres teories dels fluids (Franklin i Symmer) tenien plantejat el problema de la *matematització*, el sobreentès a l'època era que una ciència havia de ser matemàtica. Aquest problema però es resoldria dins de la mateixa *tradicció I*, amb Poisson i d'altres.
- També podem considerar com a problemes conceptuals l'establir el *lligam entre electricitat, magnetisme* (experiment d'Oersted), *electricitat i química*, i entre *electricitat, magnetisme i llum*. Creiem que sí que eren problemes conceptuals que eren a l'ambient tant als començaments, Franklin i els seus contemporanis, com després de l'experiment d'Oersted, en temps d'Ampère i Faraday.

¹³ N. Gauthenot va estudiar l'efecte de fer variar els conductors connectats als terminals de la pila i va veure que el corrent depenia de la potència de la pila i dels conductors. G. S. Ohm estudià amb detall el que havia dit Gauthenot. En el seu raonament comparava el corrent a un flux de calor, cosa que l'obligava a introduir una noció semblant a la temperatura. Ohm recorre a la teoria electrostàtica, en el seu temps era costum mesurar la «tensió» de la pila oberta connectant un terminal de la bateria a terra i l'altre a l'electroscopi, i així es parlava de *força electroscòpica* (que s'identifica al potencial electrostàtic) superficial, però Ohm, sabent que els corrents voltaics no estaven localitzats a la superfície dels conductors, sembla que va pensar en la *força electroscòpica com a proporcional al volum-densitat d'electricitat* en aquell tros per analogia entre temperatura i volum-densitat de calor. Malgrat aquestes indefinicions, el treball d'Ohm representà un avenç en el lligam entre corrent voltaic i electrostàtica.

De totes maneres, es va haver d'esperar fins el 1845, que va ser quan Kirchhoff va identificar la *força electroscòpica* d'Ohm amb el *potencial elèctric* de Poisson i Green.

Tradicció d'investigació II: Tradició d'investigació de les forces per contacte

ONTOLOGIA. Existència de l'èter –fluid imponderable i imperceptible– però és diferent dels fluids de la *tradicció d'investigació I*. En la *tradicció I* els fluids eren els que feien les forces, en canvi en la *tradicció II*, l'èter és només transmissor de les forces. En la fase més avançada d'aquesta tradició l'èter serà abandonat.

Els components de la matèria s'exerceixen *forces per contacte*, pas a pas, i que les línies de força poden ser corbes.

En Oersted i Faraday, i en d'altres, veiem molt clarament que participen de la idea de la «unitat de les forces de la naturalesa». Aquesta visió de les forces clarament guià el treball d'Oersted i Faraday.

METODOLOGIA. Se'ns fa difícil de diferenciar entre la metodologia de la primera tradició d'investigació i la de la segona. La segona també matematitza però aquí hi veiem una mica de contradicció perquè Faraday tenia pocs coneixements de matemàtiques i es va guiar més per unes intuïcions que no pas per unes matemàtiques. Qui va matematitzar les seves idees fou Maxwell.

La metodologia també la considerem experimental però no inductivista, sinó més aviat *constructivista*, és a dir, primer unes idees, una concepcions que es van a comprovar experimentalment sempre que es pugui.

TEORIES. De fet, ens hem centrat en Faraday, és a dir, en els inicis de la *tradicció d'investigació II* encara que no plenament establerta. Si entenem les teories com a explicacions coherents que permeten de fer prediccions, podem dir que Faraday en dona unes quantes:

- *Teoria dels corrents induïts.*
- *Teoria de la propagació de l'acció elèctrica en els electròlits (electròlisi) o de les línies de força elèctrica.*
- Teoria de Faraday de l'afinitat química.
- Teoria de Faraday de l'acció molecular.
- Teoria de Faraday de la inducció electrostàtica dependent del medi.
- Teoria de Faraday sobre el diamagnetisme i el paramagnetisme *o de les línies de força magnètiques.*

Aquestes teories no eren rivals entre elles sinó que eren teories que explicaven uns certs fenòmens i que anaven sorgint una darrera l'altra com a teories parcials d'una teoria general o visió més global de tots els fenòmens electromagnètics.

En el cas de la teoria de Faraday de la inducció electrostàtica dependent del medi estava en contradicció amb la visió de Coulomb que el medi no intervenia en els fenòmens electrostàtics. Per tant, en aquest cas, l'oposició no és entre teories de dins d'una mateixa tradició d'investigació, sinó entre teories de diferents tradicions d'investigació i aquesta és la situació que he trobat més vegades en el meu cas històric.¹⁴

¹⁴ Podem adonar-nos com Faraday anava elaborant les seves idees i teories veient els títols dels successius paràgrafs de les seves «Experimental Researches in Electricity» (1838). Pel poc espai de què disposem no podem aprofundir en cap d'aquestes teories. Per completar la informació podeu consultar la bibliografia citada al final de l'article.

PROBLEMES

Problemes no resolts

- *Propagació de l'electricitat en el buit.*
- *Altres casos en què la solució que es dona és només parcial, com ara l'explicació de l'electròlisi.*

Problemes resolts

- *Pràcticament tots els que resolien la tradició d'investigació I.*
- *Inducció electrostàtica dependent del medi i capacitat específica dels dielèctrics.*
- *Conservació de la càrrega.*
- *Fenòmens electroquímics (encara que no completament).*
- *L'electricitat per fricció sembla estar localitzada a la superfície dels conductors.*
Poisson deia que s'hi mantenia per l'efecte de la pressió de l'aire, resposta que no va admetre Faraday.

Contents:

- | | |
|---------------|--|
| Series I – | 1. Induction of electric currents.
2. Evolution of electricity from magnetism.
3. New electrical state or condition of matter.
4. Explication of Arago's magnetic phenomena. |
| Series II – | 5. Terrestrial magneto-electric induction.
6. Force and direction of magneto-electric induction generally. |
| Series III – | 7. Identity of electricities from different sources.
i. Voltaic electricity
ii. Ordinary electricity
iii. Magneto-electricity
iv. Thermo-electricity
v. Animal electricity |
| Series IV – | 8. Relation by measure of common and voltaic electricity
9. New law of electric conduction
10. On conducting power generally. |
| Series V – | 11. Electro-chemical decomposition
i. New conditions of electro-chemical decomposition
ii. Influence of water in such decomposition
iii. Theory of electro-chemical decomposition |
| Series VI – | 12. Power of platina and to induce combination. |
| Series VII – | 11*. Electro-chemical decomposition continued (nomenclature) |
| Series VIII – | 14. Electricity of voltaic pile. |
| Series IX – | 15. Induction of a current on itself.
Inductive actions of currents generally |
| Series X – | 16. Improved voltaic battery.
17. Practical results with the voltaic battery. |
| Series XI – | 18. On statics induction |
| Series XII | 7. Conduction or conductivity discharge.
8. Electrolytic discharge
9. Disruptive discharge. |
| Series XIII – | 19. Nature of electric current its transverse forces |
| Series XIV – | 20. Nature of electric force o forces
21. Nature of electric and magnetic forces
22. Note on electrical exitation. |

– *Experiment d'Oersted.*

Problemes anòmals

Tal com he centrat el meu treball en Faraday no té sentit la consideració de problemes anòmals a no ser que consideri teories rivals dins de les *tradicions I i II*. Considerats així, un exemple de problema anòmal podria ser l'experiment d'Oersted que no fou resolt dins de la *tradicció I* (Ampère ho intentà) i en canvi ho fou per Faraday dins de la *tradicció II*.

Un altre exemple podria ser el *principi de conservació de la càrrega elèctrica*, i en general la majoria de problemes no resolts dins *I* i que es resolen dins *II*.

Problemes conceptuals

Sí que, en canvi, veig molt clarament que Faraday fa evidents uns problemes conceptuals que no ho eren clarament en la *tradicció I*, i a més, en resol.

- *El problema de la unificació de les dues electricitats* queda plenament resolt amb Faraday.
- *El problema de la matematització* de les seves teories no el resoldrà ell sinó Maxwell i els continuadors de la mateixa *tradicció II*.
- *El lligam entre electricitat i magnetisme* queda resolt amb Faraday i també el *lli-gam electricitat i química*. El *lli-gam electricitat, magnetisme i llum* queda quasi bé resolt.
- Queda per resoldre què és *l'èter*. En realitat això no sembla preocupar massa Faraday però sí als seus continuadors.
- Les forces gravitatòries queden encara separades de les altres forces, és a dir, la *unificació de les forces* en Faraday encara és parcial i ho continuarà sent amb Maxwell, haurem d'esperar arribar a Einstein per unificar-hi les gravitatòries.

4. Dificultats trobades en l'aplicació del model de Laudan i valoració del mateix

La dificultat més gran que m'he trobat és la consideració de problemes anòmals, ens surten amb teories rivals de tradicions diferents.

Una altra dificultat és la de poder donar la categoria de resolt o de no resolt a un problema. En molts casos un problema pot semblar resolt als científics d'una tradició d'investigació i en canvi, amb perspectiva històrica el podem veure com a no resolt. De fet, això ja ho comenta Laudan quan presenta els problemes resolts i no resolts (vegeu pàg. 3 d'aquesta comunicació).

Tampoc hem vist molt clar en el nostre cas, el què havia de considerar-se com a metodologia.

Una altra qüestió és que alguns problemes em semblaven que els podia agafar com a problemes conceptuals i alhora com a problemes empírics.

De totes maneres, malgrat totes aquestes dificultats, el model de Laudan de resolució de problemes ens ha semblat força vàlid per aplicar-lo a canvis científics, especialment perquè pot ajudar a afinar més en l'anàlisi de com s'ha anat produint el canvi.

La conclusió general a què arribem és que en el cas que hem estudiat, els problemes conceptuals són els que han influït més al fet que el canvi es produís. I aquesta conclusió està

d'acord amb el punt de vista de Laudan de com es produeix el canvi científic. La *tradició d'investigació II* és més progressiva que la *tradició I* ja que pràcticament resol tots els problemes que resolía la *tradició I* i molts dels problemes que aquesta no havia pogut resoldre. En concret és dins d'aquesta *tradició d'investigació II* que queda explicada la identificació entre l'*electrostàtica* i l'*electricitat voltaica*.

Bibliografia

- BERKSON, W. (1981), *Teorías de los campos de fuerzas*. Madrid, Alianza.
- FARADAY, M. (1822-1822), «Historical Sketch of Electromagnetism», *Annals of Philosophy*, 18 i 19.
- FARADAY, M. (1839-1855), *Experimental researches in Electricity*. 3 vol. London, Taylor and Francis.
- GARCIA DONCEL, M. (1987), «El campo electromagnético». A: *Historia de la física en el siglo XIX*. Madrid, RACEFN.
- HEILBRON, J. (1979), *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A study in Early Modern Physics*. Berkeley, University of California Press.
- HOFFMAN, J. R. (1996), *André-Marie Ampère: Enlightenmen and Electrodynamics*, Cambridge University Press.
- LAUDAN, L. (1986), *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*. Madrid, Encuentro Ediciones.
- MARTIN, T. (ed.) (1932-1939), *Faraday's Diary, Being the Various Philosophical Notes of Experimental Investigation Made by Michael Faraday*. London.
- MARTIN, T. (1991), *Faraday i el descobriment de la inducció electromagnètica*. Vic, EUMO.
- PEARCE WILLIAMS, L. (1965), *Michel Faraday. A Biography*. London/New York, Chapman and Hall.
- PRIESTLEY, J. (1775), *The History and Present State of Electricity with original experiments*. Vol. 1. Reprinted from the third Edition, London, with appendix containing two original experiments by the author. New York/London, Johnson reprint corporation (1966).
- TATON, R. (1972-1973), *Historia General de las Ciencias*. Vol. 2 i 3. Barcelona, Destino.
- WHITTAKER, E. (1951), *A History of the Theories of Aeter and Electricity*, T. Nelson and sons.

