

LA REPLICACIÓ D'EXPERIMENTS I INSTRUMENTS EN EL SEU CONTEXT. UNA MANERA DE SITUAR LA HISTÒRIA EN L'ENSENYAMENT DE LES CIÈNCIES

Pere Grapí Vilumara

CEHIC (Universitat Autònoma de Barcelona); IES Joan Oliver (Sabadell)

Paraules clau: *cultura material de la ciència, replicació històrica d'instruments, coneixement gestual, història experimental de la ciència, treball de recerca al batxillerat.*

The replication of experiments and instruments in context. Placing history in science teaching

Summary: Recently there has been certain interest in putting the study of historical scientific practises in the context of the material culture of science. This tendency has increased researches around laboratory practises and likewise has also encouraged the making of replications of past instruments and experiments. This view has converted the experimental history of science into a new methodological approach in the history of science research.

On the other hand, this approach has also played its role in focusing the use of history of science in science teaching. Science teaching has strongly claimed a central place for experimentation in science learning and, in this way, there exist remarkable projects on the replication of instruments and experiments for science teaching.

This paper aims to present this framework, exploring its advantages and problems in some area nowadays devoted to research work in higher education in Catalonia. A research work on the replication of Volta's pile will be presented as a case study.

Key words: *material culture of science, historical replication of instruments, tacit knowledge, experimental history of science, research work in higher education.*

Les cultures literària i material de la ciència. La història experimental de la ciència

Els estudis històrics estan generalment basats en representacions textuals que la gent de ciència va produir en el passat. Recentment hi ha hagut un cert èmfasi en la cultura material de la ciència per tal d'estudiar les pràctiques científiques del passat que ha dut a la replicació d'instruments i d'experiments. Aquesta reposició experimental històrica cal contemplar-la com una aproximació metodològica més en la recerca en història de la ciència per aconseguir una millor comprensió de la pràctica científica. Tot completant una historiografia literària basada en una cultura impresa de la ciència (documents, textos, llibres, tau-

les, dibuixos, esquemes...), també existeix, doncs, una historiografia operativa —*performative historiography* (Sibum, 2000: 80)— que pren com a referència la cultura material de la ciència (instruments, màquines, maquetes, estris, col·leccions...). Es pot pensar que no cal reconstruir un experiment i que només cal llegir-ne una descripció i una explicació detallada per copsar-ne la rellevància. Però de la mateixa manera que no és el mateix tocar un instrument musical que escoltar-ne només la música, ni cuinar un plat que llegir-ne la recepta culinària, tampoc és el mateix refer un experiment que estudiar i analitzar-ne la descripció per detallada que sigui, ja que aquestes descripcions no deixen de ser, en última instància, reconstruccions mentals de l'experiment. El treball de laboratori, sobretot si es tracta de conèixer els procediments manuals implicats a fer anar instruments i a realitzar experiments, es pot copsar a partir de textos històrics i d'il·lustracions de forma difícil i incompleta.

Aquesta historiografia operativa basada en la replicació d'experiments del passat disposa de suficients casos que constitueixen una sòlida referència i fonamentació per a futures recerques. Un recull d'aquests casos pot ser útil per copsar la magnitud, la importància i la transcendència dels estudis dedicats a la història experimental de la ciència. L'estudi de Settle (1961) sobre els experiments de mecànica de Galileu va transformar la historiografia sobre aquest. Stuewer (1970) va refer els experiments de Newton sobre la difracció de la llum i MacLachlan (1976) els de Galileu amb el pèndol.¹ L'experiment realitzat per Root-Bernstein (1983) va aportar evidències per a l'exoneració de Mendel de les sospites que hi havia sobre ell de frau científic. Heering (1994) va poder replicar la determinació de la llei de Coulomb amb la balança de torsió només després d'introduir modificacions no descrites en la literatura. Això el va dur a concloure que l'experiment havia de ser impossible per a Coulomb, tot i que, segurament, tenia poderoses raons teòriques per creure en la seva llei. La rèplica de Sibum (1995a) de l'experiment de Joule per determinar l'equivalent mecànic de la calor es va convertir en tot un paradigma de la història experimental de la ciència. Finalment, la replicació per part de Henning (2003) dels experiments amb l'espectroscopi de flama Kirchhoff i Bunsen ha servit per revelar la importància de la col·laboració entre ambdós científics i el constructor de l'aparell.

En l'àmbit de la química, Dean i Usselman (1979) van fer importants aportacions a la història del pal·ladi, i Kronberg, Coatsworth i Usselman (1984), a un descobriment crucial de la metal·lúrgia del platí. Usselman (2000) es va referir a la replicació d'experiments per interpretar les recerques atòmiques originals de Dalton, Wollaston i Thomas Thomson. Principe (2000), després de reproduir l'arbre d'Hermes —una imatge alquímica recurrent tractada amb cert escepticisme pels historiadors de la química—, va poder argumentar que aquest cas de l'imaginari alquímic no estava tan fonamentat en l'«inconscient col·lectiu» de Jung o en una construcció literària, sinó, més aviat, en la pràctica experimental, i reivindicà d'aquesta manera la proximitat de les pràctiques alquímiques amb el treball pràctic de laboratori. Més recentment, la reproducció per part d'Usselman (2005) del *kaliapparat* de Liebig per a l'anàlisi de compostos orgànics ha servit per reforçar el paper de les pràctiques experimentals enfront de les negociacions dels agents socials a l'hora d'explicar determinats canvis científics. Finalment, Heering (2005a) ha iniciat la rèplica dels experiments realitzats per Lavoisier i Laplace tot reconstruint el seu calorímetre del 1783.

1. MacLachlan (1998) proporciona una panoràmica sobre la història experimental de la ciència.

El coneixement gestual en la pràctica experimental

La realització d'un experiment no està tan sols determinada per una cultura material concreta sinó també per les habilitats de l'experimentador per interaccionar amb els objectes. El coneixement gestual o tàcit és el coneixement unit a les maneres d'actuar de l'experimentador i que pot canviar d'acord amb els diferents tipus d'actuacions (manipulació d'un instrument o utilització d'eines matemàtiques). Aquest coneixement inclou un conjunt complex d'habilitats i formes de mestratge que es desenvolupen durant la realització de l'experiment en temps real i que proporciona informació sobre la influència de l'experiència sensorial en el desenvolupament conceptual de les pràctiques científiques. És un tipus de coneixement que s'ha considerat, sovint, implícitament assolit per l'experimentador, mantingut en secret i, per tant, no escrit, o que va acabar essent substituït de forma inadvertida. En definitiva, un tipus de coneixement que va esdevenir invisible en els informes de laboratori. Va ser Michael Polanyi² qui va fer èmfasi en la importància sistemàtica de les destreses manuals i de les sensacions de l'experimentador com a part constituent de la recerca.

El coneixement gestual és essencialment dinàmic i —com el coneixement oral— només es pot comunicar mitjançant una participació activa o una *enculturació* (una immersió en el context cultural de producció). En el cas de la rèplica de l'experiment de Joule, els gestos crucials eren les lectures de temperatures i la realització del treball mecànic. Alguns d'aquests coneixements tàcits es van generar a partir de la mateixa reposició de l'experiència: la interferència de la temperatura corporal en la lectura de les temperatures (el termòmetre permetia llegir 1/100 °C), els intervals de temps en què es prenen les temperatures, el criteri per determinar el valor representatiu de les mesures termomètriques o les dimensions de l'espai experimental per facilitar la dissipació de la calor per radiació. D'altres, en canvi, van ser producte d'un procés d'enculturació: les habilitats termomètriques necessàries per fer l'experiència —poc habituals en la física victoriana— estaven àmpliament distribuïdes en la comunitat de cervesers a la qual Joule pertanyia. El valor trobat per l'equivalent mecànic de la calor (746,89 ftlbs/Btu) era diferent del trobat per Joule (772,692 ftlbs/Btu).³ La rèplica va ser precisa (la desviació estàndard dels resultats va ser del 2,1 %) sense ser acurada per la falta de conformitat amb el valor admès (Sibum, 1995b). D'altra banda, la replicació del *kaliapparat* de Liebig per l'anàlisi de compostos orgànics va permetre posar al descobert altres tipus de coneixement gestual més propis d'experiments de química, com el ritme amb què cal fer bombollear un gas quan es dissol en un líquid o la detecció de fuites en el muntatge. Alguns d'aquests detalls es poden descriure, però d'altres, com el temps que triguen a aparèixer les primeres bombolles, el canvi de mida que experimenten o determinats canvis de color en el medi de reacció, sovint, només surten en fer l'experiència repetidament o en una rèplica històrica (Usselman *et al.*, 2005: 43).

La replicació del *kaliapparat* és un dels pocs exemples que es poden presentar de replicacions en l'àmbit de la química. La realitat és que molts dels estudis sobre la pràctica experimental s'han fet sobre física i pocs sobre química. No obstant això, la química és el pa-

2. M. POLANYI (1958), *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy*, Chicago, University of Chicago Press; (1966), *The tacit dimension*, Nova York, Doubleday.

3. El valor actual és de 776,1 ftlbs/Btu.

radigma de ciència de laboratori. Els estudiants de química han estat entrenats des de sempre en les diverses operacions de laboratori de forma més rutinària que en altres ciències (construcció i ajust d'aparells de metall, vidre, suro, goma, ceràmica). La química és la ciència més relacionada amb la pràctica artesanal i, en aquest sentit, els químics han estat més ben integrats en el món artesanal que els físics (almenys abans de la revolució instrumental del segle XIX) i, per tant, disposaven d'un ventall més ampli d'habilitats i tècniques aplicables.

Per tot això, la química és un terreny ideal per a les reconstruccions històriques, ja que els paràmetres experimentals poden estar, sovint, més ben identificats i controlats que en altres ciències si es disposa de bones fonts materials. Els químics compraven material estàndard de laboratori amb el qual muntaven els seus dissenys experimentals i, fins i tot, es feien peces pròpies. Bona part d'aquest material era barat, i el més car (balances, gresols de platí, destil·ladors) s'amortitzava mitjançant un ús perllongat i compartit. Les operacions químiques eren tècniques estàndards com ara escalfar flascons de reacció, preparar dissolucions, realitzar digestions, recristal·litzacions, sublimacions, filtracions o pesades. Es pot dir que abans de la revolució instrumental de mitjan segle XIX, la majoria dels experiments més coneguts de la història de la química es feien amb un material de «jardineria» o de «cuina» gens sofisticat i car, a diferència de les balances de torsió, rodes de pales mogudes per pesos penjats de rodets, gotes d'oli observades pel microscopi, costoses bombes de buit amb fuites o espectroscopis de flama. La filosofia de la pràctica experimental canvia de fisonomia en passar del món de la física experimental al de la química i és per això que la intersecció d'ambdós territoris resulta encara més estimulants i prometedora (Usselman *et al.*, 2005: 45-47).

Controvèrsies i propostes a l'entorn de la replicació històrica d'experiments

D'entrada és fàcil pensar que no cal esperar res de l'altre món en la reconstrucció històrica d'un experiment. Això és així perquè refer una experiència s'assumeix com una activitat gens problemàtica o perquè, en el fons, es confia tant en el discurs escrit o il·lustrat que la idea de replicació es veu innecessària. Una raó per justificar aquesta posició cal buscar-la en la legítima sospita d'anacronisme que pot implicar una replicació.

Les diferències entre replicar un experiment i analitzar-ne una descripció detallada s'han comparat amb les diferències entre realitzar una pel·lícula històrica i escriure una novel·la històrica. Una pel·lícula pot ser més autèntica, ja que mostra l'acció «sobre el terreny», i ha de prestar atenció simultàniament a molts detalls (vestuari, gesticulacions, maquillatge, ambientacions exteriors...), mentre que el novel·lista pot escollir aquells elements que li semblin més oportuns per a allò que vol descriure i prescindir d'altres. De la mateixa manera, replicar un experiment requereix actuacions sobre el terreny on tots els detalls han d'estar controlats. D'altra banda, si la replicació té èxit es té molt de guanyat, ja que, en comparació amb l'anàlisi textual, el valor heurístic de la replicació és superior (Pestre, 1994).

Des del punt de vista epistemològic, s'ha de considerar la pràctica impossibilitat de reproduir el context de l'experiment. Harry Collins —dins del seu programa empíric relativista— ha apuntat bones raons en contra de la replicabilitat dels experiments: primera, cada replicació només seria una aproximació de l'original i, per això, faria falta un judici o un procés de persuasió —una negociació en definitiva— per decidir si un determinat assaig es pot considerar *realment* una rèplica. Segona, la ubiqüitat i la inefabilitat del coneixement gestual

frustrarien qualsevol intent de replicació efectuat tan sols a partir de descripcions escrites. Aquest tipus de coneixement es comunica necessàriament de forma directa; és tàcit i, a vegades, invisible, i no hi ha cap algorisme ni instruccions verbals suficients que permetin replicar-lo.

Finalment, els científics acrediten la rectitud d'un experiment pel resultat «correcte» que proporciona, però, també, jutgen la rectitud dels resultats a partir del seu judici sobre el correcte funcionament del sistema experimental. Jutjar el sistema pels resultats i els resultats pel sistema suposa entrar en un cercle viciós. Per trencar-lo caldria fer assaigs dels assaigs que també quedarien atrapats per la circularitat de l'argument. Aquesta «regressió de l'experimentador» inhabilitaria, doncs, la possibilitat de fer rèpliques rigoroses en ciències, i quedarien aquestes relegades a un procés social de negociació. L'experimentador *sempre* argumenta de forma interminable sobre el significat dels seus resultats fins a assolir un consens negociant amb tots els agents i, per tant, els seus experiments *mai* no acaben proporcionat una resposta final (Collins, 1992: 19, 73-78, 83-84, 129-130; Armero, 2005: 346-348).

Des de posicions menys radicals s'admet que els científics ni busquen ni requereixen replicacions idèntiques, s'accontenten amb allò que és experimentalment accessible i que proporciona una replicació *convinent*. Aquestes *replicacions convincentes* proporcionen resultats experimentals suficientment semblants als dels assaigs anteriors per facilitar-ne l'acceptació tant per part de l'experimentador individual, primer, com de la comunitat científica, després (Usselman *et al.*, 2005: 51). Per replicar un experiment no cal que la rèplica sigui un experiment idèntic a l'original en la seva construcció, i en els materials, els instruments i les pràctiques utilitzades. La història experimental de la ciència no pretén una imitació exacta, sinó una aproximació esteticomaterial a la realització històrica de l'experiment. L'objectiu de la història experimental de la ciència no és tant la reproducció d'un resultat esperat, sinó la generació d'un seguit de possibilitats històriques que podien haver tingut el seu paper en la pràctica científica duta a terme en l'experiment. Fins i tot, si l'experiment presenta diferències en alguns aspectes, es pot considerar que n'és una rèplica més convincent que si només representa l'estricta credibilitat dels fenòmens o si només és capaç de reproduir els valors mesurats exactament. Per exemple, en la reproducció de la balança de torsió de Coulomb, aquesta es va recobrir d'una gàbia de Faraday per evitar interferències electrostàtiques de l'operador per poder obtenir mesures reals (Heering, 1994). En l'experiment de Joule no es van poder reproduir els termòmetres que ell havia utilitzat, però se'n van utilitzar d'altres de la mateixa exactitud (Sibum, 2000). A partir d'aquesta perspectiva s'han apuntat tres estratègies metodològiques complementàries a l'hora d'emprendre una replicació (Sibum, 1995a; Heering, 2005a: 28-30; 2005b: 318-321).

Dissenyar i construir la cultura material d'un experiment històric

Cal construir rèpliques d'aparells experimentals tan properes als originals com les tècniques manipuladores i els materials actuals, i les fonts primàries —representacions textuals i objectes materials sobrevivents—, ho permetin. Tot això implica una recerca interdisciplinària que fa que aquesta etapa sigui potencialment rica per a l'historiador. La hipòtesi subjacent a aquesta estratègia és que si el treball en el passat s'ha fet bé es podrà fer una rèplica força idèntica.

Realitzar treball experimental amb aquestes rèpliques

L'objectiu final de la història de les pràctiques experimentals és refer un experiment amb els aparells reconstruïts. A pesar de conèixer el resultat de la rèplica experimental, el procés de repetir l'experiència és un estudi força valuós. Tirar endavant l'experiment demana una bona dosi d'habilitats corporals, la majoria de les quals no són del tot, o gens, conegudes. Així doncs, tenir èxit en la repetició de l'experiment depèn sobretot del treball i del coneixement improvisat de l'experimentador. Els objectes materials i els textos acompanyants formen una coreografia per a les actuacions de l'experimentador ja que proporcionen una orientació parcial en la manera de pensar i d'actuar. En aquesta etapa s'adquireix un coneixement gestual, molt local i no necessàriament idèntic al descrit de forma textual i/o figurativa.

En «fer» l'experiment i reconèixer els problemes en què s'ensopega, es genera un coneixement del comportament de l'experimentador històric i de les pràctiques indispensables per al desenvolupament de l'experiment. Aquest coneixement gestual adquirit serveix com a eina heurística per desenvolupar interpretacions de les representacions textuales o de les inscripcions de l'experiment. Aquestes accions ajuden a reconstruir dimensions tàcites de pràctiques passades que es consideraven implícitament assolides pels experimentadors, mantingudes en secret o que van acabar essent substituïdes —potser inadvertidament— per representacions formals o mecàniques. La replicació permet relacionar el coneixement tàcit en el seu context cultural.

Finalment, la replicació prova que les habilitats, expectatives, anticipacions dels resultats experimentals i els coneixements previs per part de l'experimentador poden influenciar en la configuració i fins i tot en els resultats de l'experiment. Per això, en fer una replicació cal situar-se sota la doble perspectiva d'actor i d'observador per entendre la influència de l'experimentador (Höttecke, 2000: 343-362, 345-346).

Contextualitzar les experiències de les etapes anteriors

Les estratègies de les dues primeres etapes han de contextualitzar-se, és a dir, cal situar-les en un context més ampli d'àmbit històric, filosòfic, cultural, tecnològic i polític. Replicar l'instrument i els processos per fer-lo funcionar aporta un coneixement important del context cultural que va possibilitar l'existència de l'estri. En definitiva, permet saber quines van ser les condicions culturals que van fer possible la producció de cert instrument i el seu ús per a la recerca. A pesar que el mètode de la replicació històrica es pot presentar mitjançant aquestes tres estratègies, aquestes estan a la pràctica molt relacionades i no poden desvincular-se les unes de les altres.

La replicació històrica d'experiments com a recurs per aprendre i ensenyar ciències.
Replicacions històriques amb valor didàctic

Les dues aproximacions —literària i material— a la recerca en la història de les ciències també tenen el seu reflex a l'hora d'enfocar els usos d'aquesta història en l'ensenyament (secundari i superior) de les ciències. És a partir de la primera d'aquestes aproximacions que s'han utilitzat els textos històrics amb finalitats didàctiques. En general, els mate-

rials per introduir la història de la ciència són bàsicament recursos textuais —com si les ciències fossin un una pràctica essencialment intel·lectual— amb una absència més que notable de material experimental. No obstant això, i pel fet que en l'àmbit de la didàctica de les ciències s'ha insistit de forma vehement en el lloc essencial que ha d'ocupar l'experimentació en les situacions d'aprenentatge de les ciències, s'han realitzat propostes interessants per analitzar textos sobre descripcions experimentals històriques (Fauque, 2003), fins i tot amb l'objectiu d'esbrinar-ne el procés de modelització subjacent en l'autor (Scheidecker-Chevallier *et al.*, 1999: 1-13).⁴ D'altra banda, en els últims vint anys la història de la ciència ha fet molt èmfasi en la recerca sobre el treball pràctic de laboratori en el context de la cultura material de la ciència i, en aquest sentit, també hi ha hagut projectes seriosos entorn de la rèplica d'instruments i d'experiments amb finalitats didàctiques per a l'ensenyament de les ciències.⁵ Un projecte pioner en aquest sentit és el dut a terme pel Departament de Física de la Universitat Carl von Ossietzky d'Oldenburg (Alemanya). Els seus cursos per als futurs professors de física inclouen un curs de laboratori en què una part dels experiments obligatoris es fan amb rèpliques històriques de la col·lecció del Departament, no tan sols perquè els estudiants adquireixen una nova perspectiva sobre els fenòmens i les teories sinó també per intentar solucionar els seus problemes de motivació (Riess, 2000). Un projecte semblant es va dur a terme amb alumnes d'ensenyament secundari amb un èxit notable (Heering, 2000).

La replicació d'experiments com a recurs per a l'ensenyament de les ciències hauria d'afavorir: *a)* entendre la ciència en la seva dimensió d'activitat pràctica amb què té lloc en un laboratori; *b)* copsar el sentit de l'experimentació en la història de la ciència tot comprènent les dificultats inherents a qualsevol experiment; *c)* assolir aquells procediments manipuladors que permeten adquirir uns coneixements gestuals impossibles d'aconseguir en altres activitats d'aprenentatge; *d)* motivar l'esperit d'emulació en intentar obtenir els resultats assolits per homes de ciència prestigiosos i, com que això és realment difícil, acabar valorant les pràctiques històriques (Sichau, 2000), i *e)* analitzar els processos que porten al consens o a la polèmica entorn dels resultats acceptats per la comunitat científica.

L'ús de la replicació històrica d'experiments com a recurs didàctic no està exempt de problemes com tampoc ho està la mateixa replicació com a metodologia de recerca en història de la ciència i, més concretament, la incorporació de la història de la ciència en l'ensenyament de les ciències. En l'ensenyament de les ciències, la història de la ciència cal aplicar-la en dosis homeopàtiques per evitar-ne els efectes col·laterals no desitjats. Alguns d'aquests problemes ja han estat citats com, per exemple, el risc de caure en anacronismes pel fet d'utilitzar instruments antics en el context de la ciència actual. En aquest sentit, Jean-Paul Gaudillière, en analitzar l'anacronisme derivat de la replicació de les experiències de Lavoisier i Priestley entorn de la polèmica oxigen-flogista a final del segle XVIII,⁶ destaca com existeix un *realisme mínim* en què recolzar-se: l'oxigen de Lavoisier i Priestley no era el mateix que el nostre, però l'espelma que s'apaga dins d'un recipient de vidre en el nostre laboratori

4. En els textos proposats s'analitza una qüestió central de la química —la transformació química de la matèria— a través de les descripcions que en van fer Nicolas Lémery i Newton (segles XVII i XVIII), Stahl i Lavoisier (segle XVIII) i Ampère i Dumas (segle XIX).

5. Fins i tot s'ha contrastat el valor didàctic dels experiments no reeixits o rebutjats (Heering, 2003, 2005b).

6. Gaudillière tracta l'aproximació pedagògica proposada per Stephen Pumfrey (1989).

s'assembla *convincement* a la que s'apaga en les il·lustracions i descripcions dels textos i memòries de Lavoisier, de manera que comprendre com s'apaga una espelma ajuda a entendre com s'apagava l'altra (Gaudillière, 1994: 210).

Altres complicacions tenen a veure amb la dificultat per adquirir determinats coneixements procedimentals per dur a terme l'experiment que no estan explicitats en textos o il·lustracions. Finalment, poden aparèixer problemes derivats de l'adequació didàctica de l'experiment en haver d'introduir modificacions per evitar obtenir resultats poc concloents en àmbit didàctic. En aquest sentit, es corre el risc d'oferir tant una versió presentista de l'experiment com una visió distorsionada de l'experimentació en ciències. Alguns d'aquests problemes es poden solucionar o mitigar si l'activitat de replicació s'emmarca en el seu context històric, és a dir, si la replicació va acompanyada de la seva respectiva enculturació.⁷

L'espai dels treballs de recerca al batxillerat. Un cas de replicació històrica d'experiments

L'existència d'un «treball de recerca» en el currículum dels batxillerats a Catalunya ha obert pas a una ruta per vehicular de forma efectiva la presència de la història de la ciència i de la tècnica a l'ensenyament secundari postobligatori. A continuació es presenta un cas de replicació històrica d'experiments realitzat per alumnes de l'IES Joan Oliver (Sabadell) en l'àmbit dels treballs de recerca dirigit per l'autor.

L'objectiu general del treball era replicar la pila de Volta en el seu context a l'última dècada del segle XVIII.⁸ Un context marcat per les recerques entorn de l'electricitat animal i l'electricitat artificial (per fricció). El treball es va enfocar, primerament, sobre dues manifestacions de l'electricitat animal explorades pels naturalistes de l'època: la contracció muscular i el peix torpede. En particular, l'aspecte de la contracció muscular va ser escenificada per la controvèrsia entre Galvani i Volta. Tant l'un com l'altre van creure inicialment que l'origen de les contraccions musculars experimentades per l'anca d'una granota calia buscar-lo en la mateixa granota. No obstant això, a partir del 1792 Volta va començar a especular sobre l'origen del fluid elèctric que provocava aquestes contraccions. Una primera part del treball de recerca es va dedicar a la replicació d'alguns dels experiments de Volta sobre la contracció muscular de l'anca d'una granota amb arcs metàl·lics o bimetàl·lics (figura 1).

Volta va concloure que el fluid elèctric i, per tant, la contracció es produïa pel contacte entre un o dos metalls quan un extrem metàl·lic tocava una part humida (nervi o múscul) mentre l'altre extrem tocava una part humida diferent.

Aquesta part del treball no tan sols va ser útil per adquirir uns determinats coneixements conceptuals relatius a la polèmica entre Galvani i Volta, i entendre, per tant, com teories diferents pretenien explicar uns mateixos fets, sinó que també va ser útil per adquirir un

7. Sobre la ineludible necessitat de situar en el seu context social aquells episodis de la història de la ciència que es volen incorporar a l'ensenyament de les ciències, vegeu Grapí (2000).

8. M. R. CARMONA, O. CUBERO i C. TORÀ (2004), *La construcció de la pila de Volta* (treball no publicat). L'autor ha dirigit també un altre treball de recerca amb aquesta orientació: M. FERNÁNDEZ, L. NICOLÁS, C. RANDINO, M. ROCA (2005), *L'evolució històrica del test de Marsh: Orfila, arsènic i criminologia* (treball no publicat). Aquest treball va guanyar el IV Premi Antoni Quintana Marí per a treballs de recerca al batxillerat convocat per la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica el curs 2004-2005.

seguit de coneixements gestuals que van des d'espellar una granota fins a ensopegar a pinçar un nervi de la medul·la per provocar una contracció muscular.

El treball va prosseguir examinant com l'estudi anatòmic del peix torpede va permetre descobrir que els seus òrgans elèctrics estaven formats per un apilament de làmines. En aquest punt es van examinar els corresponents documents (figura 2) publicats el 1714 i el 1773.⁹ Aquesta observació, juntament amb els experiments de Volta amb la granota, el van dur el 1800 a apilar discs metàl·lics diferents separats per discs de cartró amarats de salmorra i a comprovar com es generava una electricitat feble (figura 3). En aquest sentit el treball de recerca va mostrar la utilitat dels models en el procés de creació científica. La part experimental del treball es va completar reproduint l'experiment de Volta amb el seu *condensatore* per comprovar que la seva pila generava una electricitat «feble» (figura 4).¹⁰

A més a més dels objectius esmentats, el treball de recerca també pretenia constatar la mobilitat de les fronteres entre territoris científics (electricitat, química, fisiologia animal) i reconèixer el valor de l'experimentació en ciències. El fet d'haver realitzat un treball de recerca de ciències amb connotacions històriques va ser valorat pels autors del treball tot destacant-ne el següent:

- El fet d'haver pogut conèixer aspectes de la història de l'electricitat i de les ciències de la vida, descobriments històrics i les lleis que regien aquests fenòmens descoberts
- La seva sorpresa en descobrir la utilitat actual d'instruments del passat
- La lentitud amb la qual es produïa la comunicació d'innovacions científiques en el passat
- Les dificultats que comporta la reproducció d'experiments històrics.

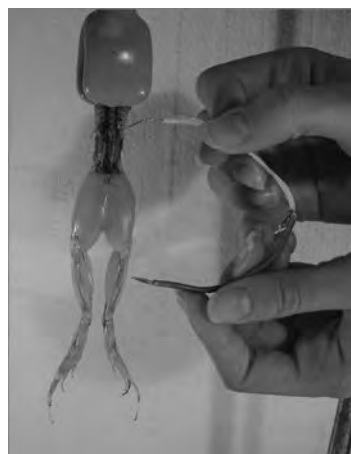


FIGURA 1. Contracció de l'anca d'una granota amb un arc bimetal·lic de coure i ferro pinçant la medul·la i un múscul.

9. R. A. F. RÉAMUR (1714), «Des effets que produit le poisson appellé en François Torpille», *Académie Royale des Sciences, Histoire*, p. 344-360; J. HUNTER (1773), «Anatomical observations on the Torpedo», *Philosophical Transactions*, núm. 63, p. 481-489.

10. Aquesta última part experimental no es pot considerar estrictament històrica, ja que el condensador utilitzat no era una rèplica del *condensatore* de Volta. No obstant això, els procediments utilitzats es poden considerar com una reposició històrica dels emprats per Volta.

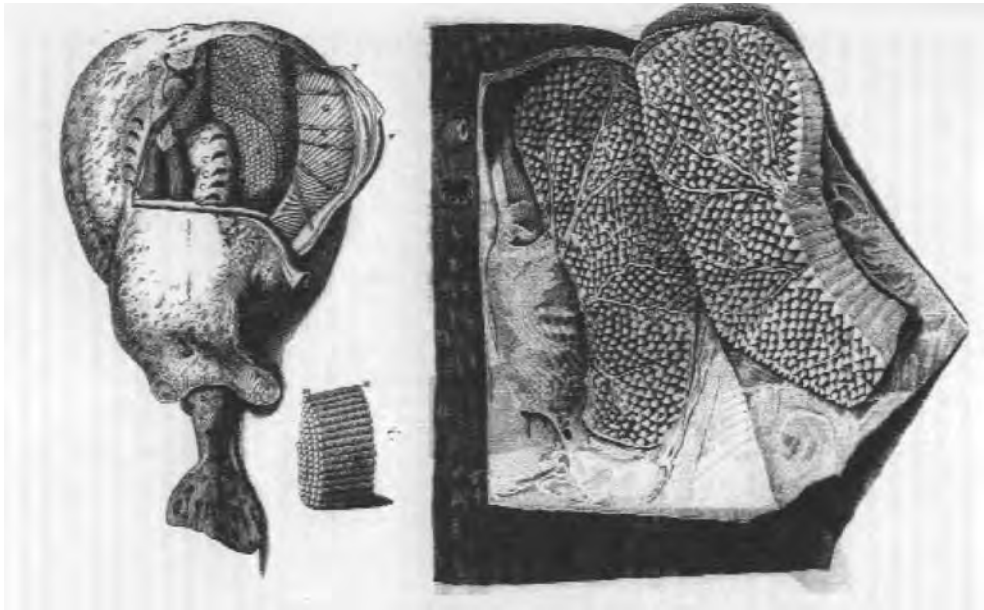


FIGURA 2. El peix torpede representat per Réamur (esquerra), i detalls dels òrgans responsables de les descàrregues elèctriques representats per Réamur i Hunter (centre i esquerra).

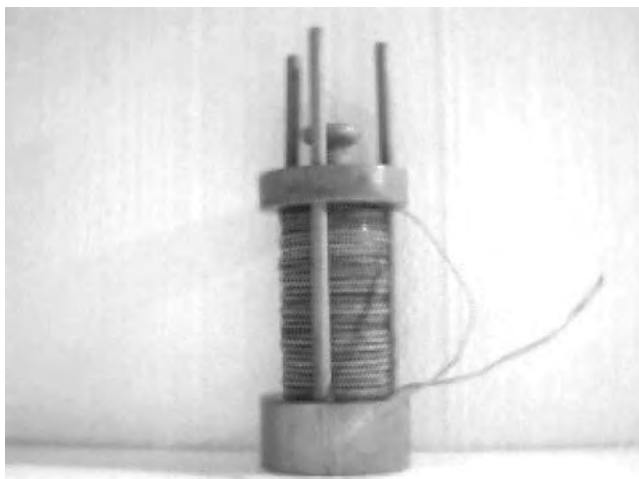


FIGURA 3. Replicació de la pila de Volta.



FIGURA 4. Detecció de l'electricitat feble de la pila amb el *condensatore* de Volta.

Bibliografia

- ARMERO, J. (2005). «El regreso del experimentador y la metodología de las cajas negras». *Endoxa*, p. 343-358.
- COLLINS, H. M. (1992). *Changing order: replication and induction in scientific practice*. Chicago: The University of Chicago Press.
- DEAN, P.; USSELMAN, M. C. (1979). «The “Synthetic Palladium” of Richard Chevenix: A verdict on the chemist and the chemistry». *Ambix*, núm. 26, p. 100-115.
- FAUQUE, D. (2003). *Lavoisier: La naissance de la chimie moderne*. París: Vuibert.
- GAUDILLIÈRE, J. P. (1994). «Lavoisier, Priestley, le phlogistique et l'oxygène. De l'étude de controverse à la répliation pédagogique». *Aster*, núm. 18, p. 183-215, 210.
- GRAPÍ, P. (2000). «El potencial educatiu de la història de la ciència. El cas de la revolució química». A: BATLLÓ, Josep; FUENTE, Pere de la; PUIG, Roser [ed.]. *Actes de la VTrobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: IEC, SCHCT, p. 111-114.
- HEERING, P. (1994). «The replication of the torsion balance experiment». A: BLONDEL, C.; DÖRRIES, M. [ed.]. *Restating Coulomb: usages, controverses et répliations autour de la balance de torsion*. Florència: L. S. Olschki, p. 47-66.
- (2000). «Getting shocks: teaching secondary school physics through history». *Science & Education*, núm. 9, p. 363-373.
- (2003). «Rejected historical experiments and their use for science teacher training». *7th International History, Philosophy of Science and Science Teaching Conference Proceedings*. Winnipeg: University of Winnipeg Communications Office, p. 366-376.
- (2005a). «Weighing the heat: the replication of the experiments with the ice-calorimeter of Lavoisier and Laplace». A: BERETTA, Marco [ed.]. *Lavoisier in perspective*. München: Deutsches Museum, p. 27-42.
- (2005b). «Analysing unsuccessful experiments with the replication method». *Endoxa*, núm. 19, p. 315-340.
- HENNING, J. (2003). «Bunsen, Kirchhoff, Steinheil and the elaboration of analytical spectroscopy». *Nuncius*, any XVIII, p. 741-754.

- HÖTTECKE, D. (2000). «How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study». *Science & Education*, núm. 9, p. 343-362, 345-346.
- KRONBERG, B.; COATSWORTH, L.; USSELMAN, M. C. (1984). «Mass spectrometry as a historical probe: quantitative answers to historical questions in metallurgy». A: LAMBERT, J. B. [ed.]. *Archaeological Chemistry-III*. Washington, D. C.: American Chemical Society, p. 295-310.
- MACLACHLAN, J. (1976). «Galileo's experiments with pendulums: real and imaginary». *Annals of Science*, núm. 33, p. 173-185.
- (1998). «Experiments in the history of science». *Isis*, núm. 89, p. 90-92
- PESTRE, D. (1994). «La pratique de reconstitution des expériences historiques, une toute première réflexion». A: BLONDEL, C.; DÖRRIES, M. [ed.]. *Restaging Coulomb: Usages, controverses et réplifications autour de la balance de torsion*. Florència: L. S. Olschki, p. 17-30.
- PRINCIPE, L. (2000). «Apparatus and reproducibility in alchemy». A: HOLMES, Frederic L.; LEVERE, Trevor H. [ed.]. *Instruments and experimentation in the history of chemistry*. Cambridge, Mas.; Londres: The MIT Press, p. 55-74. [Nota 1]
- PUMFREY, S. (1989). «The concept of oxygen. Using history of science in science teaching». A: SHORTLAND, Michael; WARWICK, Andrew [ed.]. *Teaching the history of science*. Oxford: Basil Blackwell.
- RIESS, F. (2000). «History of physics in science trianing in Oldenburg». *Science & Education*, núm. 9, p. 399-402.
- ROOT-BERNSTEIN, R. (1983). «Mendel and methodology». *History of Science*, núm. 21, p. 275-295.
- SCHEIDECKER-CHEVALIER, M.; LAPORTE, G. (1999). *La démarche de modélisation en chimie*. París: Ellipses.
- SETTLE, T. (1961). «An experiment in the history of science». *Science*, núm. 133, p. 19-23.
- SIBUM, H. O. (1995a). «Working experiments: a history of gestual knowledge». *The Cambridge Review*, vol. 116, núm. 2325, p. 25-37.
- (1995b). «Reworking the mechanical value of heat: instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England». *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 26, núm. 1, p. 73-106.
- (2000). «Experimental history of science». A: LINDQVIST, Svante; HEDIN, Marika; LARSSON, Ulf [ed.]. *Museums of modern science: Nobel Symposium 112*. Canton, MA: Science History Publications, p. 76-86.
- SICHAU, C. (2000). «Practising helps: thermodynamics, history and experiment». *Science & Education*, núm. 9, p. 389-398.
- STUEWER, R. (1970). «A critical analysis of Newton's work on diffraction». *Isis*, núm. 61, p. 188-205.
- USSELMAN, M. C (2000). «Multiple combinig proportions: the experimental evidence». A: HOLMES, Frederic L.; LEVERE, Trevor H. [ed.]. *Instruments and experimentation in the history of chemistry*. Cambridge, Mas.; Londres: The MIT Press, p. 243-273; 268-270.
- USSELMAN, M. C.; REINHART, C.; FOULSER, K.; ROCKE, A. J. (2005). «Restaging Liebig: a study in the replication of experiments». *Annals of Science*, vol. 62, p. 1-55.