

UNA BALANÇA DE COULOMB PETITA A LA VITRINA

JÚLIA GARCÍA; JOAN MANEL HERNÁNDEZ; ENRIC PÉREZ
UNIVERSITAT DE BARCELONA

Resum: Reflexionem sobre la nostra experiència en restaurar i documentar un instrument emblemàtic de la col·lecció històrica de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona. Es tracta d'una balança elèctrica de torsió comprada a mitjan segle XIX per al gabinet de física de la universitat. Hem mirat de recuperar el seu estat original i posar-la en funcionament. A la llum dels resultats obtinguts, comentarem la polèmica sobre la versemblança de les dades presentades per Coulomb el 1785. Mostrarem que l'estudi d'un objecte com aquest és una molt bona manera d'introduir la història de la ciència a l'aula, especialment pel que fa al paper de coneixements tècnics pràctics, que no acostumen a formar part de les narracions habituals de la disciplina.

Paraules clau: electricitat, Coulomb, balança de torsió, història de la física.

A small Coulomb balance in the showcase

Abstract: We reflect on our experience in restoring and documenting an emblematic instrument of the historical collection of the Faculty of Physics of the University of Barcelona. It is an electric torsion balance purchased in the middle of the 19th century for the Gabinet de Física of the university. We have tried to recover its original state and put it into operation. In the light of the obtained results, we will comment on the controversy that took place about the reliability of the data presented by Coulomb in 1785. We will show that the study of an object like this is an excellent way to introduce the history of science in the classroom, especially regarding the role of practical technical knowledge, which usually is not part of the narratives of the discipline.

Keywords: electricity, Coulomb, torsion balance, history of physics.

Introducció

En les darreres dècades l'estudi de la cultura material científica està rebent l'atenció dels historiadors. La rellevància creixent dels museus i l'abundància de col·leccions i gabinets d'instruments particulars o pertanyents a centres educatius han plantejat diverses qüestions (Lourenço i Wilson, 2013). Per exemple, com fer

una restauració acurada o una catalogació fidel d'objectes que en molts casos han passat unes quantes dècades oblidats en magatzems. També els estudis recents que tracten d'ampliar el focus més enllà dels avenços teòrics i il·luminar la praxi experimental, el paper dels tècnics i el coneixement tàcit, han fomentat que aquesta herència es posi en valor.

A la Facultat de Física disposem d'una col·lecció d'instruments científics que provenen de diverses seccions, departaments, facultats, gabinets, etc., de la Universitat de Barcelona.¹ Molts objectes, també els més antics, daten de mitjan segle XIX. La temàtica dels instruments és la pròpia de l'època, quan la física experimental estava en plena eclosió. Hi trobem aparells per a estudiar la calor, els fluids, la mecànica o l'òptica, entre d'altres subdisciplines. Els relacionats amb l'electromagnetisme en són una part molt important, i per aquest motiu protagonitzen una exposició permanent que es va inaugurar a la mateixa facultat el passat setembre de 2022.

En aquesta nota breu descriurem com resseguir la biografia d'un d'aquests ginys, una balança de Coulomb que actualment està a una de les vitrines de l'exposició, que ens ha permès endinsar-nos en la història de la pròpia institució, de l'electricitat, de l'experiment històric i de la seva replicació (vegeu la fig. 1).



FIGURA 1. La balança petita de Coulomb a la vitrina, després de la darrera restauració.
FONT: Elaboració pròpia.

L'objecte

La balança de la col·lecció la podem veure a la figura 2. Sobre un anell de fusta circular que fa de peu, descansa un cilindre de vidre (d'uns 30 cm d'altura per 30 cm de diàmetre) amb una cinta pautada al seu perímetre per a mesurar angles. Aquest cilindre té una tapa també de vidre on hi ha dos forats. Un al centre, on s'hi encaixa un altre cilindre molt més prim i llarg (uns 30 cm), i un altre descentrat,

1. Gran part del mèrit de la seva conservació cal agrair-la al professor Santiago Vallmitjana.

on s'hi pot introduir una petita peça de fusta que aguanta una vareta metàl·lica vertical amb una esfera metàl·lica a cada extrem.² El cilindre prim conté un mecanisme a la part superior per a penjar-hi en el seu eix central un fil metàl·lic que sosté una vareta horitzontal, a l'alçada de la cinta pautaada, que té a un dels extrems una petita esfera, i un contrapès a l'altra. En l'estat ideal d'equilibri l'esfera que penja del fil i l'esfera fixa interior es trobarien al mateix lloc. Si estan carregades, se separaran fins fer oscil·lacions al voltant del punt d'equilibri entre la força de repulsió i la de torsió.

A un dels acabats de llautó hi podem llegir el nom del fabricant francès: Pixii Père et fils, successeurs de Dumotiez, de París. Aquest és un dels fabricants d'instruments científics més coneguts de mitjan segle XIX. En els seus catàlegs hi podem trobar una balança de Coulomb gran i una petita, com ara la de 1838.³ Com que Pixii es retirà al voltant de 1855 (Brenni, 2006: 15), sabem que la balança és anterior a aquest any.

La balança emprada per Coulomb (vegeu la fig. 3), tal com la descriu ell mateix (Coulomb, 1785) és més gran (en total fa uns 90 cm d'altura), i podem suposar que la que tenim a Barcelona és, doncs, petita. És pràcticament segur que es va adquirir en el marc del *Plan Pidal*, de 1845, quan el govern espanyol va proveir d'instruments els gabinets de física i química de les institucions d'ensenyament superior (Bertomeu Sánchez *et al.*, 2011). Cal emmarcar aquest esforç en una tendència general d'equipar les universitats i centres d'educació de material científic, tendència que comparteixen altres països europeus, ja que moltes de les col·leccions històriques actuals provenen d'aquesta època. El 28 d'octubre de 1846, es publicà la reial ordre que determinava que s'adquirissin instruments i aparells de física i química per a proveir les universitats. Pixii és un dels fabricants recomanats pel catàleg model que ofereixen per als instituts provincials de segona ensenyança, tot i que en el cas de la balança s'especifica un altre fabricant: Lerebours.⁴ L'adquisició es documenta el 1848, en la que seria la tretzena remesa d'instruments comprats.⁵ De manera que aquesta balança va formar part de les primeres compres de material per a la universitat un cop va tornar a Barcelona el 1837. Hem trobat també una donació de la Junta de Comerç de 1851 d'una altra balança de Coulomb, en aquest cas de sis peus (segurament, doncs, molt més gran que la que s'ha conservat) (Lusa Monforte, 2003). De moment, però, només hem pogut seguir el rastre d'una d'elles, que apareix en l'inventari del Gabinet de Física de la Facultat de Ciències, que el 1868 va signar el catedràtic de física Antoni Rave, com una balança de Coulomb «petita».

Hem mirat de trobar balances idèntiques a altres col·leccions a nivell nacional, sense èxit. No sempre és possible consultar els catàlegs en línia (en cas que n'hi hagi), per exemple, dels instituts de secundària a Espanya que disposen de materials anàlegs. Hem tingut més fortuna a nivell internacional, ja que hem trobat dues balances del mateix fabricant i model a dos instituts francesos: el Lycée Bertran de Born, de Perigús, i el Lycée Alain-Fournier, de Bordeus. D'altra banda, però, no és

2. Posteriorment vam descobrir que aquesta peça, segurament, no era la original, i que sí que ho era una altra que només disposa d'una esfera metàl·lica a la part inferior i un suport de fusta a la part superior. Vegeu la fig. 1.

3. *Catalogue des principaux instrumens de physique, chimie, optique, mathématiques et autres, a l'usage des sciences; qui se fabriquent chez Pixii Père et fils, successeurs de Dumotiez*. A Paris, Rue de Grenelle Saint-Germain, n° 18, 1838. Les balances es referencien a la pàgina 19.

4. *Colección legislativa de España (Continuación de la colección de decretos): Tercer Trimestre de 1846: Vol. XXXVIII* (1849). Imprenta Nacional, p. 354-355.

5. *Expediente sobre 13 remesas de máquinas, instrumentos de Física y Química (1847)*, Arxiu Històric de la Universitat de Barcelona, ES-CAT-UB-02-2944-7.

difícil trobar a la xarxa imatges d'instruments molt semblants en col·leccions diverses de França, Grècia o Itàlia. Gairebé sempre presenten algunes diferències, que podrien ser degudes a que el fabricant és diferent, però també conseqüència del pas del temps i les restauracions. De manera que malgrat no haver identificat gaires exemplars exactament iguals, podem dir que la balança elèctrica de torsió és un objecte habitual en les col·leccions d'instruments científics del segle XIX.



FIGURA 2. Balança de Coulomb de la Col·lecció d'Instruments Científics Històrics de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona.
FONT: Museu Virtual de la UB.

L'estudi de l'electricitat i la física experimental

L'emergència de la física experimental de precisió coincideix amb la demarcació de la física, durant la primera meitat del segle XIX. De fet, aquesta associació amb els experiments de precisió (juntament amb la matematització) va continuar un procés que s'havia iniciat el segle anterior. Durant la Il·lustració es venia emprant la paraula «física» en tractats sobre fenòmens naturals inanimats que incloïen la mecànica, però abastava també fenòmens elèctrics o tèrmics, entre d'altres. Els experiments van acompanyar aquestes primeres investigacions, però va ser al segle XIX quan van esdevenir precisos i sistemàtics. La física francesa es troba en el centre d'aquesta transformació, i la invenció de la balança elèctrica de torsió n'és testimoni i exponent representatiu.

Charles-Augustin Coulomb va ser un enginyer que des del 1761 pertanyia al *Corps du Génie*, i que el 1781 va ser nomenat membre de l'Acadèmia Francesa de les Ciències.⁶ Va guanyar diversos premis científics i va llegir nombroses memòries relacionades inicialment amb la seva posició (construcció de canals, estàtica, fricció...). El que ens interessa aquí és el treball que va fer sobre la torsió dels materials a la dècada de 1770. Va inventar la balança de torsió per mesurar forces molt petites, com la variació diürna del camp magnètic terrestre. Aquest va ser el tema d'un premi

6. Sobre Coulomb i el seu context podeu consultar Gillmor (1971).

convocat per l'Acadèmia i que Coulomb va guanyar el 1777, perquè el seu aparell permetia fer mesures impracticables amb altres mètodes. Aquest èxit probablement va tenir molt a veure amb la seva elecció com a acadèmic.

El 1785 va presentar la primera memòria de set sobre electricitat i magnetisme: «Construction et usage d'une balance électrique, fondée sur la propriété qu'ont les fils de métal, d'avoir une force de réaction de torsion proportionnelle à l'angle de torsion. Determination expérimentale de la loi suivant laquelle les elements des corps électrisés du même gener d'électricité, se repoussent mutuellement» (Coulomb, 1785). Notem que en el títol presenta la seva balança abans que la llei experimental de repulsió. Un podria pensar que va utilitzar el seu invent per a mesurar la força elèctrica, i va trobar així la fórmula newtoniana coneguda avui com la llei de Coulomb (r és la distància entre càrregues):

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Ara bé, com han posat de manifest diversos estudis historiogràfics, no està clar que aquesta descripció sigui la més plausible, atenent la informació disponible. Quan consultem la memòria en què va presentar el resultat de la seva recerca, observem que Coulomb només presenta tres dades que, a més, no sempre compleixen les condicions de fiabilitat que ell mateix proposa (per exemple, que la torsió del fil no pot excedir un cert angle per assegurar la linealitat de la força de torsió). Com comentarem més endavant, els intents de replicació d'aquest experiment evidencien que, com a mínim, la llei de proporció inversa del quadrat no és una deducció ostensible. Peter Heering, qui va fer els experiments a la Universitat de Oldenburg, i va encetar així un debat alhora prolífic i interessant entre els historiadors de la ciència, defensa inclús que les condicions de l'experiment fan gairebé impossible obtenir-la tal com Coulomb ho descriu (Heering, 1992).

És aquí on és útil acudir al context més general de la història de l'electricitat.⁷ A la segona meitat del segle XVII les forces elèctriques estaven en procés d'observació i exploració, sobretot després de la invenció de l'ampolla de Leyden a la dècada dels 1740. Aquest artefacte, que avui en dia diríem que és un condensador, va permetre fer experiències amb més control i de més magnitud. Cal tenir present que ni tan sols la natura de l'electricitat estava clara. Uns pensaven que era una mena de fluid que creava atmosferes elèctriques al voltant de cossos carregats; d'altres, que era un fluid, però que interaccionava a distància, com la gravitació newtoniana. A més, hi havia també defensors de forces de repulsió tipus newtonià, però també qui apostava per una llei del tipus Boyle-Mariotte:

$$F \sim \frac{1}{r}$$

Coulomb, per descomptat, era favorable a la visió newtoniana i va presentar els seus experiments com a prova d'aquesta concepció. No serà fins la segona memòria on tractarà la qüestió de la dependència de la força amb la càrrega.

Aquest context i la lectura atenta de la memòria suggereixen que l'ordre de prioritats de l'enginyer i científic podria ser invers al que s'acostuma a explicar: Coulomb se serveix de la llei de repulsió de tipus newtonià per presentar la seva troballa: una balança de precisió que permetrà fer

7. Sobre la història de l'electricitat en els seus inicis, vegeu Heilbron (1979).

estudis quantitius sistemàtics (Falconer, 2004). Aquesta versió encaixa una mica millor en la pròpia trajectòria de Coulomb, expert en mecànica i enginyeria de materials, però novell en el món de l'electricitat.

La rebuda a França va ser força bona. Allà s'estava produint el viratge cap a la nova física. A altres països l'acollida no va ser tan entusiasta, i inclús trobem il·lustres detractors com Alessandro Volta. A Alemanya, els intents de reproduir els seus experiments no van ser exitosos (Heering, 1994), i fins ben entrat el segle XIX la llei de Coulomb no va quedar establerta com a llei fonamental de l'electroestàtica, gràcies a refinaments experimentals i teòrics posteriors (com la teoria de Poisson del potencial elèctric o el teorema de Gauss). La rutilant física francesa del primer terç del segle va encimbellar Coulomb i el seu experiment com a pioners de la nova física. Va ser aleshores quan va esdevenir un símbol, en l'experiment que permetia fer palesa la llei newtoniana en esferes carregades. Segons Christine Blondel, però, les rèpliques que es van construir s'exposaven, però no es posaven en funcionament (Blondel i Dörries, 1994: 14-15).

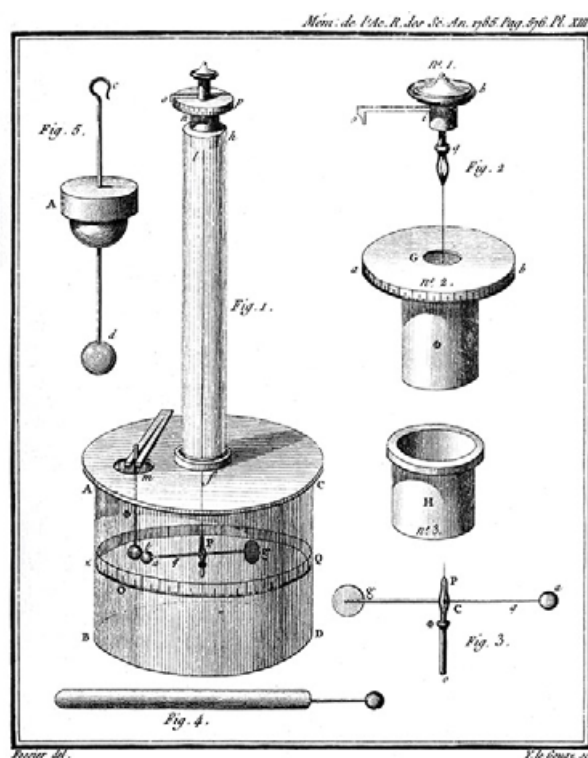


FIGURA 3. Gravats que apareix a la memòria de Coulomb (Coulomb, 1785).

FONT: Viquipèdia.

Replicació o restauració

Al programa del curs 1899-1900 del catedràtic de física de la Universitat de Barcelona Eduardo Lozano y Ponce de León hi trobem, a la secció dedicada a l'electricitat estàtica, lliçó 72 («Distribución y pérdida de la electricidad»), l'activitat: «Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas: Su demostración valiéndose de la balanza de Coulomb. Observaciones: fórmula» (Lozano y Ponce de León, 1899: 23). No queda clar si només es refereix a una demostració, però ens inclinem a pensar que, efectivament, la llei s'explicava a part, a la pissarra. La balança que s'hi

emprava ben bé podria ser la que actualment s'està a la vitrina. Si la nostra suposició fos certa, significaria que l'ús que se'n feia seguia la tradició francesa que s'havia instaurat a la primera meitat del segle XIX: mostrar qualitativament la llei fonamental de l'electroestàtica.

Amb aquesta dicotomia qualitatiu/quantitatiu ens vam topar quan vam escometre la tasca de restaurar la balança i mirar de replicar l'experiment original (García, 2023). Ja hem dit més amunt que les dimensions són més petites. Les esferes descrites per Coulomb eren de medul·la de saüc, iguals entre si i d'uns 8 mm de diàmetre. En l'aparell de la col·lecció l'esfera metàl·lica que es pot carregar des de fora del cilindre és més gran (uns 2 cm de diàmetre). Coulomb carregava les esferes servint-se d'un altre forat que hi havia a la tapa per on introduïa una pinça amb una bola carregada. A més, i com és lògic, se n'han perdut algunes parts originàries. La peça amb el contrapès i l'esfera carregada mòbil havia estat substituïda per una de decorativa inservible. Tampoc el fil era l'original. En canviar aquestes parts i seguir el procediment de Coulomb, de seguida vam comprovar que no seria trivial. El procés de càrrega (no explicat en la seva memòria) no permetia assolir efectes visibles o estables. Malgrat fer anar materials aïllants la càrrega no es mantenia, potser per la humitat. En posteriors arrencaments vam intentar eliminar aquesta humitat, i van millorar lleugerament els resultats. Inicialment, però, vam optar per fixar la nostra atenció en la torsió i fixar la càrrega amb un mètode aliè al de Coulomb: posar tot el muntatge a un cert potencial mitjançant una font de tensió, per assegurar així la constància de la quantitat de càrrega durant tot l'experiment. Una de les dificultats va ser trobar el punt d'equilibri, sense força elèctrica actuant, ja que es produïen oscil·lacions que trigaven molt a desaparèixer. Aquest problema és dels pocs que sí que comenta el propi Coulomb. Més endavant també vam afegir una gàbia de Faraday, en aquest cas seguint les recomanacions de Heering (per ell, la càrrega de l'experimentador és un dels aspectes que Coulomb no explicita i que el fan dubtar més de la credibilitat dels seus resultats); també així els resultats milloraven una mica. Però en cap cas vam obtenir una constatació evident de la llei newtoniana. En alguna sèrie de mesures vam obtenir exponents compatibles amb el quadrat, però no en d'altres.

Reflexions finals

La catalogació i restauració d'un instrument antic s'ha mostrat fructífera a diversos nivells. Els experiments que hem dut a terme amb la balança elèctrica ens han dut a distingir nítidament els aparells dissenyats per a mostrar un fenomen dels dissenyats per a mesurar-lo amb precisió (demostrar qualitativament versus replicar acuradament). També, dins de les nostres possibilitats, hem pogut comprovar la dificultat d'obtenir una confirmació robusta de la llei de Coulomb amb aquest muntatge (seguint a Heering, sensible però no precís). Tot això permet entendre des d'una nova perspectiva tant la memòria de Coulomb com els treballs historiogràfics que s'han fet sobre ella i el seu context, especialment pel que fa a la importància del coneixement tàcit, crucial al laboratori, i que sovint no forma part de les presentacions acadèmiques. Però també pel que fa a la importància dels prejudicis teòrics, que condicionen l'anàlisi i discussió de les dades obtingudes de manera empírica.

Referències bibliogràfiques

- BERTOMEU, José Ramón [et al.] (2011). «Los instrumentos científicos de los centros de enseñanza secundaria del siglo XIX en España». *Historia de la Educación*, 30, p. 167-193.
- BLONDEL, Christine; DÖRRIES, Matthias (1994). *Restating Coulomb*. Firenze: Leo S. Olschki.
- BRENNI, Paolo (2002). «La industria de precisión en el siglo XIX. Una panorámica de los instrumentos, los constructores y el mercado en diferentes contextos nacionales». A: BERTOMEU, José Ramón & GARCÍA BELMAR, Antonio (eds.). *Abriendo las cajas negras. Colección de instrumentos científicos de la Universitat de València*. València: Universitat de València, p. 53-17.
- (2006). «Dumotiez and Pixii: The transformation of French philosophical instruments». *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 59, p. 10-16.
- COULOMB, Charles A. (1785). «Premier mémoire sur l'électricité et le magnétisme». *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 569-577.
- FALCONER, Isobel (2004). «Charles Augustin Coulomb and the fundamental law of electrostatics». *Metrologia*, 41, p. 107-114.
- GARCÍA, Júlia (2023). «Replication of Coulomb's torsion balance experiment» [Treball de fi de grau]. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- GILLMOR, C. Stewart (1971). *Coulomb and the evolution of physics and engineering in eighteenth-century France*. Princeton: Princeton University Press.
- HEERING, Peter (1992). «On Coulomb's inverse square law». *American Journal of Physics*, 60, p. 988-994.
- HEERING, Peter (1994). «The replication of the torsion balance experiment. The inverse square law and its refutation by early 19th-century German physicists». A: BLONDEL, Christine; DÖRRIES, Matthias. *Restating Coulomb*. Firenze: Leo S. Olschki, p.47-66.
- HEILBRON, John (1979). «Electricity in the 16th and 17th century: a study of early modern physics». Berkeley: University of California Press.
- LOURENÇO, Marta C.; WILSON, Lydia (2013). «Scientific heritage: Reflections on its nature and new approaches to preservation». *Studies in History and Philosophy of Science*, 44, p. 744-753.
- LOZANO Y PONCE DE LEÓN, Eduardo (1899). *Programa de la asignatura Ampliación de la Física*. Barcelona: Hijos de Jaime Jepús impresores.
- LUSA MONFORTE, Guillermo (ed.) (2001). «La Escuela Industrial Barcelonesa. Inventario del material entregado por la Junta de Comercio al rector de la Universidad literaria de Barcelona el 9 de setiembre de 1851». *Documentos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona*, 11, p. 69-93.