

FÍSICA DE MUSEU: ÚS D'APARELLS CIENTÍFICS HISTÒRICS PER A L'ENSENYAMENT DE LA FÍSICA. EXEMPLES DE LA COL·LECCIÓ DE LA FACULTAT DE FÍSICA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

**ANTONIO MARZOA;^{1, 2} SANTIAGO VALLMITJANA;²
JOAN MANEL HERNÁNDEZ³**

¹ UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA;

² SENER AEROESPACIAL, S.A.

³ UNIVERSITAT DE BARCELONA

Resum: L'ensenyament de la física, com a ciència experimental, actualment es basa en tres punts fonamentals: la presentació dels continguts teòrics, la resolució de problemes i l'experimentació mitjançant practiques de laboratori o bé demostracions experimentals magistrals. Aquesta comunicació se centra en aquest tercer punt, posant de manifest el paper clau que poden jugar els instruments i aparells científics antics en les aules, tant per a l'ensenyament de la pròpia matèria en sí (en aquest cas, la física), com en l'estudi de la història de la ciència i del seu ensenyament, tot aprofitant el fet de que existeix en una ampla xarxa de col·leccions històriques d'aparells científics en facultats, instituts i escoles arreu del territori i de l'Estat, potencialment explotables com a eina docent. Agafant com exemple la Col·lecció d'Instruments Científics de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona (UB), que representa un testimoni material de l'ensenyament de la física experimental a la UB des de mitjans del segle XIX, es mostraran diferents exemples de potencials pràctiques i treballs d'estudiants amb instrumental històric, posant de manifest la utilitat docent de les col·leccions històriques, més enllà del punt de vista museològic.

Paraules clau: Instruments científics, instruments antics, col·leccions universitàries, física experimental, experiments didàctics.

Museum physics: use of historical scientific instruments in the teaching of physics. Examples from the collection of the Faculty of Physics of the University of Barcelona

Abstract: The teaching of Physics, as an Experimental Science, currently relies on three fundamental points: the presentation of the theoretical content, problem-solving sessions, and experimentation through laboratory practices or masterful experimental demonstrations. This communication focuses on this third aspect, highlighting the key role that ancient scientific instruments and apparatus potentially can play in classrooms, both for teaching the subject itself (in this case, Physics), and in the study of the History of Science and its instruction, taking advantage of the fact that there exists a wide network of historical collections of scientific instruments in Faculties, Institutes, and Schools across the country, which are potentially exploitable as a teaching tool. Taking as an example the Collection of Scientific Instruments of the Faculty of Physics of the University of Barcelona (UB), which represents a material testimony of the teaching of Experimental Physics at UB since the mid-19th century, different examples of potential practices and student work with historical instrumentation will be shown, highlighting the educational utility of historical collections, beyond the exhibitory point of view.

Keywords: Scientific instruments, antique instruments, university collections, experimental physics, didactic experiments.

La Col·lecció d'Instruments de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona

Les ciències experimentals fonamenten gran part de la seva base en els instruments científics, fet que els proporciona un paper fonamental com a eina per a l'estudi del saber i del coneixement humà. En l'àmbit de la història de la ciència, el continuat interès per part dels professionals (investigadors i historiadors) per les fonts materials de la ciència experimental ha motivat la preservació i l'estudi dels instruments científics, fins a arribar a la definició d'una especialitat i branca de treball concreta.

La Universitat de Barcelona (UB), com a institució acadèmica des del 1550, compta amb una llarga tradició educativa i en recerca, i el testimoni d'aquesta història queda reflectit en l'ampli ventall de material que ha sobreviscut fins a arribar als nostres dies, tant documental com instrumental (Bosch *et al.* 1998a, 1998b, Clemente *et al.*, 2008; Vallmitjana, 2010). El patrimoni instrumental científic de la UB avui dia es troba aglutinat en la Col·lecció d'Instruments Científics de la UB, emparada sota el seu Museu Virtual.¹ Aquesta col·lecció està constituïda per una gran diversitat i nombre d'aparells científics antics que son testimoni de l'evolució de la docència i de la recerca a la UB entre els segles XVIII i XX. Els elements de la Col·lecció es troben ubicats en les Facultats de Medicina i Ciències de la Salut, Psicologia, Farmàcia i Ciències de l'Alimentació, Biologia, Informació i Mitjans Audiovisuals, Física i Química. En el cas concret de la Facultat de Física de la UB, es té una important col·lecció de divers instrumental científic acumulat durant més de cent cinquanta anys d'història, que comprèn diversos camps de la física (Vallmitjana, 2011).

L'ensenyament de la física experimental a la Universitat de Barcelona

Com a conseqüència del trasllat de la UB a Cervera l'any 1714 pel decret de Felip V, no existeixen evidències documentals de l'ensenyament de la física experimental a la UB en els primers anys d'història d'aquesta institució (Bosch *et al.* 1998a; Vallmitjana, 2010). Com a reacció a aquest trasllat, apareixen diferents escoles amb ensenyaments de caràcter universitari a la Ciutat Comtal, tals com la Reial Acadèmia Militar de Matemàtiques (1720-1803), el Col·legi de Cirurgia de Barcelona (1760-1843) i la Junta de Comerç (1769-1851), en les quals consta que s'imparteix l'ensenyament

1. Museu Virtual de la Universitat de Barcelona <<https://museuvirtual.ub.edu/>> [Consultat el 14 d'abril de 2025]

de la matèria de física (Puig Pla, 2000). Aquesta particularitat, junt amb l'interès per la física experimental, i d'altres motivacions (Balari Jovany, 1985; Nieto Galan i Roca-Rosell, 2000), propicia la creació de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona el 1764 (inicialment amb el nom de Conferència Fisicomatemàtica Experimental), la qual serà una institució que es farà càrrec de l'ensenyament d'aquesta matèria en les següents dècades.

Seguint aquesta línia, l'any 1814, la Junta de Comerç crea l'Escola de Física Experimental (Puig Pla, 2000) i, finalment, l'any 1842 es restitueix la Universitat a Barcelona (Universitat de Barcelona, 1898: 161), on també es torna a impartir docència en l'àmbit de la física experimental. En particular, en els anuaris que ens lleven dels cursos acadèmics de la tercera i quarta part del segle XIX compten assignatures com «ampliació de física experimental», impartides en l'aleshores coneguda com a Facultat de Ciències Exactes, Físiques i Naturals. Concretament, aquesta assignatura fou impartida en el curs acadèmic 1887-1888 pel catedràtic Bartolomé Feliú Pérez (1843-1918) i, en el curs 1896-1897, pel professor Eduardo Lozano y Ponce de León (1844-1927). Ambdós professors van escriure llibres de física general en els quals es mostraven nombroses il·lustracions que han servit per a identificar i datar alguns dels elements de la Col·lecció.

Cal dir que el primer catedràtic de física experimental de la UB va ser Antoni Rave i Bergnes (1818-1883), el qual també va ser professor substitut temporal de Pere Vieta Gibert (1778-1856), primer catedràtic de física experimental el 1814 a l'Escola de Física de la Junta de Comerç (Puig Pla, 2000). Pere Vieta fa fer classes en la restaurada UB (que li va reconèixer la càtedra) entre els cursos 1844 a 1855, i Antoni Rave (que guanyà la càtedra el 1857) des del 1848 fins al 1886, i també va ser professor de l'assignatura creada «ampliació de física experimental» (Vallmitjana, 2010). Aquestes assignatures requerien del material instrumental pertinent per a la seva docència (Ausejo, 2007). En l'anuari del curs acadèmic 1897-1898 (Universitat de Barcelona, 1898: 163) es presenten les instal·lacions de la Facultat de Ciències i es dona una descripció detallada de l'aleshores conegut com a Gabinet de Física (Clemente *et al.*, 2008) i, d'aquesta mateixa època, existeix constància documental de l'adquisició de divers instrumental per a la docència de la física i de la química experimentals en els corresponents gabinets (concretament un llistat de l'any 1868 de 220 instruments per a física i 130 per a química), tot seguint les recomanacions del conegut pla Pidal (1845) (Ausejo, 2007) i de la llei Moyano (1857) (Sevilla, 2007; Montero, 2009).

La gestació de la Col·lecció d'Instruments Científics de la Facultat de Física: 1987-2009

Atès el continu desenvolupament científic al llarg dels anys, la instrumentació lligada a la recerca i a la docència de la Facultat de Física (nascuda com a tal l'any 1974) s'ha anat actualitzant al mateix ritme que la part més obsoleta s'ha anat eliminant a causa de les necessitats creixents de remodelació dels espais. Afortunadament, una petita part va quedar arraconada en magatzems. Inicialment els instruments que van sobreviure estaven acumulats sense cura en un magatzem de la Facultat, després d'haver sofert diversos trasllats, inclòs el pas de l'Edifici Històric a Pedralbes l'any 1969 (Clemente *et al.*, 2008).

En aquest context de falta d'espai i, a vegades, aplicabilitat de l'equipament obsolet, entre els anys 1987 i 1997 es va iniciar una recuperació d'una cinquantena d'instruments del segle anterior. Gràcies a aquesta primera etapa, l'any 1995 s'aconsegueix instal·lar cinc grans vitrines a la sala de juntes de la Facultat de Física, com a lloc d'exposició permanent de la recentment creada Col·lecció d'Instruments Científics de la Facultat de Física (d'ara endavant referida com a «Col·lecció» en el text). La concessió de tres projectes de recerca (PT2008-S0201, HAR2008-02580-E/HIST i CCT006-

06-00257) permeté una tasca d'inventariat i recuperació de fins a 200 instruments durant la primera dècada del segle XXI, ampliant també el nombre de vitrines disponibles a la Facultat per a l'exposició de la Col·lecció. Aquesta feina, junt amb la difusió del patrimoni recuperat, culmina amb la creació d'una base de dades i la publicació d'un primer catàleg (Vallmitjana, 2011) de la Col·lecció.

Estat actual de la Col·lecció

Durant la segona dècada del segle XXI s'ha continuat amb la tasca de recerca i recuperació de l'instrumental de la Facultat de Física, el qual comprèn un estès període entre finals del segle XIX i finals del segle XX. L'any 2021 s'adquireixen noves vitrines i el nombre d'instruments catalogats supera el mig miler. En aquesta nova etapa s'aprova una Comissió de la Col·lecció en Junta de Facultat a data de 28/06/2022 i s'inicia la primera exposició (vegeu la fig. 1), que s'inaugura el mateix any. Paral·lelament, es constitueix la Comissió Assessora del Patrimoni Cultural de la UB, a la qual la Col·lecció de la Facultat de Física s'incorpora el 2023, i en data de 16/02/2023 es fa la reunió de presentació del Reglament de Patrimoni Cultural.



FIGURA 1. Exposició actual al vestíbul de la Facultat de Física.

FONT: Elaboració pròpia.

Des de la gestació de la Col·lecció fins a l'època actual s'ha recuperat un total de 570 instruments i s'ha pogut explotar la Col·lecció com a eina educativa i de recerca històrica, amb la publicació de 8 articles científics, més de 60 comunicacions a congressos científics i 3 capítols de llibre, a més de tres projectes finals de carrera, diverses col·laboracions i cessions amb altres entitats, i 11 convenis de pràctiques d'empresa amb estudiants de la UB.

Activitats docents amb la Col·lecció

Com s'ha mostrat a partir de la producció acadèmica dels darrers anys al final de la secció anterior, a més del seu paper com a testimoni material de la història de la recerca i docència en ciències experimentals dutes a terme a la Facultat de Física, la Col·lecció d'Instruments Científics té la

intenció i funció de ser una eina de difusió del coneixement en l'àmbit de les ciències físiques. Amb aquesta intenció, en paral·lel a la preservació i ampliació de la Col·lecció, s'ha dut a terme una tasca constant d'explotació dels instruments en diferents activitats docents de la Facultat de Física. En aquesta secció detallem els treballs duts a terme en els diferents àmbits d'explotació de la Col·lecció

Pràctiques d'empresa

L'assignatura de pràctiques d'empresa és una assignatura optativa del Grau de Física de la UB de 6 crèdits ECTS. En el marc d'aquesta signatura s'han proposat i dut a terme diferents convenis amb estudiants que s'han encarregat de treballar en el manteniment de la catalogació. Les tasques dutes a terme pels estudiants consisteixen bàsicament en el manteniment i ampliació del catàleg i base de dades de la Col·lecció.

Les dues tasques principals han estat:

a) Revisió d'elements ja fitxats en la col·lecció. Els estudiants han complementat les dades de la fitxa de cada element, per exemple, tot identificant el fabricant o bé datant l'instrument a partir de la recerca en llibres on es descriu l'aparell o experiment en què aquest intervé (Ganot 1859; Feliu Pérez, 1922; Lozano y Ponce de León, 1898).

b) Introducció d'elements nous en la base de dades. Els estudiants han creat fitxes per a nous elements en el catàleg, tot identificant l'objecte, el nom i elaborant una descripció i fotografia, a més de dur a terme recerca de texts on es pot trobar la corresponent referència de l'instrument.

Aquesta activitat ha estat duta a terme en els darrers anys per diferents alumnes de la Facultat de Física, tal com es llista a continuació:

- I. Ricart (curs 2013-14); manteniment de la base de dades de la Col·lecció.
- A. Marzoa (cursos 2014-15 i 2015-16); manteniment de la base de dades i incorporació de nous elements.
- A. Buñuel (curs 2016-17); presa i neteja d'imatges d'elements ja fitxats.
- M. Martos (curs 2017-18); estudi dels diferents textos docents que es fan servir com a referència bibliogràfica.
- Molina (curs 2018-19); manteniment de la base de dades.
- A. Torres (curs 2020-21); ajuda en recerca bibliogràfica i datació.
- M. Vázquez (curs 2021-22); ajuda en recerca bibliogràfica i datació.
- L. Cardona (curs 2021-22); fotografia i digitalització de documentació.
- L. Parra (curs 2022-23); cerca bibliogràfica (tubs de descàrrega i de Crookes).
- S. Rodríguez (curs 2023-24); fotografia i valoració econòmica.
- P. Romà (curs 2023-24); ajuda en recerca bibliogràfica i datació.

En totes les edicions, l'activitat ha permès sensibilitzar els estudiants en la importància del manteniment de la Col·lecció i de la preservació del patrimoni material en ciència, a més de permetre una ampliació de la base de dades de la Col·lecció i del coneixement dels elements que la conformen.

Treball Final de Grau

El Treball Final de Grau (TFG) és una assignatura obligatòria del Grau de Física de la UB de 6 crèdits ECTS en què l'estudiant ha de desenvolupar durant un semestre un treball d'investigació (teòric, experimental o bé bibliogràfic) com a final de la seva formació acadèmica, que culmina en la redacció d'un article científic d'unes cinc pàgines i una defensa oral d'uns 15 minuts de durada. Fins a la data s'han dut a terme tres TFG (vegeu la taula 1).

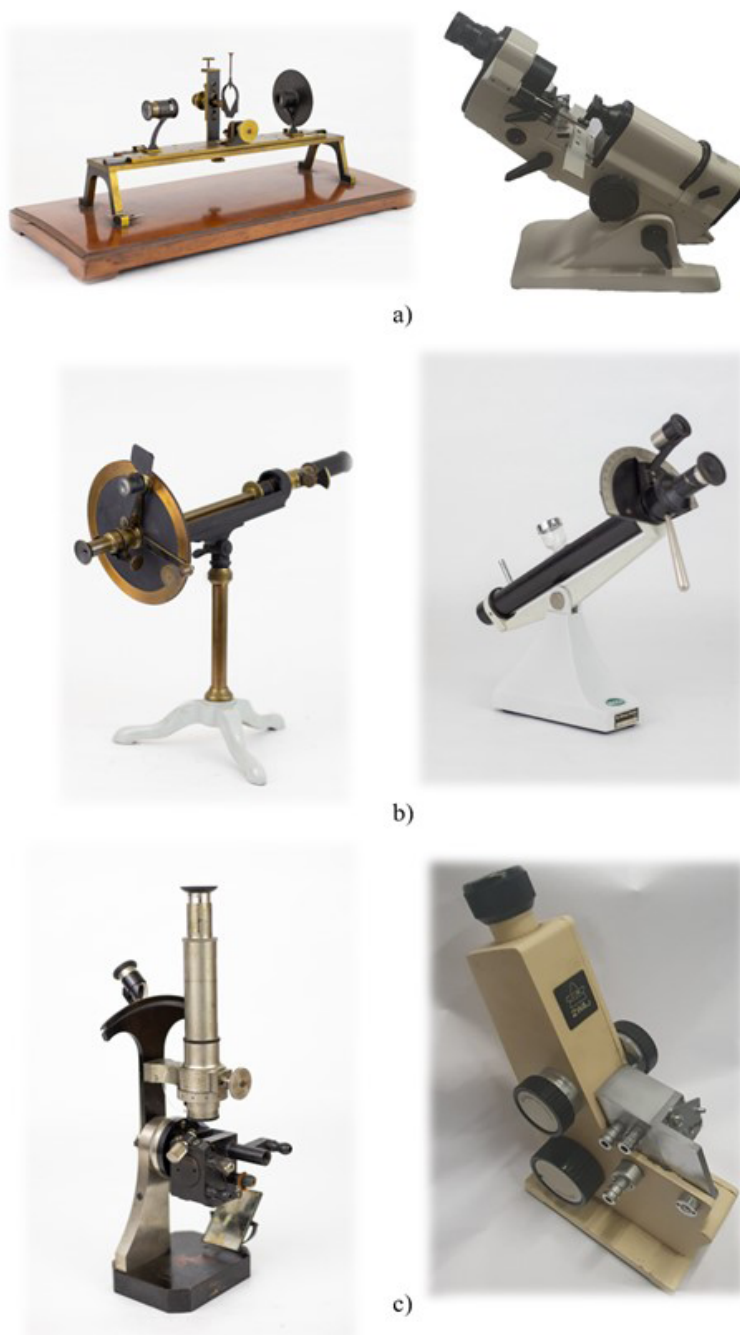


FIGURA 2. TFG Exemple comparatiu d'instruments òptics històrics amb la seva versió moderna en el marc d'un dels TFG duts a terme: a) frontofocòmetre (mesura de potències òptiques), b) polarímetre (mesura de concentracions de glucosa), i c) refractòmetre d'Abbe (mesura de l'índex de refracció de líquids i vidres plans).

FONT: Elaboració pròpia.

TAULA 1. TFG duts a terme fins a la data de publicació d'aquest treball, en els quals s'han emprat instruments històrics de la Col·lecció.

<i>Any de defensa</i>	<i>Estudiant</i>	<i>Títol del Treball</i>	<i>Director</i>
2020	Cristina Briones Rodríguez	Analysis and comparison of XIX and XX century spectroscopy	Prof. Santiago Vallmitjana Rico
2021	Alexandre Torres Alonso	Vintage Technology. Measurements with Antique instrumentation	Prof. Santiago Vallmitjana Rico
2023	Júlia García de la Torre	Replication of Coulomb's torsion balance experiment	Dr. Enric Pérez i Dr. Joan Manel Hernández

FONT: Elaboració pròpia.

Aquests tres treballs s'han basat en l'estudi d'instruments concrets de la Col·lecció. En particular, els dos primers s'han centrat en la comparativa d'instruments òptics pertanyents a la Col·lecció amb les seves versions modernes, les quals els estudiants ja havien pogut emprar en els laboratoris de grau durant la seva formació. En aquestes dues anàlisis els estudiants han tingut la oportunitat de realitzar les mateixes mesures amb aparells que estan fabricats amb gairebé 200 anys de diferència, podent comparar així la manera en què es realitzen les mesures en cada cas, les limitacions pràctiques i la resolució dels equips moderns i antics (la figura 2 mostra alguns exemples dels instruments analitzats en el marc d'aquests TFG). Aquest tipus d'estudi amb elements de la Col·lecció ja s'havia dut a terme des de la seva gènesi (Vallmitjana, 2008).

L'altre treball s'ha centrat en la restauració d'un aparell científic antic i en la recreació d'una experiència històrica en el laboratori de docència, tot emprant material de laboratori modern com a suport en l'experiment. L'estudi va permetre a l'estudiant avaluar les mesures històriques relacionades amb l'aparell que han estat tema de debat en diferents treballs d'història de la ciència.

Explotació de la Col·lecció en diferents assignatures de la Facultat de Física

A més de les activitats de recerca i manteniment dels elements de la Col·lecció dutes a terme per estudiants (essencialment la realització d'unes pràctiques per a cuidar i actualitzar la base de dades, i una recerca experimental en forma de tres TFG), en els darrers anys, s'ha vingut incorporant la Col·lecció com a recurs docent complementari en diferents assignatures de la Facultat de Física. D'aquesta manera, es pretén poder emprar els instruments com a eina educativa, ja sigui realitzant demostracions magistrals per part del professor a l'aula, o bé permetent als estudiants manipular els aparells històrics, de la mateixa manera que s'ha dut a terme en els TFG explicats anteriorment.

Un altre ús de la Col·lecció és a través de l'ús d'exposicions que es poden visitar, tant per part dels estudiants de la Facultat, com pel públic en general. D'aquesta manera, des de l'any 2022 es porten realitzant visites guiades a l'exposició actual de la Col·lecció (vegeu la fig. 1). Aquestes visites permeten contextualitzar alguns dels experiments i fenòmens comentats a les classes de teoria i, al mateix torn, ajuden a donar visibilitat de la Col·lecció dins de la mateixa Facultat.

La Taula 2 mostra un resum d'aquestes activitats complementàries dutes a terme amb elements de la Col·lecció en el marc de diferents assignatures impartides a la Facultat de Física (incloses les pràctiques d'empresa i el TFG, comentats prèviament).

TAULA 2. Exemples d'exploració dels elements de la Col·lecció en diferents assignatures impartides a la Facultat de Física.

<i>Assignatura</i>	<i>Professor responsable</i>	<i>Titulació</i>	<i>Caràcter de l'assignatura</i>	<i>Treball realitzat pels estudiants</i>
Història de la Física	Dr. Enric Pérez Canals	Grau de Física i Grau Doble de Física i Matemàtiques	Optativa de 3r curs	Estudi dels tubs de descàrrega de la Facultat de Física
Laboratori de Física Moderna	Dr. Joan Manel Hernández Ferràs Dr. Enric Pérez Canals	Grau de Física	Obligatòria de la menció en Física Fonamental i optativa per a Física Aplicada de 4t curs	S'empren els tubs de descàrrega i de raigs catòdics com a antecedents de l'experiment de J. J. Thompson de la mesura de la relació e/m (demostració per part del professor)
Fonament d'Electromagnetisme i Òptica	Dr. Pere Serra	Grau de Física, Grau d'Enginyeria Electrònica de Telecomunicacions i Grau Doble de Física i Matemàtiques	Obligatòria de 1r curs	Diverses visites al llarg del semestre segons es va avançant en el temari a l'exposició sobre la història de l'electromagnetisme
Pràctiques d'empresa	Dr. Joan Manel Hernández Ferràs	Grau de Física, Grau d'Enginyeria Electrònica de Telecomunicacions i Grau Doble de Física i Matemàtiques	Optativa de 3r i 4t curs	Col·laboració en els tasques de catalogació de la Col·lecció d'Instrumentes Científics de la Facultat de Física
Treball Final de Grau	Dr. Joan Manel Hernández Ferràs Dr. Enric Pérez Canals	Grau de Física	Obligatòria de 4t curs	Estudi de diferents instruments antics
Laboratori de Fotònica	Prof. Santiago Vallmitjana Rico Prof. Ignasi Juvels Prades	Màster en Fotònica	Obligatòria (pràctica actualment extingida)	Recreació de les observacions de Galileo Galilei mitjançant simulacions i la construcció de dos telescopis diferents. Comparativa d'un microscopi modern amb un d'antic utilitzant una càmera <i>lúcida</i> de la Col·lecció

FONT: Elaboració pròpia.

Reflexions sobre l'impacte de les activitats

L'experiència recollida en la secció anterior a través de diverses activitats dutes a terme amb estudiants i emprant la Col·lecció com a eina educativa posa de manifest les possibilitats que

ofereixen les col·leccions d'instruments científics, més enllà de l'exposició museològica.

En l'àmbit de l'ensenyament de les ciències experimentals, sovint es tendeix a intentar fer pràctiques demostratives minimitzant el material o emprant simulacions, bé per manca de recursos o bé per la fragilitat i delicadesa de l'instrumental necessari. Aquests recursos docents que, sens dubte, ofereixen molts avantatges i possibilitats educatives sovint eliminen el component experimental i de manipulació (el que en anglès s'anomena *hands-on experience*) de l'instrumental. A més a més, sovint els equipaments més moderns tendeixen a fer les mesures de forma automàtica, amb un processat mitjançant l'electrònica interna que converteix els aparells en «caixes negres» per a l'usuari. En canvi, els instruments antics sovint permeten poder analitzar amb més detall els principis físics en els quals es basa el seu funcionament, el que proporciona una altra dimensió en l'experiència d'una pràctica de laboratori. Aquest mateix punt d'interès ha estat posat de manifest també per altres autors; vegin per exemple (Jewett, 2015 i 2016).

D'altra banda, tal com també han exposat altres autors (Cascarosa-Salillas *et al.*, 2021; Greenslade, 2020), els instruments antics poden emprar-se com a eina didàctica a l'hora d'introduir conceptes i principis físics, el que permet tant mostrar-los com a peces de museu com tornar a donar-los el seu paper de, en molts casos, eines per a demostracions magistrals en què es recreen experiències mostrades en llibres antics (Greenslade i Owens, 1980) o experiments i observacions crucials en la història de la ciència (Marzoa i Vallmitjana, 2024).

Les activitats presentades en aquesta comunicació són perfectament extrapolables a altres contexts, àrees del coneixement i col·leccions. A l'Estat existeix un llarg ventall de col·leccions d'instruments científics antics, tant en l'àmbit d'educació secundària, com és el cas dels instituts històrics (JORNADA, 2011; Medina, 2020; Aragón *et al.*, 2007), o a nivell universitari (serveixen com a exemple la Col·lecció subjecte d'aquest treball (González i Baratas, 2007) o COMIC), fet que porta als autors d'aquesta comunicació a convidar a altres educadors i investigadors que tinguin contacte amb aquestes col·leccions a intentar reproduir, millorar i ampliar les experiències exposades en aquest treball, així com intentar preservar el patrimoni instrumental que puguin trobar els possibles lectors d'aquestes línies, tal com suggereixen altres autors (Birriel, 2021).

Per acabar, i enfocant-nos en l'estudi de la història de la ciència, és important comentar que les col·leccions científiques són una font primària important per als historiadors d'aquesta disciplina (García i Mayoni, 2013), i que conèixer també el funcionament i limitacions dels instruments científics en un determinat període històric permet avaluar també les limitacions del coneixement i els corrents de pensament en aquell moment (Marzoa i Vallmitjana, 2021a), ja que, com s'ha esmentat en aquest mateix treball, els instruments científics i les capacitats d'aquests constitueixen la base del coneixement de les ciències experimentals i són les eines que permeten «ampliar» els nostres cinc sentits per a explorar la natura. Pensem, per exemple, en el cas del descobriment dels anells de Saturn per part de Galileo Galilei (Marzoa, 2022; Marzoa i Vallmitjana, 2021b, 2024) o de les estructures cel·lulars per Robert Hooke. Sens dubte, aquests descobriments no haguessin estat possibles en el seu moment sense el desenvolupament tecnològic lligat als instruments científics que van emprar aquests científics. De fet, en el cas dels anells de Saturn, va ser necessari continuar amb observacions amb telescopis més refinats que els de Galileu per a concloure quina era la naturalesa d'aquestes estructures (Marzoa, 2022). I si se segueix amb l'exemple de l'astronomia, avui en dia les tecnologies com l'òptica adaptativa (Vallmitjana, 2009) ofereixen unes capacitats d'observació i resolució inimaginables per Galileu.

Aquests exemples posen de manifest el fort lligam entre la qualitat i limitacions dels instruments científics en cada moment de la història de la humanitat i la gestació d'hipòtesis, idees i teories científiques, que poden ser una eina molt interessant tant per a l'investigador d'història de la ciència i del pensament, com per a convidar a la reflexió a l'aula. Sovint l'aparell històric queda amagat sota una boira mística que l'experiència directa pot arribar a difuminar, permetent a l'estudiant (o a l'investigador) empatitzar amb el personatge històric o el moment de la història en què aquell instrument es va concebre i emprar per a la docència o per a la recerca científica.

En definitiva, el treball i la familiarització amb instruments històrics, més enllà de l'exposició purament museològica, permet a l'espectador ser alhora actor i poder comprendre i sensibilitzar-se amb la importància de la preservació d'aquestes col·leccions, un fet que n'ajudarà a la promoció i supervivència.

Referències bibliogràfiques

- ARAGÓN, Santiago [et al.] (2007). «Las colecciones científicas universitarias, un patrimonio en proceso de recuperación». *Revista de Museología*, 38, p. 72-80.
- AUSEJO, Elena (2007). «La enseñanza de las ciencias exactas, físicas y naturales y la emergencia del científico». *Técnica e Ingeniería en España V. El Ochocientos: Profesiones e Instituciones Civiles* [Saragossa: Institución Fernando el Católico (Diputación de Zaragoza)], 5, p. 507-550.
- BALARI I JOVANY, José (1985). *Historia de la Real Academia de Ciencias y Artes: Memoria inaugural del año académico de 1893 á 1894*. Barcelona: L'Avenç.
- BIRRIEL, Jennifer (2021). «A small historical equipment display». *The Physics Teacher*, 59, p. 732.
- BOSCH, Salvador; JUVELLS, Ignasi; VALLMITJANA, Santiago (1998a). «L'ensenyament de les ciències a la Universitat de Cervera». *Palestra Universitària* [Cervera: UNED], 10, p. 115-127.
- (1998b). «La Ciència i la Tècnica a Catalunya: La visió de la Física al segle XVIII». Catàleg de l'exposició «25 anys d'UNED a Cervera 1973/98». Cervera: UNED, p. 19-21.
- CASCAROSA-SALILLAS, Esther; POZUELO-MUÑOZ, Jorge; FERINGÁN, Beatriz (2020). «Old instruments in the physics and chemistry cabinet at Goya Secondary School. Analysis of their didactic use in teaching physics today». *Culture and Education*, 33 (3), p. 556-572.
- CLEMENTE, Carme; PÉREZ-BLANCO, Francisco José; VALLMITJANA, Santiago (2008). «La restauració d'instruments de Física de la Universitat de Barcelona». *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, 1, p. 35-44.
- COMIC (2008). *Els instruments científics. Un catàleg col·lectiu del patrimoni científic*. València: Universitat de València. <<https://instruments.uv.es/es>>.
- FELIU PÉREZ, Bartolomé (1922). *Curso de Física. Madrid: Imprenta hijos de Gómez Fuentenebro*. 12a ed.
- GANOT, Adolphe (1859). *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología*. 7a ed. Madrid: Librería de Carlos Bailly-Baillière.
- GARCÍA, Susana; MAYONI, María Gabriela (2013). «Las colecciones de enseñanza científica como fuentes para la Historia de la ciencia». *Revista Electrónica FuFuentes y Archivos*, 4 (4), p. 110-125.
- GREENSLADE, Thomas; OWENS, Aaron (1980). «Reconstructed nineteenth-century experiment with physical pendula». *American Journal of Physics*, 48 (6), p. 487.
- GREENSLADE, Thomas (2020). «Adventures with historical physics apparatus». *American Journal of Physics*, 88, p. 864-870.
- GONZÁLEZ, Antonio; BARATAS, Alfredo (2007). *Museos y colecciones histórico-científicas de las universidades madrileñas: El Patrimonio de Minerva*. Madrid: Oficina de Información Científica de Madrid. También disponible en línea a: <<https://www.madrimasd.org/sites/default/files/documents/museosdeciencia.pdf>>.
- JEWETT, John (2015). «Bringing (Century-Old) Technology into the Classroom, Part I: Teaching Mechanics and Thermodynamics with Antiques». *The Physics Teacher*, 53, p. 428-431.
- (2016). «Bringing (Century-Old) Technology into the Classroom, Part II: Teaching Vibrations and Waves, Electricity and Magnetism, and Optics with Antiques». *The Physics Teacher*, 54, p. 24-27.
- Jornada De Trabajo (2011): «Los institutos históricos: memoria y patrimonio». <<https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:9607ce2a-ebb8-4351-b043-b9a4d777f4e9/jornada-2011-institutos-historicos-pdf.pdf>>.
- LOZANO Y PONCE DE LEÓN, Eduardo. (1898). *Elementos de Física*. 6ª ed. Barcelona: Jaime Jepús y Roviralta.
- MARZOA, Antonio; VALLMITJANA, Santiago (2021). «Image quality analysis of an antique microscope objective with a Shack-Hartmann wavefront sensor: an experiment of educational interest». *Óptica Pura y Aplicada*, 54 (2), p. 1-18.
- MARZOA, Antonio; VALLMITJANA, Santiago (2021). «Understanding Resolution with Galileo's Telescopes». A: DANNER, Aaron; POULIN-GIRARD, Anne-Sophie; WONG, Nicholas (eds.). *Education and Training in Optics & Photonics Conference 2021*. OSA Technical Digest. Optica Publishing Group, 2021

MARZOA, Antonio (2022). «Galileo y las orejas de Saturno: la importancia de la resolución». *Astronomía*, 275 (30), p. 31-37.

MARZOA, Antonio; VALLMITJANA, Santiago (2024). «Dealing with telescopes magnification and resolution: recreating Galileo's observations in the lab». *Education and Training in Optical Instrumentation and Lens/Illumination Design* special issue of *Optical Engineering* [SPIE], 63 (7), 071412 (2024).

MEDINA, Francisco José (2020). *Las colecciones científicas de los institutos históricos de Andalucía: investigación y análisis de su museografía y los procesos de conservación y restauración*. Tesis doctoral. Sevilla: Universidad de Sevilla.

NIETO GALAN, Agustí; ROCA ROSELL, Antoni (coord.) (2000). *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVIII i XIX: història, ciència i societat*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

PUIG-PLA, Carles. (2007). «De la física experimental a la física industrial (1814-1851). Anàlisi d'una càtedra barcelonina». *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, 7, p. 119-172.

SEVILLA, Diego (2007). «La Ley Moyano y el desarrollo de la educación en España». Hespérides: *Anuario de investigaciones*, 40, p. 110-124.

MONTERO, Antonio (2009). «Una ley centenaria: la ley de instrucción pública (Ley Moyano, 1857)». *Revista Muesca*, 1, p. 105-127.

VALLMITJANA, Santiago (2008). «El refractòmetre d'Abbe, una eina important en la recerca i en la indústria. Estudi d'un exemplar de principis del segle XX». *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, 1 (1), p. 119-128.

— (2009). «25 anys d'òptica : què podem veure que no vèiem abans?», *Revista de Física*, 4 (7), p. 32-40.

— (2010). «L'Ensenyament de Física». A: *La Universitat de Barcelona. Libertas perfundet omnia luce. Història dels Ensenyaments (1450-2010)*. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona.

— (2022). *Instrumentos científicos. Catálogo de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona*. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona.