

LA LLANTERNA MÀGICA EN LA RECERCA. ALGUNS EXEMPLES DE LA FACULTAT DE FÍSICA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

Santiago Vallmitjana Rico

Laboratori d'Òptica. Departament de Física Aplicada i Òptica. Universitat de Barcelona.

Paraules clau: *llanterna màgica, projectors, instruments científics de projecció.*

The magic lantern in research. Some examples from the Faculty of Physics of the University of Barcelona.

Summary: The magic lantern has been widely considered as a projection instrument related to theatrical effects and exhibitions for amusement and accordingly as the technological origin of the motion picture. In this study the magic lantern is analyzed as a source of light for demonstration of scientific experiments in research and the university environment. As examples, three magic lanterns belonging to the Facultat de Física of the Universitat de Barcelona are described and analyzed.

Key words: *magic lantern, projectors, scientific instruments for projection.*

1. Introducció

La llanterna màgica ha estat àmpliament considerada com un instrument de projecció relacionat amb el divertiment i esbarjo del públic i consegüentment com un sistema tecnològic precursor del cinema. Aquest fet ha motivat que la majoria d'estudis s'han realitzat des d'una perspectiva lligada al concepte d'espectacle.

L'evolució de la llanterna està lligada a les millores tècniques de les tres parts de què consta: una font de llum, un condensador i un objectiu, tot acoblat en un xassís. La demanda progressiva d'augment de llum en les sales de projecció va comportar una sèrie d'evolucions tecnològiques, que, paral·lelament, també es van anar afegint a altres àmbits amb aplicacions més científiques, com ara en la microscòpia, en estudis òptics com la polarització i doble refracció o, simplement, com a element complementari d'ensenyament d'experiències de càtedra.

En la primera part d'aquest treball, s'analitza la tecnologia de la projecció d'imatges i la successiva aparició dels elements que fan evolucionar i millorar els aparells. En la segona part, es descriuen i s'estudien les característiques tècniques de tres sistemes de projec-

ció datats entre finals del segle XIX i principis del XX, i que pertanyen a la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona.

2. L'evolució tecnològica de la llanterna màgica

2.1. *Els inicis*

Algunes descripcions de l'art de projectar comencen amb les ombres xineses (Mannoni, 2000); malgrat això, cal considerar la projecció en el sentit de formació d'imatge mitjançant una lent. Encara que algunes fonts atribueixen l'aparició de la llanterna màgica a Giovanni Battista della Porta el 1589, una gran majoria accepta que la paternitat de l'invent és del jesuïta alemany Athanasius Kircher el 1646, que escriu *Ars magna lucis et umbrae*, publicat més tard a Amsterdam el 1671. També apareixen referències el 1686 a *Oculus artificialis teledioptricus*, de Johannes Zahn, publicat a Nuremberg el 1702 (Muñoz Box, 2003). Cal tenir present que Christian Huygens també fa referències a la projecció de transparències el 1659 (Mannoni, 2000).

Pel que fa al nom, hi ha un clar suggeriment d'estar lligat a les condicions de foscor, necessàries en les sales de projecció, que van propiciar, en el món de l'espectacle, l'aparició d'efectes teatrals. Sembla que Thomas Walgensten va ser el primer a utilitzar el nom de *lanterna magica* el 1665 (Auckland). Cal considerar que l'adaptació del concepte de projectar és cap al 1870; abans, projectar només tenia l'accepció matemàtica i geomètrica. Per exemple, en un diccionari de la primera meitat del segle XIX (Francoeur, 1828), a «llanterna màgica» descriu els elements que «transporten la imatge», i en un manual de física (Rodríguez, 1858) s'afirma que «serveix per a presentar una imatge d'un objecte sobre un pla exterior, molt amplificada».

2.2. *Millors en els mètodes de projecció*

Durant el segle XVIII esdevé molt popular la projecció de figures misterioses, dimonis, etc., retallades en cartró o dibuixades i pintades sobre un vidre, figures que els *llanternistes* mostraven de poble en poble. L'afecció a aquest ambient màgic va motivar el desenvolupament d'un projector amb rodes i amb un mecanisme de variació de l'enfocament que en permetia el desplaçament; d'aquesta manera era possible augmentar la imatge allunyant el projector de la pantalla o disminuir-la en acostar-lo, de manera que apareixien les *fantasmagories*. L'invent de l'aparell, conegut com a *fantascopi*, s'atribueix a E. G. Robertson el 1798 (Guillemin, 1883). Es millora posteriorment, en projectar per l'altra banda de la pantalla i afegir un sistema d'enfocament, segons el moviment de les rodes. L'efecte global es completava amb la decoració de la sala, música i altres efectes sonors.

Un altre efecte molt apreciat i freqüent era el de la dissolució d'imatges, que permetia la transició suau entre dues imatges. Consistia en dues llanternes que projectaven llum sobre la mateixa pantalla, dotades d'un mecanisme que permetia enfosquir a poc a poc, bé limitant la llum amb un diafragma variable, bé amb un vidre de transparència variable, o de manera més simple, modificant l'alimentació de la font de llum, tancant l'aixeta de gas o li-

mitant el corrent elèctric. Hi havia un altre tipus de fantasmagories de teatre, en les quals l'actor se situava en la fosa de l'orquestra i, a través de la seva imatge reflectida en un gran vidre frontal en part de l'escenari, donava la superposició del fantasma. Manipulant la il·luminació de l'actor, es feia l'efecte d'aparició i desaparició. La figura 1 mostra un fantascopi amb dissolució d'imatge.

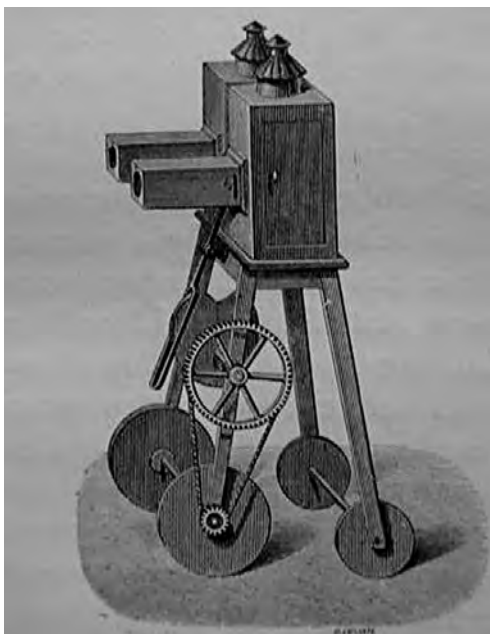


Figura 1. Fantascopi (font: Guillemin, 1883).

La invenció del daguerreotip el 1837 i les plaques positivades van ampliar l'abast del tipus d'imatges i va fer possible la projecció d'imatges més realistes i també la possibilitat de projectar paisatges i tota mena d'informació. Així comença una nova època, en la qual la llanterna màgica deixa de ser un element d'espectacle i divertiment i passa a ser un autèntic mitjà de comunicació. També es comença a combinar el moviment de part de la placa mitjançant palanques o manetes, i es fan tires de diverses vinyetes o fotogrames, clars precursors del cinema, que apareix el 1895.

2.3. Millors en la font de llum

La popularitat de les sessions va motivar un augment de la capacitat de les sales de projecció, cosa que implicava una demanda progressiva per augmentar la lluminositat de les llanternes. Les fonts de llum inicials eren espelmes i làmpades d'oli i petroli, i per tal d'evacuar els fums i gasos calents de la combustió, s'hi afegeix la xemeneia característica. En alguns casos es millora la concentració afegint-hi un mirall esfèric i una lent condensadora.

El 1784, el suís Aimé Argand millora la combustió mitjançant una xemeneia de vidre sobre un anell amb orificis, que rodeja la flama. Vers final del 1790 apareixen les primeres làmpades de gas, que s'apliquen a les llanternes de projecció, i al voltant del 1800 s'incorpora la llum d'arc entre carbons. També s'afegeixen les combustions de gasos que donen més llum, com el cas de l'anomenada *llum Drummond*, consistent en combustió oxiàcida amb calç (*lime-light*) vers el 1816 (Greenacre, 1999). Les làmpades de filament apareixeran més tard, vers el 1880.

Pel que fa a una descripció més quantitativa, cal examinar els valors fotomètrics. Les làmpades d'oli mineral o petroli emeten entre 50 a 90 cd (candelas). Les de gas depenen del tipus i de les mescles. Concretament, les d'oxigen amb alcohol fan 100 cd, d'oxigen amb altres gasos, 300 cd i es pot arribar a mescles de gasos que irradien 900 cd. En el cas de les làmpades elèctriques d'arc, les que treballaven en voltatges de 35 V (entre 3 a 6 A) oferien entre 50 i 100 cd (Wright, 1892).

Els diversos tipus de fonts de llum augmenten la complexitat dels aparells. Per exemple, s'afegeixen dispositius per fer gasos, emmagatzemar-los i després fer-los cremar. O bé cargols per ajustar els carbons en les làmpades d'arc, en què variant la disposició d'un dels carbons (vertical fins a cert angle) i la distància relativa, s'aconseguia més eficiència en la llum. També es van dissenyar reguladors en què en disminuir la intensitat elèctrica a mesura que es gastaven els carbons, un electroimant actuava sobre un mecanisme de rellotgeria accionat amb corda i tornava a apropar els carbons. En els casos de gran concentració de calor, es posava un petit recipient de vidre amb alum (sulfat d'alumini i potassi), que actuava de filtre anticalòric, i preservava les transparències (Ganot, 1890).

En alguns casos, aprofitant la potent llum solar, es projectava una imatge d'un objecte exterior (que s'havia de col·locar invertit) dins de la sala enfosquida, mitjançant l'objectiu en un forat a la paret: això constituïa el *megascope* (Gillemin, 1883). El llibre de física de Bonet Bonfill (Bonet, 1871) defineix el megascope com una «modificació de la linterna màgica para ver un objeto de bulto fuertemente iluminado por rayos luminosos solares, formándose la imagen en una habitación oscura». És interessant afegir que aquest catedràtic d'institut i acadèmic de la Reial Acadèmia de Ciències de Barcelona es va presentar a unes oposicions una mica controvertides d'una càtedra de física experimental el 1846 (Puig-Pla, 2000).

Amb les fonts més potents era important poder concentrar la llum en distàncies curtes. Un pas important en l'eficiència dels condensadors de llum s'aconsegueix gràcies a les lents de Fresnel, que permeten grans obertures en distàncies curtes, i aconsegueixen un gran flux lluminós per unitat d'angle sòlid. El disseny es basa en el fraccionament de zones esfèriques sobre un mateix pla. El seu ús també va ser molt important per a la navegació en ser incorporats en tots els fars.

3. La llanterna com a eina didàctica i de recerca

3.1. *Evolució tècnica en microscòpia*

Com que en microscòpia és necessari concentrar gran quantitat de llum sobre la mostra, les fonts de llum d'oli, que servien per a l'observació directa, eren insuficients per projectar. El desig de voler projectar directament les imatges ampliadades d'un microscopi va

conduir a intentar fusionar aquest aparell i la llanterna màgica. Així apareix a meitat del segle XVIII el *microscopi solar* (figura 2) (Guillemin, 1883), que ve de la conjunció del megascopi i el microscopi. Es feia entrar la llum del Sol en el recinte d'observació mitjançant uns miralls i un condensador, que la concentraven sobre la mostra i, seguidament, l'objectiu la projectava. Com que la direcció del Sol varia, per tal d'assegurar l'entrada de la llum, es va inventar l'heliòstat, que consisteix en un mirall que, amb un mecanisme de rellotgeria, gira sobre un eix paral·lel a l'orientació de l'eix de la Terra, amb la mateixa velocitat angular i amb sentit oposat. D'aquesta manera enviava la llum sobre el condensador de manera constant al llarg del temps.

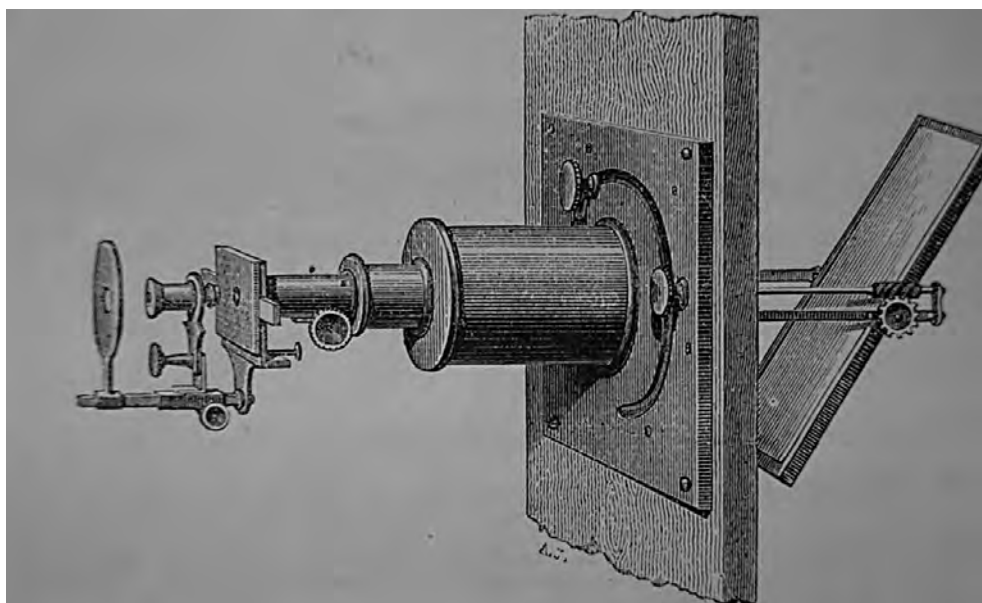


Figura 2. Microscopi solar.

La incorporació de l'arc voltaic en la llanterna també s'aplica a la projecció de les mostres biològiques: apareix l'anomenat *microscopi fotoelèctric* atribuït a Foucault i Donne (Ganot, 1890), i que reproduïx la figura 3. De la mateixa manera, com que les fonts a base de combustions de gasos donen més llum, apareixen instruments de projecció amb cremadors de gasos, com el *microscopi oxhídric*. Finalment, la progressiva millora de les bombetes elèctriques d'incandescència fa que també s'afegeixin com a font de llum. A títol d'exemple, S. Ramón y Cajal descriu mètodes d'il·luminació, (Ramón y Cajal, 1931) i recomana la làmpada de Nernst, que com que tenia un filament de reduïdes dimensions, aconseguia una major concentració lumínica.

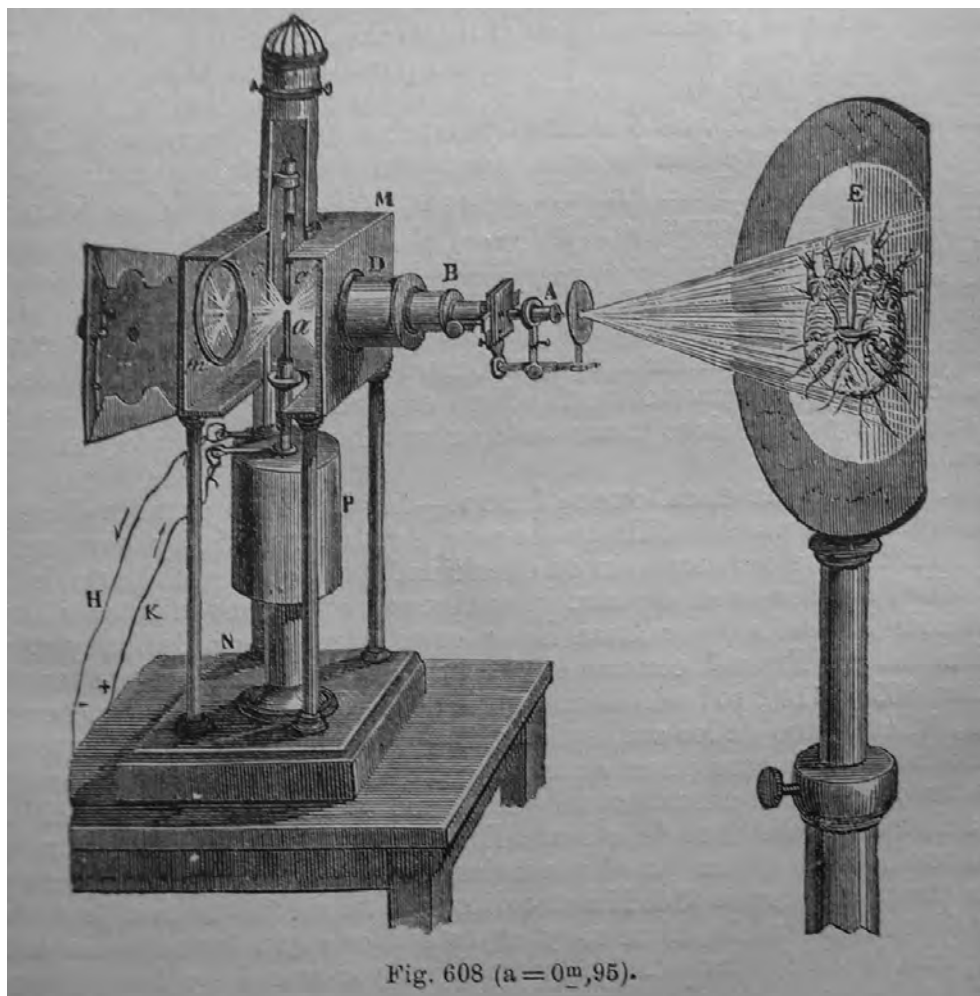


Figura 3. Microscopi fotoelèctric.

3.2. *Projeccions amb finalitats didàctiques o científiques*

L'aparició de la fotografia va permetre mostrar al gran públic les curiositats geogràfiques, de manera que van aparèixer els reportatges de viatges i també les fotografies de la natura, que s'utilitzarien en l'educació de la història natural i de les ciències. Com a exemple, la Royal Polytechnic Institution de Londres, fundada el 1839 i que va tancar el 1876, va ser famosa perquè disposava d'un dels més espectaculars llocs amb projeccions divulgadores de ciències i arts (Auckland). Tenia una pantalla d'uns vuit metres i simultàniament arribaven a funcionar fins a sis projectors, amb funcions de dissolució d'imatges, a més de tenir una fosa amb una orquestra. També es poden trobar tractats de l'època específics per a demostracions didàctiques, com, per exemple, els de Wright del 1891 i el 1892.

El fabricant de projectors Molteni cita textualment en un catàleg («Catalogue», 1901) que fabrica «aparells pràctics per a l'ensenyament de les ciències a través de projeccions lluminoses». Els recomana per a l'ensenyament primari i secundari i afegeix que n'ha estat subministrador a la Sorbona, el Conservatoire des Arts et Métiers, el Muséum National d'Histoire Naturelle, els liceus i les escoles de l'Estat, i també anuncia que ha produït més de seixanta mil clixés.

El constant desig de voler incorporar moviment fa que es fabriquin unes plaques amb una part fixa i una variable (normalment amb moviment de revolució), accionada amb una maneta. Això permetia veure, per exemple, un molí amb les pales en moviment o bé la simulació del moviment de planetes girant al voltant del Sol.

3.3. Aparells específics per a experiències de càtedra

A mesura que les llanternes màgiques eren més eficients i s'explotava el potencial educatiu, alguns fabricants van més enllà de projectar simples transparències en dissenyar llanternes per poder mostrar experiments científics (Greenacre, 1999). Això ho aconseguien separant la part del condensador de la de l'objectiu, cosa que permetia la col·locació del material, i, per exemple, es podia veure en projecció la descomposició de l'aigua per hidròlisi.

Un bon exemple és la casa Dubosq («Catalogue», 1901), que fabrica el *microscopi fotoelèctric*, que apareix descrit en el llibre de física experimental de Ganot (Ganot, 1890) en un gravat en el qual es veu la projecció de l'àcar de la sarna, tal com es reproduïx a la figura 3. També fabrica la *llanterna fotogènica per a projeccions* (figura 4), aparell que sembla que té la mateixa base i que és descrit per Feliu (Feliu, 1922) de la manera següent: «Años hace figura en nuestros gabinetes la linterna de proyección ideada en 1850 por Dubosq (fig. 381) y construida hoy con gran riqueza de útiles accesorios por su sucesor, el ingeniero Pellin». A més d'una detallada explicació de l'aparell, afegeix els diversos tipus de font de llum que s'hi poden acoblar, tan oxhídrica com arc voltaic. També comenta accessoris, com ara una lent lateral per poder mostrar una altra projecció simultània i paral·lela, o bé un accessori amb dos miralls a 45° per poder col·locar horitzontalment objectes transparents i per fer experiments sobre polarització i doble refracció (birefringència).

Altres descripcions de la mateixa llanterna es poden trobar en el llibre de física de Lozano (Lozano, 1898), en què comenta una experiència de càtedra per projectar les desviacions de l'agulla d'un galvanòmetre mentre una estreta pila termoelèctrica examina les zones de l'espectre de la sal gemma dispersat per un prisma, tal com es veu a la figura 5.

4. Tres llanternes de projecció de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona

És important remarcar que dos dels tres aparells han sofert modificacions, per adaptar-los a altres finalitats o simplement per incorporar noves fonts de llum i accessoris, un fet que malauradament és freqüent en els aparells dels centres de recerca.

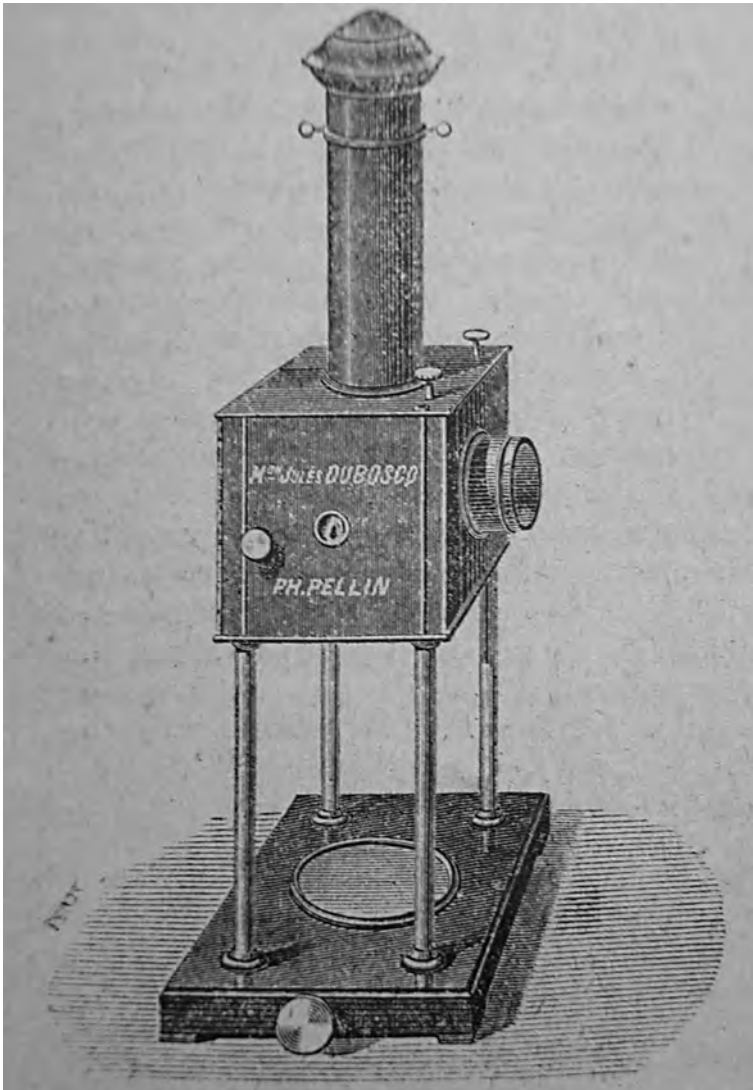


Figura 4. Llanterna Dubosq.

4.1. Llanterna de projecció Dubosq

Conserva la forma original, però té la càmera de combustió ampliada. Està suportada per quatre columnes de llautó (figura 6), i de dimensions fa $88 \times 25 \times 30$ cm. Consta d'un revòlver de diaframes per controlar la quantitat de llum transmesa. La base és mòbil per tal d'ajustar la font de llum, originalment de gasos (oxhídrica), que ha estat modificada per adaptar-se a l'arc voltaic, fet que també es pot veure en un catàleg («Catalogue», 1901). La

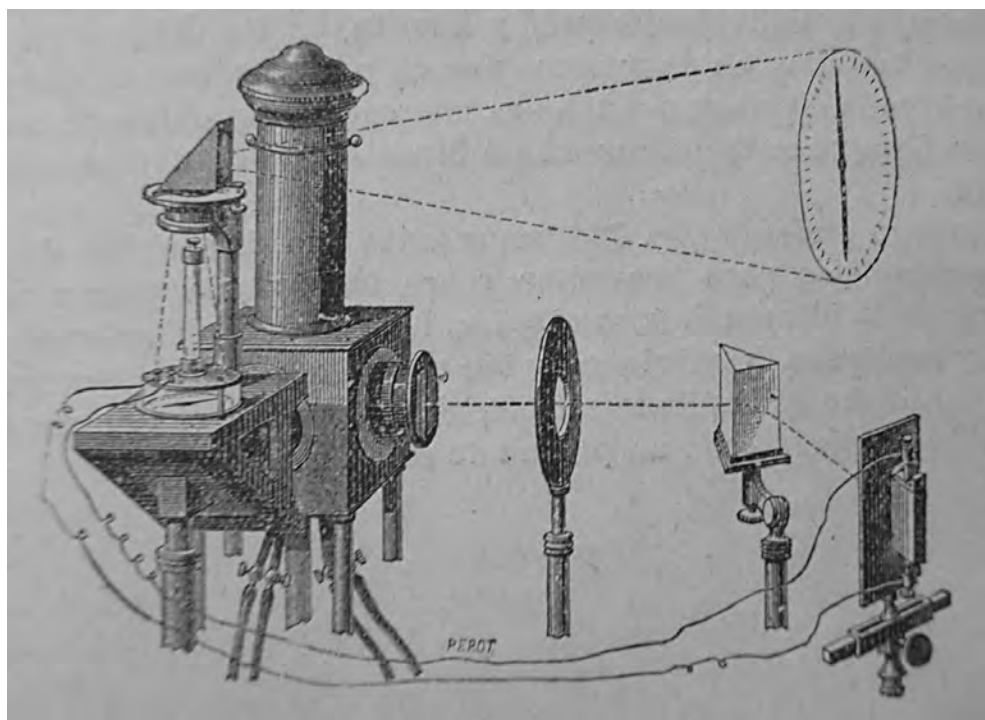


Figura 5. Projectió d'un galvanòmetre.

modificació consisteix en una ampliació de la caixa de combustió per tal de donar cabuda a un sistema de carbons per arc voltaic, amb ajustaments micromètrics en tres direccions, tal com es veu a la figura 7. La forma, el material i l'estriat dels cargols fa pensar que es tracta de material de la mateixa casa Dubosq, que aniria incorporant als models fabricats més tard. Tal com s'ha descrit a l'apartat anterior, més que un projector, és un aparell amb font de llum i condensador per adaptar sobre una zona concreta o experiment per ésser projectat després.

Pel que fa a la datació, la firma Dubosq (successor del fabricant d'instruments Soleil, des del 1819 fins al 1849) va fabricar instruments científics entre el 1850 i el 1883. Durant els tres anys següents, firmaven conjuntament Dubosq i Pellin els aparells i, finalment, el successor Pellin va estendre la fabricació fins a la primera dècada del segle xx. Com s'ha vist, és citat pels catedràtics de la Facultat de Ciències de la Universitat de Barcelona Feliu i Lozano en els seus llibres de text (Feliu, 1922; Lozano, 1898), amb algunes il·lustracions anàlogues a les del llibre de Ganot (Ganot, 1890).

Bartolomé Feliu Pérez va guanyar, el 1879, la «Cátedra de Fluidos Imponderables» de la Facultat de Ciències de la Universitat de Barcelona. Va impartir aquesta assignatura i, més tard, «Ampliación de física experimental», fins al 1899, any en què marxa a la Universitat de Saragossa. Eduardo Lozano y Ponce de León guanyà la «Cátedra de Física Superior» de la Facultat de Ciències de Barcelona el 1884, i impartí aquesta assignatura fins al 1898; també ensenyà «Ampliación de física experimental» i marxà a Madrid el 1901. És fàcil pensar que

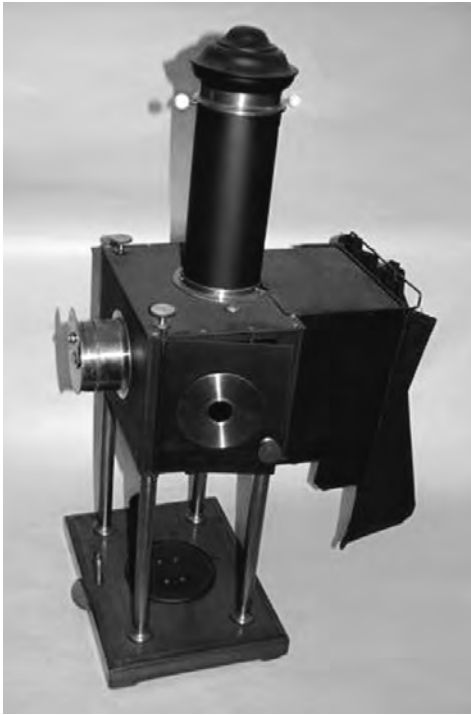


Figura 6. Llanterna de Dubosq.

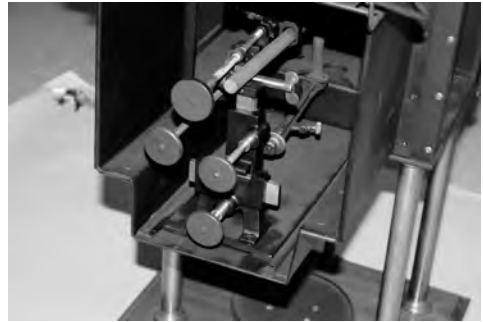


Figura 7. Detall de la regulació dels carbons.

ambdós catedràtics devien fer servir la llanterna en les seves experiències de càtedra. Cal afegir que el llibre de Bonet (Bonet, 1871), que és anterior, no la cita. Per tant, la datació es pot fixar als voltants de l'any 1875, ampliant els límits d'error, per l'època del fabricant, uns vint anys abans i uns deu després.

4.2. Llanterna de projecció adaptada d'una càmera DeMaria-Lapierre Paris

En la cara anterior és visible la marca esmentada. Té forma de paral·lelepípede de dimensions $51 \times 62 \times 25$ cm, amb una part frontal de fusta de caoba i una part extensible per manxa d'acordió, com es veu a la figura 8. La càmera de llum és de metall, està pintada de color negre, no té la font lluminosa, presenta una xemeneia i té portes laterals per a manipulació. S'hi troba a faltar l'objectiu, que anava roscat en l'anell frontal de llautó de 57 mm de diàmetre.

La part del suport de transparències és de fusta i prové del portaplaques original, que, a través d'unes guies verticals, permeten l'entrada. L'esmentat suport és original, porta el logotip amb la *L* i la *M* característiques de la marca i té forma quadrada de 26,5 cm de costat. La part corresponent a la placa mesura $17,8 \times 12,7$ cm i conté un segon marc de fusta que fa d'adaptador per a una placa de vidre de $8,8 \times 11,9$ cm, format més recent (9×12 nominal).

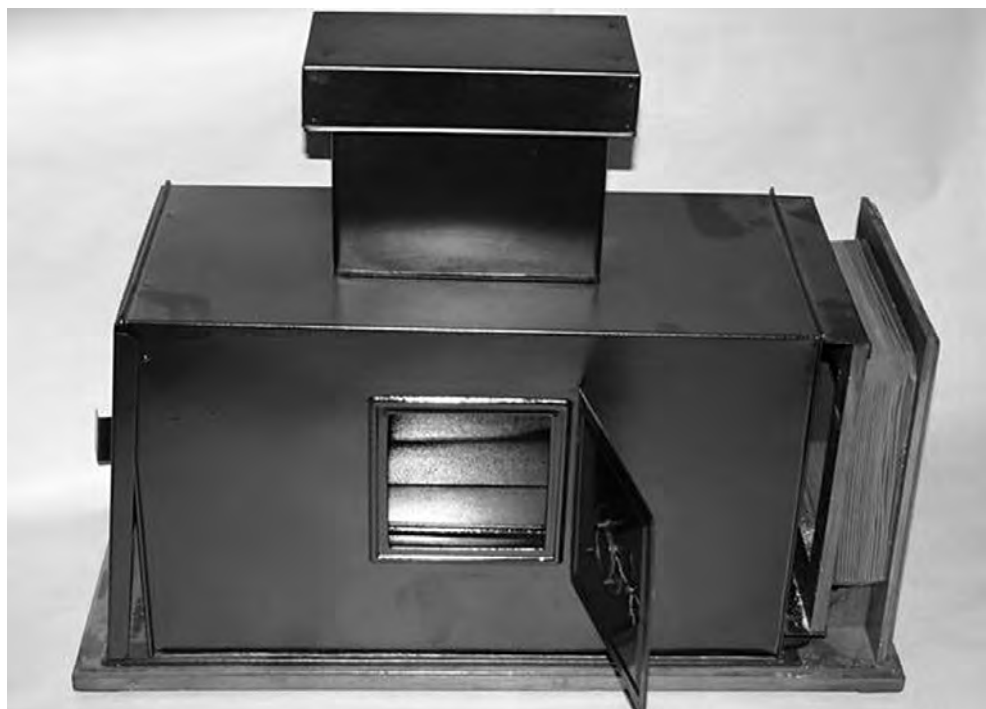


Figura 8. Llanterna DeMaria-Lapierre

Considerant que aquesta firma va començar fent aparells fotogràfics el 1848 i si observem el sistema d'acordió, això fa pensar que la llanterna és el resultat d'un híbrid entre una càmera fotogràfica marca DeMaria-Lapierre, de meitat del segle XIX o posterior, de fusta amb acordió de tela i cartró, amb l'adaptació del portaplaques a portatransparències, i l'addició de la part de la font de llum metàl·lica d'una llanterna més moderna. Per la forma de la xemeneia es podria tractar de les restes d'una llanterna del fabricant Salleron (figura 9), o bé d'una còpia d'aquest fabricant.

Per datar l'aparell cal tenir present que DeMaria-Lapierre Paris va existir entre el 1848 i el 1908 i que Jules Salleron (1829-1897) va fundar la firma el 1855. De totes maneres, pel format adaptat de les plaques (de 9×12 cm), es pot sospitar que va fer servei bastant temps, fins als anys cinquanta del segle XX, ja que la placa fotogràfica trobada a l'aparell és una foto del Sol amb la data i l'hora, 11 de novembre de 1951 a les 12 hores i 30 minuts, gravats en tinta.

4.3. Llanterna de projecció sense marca

Fotografiada a la figura 10, es tracta clarament d'una hibridació. Només porta la inscripció «Breveté S.G.D.G patent» en la part de darrere. Les sigles «S.G.D.G.» (que apa-

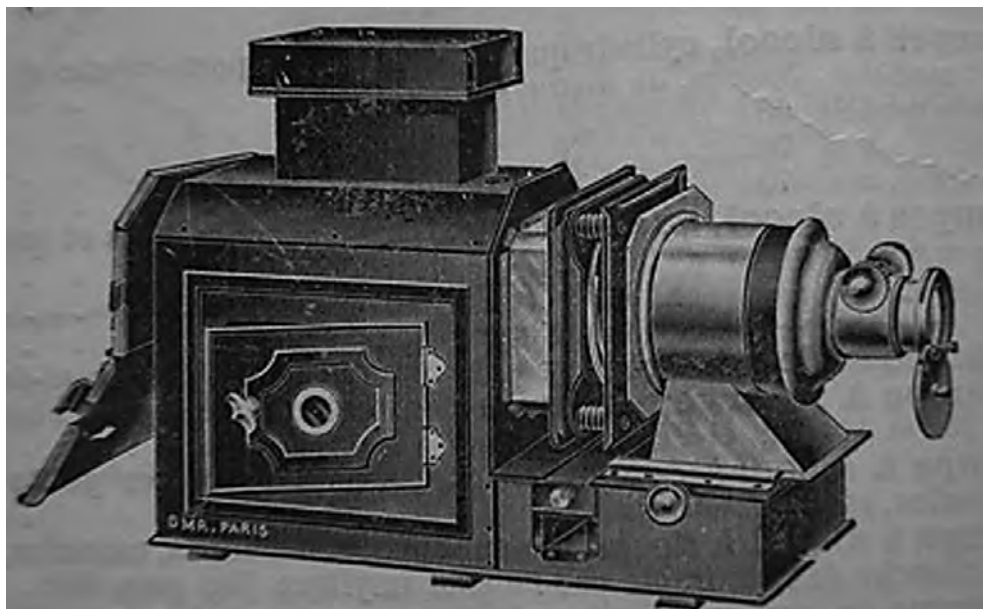


Figura 9. Llanterna Salleron.



Figura 10. Llanterna sense marca.



Figura 11. Font de llum.

rentment volen dir 'sans garantie du gouvernement') reflecteixen que el xassís provenia d'un aparell de marca no reconeguda o de poca qualitat. També li manca l'objectiu, que anava roscat, amb una rosca de 56 mm de diàmetre. Dins de la capsa de la font de llum, que no té xemeneia o bé ha estat suprimida, es veu afegida una làmpada elèctrica amb una bombeta de grans dimensions, amb la marca «Mazda nº 29 b». La rosca és més grossa que les actuals, de 4 cm de diàmetre. La base metàl·lica mesura 42 × 18 cm i està afegida a una base de fusta de 50 × 34 cm, amb un mecanisme d'elevació i una gran resistència, que feia de divisor de tensió, per tal de rebaixar-la a un voltatge menor (probablement a 30 volts). El portatransparències, de fusta, ja presenta la innovació de tenir la capacitat per a dues transparències, cosa que permet canviar-ne una mentre l'altra es projecta. Les dimensions de les plaques de vidre són de 75 × 95 mm.

La cambra de llum metàl·lica podria ser de principis del segle XX, copiada d'alguna llanterna tipus Radiguet, amb l'afegit elèctric dels voltants del 1930, tot muntat sobre una base de fusta per contenir també la resistència esmentada.

Bibliografia

- AUCKLAND, G., *A History of Lantern Magic. Part two. The Fathers of the Lantern* [en línia]. <<http://www.magiclantern.org.uk/history2.htm>> [Data de consulta: 18 novembre 2004]
- BONET BONFILL, F. (1871), *Compendio de elementos de física y nociones de química inorgánica*, 2a ed., Barcelona, Imprenta del Diario de Barcelona.

- «Catalogue publié par le syndicat des constructeurs en instruments d'Optique et de précision» (1901), *L'Industrie Française des Instruments de Précision*, París, Alain Brieux [1980]. [Reproducció facsímil del catàleg de 1901-1902]
- FELIU PÉREZ, B. (1922), *Curso de física*, 12a ed., Madrid, Imprenta Hijos de Gómez Fuentenebro. [3a ed. el 1886, i una edició anterior a Viuda e Hijo de Eusebio Aguado, el 1878]
- FRANCOEUR, L. B. (1828), *Dictionnaire Technologique ou Nouveau Dictionnaire Universel des Arts et Métiers*, París, Librairie Thomine.
- GANOT, A. (1890), *Tratado elemental de física experimental y aplicada y de meteorología*, Madrid, Librería de Carlos Bailly-Baillièrre. [1a ed. francesa el 1851]
- GREENACRE, D. (1999), *Magic lanterns* (àlbum 169), Buckinghamshire, Shire Publications.
- GUILLEMIN, A. (1883), *El mundo físico*, Barcelona, Montaner y Simón.
- LOZANO, E. (1898), *Elementos de física*, 6a ed. [de Jaime Jepús y Roviralta], Barcelona. [3a ed. el 1893]
- MANNONI, L. (2000), *The Great Art of Light and Shadow: Archaeology of the Cinema*, Exeter, University of Exeter Press.
- MUÑOZ BOX, F. (2003), «La cámara oscura en dos autores del siglo XVII», *Actas de la VII Reunión Nacional de Óptica*, Santander, p. 413-416. [ISBN 84-8102-347-7]
- PUIG-PLA, C. (2000), «De la física experimental a la física industrial (1814-1851). Anàlisi d'una càtedra barcelonina», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. iv, p. 119-172.
- RAMÓN Y CAJAL, S.; TELLO MUÑOZ, J. F. (1931), *Elementos de histología normal y de técnica microgràfica*, Madrid, Tipografía Artística. [1a ed. el 1884, València, Librería de Pascual Aguilar]
- RODRIGUEZ, E. (1858), *Manual de física general y aplicada a la agricultura y a la industria*, Madrid, Imprenta de Eusebio Aguado.
- WRIGHT, L. (1891), *Optical Projection: A Treatise on the Use of the Lantern in Exhibitions and Scientific Demonstrations*, Londres, Longmans and Co.
- (1892), *Light: a Course of Experimental Optics, Chiefly with the Lantern*, Londres, Macmillan and Co.