

LOS INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS DE LOS CENTROS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA EN ESPAÑA: historia, estado actual y futuro del patrimonio científico educativo

José Ramón Bertomeu Sánchez¹

Mar Cuenca Lorente²

Antonio García Belmar³

Josep Simon Castel⁴

A

unque algunas universidades españolas tuvieron su origen en la Baja Edad Media, el modelo universitario contemporáneo fue construido a mediados del siglo XIX. También con numerosos precedentes anteriores, la enseñanza secundaria moderna fue creada en esas mismas fechas. En ambos casos, las instituciones docentes fueron dotadas de instrumentos científicos cuyo número aumentó a lo largo del siglo hasta la

¹ Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia "López Piñero" (Universidad de Valencia-CSIC). Coordinador del proyecto COMIC: disponible en: www.instrumentscientifics.com, licenciado en química y doctor en historia de la ciencia (Universidad de Valencia). Actualmente es profesor del IHMC "López Piñero". Sus investigaciones se centran en el análisis de los libros de texto de química en el siglo XIX, la obra del toxicólogo Mateu Orfila (1787-1853) y los estudios sobre la cultura material de la ciencia (siglos XIX-XX):

² Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia "López Piñero" (Universidad de Valencia-CSIC), licenciada en farmacia (Universidad de Valencia). Actualmente cursa el doctorado en "Historia de la ciencia" de esta universidad y dispone de un contrato predoctoral CSIC-BANCAIXA en el IHMC "López Piñero". Sus líneas de investigación se centran en la toxicología en España durante el siglo XIX y en el estudio de las colecciones de instrumentos científicos.

³ Universidad de Alicante, es licenciado en química y doctor en historia de la ciencia (Universidad de Valencia). Actualmente es profesor de historia de la ciencia en la Unviersidad de Alicante y sus investigaciones se centran en la historia de las prácticas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales en los siglos XVIII y XIX.

⁴ Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia "López Piñero" (Universidad de Valencia-CSIC), licenciado en física y ha desarrollado su formación de postgrado en las universidades de Valencia, Oxford y Leeds, y es doctor en historia de la ciencia por ésta última. Su trabajo combina la historia de la ciencia con la historia de la educación, la historia del libro y los estudios sobre instrumentos científicos. En la actualidad está desarrollando proyectos de trabajo como investigador en la Dibner Library, la Library of Congress (Washington, D.C.) y como Marie Curie Fellow en la Université Paris-10.

formación de las ricas colecciones que incluían muchas piezas realizadas por fabricantes de fama internacional o por incipientes industrias locales de precisión. Estos instrumentos fueron el origen de las actuales colecciones patrimoniales que se han conservado hasta la fecha. Solamente en los últimos años se han realizado acciones para su catalogación y conservación.

El objetivo de este trabajo consiste en ofrecer una revisión de la historia de los centros de enseñanza secundaria y sus colecciones, desde sus orígenes hasta su situación actual. Reconstruiremos la creación de sus colecciones, los principales promotores y usuarios, así como los usos para las que fueron inicialmente empleadas y las razones que condujeron a su progresivo abandono con la llegada de nuevos métodos pedagógicos. En la segunda parte, analizaremos su estado actual y revisaremos los principales proyectos que se han realizado para su transformación en patrimonio educativo. Finalmente, concluiremos con una presentación general del proyecto COMIC (Comissió d'Instruments Científics) y las propuestas que hemos realizado para transformar las colecciones en fuentes materiales para los estudios históricos, en piezas de museo con notable valor patrimonial y en herramientas didácticas para la enseñanza de las ciencias.⁵

LOS GABINETES DE FÍSICA Y LOS LABORATORIOS DE QUÍMICA DE LA ILUSTRACIÓN

Como hemos señalado, las colecciones históricas de instrumentos actualmente existentes en los centros de enseñanza secundaria y en las universidades españolas proceden principalmente de las compras iniciadas a mediados del siglo XIX, durante los años de consolidación del nuevo modelo educativo introducido por las reformas legislativas de 1845 y 1857. No obstante, algunos centros disponen de instrumentos más antiguos que proceden de épocas anteriores o de donaciones. Por ejemplo, algunas de las facultades de medicina más antiguas, como la de Salamanca, guardan objetos relacionados con la enseñanza de la anatomía durante la época moderna. Son casos excepcionales. También lo son los objetos que han sobrevivido de instituciones anteriores al siglo XIX, tales como colegios de cirugía o de farmacia, laboratorios de química, gabinetes de curiosidades, academias de ciencias, conservatorios de artes o seminarios de nobles.

⁵ Este trabajo forma parte del proyecto de investigación HUM2006-07206-C03-02 y el proyecto PT2008-S0201 de l Institut d'Estudis Catalans que ha permitido la creación de la página <http://www.instrumentscientifics.com>.

La principal colección educativa anterior al siglo XIX que se conserva perteneció a los Reales Estudios de San Isidro de Madrid. Creada en el último tercio del siglo XVIII, esta institución heredó los instrumentos del antiguo Colegio Imperial y contó con un taller propio de fabricación de instrumentos que dirigieron los hermanos Rostriga. Un inventario de 1771 indica que el centro disponía ya de cerca de un centenar de piezas de astronomía y navegación, geodesia y física. En los años siguientes, los profesores de física experimental Fernández Solano y González de la Vega se encargaron de ampliar los recursos del gabinete, restaurando aparatos e introduciendo nuevos aparatos relacionados con la mecánica (máquina de Atwood), calorimetría, termometría, electricidad (Celedonio Rodríguez construyó una máquina eléctrica), magnetismo, acústica, pneumática (eudiómetros y otros aparatos para el estudio de los gases), etc., hasta llegar a reunir más de doscientas piezas a principios del siglo XIX, de las cuales alrededor de ochenta se han conservado hasta la actualidad (GUIJARRO, 2002). Las guerras napoleónicas y la restauración borbónica, que devolvió el control del centro a los jesuitas, supusieron el fin de la política de compras y restauración de piezas. Por suerte, cuando el centro se transformó en uno de los nuevos institutos de secundaria establecidos en la década de 1840, los profesores de física y química fueron conscientes del valor de las piezas y elaboraron inventarios y estudios que permitieron su conservación. En 1837, el profesor Venancio González Valledor escribió un informe donde señalaba que, durante los dos últimos años, había conseguido restaurar, con la ayuda de un maestro relojero, un gran número de "instrumentos de gran mérito y utilidad" que se encontraban "en un deplorable abandono" (SANTISTEBAN, 1875, p.127-128) En los años siguientes se reanudaron las compras y las donaciones, especialmente durante los años 1845 y 1848, cuando el gobierno realizó una política de compra de instrumentos que analizaremos en el próximo apartado.

Algunas universidades y academias del siglo XVIII crearon también gabinetes de física y laboratorios de química pero sus instrumentos tuvieron peor suerte que los pertenecientes a los Reales Estudios de San Isidro. En Barcelona, donde la Universidad había sido eliminada tras la guerra de sucesión de principios del siglo XVIII, otras instituciones como el Colegio de Cirugía, la Real Academia de Ciencias y las cátedras de náutica, de física experimental y de química de la Junta de Comercio ofrecían cursos que dieron lugar a la formación de ricas colecciones de instrumentos que, lamentablemente, no se han conservado hasta la actualidad. Los pocos instrumentos que se han conservado se encuentran en la Academia de Ciencias. Esta institución adquirió una gran cantidad de instrumentos de física experimental, una

parte de los cuales fueron construidos por artesanos locales tales como torneros, vidrieros y constructores de máquinas de todo tipo. Estos artesanos, en colaboración con profesores de mecánica y física experimental, no sólo se encargaron de la conservación y la reparación de los instrumentos de la Academia. También fabricaron instrumentos como máquinas neumáticas, microscopios solares, poleas, etc. que fueron apreciados por sus contemporáneos. La Academia también acumuló instrumentos procedentes de otros centros educativos y adquirió colecciones particulares para enriquecer su gabinete de física experimental. En 1816, compró a la viuda Antoni Cibat, antiguo catedrático de física experimental del Colegio de Cirugía de Barcelona, diversos aparatos para el estudio de la electricidad como una máquina de disco para producción de corrientes por rozamiento, botellas de Leyden y baterías eléctricas, aislante, esferas y conductores, etc. Lamentablemente no se han conservado la mayor parte de las ricas colecciones que debieron reunir los centros mencionados.⁶

Peor suerte tuvieron incluso otras colecciones de instrumentos formadas durante el último tercio del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Solamente podemos reconstruirlas a través de la documentación de archivo que se conserva. De este modo, por ejemplo, podemos conocer las características de la colección de instrumentos de física experimental y de química que adquirió la Universidad de Valencia a finales del siglo XVIII, transformándose así en pionera en España en ofrecer enseñanzas relacionadas con estas materias mediante demostraciones experimentales. Su origen se sitúa en el nuevo *Plan de estudios* de la Universidad de Valencia publicado en 1787, que preveía la creación de un aula de física experimental y mecánica y un laboratorio de química. Ambas estaban destinadas a los estudiantes de la universidad, aunque también se dejaba abierta la posibilidad de asistencia a otras personas interesadas en estas enseñanzas, como efectivamente ocurrió.

El Plan indicaba que, además de las lecciones teóricas de "Estática, Dinámica, Hidrostática, Hidrodinámica, Óptica, Catóptrica, Dióptrica, Perspectiva", el catedrático encargado del curso debía dedicar una segunda hora a "explicar las máquinas" y a realizar los "experimentos convenientes para dar a conocer las propiedades de los cuerpos sólidos y fluidos, especialmente del aire, del agua, del fuego y de la luz". Para la organización del gabinete de física y la ejecución de las demostraciones, el Plan Blasco preveía también la dotación de una plaza de "Maquinista", entre cuyas obligaciones se encontraba la de "mantener limpias y en buen estado las máquinas y

⁶ V. Puig (2001). Sobre la colección actual de la Academia de Ciencias, v. Carles Puig (2004). Más datos en Carles Puig (2007), especialmente 175-276, donde describe los maquinistas de la Academia de Ciencias de Barcelona. Sobre la Academia de Ciencia de Barcelona, v. Nieto-Roca (2000).

manejarlas a la orden de los Catedráticos de Mecánica y Astronomía", por lo que se debía elegir a una persona "notoriamente hábil en la composición y manejo de las máquinas". Tales capacidades debieron ser las que los responsables de la universidad vieron en José Pérez, un artesano valenciano que había construido un Globo Celeste para la Universidad, en 1787, un año antes de lograr su puesto junto al entonces catedrático de física Pedro Morata y Meliá (1760-1803).⁷

José Pérez fue el responsable de la construcción de las máquinas que desde los primeros momentos permitieron realizar con cierta asiduidad las lecciones prácticas de física y mecánica. A él se deben, entre otros, una de las primeras bombas neumáticas y campanas con las que se realizaron las experiencias de vacío, o la máquina eléctrica con la que se llegaron a realizar experiencias médicas. Pérez se basó en los diseños que podían encontrarse en los principales tratados de física experimental, escritos por el abate Nollet (1700-1770), Pieter van Musschembroek (1692-1761) o William Jacob Gravesande (1688-1742). El gabinete incrementó de forma considerable sus fondos gracias a la adquisición de dos colecciones privadas, entre las que destaca la de Antonio Castellví, conde de Carlet, que la Universidad compró a su muerte. Poco después de la incorporación de Antonio Galiana (1762-1840) al frente de la cátedra se renovaron las instalaciones del aula, dotándola de estantes y armarios donde colocar la colección a la vista de los alumnos.⁸

Como ocurrió con la colección de los Reales Estudios de San Isidro, los instrumentos del gabinete de física de la Universidad de Valencia sufrieron las vicisitudes del agitado primer tercio del siglo XIX en España. Parte del material se perdió en los bombardeos del edificio de la Universidad durante la invasión de las tropas napoleónicas. La colección debió mantenerse en estado aletargado hasta los años cuarenta, cuando se crearon las nuevas facultades de filosofía, donde se impartían estudios preparatorios a otras carreras, incluyendo algunas materias científicas. Debieron realizarse numerosas adquisiciones de instrumentos porque, entre 1846 y 1847, el catedrático de astronomía, Ramón Teruel, realizó un inventario donde aparecen algo más de un centenar de piezas del gabinete de física, perfectamente descritas y agrupadas en secciones temáticas, lo que nos permite conocer sus principales características. En la lista podemos encontrar algunos de los instrumentos didácticos más representativos de los gabinetes de física de la época.⁹

⁷ *Plan de Estudios aprobado por S. M. Y mandado observar en la Universidad de Valencia*, Valencia: Imp. de Benito Monfort, 1787.

⁸ Más detalles en Ten (1983), que ofrece una lista de los instrumentos fabricados en esos años.

⁹ Los instrumentos de "mecánica" estaban encabezados por una máquina de Atwood "para demostrar las leyes de la gravedad" y otra "de las fuerzas centrales", acompañada de "cuatro aparatos destinados a manifestar las leyes de las fuerzas centrípeta y centrífuga". Entre los trece objetos de hidráulica se encontraba un modelo de bomba doble para apagar incendios, varios densímetros, balanzas hidrostáticas y analíticas, y un grupo de tubos y recipientes para demostrar la presión y resistencia de los líquidos. Una

Este arsenal didáctico ayudó también de forma decisiva a consolidar un modelo de enseñanza que basado en cursos magistrales acompañados de demostraciones experimentales. En ellos, las lecciones dictadas por los profesores eran ilustradas con la descripción de experiencias ejecutadas e instrumentos ejecutados por el propio profesor o, habitualmente, por sus ayudantes y preparadores. A los alumnos quedaba reservada únicamente la posibilidad de observar las experiencias mostradas frente a ellos¹⁰. El documento elaborado por Teruel para la Universidad de Valencia ofrece numerosas pistas sobre estas prácticas didácticas. Muchos aparatos tenían como objetivo principal la demostración ante los alumnos de un determinado fenómeno físico, la descripción de una propiedad de los cuerpos o la confirmación de una ley física. Por ejemplo, en la enseñanza de la hidrostática el "aparato del Haldat" servía "para probar que la presión de los líquidos es siempre como la base multiplicada por la altura". Para la enseñanza de la acústica, las dos flautas cúbicas del órgano se empleaban para "demostrar que el número de vibraciones está en razón inversa de sus dimensiones homólogas" y las cuatro flautas rectangulares servían "para demostrar que el sonido es siempre igual cuando el producto de la altura por la profundidad es el mismo". De este modo, en muchas ocasiones, las dos actividades atribuidas en el Plan del rector Blasco a los cursos de física, "explicar las máquinas" y "dar a conocer las propiedades de los cuerpos", aparecen reducidas a un solo acto: la máquina representa al fenómeno físico y la descripción de su funcionamiento es la demostración del fenómeno en cuestión.¹¹

Como hemos señalado anterior, el plan de la Universidad de Valencia también preveía la creación de un laboratorio de química para la formación de los estudiantes de medicina, aunque señalando clases especialmente dirigidas a artesanos.¹² Esta situación no fue particular de la Universidad de Valencia sino que se produjo en

gran máquina neumática de dos cuerpos era el núcleo de la decena larga de objetos de neumática, entre los que figuraban varias bombas de un solo cuerpo con sus correspondientes accesorios, así como dos "fuentes de compresión" y una selección de accesorios para demostrar las propiedades físicas del aire y del vacío. Seguían a continuación las cuatro secciones correspondientes a los fluidos imponderables: calor, luz, electricidad y magnetismo. La gran máquina eléctrica era el núcleo de la colección de objetos de electricidad, formada por unos veinte accesorios, entre los que destacaban las pilas de Volta, electróforos y electroscopios. Para el estudio de la "acústica" se contaba con un "órgano de madera" sobre el que se intercambiaban toda una colección de flautas, tubos, membranas, láminas y varillas que permitían demostrar los fenómenos de producción y propagación del sonido. Varias esferas terrestres y celestes, un higrómetro de Saussure y un grafómetro formaban la sección de meteorología y la geografía con la que se cerraba el inventario. Más detalles en Simon et al. (2005).

¹⁰ Sobre la demostración experimental, véase Sutton (1995), el volumen especial "Science Lecturing in the 18th century", *British Journal for the History of Science* (n.28, v.1, 1995) o los trabajos de Pumfrey (1995), Morton (1990); Mertens (1998); Hankins, (1999), I. Ikster (1980), Etc. Ejemplos de estos instrumentos se pueden encontrar en las colecciones descritas por Clerck (1997), Pyenson (2002) y Morton (1993).

¹¹ V. Simon et al (2005).

¹² El plan estipulaba que "El catedrático de química tendrá lectura en el laboratorio químico. Por la mañana ocupará hora y media enseñando la química en general, y sus aplicaciones a las artes, fábricas y minas, por las Instituciones de Beaumé, que por ahora han de estudiar en dos años los que concurren a esta clase. Por la tarde ocupará otra hora y media enseñando los elementos de Macquer, y aplicándolos solamente a la parte médica de la química. A esta podrán también concurrir cualesquiera otras personas. Tanto por la mañana como por la tarde se harán las operaciones correspondientes a la lección del día..." . Más información en Ten (1985).

muchos lugares de Europa a lo largo del siglo XVIII, cuando la química amplió sus públicos destinatarios hasta transformarse en una ciencia popular y considerada útil para el progreso de la sociedad.¹³ A finales del siglo XVIII, los gobiernos borbónicos españoles establecieron o apoyaron numerosas cátedras de química, incluyendo varios laboratorios en Madrid que ofrecían cursos públicos a un público muy amplio. Uno de estos laboratorios fue dirigido por el químico francés Joseph Proust y llegó a contar con una rica colección de instrumentos que fueron parcialmente destruidos durante las guerras napoleónicas.¹⁴

Además de las cátedras de química que se crearon en algunas facultades de medicina, colegios de cirugía o de farmacia, los principales impulsores de la enseñanza de esta ciencia fueron las Sociedades Económicas de Amigos del País. Con el objetivo de fomentar el desarrollo de la agricultura, la industria y el comercio, estas sociedades fueron creándose en diferentes puntos de la península hasta llegar hasta casi sesenta en 1789. Su papel en el desarrollo de la química en esos años fue crucial, no sólo por la creación de nuevos centros de enseñanza sino por la contratación de científicos extranjeros y el apoyo económico e institucional que ofrecieron a los viajes al extranjero para el estudio de la química y otras ciencias relacionadas.

En Barcelona, la Junta de Comerç creó cursos públicos de química que dirigió el farmacéutico Francesc Carbonell Bravo y que se mantuvieron durante gran parte del siglo XIX. A sus clases asistían principalmente estudiantes de cirugía y de farmacia pero también muchos artesanos, fabricantes y personas con diversos intereses (NIETO GALÁN, 1994). La mayor parte del resto de cátedras de química desaparecieron tras las guerras napoleónicas pero sus laboratorios, junto con los profesores y las personas allí formadas, contribuyeron a la creación de una red de "cátedras de química aplicada a las artes", asociadas al Conservatorio de Artes y Oficios de Madrid, durante la década de 1830 y 1840, las cuales, a su vez, tendrían un papel importante en la formación de profesores o la provisión de instrumentos y espacios para los nuevos centros de enseñanza secundaria y las escuelas industriales que analizaremos en el siguiente apartado.¹⁵

Aunque se adoptaron en gran medida los métodos de enseñanza de la física experimental antes descritos, la química contaba con una larga tradición docente y una

¹³ V. Golinski (1992); Bertomeu (2006).

¹⁴ Sobre la historia posterior de estos instrumentos, v. Puerto Sarmiento (1994).

¹⁵ V. Bertomeu-García (2010); Cano Pavón (2003). Sobre las escuelas industriales, v. Cano Pavón (2001).

cultura material propia centrada en torno al laboratorio y la preparación de productos químicos.¹⁶ A principios del siglo XVIII, muchos cursos de química estaban destinados a la formación de boticarios que debían aprender las técnicas de preparación de un gran número de medicamentos químicos mediante el uso de instrumentos sencillos que habían formado parte tradicionalmente de los laboratorios químicos: retortas, alambiques, crisoles, hornos y una gran cantidad de recipientes de vidrio y barro de diversas formas y con muy diferentes usos. Muchos de los estudiantes debían repetir por sí mismos las operaciones que realizaba el profesor, por lo que tenían acceso a los instrumentos y los productos químicos más importantes, bien a través del laboratorio de la botica o mediante la adquisición de un pequeño laboratorio privado.

La ampliación de los públicos destinatarios de los cursos de química en el siglo XVIII condujo a la modificación de los métodos de enseñanza, aproximándose así a las demostraciones empleadas en la física experimental. Los burgueses curiosos que llenaban los anfiteatros de química del siglo XVIII estaban más interesados en experimentos espectaculares o en discusiones teóricas que en tediosos procedimientos de preparación de los productos farmacéuticos. Además, los nuevos descubrimientos sobre química neumática y, muy especialmente, el estudio de los llamados fluidos imponderables (el calórico, la luz y la electricidad) crearon un campo común de encuentro entre la física experimental y la química que se tradujo en la llegada al laboratorio químico de nuevos instrumentos, más caros y sofisticados, tales como calorímetros, eudiómetros, gasómetros o máquinas eléctricas.¹⁷

La convivencia de instrumentos tradicionales del laboratorio químico con los nuevos aparatos procedentes de la física experimental se puede constatar en la mayor parte de los laboratorios químicos de finales del siglo XVIII y primer tercio del siglo XIX en España. En el inventario realizado en 1810, con la lista de objetos del laboratorio de química de Madrid dirigido por Louis Proust, la mayor parte de las piezas pertenecen al primer grupo (frascos, morteros, hornillos, embudos, matraces, crisoles, redomas, alambiques, etc.) pero también se encuentran piezas como marmitas de Papin, máquinas neumáticas de Fortin, un eudiómetro y dos electróforos de Volta, botellas de Leiden y una máquina de eléctrica (de la que se dice que falta el disco, por lo que podemos pensar que debía ser semejante a los modelos de Ramsden).¹⁸ También encontramos una composición semejante en la "Nota de los instrumentos, maquinas, y

¹⁶ Una buena revisión en Holmes (2000).

¹⁷ Sobre esta cuestión v. Bensaude (2003) y Bensaude (2008).

¹⁸ Archivo de la Universidad de Madrid, D-1551, *Inventario general de los libros, instrumentos, máquinas y demás objetos existentes en el Real Laboratorio de Chîmia de esta Corte ...*, Madrid, 24 de febrero de 1810. También existen un gran número de muestras mineralógicas y modelos de máquinas y hornos de fundición que apuntan el modelo de enseñanza adoptado.

efectos que existen en el laboratorio de la cátedra de química general" de la Universidad de Valencia, por Ramón Teruel en la década de 1840. En esta lista aparecen una gran cantidad de objetos tradicionales del laboratorio de química, junto con otros de reciente llegada, como el "soplete de Berzelius" o tres tipos de eudiómetros, y otros relacionados con la electricidad como un "aparato para descomponer el agua por la pila galvánica" y un reducido grupo de instrumentos de medida o de análisis cuantitativo, entre los que se encontraban un alcalímetro, dos areómetros de Baumé, un termómetro de mercurio y dos balanzas, una de ellas de gran precisión.¹⁹ La pervivencia de instrumentos de química es más difícil que la de los aparatos de física. La fragilidad de los materiales de vidrio y su fácil reutilización para varias experiencias, junto con otros factores, han contribuido a la casi total desaparición de los instrumentos relacionados con la química de los siglos XVIII y XIX. Solamente los museos de historia de la farmacia, como el que existe en la Universidad de Madrid, o el museo de la artillería de Segovia conservan algunas piezas aisladas de lo que debieron ser colecciones extraordinarias.

Alrededor de 1840, cuando surgieron los nuevos centros de enseñanza secundaria, existía ya un modelo pedagógico de enseñanza de las ciencias basado en las demostraciones experimentales que implicaba el empleo de una gran cantidad de aparatos por parte del profesor o de un demostrador. Todo ello contribuyó a la creación de una cultura material de la ciencia en diversas instituciones educativas del siglo XVIII que determinaría muchas de las características de las colecciones que estudiaremos en el apartado siguiente. En realidad, muchos de los aparatos del siglo XIX eran versiones simplificadas de instrumentos de la ciencia ilustrada y cumplían una función similar, dentro de un modelo didáctico donde la lección teórica y la demostración experimental se consideraban ingredientes esenciales de las clases de ciencias. Muchos de los primeros profesores se habían formado en esta tradición pedagógica que reprodujeron cuando iniciaron sus clases en la década de 1840. Además, como veremos, uno de los principales inspiradores de la reforma que dio lugar al nacimiento de los centros de secundaria, Antonio Gil de Zárate, también había asistido a cursos de física experimental, donde se emplearon instrumentos como los que hemos visto en este apartado. Todo ello explica las continuidades que podemos observar entre las colecciones de los siglos XVIII y los siglos XIX. También existieron, no obstante, importantes diferencias procedentes, por ejemplo, de los nuevos contextos educativos propiciados por la consolidación de la enseñanza secundaria, la aparición de nuevas disciplinas escolares, las características de los públicos

¹⁹ AUV, Facultad de Ciencias C. 306 (1). V. Simon (2005).

destinatarios, los nuevos libros de texto locales e internacionales, los sistemas de formación de los profesores y, finalmente, el desarrollo de la industria de precisión en Europa que permitiría la realización de compras masivas de instrumentos. En el siguiente apartado revisaremos algunas de estas cuestiones.

LA NUEVA ENSEÑANZA SECUNDARIA DE MEDIADOS DEL SIGLO XIX

La situación de la enseñanza de las ciencias cambió sustancialmente con las nuevas regulaciones de mediados del siglo XIX que fijaron las bases de las nuevas facultades de ciencias y de los centros de enseñanza secundaria. Estos últimos se crearon principalmente entre 1836 y 1845 en diversas situaciones, tanto desde el punto de vista del profesorado como de los recursos económicos, el marco geográfico y político, y las instalaciones y los espacios disponibles. Muchos de ellos competían con colegios católicos, dirigidos por órdenes religiosas, que vieron así peligrar su tradicional rol central en la educación de las élites. Además, algunos se instalaron en antiguos conventos que habían sido obtenidos mediante las políticas de desamortización de ese período.

Se crearon tres tipos principales de institutos: universitarios (asociados con una Universidad y, por lo general, dependientes de sus instalaciones y profesorado), provinciales (que pretendían recoger alumnos de las recientemente creadas divisiones provinciales) y locales (auspiciados por municipios que no eran capitales de provincia y, por lo general, con menos recursos y alumnado). Algunos institutos podían impartir los cinco años de enseñanza previstos en los primeros planes de estudio pero otros, los denominados "de segunda clase", se limitaban a los primeros años, dejando fuera los más avanzados que era, precisamente, donde se situaban los cursos de ciencias. Posteriormente, sobre todo tras la reforma de 1857, muchos institutos se encargaron también de los llamados "estudios de aplicación" o enseñanzas técnicas, que proporcionaban diversos títulos de peritos químicos y agrícolas.²⁰

En el informe realizado en 1852 por uno de los máximos promotores de estos centros, Antonio Gil de Zárate (1796-1861), se citan ya medio centenar de institutos, de los cuales once estaban agregados a universidades (Madrid, Barcelona, Valencia, Granada, Santiago, etc.) y treinta y siete dependían de las diputaciones provinciales, casi todos con capacidad para impartir la totalidad de los cursos previstos. Buena

²⁰ Para una introducción general, v. Viñao Frago (1982); Sanz Díaz (1985). Existen pocas síntesis posteriores y la mayor parte de los estudios están centrados en institutos particulares, por lo que existe una gran cantidad de literatura, de muy diversa calidad, de carácter local y, en ocasiones, con pocos contactos entre sus autores. Una excepción notable a esta tendencia general es el excelente estudio de Sirera (2009) sobre el instituto de Valencia.

parte de los institutos provinciales tenían alrededor de un centenar de estudiantes, aunque algunos de ellos no llegaban a cincuenta debido a la competencia de seminarios eclesiásticos o la cercanía de centros universitarios que atraían con su prestigio a la mayor parte de la población estudiantil. Otro grupo más selecto de centros rozaban los 150 alumnos (Palencia, Cáceres, Murcia), mientras que otros como Huesca, Orense o Burgos tenían más de 200 a mediados del siglo XIX. El número total de estudiantes de los institutos creció de unos diez a doce mil a mediados del siglo XIX hasta alcanzar alrededor de dieciocho mil en la década de 1870, siempre coexistiendo y en competencia con un gran número de centros privados, muchos de ellos gestionados por la Iglesia católica (GIL DE ZARATE, 1855, p.64).²¹

Según Gil de Zárate, las nuevas enseñanzas secundarias tenían como público destinatario "las clases altas y medias, esto es, a las más activas y emprendedoras; a las que se hallan apoderadas de los principales puestos del Estado y de las profesiones que más capacidad requieren; a las que legislan y gobiernan; a las que escriben, inventan, dirigen, y dan impulso la sociedad..." (GIL DE ZÁRATE, 1855, II, p.1) El perfil social de la población de secundaria no siempre coincidió con las ideas de su principal inspirador, y varió en función del contexto y las características del centro. Se trataba de jóvenes varones, que ingresaban con nueve o diez años, tras una prueba relativamente sencilla sobre conocimientos que debían haber adquirido en la formación primaria, muchos de ellos procedentes de familias de clases medias, profesiones liberales, comerciantes, industriales y agricultores con recursos económicos suficientes para hacer frente a los gastos que la educación comportaba.²²

LA DISCIPLINA ESCOLAR: FÍSICA Y QUÍMICA

Como hemos señalado anteriormente, la compartición de aparatos, métodos de enseñanza y objeto de estudio (los fluidos imponderables) creó unas condiciones propicias para una fusión de la física experimental y la química en una disciplina escolar común. Los primeros centros de educación secundaria modernos (*écoles*

²¹ Más datos estadísticos en Viñao Frago (1982, p.408-418) y Nuñez (2005). Los datos son difíciles de establecer con precisión dado que existen varios tipos de estudios (generales y de ampliación, aunque estos últimos fueron minoritarios) en estos centros y también alumnos oficiales y libres, cuyo porcentaje varía según el tipo de centro. Nuñez (2005) ofrece datos comparados con otros países y ofrece datos más detallados sobre el conjunto de centros de secundaria. La importancia entre la enseñanza oficial varió a lo largo del período, desde un papel preponderante en las primeras décadas hasta los años de la Restauración monárquica de 1874, cuando fue superada en número de alumnos por la enseñanza no oficial.

²² Una análisis reciente del perfil social de los estudiantes de uno de estos institutos en Sirera (2009, cap. III, p.41 y ss).

centrales) creados durante la Revolución Francesa contemplaban una asignatura que reunía ambas ciencias, si bien, posteriormente, fueron impartidas en asignaturas separadas.²³ En España, los nuevos institutos entre 1836 y 1845, incorporaron una asignatura de lecciones de física experimental (mecánica, hidrostática e hidrodinámica, acústica, calor, óptico, electricidad y magnetismo) con algunas clases sobre "nociones de química". Con ligeros cambios, esta asignatura se mantendría en el currículo de la enseñanza secundaria durante todo el siglo XIX y buena parte del XX, dando lugar a la aparición de una larga lista de libros de texto, la formación de un profesorado especializado y una cultura material propia asociada con los métodos de enseñanza basados en la demostración.²⁴

Situados en los últimos años del currículo escolar, los cursos de física y química solo eran impartidos en un grupo limitado de institutos y para un grupo reducido de estudiantes. Los profesores iniciales tenían una formación muy heterogénea. Muchos de ellos eran farmacéuticos y médicos con una breve formación en ciencias físicas durante sus años de estudios superiores. Después de la fugaz experiencia de la Escuela Normal de Filosofía, el título de licenciado en ciencias pasaría a ser obligatorio para los profesores de física y química de la segunda mitad del siglo XIX. Tres libros de texto fueron los más empleados por estas clases, gozando de numerosas ediciones durante la segunda mitad del siglo XIX: el *Manual de física y nociones de química* (1847) de Manuel Rico y Mariano Santisteban, el *Programa de un curso elemental de física y nociones de química* (1848) de Venancio González Valledor y Juan Chavarri, y el *Tratado elemental de física experimental y aplicada* (1856) de Adolphe Ganot. Juan Chavarri y González Valledor eran profesores de física en la Universidad Central en Madrid, Santisteban ocupaba la cátedra de física y química del instituto de San Isidro, que hemos descrito en el apartado anterior, y Rico era profesor de física en la universidad de Valladolid. Estos autores fueron los encargados de preparar los primeros libros de texto de 'física y química' para las escuelas secundarias españolas que, a partir de mediados de siglo, serían escritos por autores españoles con la principal excepción del popular manual de física del francés Adolphe Ganot que, como en otros países, encontró su lugar en el mercado español, a pesar del peso académico de sus competidores. En España sus primeras ediciones fueron traducidas por José Monlau, que había sido estudiante en la Escuela Normal.²⁵

Una revisión rápida de la gran cantidad de grabados de estos libros indica la importancia de los instrumentos científicos al modelo de enseñanza de las ciencias imperante al siglo XIX. La lección teórica impartida por el profesor era habitualmente seguida de demostraciones con instrumentos, a veces con la ayuda de un

²³ Sobre la situación en Francia, v. Fournier-balpe (1994) y Belhoste (1995).

²⁴ V. la tesis de López Martínez (1999), que analiza el problema desde la perspectiva de la historia de las disciplinas escolares pero con una fuerte atención a la cultura material del aula.

²⁵ Sobre este texto y otros manuales de física de esos años, v. la tesis doctoral de Simon (2009).

"demostrador", encargado de preparar y hacer las experiencias. Como ya hemos señalado, los objetivos perseguidos eran diversos, desde la constatación experimental de una ley de la mecánica hasta experiencias espectaculares con electricidad destinadas a maravillar a los alumnos con fenómenos sorprendentes más o menos relacionados con los contenidos del curso. Muchas de estas experiencias provenían de la tradición pedagógica descrita en el apartado anterior, ampliada y renovada por los "demostradores" que recorrieron Europa a lo largo del siglo XVIII y principios del XIX con un abanico de experiencias que combinaban la magia, la ciencia y el teatro, con sesiones llenas de explosiones, chispas y colores espectaculares.²⁶

Estas experiencias se hacían con instrumentos caros y delicados, que no podían permanecer a manos de los alumnos. A lo largo del siglo XIX, la formación práctica al laboratorio estaba limitada a un grupo mucho reducido de estudiantes, normalmente en determinados cursos universitarios. La mayor parte de los alumnos aprendía los experimentos mediante la lectura de libros y las explicaciones y las demostraciones de los profesores y sus ayudantes. En este contexto pedagógico surgieron la mayor parte de las colecciones de instrumentos de física y química de los institutos de enseñanza secundaria.

LA CREACIÓN DE LAS COLECCIONES: LOS CATÁLOGOS MODELO

El establecimiento de gabinetes de física y laboratorios de química fue una prioridad para los gobiernos que establecieron la enseñanza secundaria en 1845. Además de las iniciativas emprendidas por cada centro, se realizaron compras centralizadas y un catálogo modelo, que describía las principales características de las colecciones. De nuevo, un protagonista importante de estas iniciativas fue el secretario de Educación, Antonio Gil de Zárate. Antes de ingresar en la administración, Gil de Zárate se había formado en Francia y había asistido a lecciones de física experimental en los Reales Estudios de San Isidro de Madrid, por lo que debía conocer la importancia de los instrumentos para la enseñanza de la física y la química.

Después de revisar el estado de las colecciones universitarias españolas de física y química, una comisión de profesores universitarios designada por el gobierno estableció un catálogo de referencia y, en el otoño de 1846, Gil de Zárate – acompañado por el profesor Juan Chavarri – viajó a París para organizar la compra de instrumentos. Allí contactó con Mateo Orfila (1787-1853), un español que había

²⁶ Sobre los demostradores, v. Sutton (1995). Sobre la relación entre ciencia y espectáculo en el siglo XVIII, v. Bensaude (2008).

desarrollado una carrera triunfal en Francia como profesor de química médica y decano de la Facultad de Medicina de París. Gracias a sus consejos, Gil de Zárate contrató los servicios de cuatro fabricantes parisinos de instrumentos: "Pixii y Deleuil para los instrumentos de física; Lizé & Clech para el vidrio y la porcelana, y los hermanos Rousseau" para los productos e instrumentos químicos. La compra incluyó instrumentos de física para once gabinetes, balanzas de precisión, modelos de máquinas de vapor, aparatos y sustancias químicas, una colección mineralógica y un gran número de láminas para la enseñanza de la medicina.²⁷

En 1847, un catálogo modelo fue establecido para equipar los gabinetes de física y química de las escuelas de enseñanza secundaria. La lista de instrumentos estaba basada en los catálogos de los constructores franceses Lerebours y Pixii, incluyendo 152 instrumentos de física (valorados en 9531 fr.) y 133 objetos de química (valorados en 6448 fr.). La colección fue posteriormente reducida, especialmente la parte de química, dejándola solamente en un 10% de la cantidad inicialmente estipulada (600 fr.). La colección de física fue reducida a 116 objetos y a casi la mitad del precio original (5000 fr.). En la lista de física, las especialidades mejor representadas eran la electricidad y magnetismo (39 objetos), la mecánica (15) y la neumática (19).²⁸

El catálogo modelo publicado en 1847 para los institutos era una versión reducida del publicado el año anterior para las universidades. Los dos catálogos eran similares en términos generales cualitativos y cuantitativos, pero el catálogo de la universidad incluía, por lo menos, un tercio más de instrumentos de física y triplicaba el número de objetos de química. La colección universitaria permitía exponer un espectro mayor de fenómenos físicos y químicos. Además, la colección modelo para secundaria era más barata, porque los instrumentos recomendados para la universidad eran más sofisticados y permitían el uso no sólo en la enseñanza, sino también, en ciertos casos, en la investigación.²⁹

En la creación de estos catálogos modelo, Gil de Zárate emuló las medidas que se habían adoptado unos años antes en Francia. En 1842, Louis-Jacques Thenard había enviado copias de los catálogos de los constructores Deleuil y Pixii a todas las escuelas francesas, lo que fue seguido por una revisión centralizada del estado de sus

²⁷ V. Gil de Zárate (1847); Gil de Zárate (1855, III, p.255-257); Simon Castel *et al.* (2005 y 2009).

²⁸ Alrededor de 1847, el currículo de las enseñanzas de química en la enseñanza secundaria española fue considerablemente reducida, y como consecuencia, se consideró apropiado limitar las colecciones asociadas. Más detalles, en Simon (2009 y 2010), Cuenca (2010).

²⁹ Algunos ejemplos son los muchos polarímetros (destinados al análisis químico, entre otras cuestiones) o aparatos por demostrar el desarrollo de magnetismo por rotación diseñados por François Arago más directamente conectado con la investigación que con la enseñanza.

colecciones y la publicación de un catálogo modelo. Pixii había sido también uno de los principales constructores de instrumentos recomendado por el gobierno francés en un catálogo modelo publicado previamente en 1821. Tanto el catálogo modelo francés de 1821 como en el de 1842 se sugería que, aunque el principal objetivo era pedagógico, cuando fuera posible, las escuelas de enseñanza secundaria podían adquirir instrumentos para las investigaciones de los profesores de ciencias físicas.³⁰

El catálogo escolar francés de 1842 contenía muchos más instrumentos de física que los establecidos en las listas previstas para las colecciones universitarias (1846) y los institutos (1847). La colección francesa incluyó un mayor número de barómetros y termómetros e instrumentos más avanzados para el estudio del calor y de la electricidad y el magnetismo, así como modelos de aplicaciones industriales recientes. Muchos de estos instrumentos estaban muy relacionados con investigaciones realizadas por autores franceses de esos años. El catálogo español de universidad era muy pobre en instrumentos de acústica, en comparación con el modelo francés. En contraste, la colección modelo francesa tenía un número menor de instrumentos para ilustrar la mecánica de sólidos, seguramente por el hecho de que la mecánica era considerada en Francia como una asignatura separada de la física general. En muchos aspectos, el catálogo modelo para los institutos españoles era similar al primer catálogo publicado para los *collèges* franceses (1821), por su número limitado de instrumentos, seleccionados con el objetivo de ilustrar fenómenos físicos simples.

Aunque sirvieron para constituir la mayor parte de gabinetes de centros de secundaria, no todos los profesores estaban satisfechos con la compra de instrumentos realizadas por Gil de Zárate. Mariano Santisteban, profesor de los Reales Estudios de San Isidro, donde se conservaba una colección procedente del siglo XVIII, descrita en el anterior apartado, señalaba que el número de aparatos que había recibido su centro había sido pequeño, "todos ellos los más sencillos y elementales por su calidad de mediana construcción, y por su precio, los últimos que se registraban en los catálogos de instrumentos de Física y Química de fabricación francesa, la más barata de toda Europa en aquella época". Además, cuando en 1850 abrió las cajas de los instrumentos que le habían sido enviados, muchos estaban rotos. Santisteban comparaba, además, estos aparatos con los existentes en el instituto de "antigua fabricación española". Y señalaba:

³⁰ Belhoste (1995) recoge la mayor parte de estos documentos. Estos catálogos nos servirán para realizar un análisis comparado con la situación española.

Estos [los instrumentos de antigua fabricación española] revelan las grandes ideas que se tenían de la Física, entre los hombres del siglo pasado que los mandaron construir; con los segundos aparece la ciencia tan pequeña, que cualquiera creería que con ellos se había intentado hacer para los alumnos un poco tangibles las figuras de las pizarras, negando en absoluto todo auxilio para el estudio del profesor y adelantamiento experimental de la ciencia (SANTISTEBAN, 1875, p.43-46.)

Los comentarios de Mariano Santisteban matizan la importancia de las compras impulsadas por Gil de Zárate a mediados del siglo XIX. Sin embargo, como hemos señalado, los Reales Estudios de San Isidro constituyen una excepción entre el resto de centros de secundaria porque disponían de una colección propia, creada durante el siglo XVIII. En el resto de los casos, los institutos no disponían de colecciones de instrumentos anteriores y las compras realizadas por Gil de Zárate sirvieron, en muchas ocasiones, para dotar sus primeros gabinetes de física y laboratorios de química que irían creciendo en las décadas posteriores.

EL CRECIMIENTO DE LAS COLECCIONES DURANTE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XIX

Las recomendaciones de estos catálogos modelo fueron progresivamente adoptadas y, en muchos casos, ampliamente superadas por los institutos españoles. De acuerdo con un informe del gobierno, diecinueve escuelas de enseñanza media tenían un gabinete de física completo a mediados del siglo XIX. Otros once gabinetes estaban prácticamente completos y solo cinco escuelas estaban mal equipadas.³¹

Podemos conocer con más detalle su estado a principio de la década de 1860 porque la mayoría de los institutos publicaron catálogos completos de sus colecciones pedagógicas en ese período.³² La situación era variopinta. En general, seguían el patrón fundacional establecido por el catálogo modelo de 1847, pero con bastantes mejoras, sustituciones y adiciones. La mayoría de los institutos universitarios tenían colecciones que triplicaban el número de objetos recomendado en el catálogo modelo

³¹ *Gaceta de Madrid*, 7 de setiembre de 1850, pp. 1-3. Unos años más tarde, Gil de Zárate remarcaba con orgullo que muchos institutos (como los de Palma de Mallorca, Gerona, Lérida y Ourense) tenían colecciones mayores que las prescritas por el catálogo modelo. Cf. Gil de Zárate (1855, II, p.80-161).

³² Estos catálogos eran incluidos en los informes anuales que cada instituto enviaba al gobierno y que eran publicados en sus *Memorias*. La publicación de las *Memorias* de los institutos había sido establecida oficialmente por el gobierno a finales de los años 40. Caracterizaban cuantitativa y cualitativamente la vida en cada instituto, incluyendo información sobre sus colecciones, bibliotecas, locales, personal y estudiantes, precedido por la conferencia inaugural del año académico realizada anualmente por el director del instituto. Las *Memorias* tenían una función combinada, administrativa y social. Obligaban en las escuelas a mantener un registro regular de sus actividades, ayudaban al gobierno central a controlarlas, y también servían como herramienta de prestigio social e institucional a nivel local y nacional, pues que exponían públicamente la afluencia relativa y las capacidades de cada instituto.

de 1847 para las escuelas, y doblaban el número estipulado por los catálogos modelo para las universidades españolas (1846) y para los *collèges* franceses (1842) antes mencionados. Un número considerable de institutos provinciales habían también conseguido incrementar sus colecciones por encima de las recomendaciones incluidas en el catálogo modelo de las universidades y los institutos españoles. Pero también otro grupo importante de institutos provinciales sólo pudieron igualar o aproximarse muy ligeramente a las recomendaciones hechas más de una década antes. Este fue también el caso para los institutos locales.³³

Aunque es indudable la fuerte influencia que ejerció el catálogo modelo de 1847, hubo diferencias relevantes en el modo en que los institutos españoles actualizaron sus colecciones en las décadas siguientes. El material científico se adquiría a través de las aportaciones de las instituciones de las que dependían (universidades, diputaciones provinciales o ayuntamientos), las propias rentas del instituto, las asignaciones extraordinarias concedidas por el gobierno y, durante algún tiempo, a partir de un porcentaje de los ingresos procedentes de las matrículas y otros derechos académicos. También fueron frecuentes - y, a menudo, sustanciosas - las donaciones de profesores y particulares, sobre todo en el caso de los gabinetes de historia natural. La importancia de cada una de estas fuentes de renovación del material científico era diferente para cada instituto y varió a lo largo del siglo XIX, debido a la aparición de varios reglamentos y normativas que condicionaron las posibilidades de compras de instrumentos.

En general, los institutos más grandes, situados en ciudades universitarias y capitales de provincias, fueron capaces de incrementar sus colecciones en mayor medida, especialmente en el área de electricidad, pero también en el estudio de la luz y del calor. Estas adiciones permitieron diversificar el rango de fenómenos naturales que los profesores podían presentar en clases. Por ejemplo, se añadieron instrumentos que permitían estudiar los fenómenos de polarización de la luz, la termoelectricidad y la inducción electromagnética que habían sido investigados por primera vez en las décadas inmediatamente anteriores. Durante los años siguientes, un instituto de grandes dimensiones y un número relativamente alto de alumnos, como el de Valencia, pudo comprar muy rápidamente aparatos de invención reciente como el radiómetro de Crookes, el teléfono o el micrófono.

³³ Para este el análisis que sigue hemos consultado una serie de *Memorias* publicadas entre 1861 y 1862 que incluyen cuatro institutos universitarios (Granada, Oviedo, Salamanca y Valencia), 20 institutos provinciales (Alicante, Badajoz, Balears, Burgos, Cáceres, Castellón, Ciudad Real, Conca, Girona, Huelva, Osca, Jaén, León, Lleida, Logroño, Málaga, Ourense, Palencia, Pamplona, Pontevedra, Soria) y 2 institutos locales (Figueres, Monforte de Lemos). V. Cuenca-Simon (2010).

Muchos institutos de dimensiones más reducidas, que no tenían la capacidad financiera suficiente para incorporar todos los avances recientes de la ciencia, también mostraron gran interés en actualizar las colecciones. Muchos centros introdujeron instrumentos de polarimetría como el polariscopio de Arago (Oviedo, Salamanca, Burgos, Baleares y Gerona, pero también Ciudad Real y Cuenca) y el polarímetro de Norremberg (Salamanca, Baleares, Burgos y Gerona, pero también Málaga, Cuenca y Monforte de Lemos – un instituto local). Se compraron aparatos de inducción como la bobina de Ruhmkorff (Valencia, Salamanca, Lérida, Baleares, Gerona, Alicante, Pontevedra) e instrumentos para el estudio y la demostración de descargas eléctricas en gases como los famosos tubos de Geissler (Lérida, Baleares, Gerona – institutos provinciales pero no universitarios). Los institutos pequeños tuvieron que ser más selectivos en sus compras y se limitaron a actualizar una parte de sus colecciones de física, generalmente los instrumentos relacionados con la electricidad. La mayoría de centros ampliaron sus colecciones en cuanto al número y tipo de pilas eléctricas e incluyeron también algunos modelos que ofrecían ejemplos de aplicaciones industriales o comerciales de la electricidad, tales como el telégrafo, aparatos electromagnéticos y otros destinados a usos médicos de la electricidad. Otras adiciones con intención más explícitamente pedagógica fueron estereoscopios, linternas mágicas y cámaras fotográficas.³⁴

La situación geopolítica, las dimensiones de los edificios y la población escolar no son los únicos parámetros que explican la evolución de las colecciones. Así, por ejemplo, los pocos galvanómetros disponibles no se encontraban en los más importantes institutos universitarios o provinciales (con excepción de Salamanca) sino en centros más pequeños como los de Logroño, Huesca y Monforte de Lemos. Por otra parte, muchos institutos aumentaron considerablemente sus colecciones de termómetros y barómetros y adquirieron instrumentos de alta precisión como consecuencia de la creación de una red de estaciones meteorológicas coordinada por el Observatorio Astronómico de Madrid. Los datos eran procesados en Madrid, pero eran publicados también en periódicos locales y en las *Memorias* de los institutos. De este modo, durante la década de 1860, muchos centros modestos fueron equipados con buenas estaciones meteorológicas. Por ejemplo, en 1856, el catedrático de física y química Francesc Bonet i Bonfill creó una estación meteorológica en el instituto de Lleida y sólo dos años más tarde empezó a enviar datos a Madrid. Según las memorias publicadas por el instituto de Cáceres, su director estableció una estación

³⁴ Los datos proceden de las *Memorias* comentadas en la ntoa anterior. Mas información en Simon (2009) Cuenca (2010), Simon (2010).

meteorológica en 1861. Los instrumentos, contruidos en París, eran calibrados en el Observatorio de Madrid antes de ser enviados a la escuela. Estas colecciones de meteorología de los institutos fueron una excepción al patrón general de dependencia en la industria francesa de precisión, sólo completada con una tímida emergencia de una industria propia española. En muchas escuelas con colecciones meteorológicas importantes, como Oviedo, Salamanca y Burgos, la mayor parte de instrumentos provenían de los talleres de importantes fabricantes londinenses de origen italiano como Casella y Negretti & Zambra.³⁵

DE HERRAMIENTAS PEDAGÓGICAS A PATRIMONIO CULTURAL EN PELIGRO

Las compras de nuevos instrumentos y la mejora de las colecciones continuaron durante las tres primeras décadas iniciales del siglo XX, cuando todavía eran herramientas indispensables para la enseñanza de las ciencias. Nuevas tendencias, sin embargo, pronto cambiarían esta situación. La introducción de métodos heurísticos, más centrados en la actividad de los estudiantes, redujeron el papel de las demostraciones espectaculares de los profesores. Entre los casos mejor estudiados se encuentra el del profesor británico Henry E. Armstrong, que postulaba la transformación del estudiante en un científico en miniatura que podría descubrir las leyes físicas con experimentos simples realizados con la guía del profesor. En Finsbury College, Armstrong daba a los estudiantes instrucciones precisas por hacer una larga lista de experimentos sencillos que servían por introducir la terminología científica y los conceptos básicos. Otros movimientos posteriores, particularmente centrados en la enseñanza elemental, defendieron al principio del siglo XX la creación de instrumentos sencillos por parte de los mismos alumnos y el uso de ejemplos procedentes de la naturaleza y de la vida cotidiana. Como consecuencia, los instrumentos empleados para demostraciones hechas únicamente por el profesor quedaron relegados con la llegada de nuevos equipos pensados para otras formas de enseñanza más centrada en la participación activa del estudiante. A principios del siglo XX, inspirados por los nuevos métodos heurísticos, los fabricantes británicos de instrumentos comercializaron toda una serie de instrumentos sencillos que podían ser fácilmente contruidos por los alumnos.³⁶

En un contexto muy diferente, los movimientos pedagógicos del primero tercio del siglo XX en España crearon una nueva cultura material de las aulas, defendiendo una ciencia apta para la formación de todos los ciudadanos y prácticas realizadas por

³⁵ Sobre los fabricantes v. Ruiz Castell (2002, 2008), Brenni (2002) y Williams (1994). La información del instituto de Lleida procede de Casals Berges (2006).

³⁶ El lema empleado por uno de estos fabricantes es suficientemente indicativo del planteamiento didáctico: "Every Boy & Girl, A Scientist". Sobre esta última cuestión, v. Keene (2007). Sobre H. Armstrong v. Brock (1973) y sobre los cambios en las prácticas pedagógicas, v. Rudolph (2002).

alumnos. Los Institutos-Escuela, el Museo Pedagógico y la Junta de Ampliación de Estudios jugaron un papel clave en este proceso. Muchos profesores innovadores, como José Estalella o Miguel Catalán, se habían formado en el extranjero gracias a becas de la Junta y aconsejaban evitar el uso de demostraciones con instrumentos sofisticados y desconocidos para los estudiantes, para reemplazarlos por excursiones para conocer la naturaleza circundante y por prácticas de laboratorio, con instrumentos sencillos fabricados por los estudiantes. "No se trata de 'demostrar' ni de 'comprobar' leyes, sino de aprenderlas, y quizás mejor descubrirlas" - afirmaba Estalella en 1925 - "Ciencia no vista nacer y formar por quien en ella va a iniciarse, es ciencia muerta. El estudiante ha de sentir la creación del conocimiento". Estas ideas condujeron a la progresiva desaparición de los instrumentos de demostración y su sustitución por otros más sencillos y con nuevos propósitos pedagógicos.³⁷

Cuando en la década de 1950 y 1960 llegaron a los institutos españoles los equipos de prácticas preparados por la empresa ENOSA y el instituto Torres Quevedo, los instrumentos del siglo XIX y principios del XX fueron definitivamente apartados de los laboratorios y, en el mejor de los casos, permanecieron olvidados en sótanos polvorientos o en viejos armarios. Otros fueron transformados en piezas decorativas de salas de profesores y de bibliotecas escolares. Además del azar, la conservación de estas colecciones ha estado condicionada por muchas circunstancias particulares de cada centro, ante la ausencia casi total de una política local o estatal sobre el patrimonio científico.

Como hemos señalado, el Instituto San Isidro de Madrid es un caso particular. Su rica colección, ya inventariada por los profesores del siglo XIX, fue cedida en los años ochenta al *Museo Nacional de Ciencia y Tecnología* (GUIJARRO, 2002). Aparte de este y otros casos excepcionales, en la mayor parte de los institutos los instrumentos se han salvado gracias a la labor desinteresada de equipos de profesores que han sabido reconocer, mucho antes que las autoridades políticas y académicas, el extraordinario valor de estas piezas. Sin acciones continuadas de salvaguarda del patrimonio científico, las celebraciones de aniversarios de creación de los institutos han servido para impulsar trabajos de inventariado y restauración, que han permitido la revalorización de las piezas, la creación de mejores condiciones de almacenamiento y, a veces, estudios y catálogos más o menos completos. Veamos algunos ejemplos.

³⁷ La cita procede de Estalella (1925, p.568-569). Más información en Bernal (2002, 2007) y López Martínez (1999). Sobre los institutos-escuela, v. el reciente trabajo de Martínez Alfaro (2009). Sobre los nuevos fabricantes y el Instituto de Material Científico, v. Romero (1998) y Ruiz Castell (2008).

El instituto "Alfonso X el Sabio" de Murcia fue uno de los primeros centros de enseñanza secundaria del siglo XIX. Fue creado antes de la ley de 1845 y pronto se dotó de gabinetes de historia natural, laboratorios de física y química, colecciones de modelos agrícolas y un jardín botánico. Muchas piezas han sobrevivido hasta la actualidad para formar parte del museo del instituto. La colección de física incluye más de trescientos instrumentos, de los cuales cerca de doscientos fueron catalogados con motivo del aniversario del instituto celebrado en 1987 (VIDAL, 2002; PATRIMONIO, 2002). También el instituto de Segovia, creado en 1845, ha conservado una parte de sus instrumentos gracias a un grupo de profesores que han trabajado por recuperar las piezas de este importante legado (GARCÍA HOURCADE, 1988).

Más recientemente muchos otros centros han conseguido salvar y mejorar el estado de sus colecciones gracias al trabajo de grupos de profesores o la acción decidida de la dirección del centro, por ejemplo, el Instituto 'Joan Ramis i Ramis' de Maó³⁸, el antiguo "Instituto Balear" de Mallorca³⁹, el Instituto "Padre Vitoria" de Alcoi⁴⁰, el Instituto "Cardenal Cisneros" de Madrid, el Instituto "Padre Suárez" de Granada, el Brianda de Mendoza de Guadalajara, etc.⁴¹

También centros privados y pertenecientes a la Iglesia católica se han sumado a esta tendencia, por ejemplo, el Colegio de San Estanislao de Kostka (Málaga),⁴² el seminario de Ciutadella (Menorca) o el Colegio de la Inmaculada de Alicante. Este último, como en otros muchos casos, celebró su aniversario con una exposición en la que incluyó abundante material científico.⁴³ En algunas pocas ocasiones, como el Instituto de Lorca, gracias a labor conjunta de equipos de profesores, historiadores e investigadores de didáctica de las ciencias, se han producido catálogos y guías con sugerencias para el aprovechamiento de los aparatos antiguos en la renovación de la enseñanza actual (DELGADO, 2004, 2005).⁴⁴ Lamentablemente son todavía más raros los casos en los que las colecciones se han transformado en museos, con todo el grado de protección necesaria, bajo el cuidado de las manos expertas de personal especializado.⁴⁵

³⁸ Dispone de una excelente biblioteca, un gabinete de más de un centenar de instrumentos de física química y una buena colección de historia natural. También se conserva un excelente archivo. V. <http://arxiuramis.blogspot.com/>.

³⁹ Algunos instrumentos están descritos en los trabajos de Vázquez Alonso (1992-1993).

⁴⁰ Una guía excelente ha sido publicada por Pascual (2007).

⁴¹ AA.VV. (2007) recoge una lista más extensa de ejemplos, con breve descripción de su historia y estado actual.

⁴² Nárvaez (2008) ha realizado un excelente libro. También existe una colección importante en el Colegio de San José de Valencia, dirigido por jesuitas, que merecería estar mejor catalogada. Cf. Martí (1997). Otro centro dirigido por jesuitas que cuenta con una buena colección es el Colegio de la Inmaculada Concepción de Gijón. Cf. <http://inmaculada.pedagogiainteractiva.com/castellano/colegio/imagenes/historia/>.

⁴³ Parte de la colección se puede ver en <http://www.colegio-inmaculada.org/>.

⁴⁴ Una discusión reciente sobre esta cuestión en Bernal (2009).

⁴⁵ El Instituto "Cabrera Pinto" de La Laguna (Tenerife) cuenta con un museo expuesto en las salas científicas que puede consultarse a través de la excelente página <http://www.museocabrerapinto.com/>. Ha sido uno de los centros que ha impulsado la creación de una red de institutos históricos.

A pesar de la gran cantidad de trabajos son pocos los intentos de coordinar los proyectos existentes y conectar los muchos estudios locales, centrados en un único instituto, sin apenas relación con otras investigaciones similares. En Galicia, después de hacer el inventario de diferentes centros como el instituto Xelmírez, el más antiguo de Santiago, el profesor Rafael Sisto ha completado una tesis doctoral sobre la enseñanza de la física y química a los centros gallegos, con mucha información con respecto al proceso de formación de las colecciones y su situación actual.⁴⁶ El Servicio de Patrimonio Histórico de la Diputación de la Diputación Foral de Bizkaia ha desarrollado un proyecto de catalogación de instrumentos de diferentes instituciones educativas, incluyendo algunos interesantes aparatos que se encuentran en manos privadas. El grupo "Espiral" ha dirigido un equipo multidisciplinar de científicos, profesores, historiadores, informáticos y diseñadores que ha elaborado una exposición (OCNI), abierta al público entre enero y marzo de 2003, junto a un espectacular catálogo impreso y un CD-ROM con abundante información histórica y gráfica alrededor de las colecciones (ESPIRAL, 2003). Otro trabajo muy interesante en este sentido es el catálogo colectivo de las colecciones de los institutos andaluces. Se han catalogado más de mil setecientos instrumentos de dieciséis centros de enseñanza, en su mayoría, institutos históricos creados durante la segunda mitad del siglo XIX o los inicios del siglo XX. El trabajo abordó inicialmente las colecciones de historia natural para tratar a continuación las colecciones de física y química. En esta tarea han colaborado numerosos profesores de cada centro que se habían ocupado anteriormente de conservar las piezas. En algunos casos, se han realizado publicaciones sobre las colecciones de sus institutos, así como actividades pedagógicas con sus alumnos. Cuando se ha contado con el apoyo de la dirección del centro, se ha podido constituir pequeños museos dentro de los institutos (GARCÍA DEL REAL, 2001, 2002). Más recientemente, el proyecto CEIMES de la comunidad de Madrid ha coordinado el inventario de numerosos institutos históricos y la digitalización de parte de sus bibliotecas, propiciando la colaboración entre investigadores de historia de la ciencia del CSIC, historiadores de la educación y profesores de secundaria.⁴⁷ La creación de una red de institutos históricos también ha sido un hito importante de los últimos años que ha permitido la realización de congresos, jornadas y publicaciones conjuntas, favoreciendo así el intercambio de experiencias y la reivindicación del valor de las colecciones frente a los poderes públicos.⁴⁸ Además de

⁴⁶ Sisto (2000) recoge una bibliografía. Mas información en la tesis doctoral de Sisto (2007).

⁴⁷ Para más información sobre este proyecto, *Ciencia y educación en los institutos madrileños de enseñanza secundaria a través de su patrimonio cultural (1837-1936)*, v. <http://www.ceimes.es/> y las últimas publicaciones de Martínez Alfaro (2009) y Rodríguez Guerrero (2009), este último sobre el Instituto Cardenal Cisneros.

⁴⁸ Las terceras jornadas fueron organizadas por el instituto Brianda de Mendoza (Guadalajara) en julio de 2009. El volumen de la revista *Participación educativa* (AA.VV., 2007) recoge una descripción de este proyecto y varios centros.

estos trabajos colectivos, en los últimos años ha continuado la realización de numerosos inventarios y la publicación de interesantes estudios particulares.⁴⁹

EL PROYECTO COMIC Y LOS INSTITUTOS DE VALENCIA, CASTELLÓN Y ALICANTE

Como en otros casos, nuestro trabajo se inició con una celebración: el quincentenario de la Universidad de Valencia. En ese momento, tuvimos la suerte de poder colaborar con profesores de educación secundaria de Alicante y Castellón que llevaban ya muchos años trabajando en la conservación de su patrimonio científico. Gracias a esta labor, el instituto "Jorge Juan" de Alicante conserva en muy buen estado una importante colección que incluye instrumentos de física y química, modelos de agronomía y diferentes objetos de historia natural, incluyendo una extraordinaria colección paleontológica (GARCÍA MOLINA, 2000, 2002b). El instituto "Francisco Ribalta" de Castellón posee actualmente una sala-museo donde se encuentran en vitrinas muchos de los instrumentos que han sobrevivido, lo que permite organizar visitas pedagógicas para los alumnos del centro (APARICI, 2002). El otro instituto más antiguo del País Valenciano, el centro "Lluís Vives" de Valencia, tenía una colección en peor estado pero la mencionada celebración sirvió para iniciar un primer inventario y un estudio histórico posterior (SIMON, 2002). En los últimos años, hemos colaborado con el grupo de trabajo de la Comissió d'Instruments Científics (COMIC) para preparar una base de datos colectivos de los tres institutos que nos ha permitido obtener datos estadísticos relevantes, los cuales nos permiten comparar sus características generales con el proceso de formación de las colecciones que hemos descrito en el apartado anterior.⁵⁰

Las piezas de estas colecciones confirman algunos de los rasgos señalados en el análisis de los inventarios del siglo XIX. El área de la física mejor representada es el electromagnetismo (20-30%), seguida por la mecánica de sólidos y de fluidos (10-15%), la óptica (ca. 10%) y el estudio del calor (ca. 10%). El estudio del sonido está muy poco representado en las tres colecciones, así como también lo estaba en el catálogo modelo español de 1847, lo que contrasta con las recomendaciones contemporáneas para las escuelas francesas de 1842. No obstante, la desaparición de instrumentos ha sido tan importante que resulta de poca utilidad sacar conclusiones estadísticas sin tener en cuenta otras fuentes como las ya comentadas. Hay que tener

⁴⁹ Uno de los objetivos de nuestro proyecto COMIC es la construcción de una lista actualizada de proyectos en: <http://www.instrumentscientifics.com>.

⁵⁰ La base de datos está integrada en el proyecto COMIC y puede consultarse en: <http://www.instrumentscientifics.com>.

en cuenta que el número de instrumentos conservados en la actualidad en los tres institutos es similar al conseguido ya en la década de 1860 por uno de ellos, el de Valencia. El grado de conservación ha variado enormemente de un centro a otro. Aunque sabemos que sus gabinetes de física eran mucho más importantes, los institutos de Alicante y Valencia sólo han conservado alrededor entre 240 y 300 instrumentos, respectivamente, mientras que la colección de Castellón, que pertenece a un instituto que contó con menos recursos inicialmente, sobrepasa ampliamente estas cifras, con una colección de unos 400 instrumentos de física. Los objetos de química, por la fragilidad de sus materiales y su amplio uso, raramente se conservan en los institutos, hasta el punto que han prácticamente desaparecido del instituto de Alicante. No obstante, en Castellón y Valencia se conservan entre 100 y 300 objetos de química de vidrio y cerámica.

Estas cifras apuntan la complejidad de factores que han contribuido a la conservación de las colecciones: la importancia de cada una de las especialidades de la física en la pedagogía decimonónica; el uso prolongado e intenso a que fueron sometidos ciertos instrumentos (poniendo así en peligro su conservación); la relativa importancia de las demostraciones experimentales en cada área (algunos temas requerían más instrumentos que otros); los precios de los instrumentos, los presupuestos escolares y la disponibilidad de instrumentos en cada período; las dimensiones, los materiales y la fragilidad de los instrumentos (un aspecto fundamental en el caso de la química, como hemos señalado); y, finalmente, el valor cultural y estético atribuido a las piezas a lo largo de los años en que dejaron de ser herramienta pedagógicas para convertirse en parte del patrimonio del centro.

Centrándonos en el primero de estos aspectos, la distribución temática en las tres colecciones está de acuerdo razonablemente con la de uno de los libros de texto de física más utilizados España, Francia y otros países en este período: el manual de Adolphe Ganot (1804–1887). A mediados de siglo, los capítulos más importantes en la *Física* de Ganot eran los dedicados al calor y la luz, seguidos por los de electricidad dinámica. En las décadas siguientes, los apartados relacionados con la electricidad aumentaron, hasta igualar las dimensiones de los primeros. En las últimas décadas del siglo, las tres partes (calor, luz, electricidad dinámica) tenían una longitud similar, pero los capítulos sobre calor y luz habitualmente suponían un número menor de instrumentos, puesto que los instrumentos para el estudio de la luz o el calor formaban, por regla general, parte de varios montajes experimentales. Por otro lado, los capítulos sobre electricidad estática y electricidad dinámica formaban juntos el conjunto temático que más páginas suponía de este libro de texto estándar. Otras

áreas como la mecánica de sólidos y la acústica ocuparon un espacio limitado y sufrieron pocos cambios a lo largo de sucesivas ediciones del libro de Ganot. Las páginas dedicadas al estudio de los líquidos y, especialmente, las relacionadas con las propiedades de los gases tuvieron una presencia importante en el manual desde su primera edición, aunque siempre inferior (entre un tercio y la mitad) a los capítulos sobre calor, luz y electricidad estática y sin tendencia a aumentar a lo largo de las numerosas ediciones del libro.⁵¹

Además, el análisis de estas colecciones ofrece nuevas posibilidades por explorar el desarrollo de prácticas pedagógicas y científicas en la enseñanza secundaria. Es sorprendente, por ejemplo, la existencia de instrumentos en las colecciones de los institutos que no parecen haber sido destinados a la enseñanza. En Valencia, se conserva un galvanómetro de Deprez (Nº de catálogo L-0089), un instrumento diseñado especialmente para medidas de alta precisión (GOODAY, 2004, p.161-168). Castellón ha conservado una caja de resistencias y un galvanómetro Thomson construidos por el fabricante inglés Elliott Brothers (R-0033 y R-0018). La colección de Alicante posee un aparato de reacción de cinco dedos con interruptores de contacto (JJ-0030) comercializado por el fabricante de Leipzig E. Zimmermann, que tuvo un papel importante en el desarrollo del programa de psicología experimental de Wilhelm Wundt.⁵² La presencia de estos objetos podría indicar que los institutos fueron no sólo espacios para la enseñanza, sino también para la investigación.

EL FUTURO DEL PATRIMONIO CIENTÍFICO EDUCATIVO.

La revisión anterior indica la existencia de numerosas colecciones de instrumentos en los institutos de enseñanza secundaria, formadas durante la segunda mitad del siglo XIX y primera mitad del siglo XX, es decir, en la época dorada de la construcción de instrumentos científicos en Europa. Todo ello explica la gran calidad de las colecciones que contienen instrumentos realizados por famosos fabricantes franceses, alemanes y, en menor medida ingleses, así como por una incipiente industria local, sobre todo a partir de 1910. Su conservación ha sido posible gracias al esfuerzo de colectivos de profesores de los centros, con el apoyo ocasional de un grupo muy heterogéneo de personas (historiadores, conservadores de museos, investigadores en didáctica, coleccionistas, etc.) y, lamentablemente, sin prácticamente ningún tipo de apoyo por parte de los diversos gobiernos locales,

⁵¹ Sobre este famoso tratado de física, v. Simon (2009).

⁵² Un catálogo de este fabricante se puede consultar en:
<http://chss.montclair.edu/psychology/museum/museum.htm>.

regionales o nacionales. Salvo excepciones, el apoyo institucional a estas colecciones se ha limitado a períodos muy concretos, generalmente asociados con celebraciones y aniversarios, sin enmarcarse en una política a largo plazo dirigida a la conservación del patrimonio científico escolar. A pesar de todo, en las últimas décadas han florecido un gran número de iniciativas personales y colectivas destinadas a la recuperación de este patrimonio.

El principal problema actual es la falta de coordinación que conduce a una inútil repetición de trabajos de inventariado, estudio y catalogación. La diversidad de formaciones e intereses de las personas implicadas en estos proyectos (profesores de ciencias, licenciados en historia, científicos de diferentes disciplinas, historiadores de la ciencia y de la educación, museólogos, pedagogos, etc.) podría ser una oportunidad para aprovechar las muchas facetas que presentan los instrumentos científicos: fuentes materiales para la historia de la ciencia o la historia de la educación, piezas de museo con valor patrimonial y herramientas didácticas para la enseñanza y la divulgación de la ciencia. Sin embargo, las barreras académicas e institucionales hacen muy complicada esta interesante colaboración y los proyectos se pierden dispersos en iniciativas y publicaciones locales de difícil acceso, sin que exista el necesario intercambio de experiencias que podría permitir análisis comparados y propuestas de acción globales mucho más efectivas.

Hemos visto anteriormente que, en los últimos años, han surgido varios proyectos colectivos para superar estos problemas, tales como la red de institutos históricos o el proyecto CEIMES de la Comunidad de Madrid. La Comissió d'Instruments Científics (COMIC) de la Societat Catalana d'Història de la Ciència ha nacido con esta misma intención. Pretende crear herramientas que permitan establecer redes de trabajo y reclamar colectivamente la creación de políticas efectivas de conservación del patrimonio científico. Para conseguir estos objetivos, desde la comisión COMIC trabajamos en diferentes líneas de acción: la elaboración de un catálogo exhaustivo de los proyectos de investigación y conservación de las colecciones de instrumentos científicos; el asesoramiento a nuevos proyectos de catalogación en marcha; la creación de herramientas informáticas para establecer un catálogo colectivo del patrimonio científico, con una ficha catalográfica común, etc. Asimismo, propiciamos estudios sobre instrumentos o colecciones particulares, organizamos jornadas de estudio y favorecemos el uso de los instrumentos en las exposiciones o su transformación en fuente de inspiración para la didáctica de las ciencias.

La formación de equipos multidisciplinares y los contactos con las otras iniciativas realizadas en otros países son también objetivos fundamentales del proyecto. También pretendemos la recogida sistemática de las fuentes disponibles que permitirán entender el significado de estas colecciones en su contexto pedagógico y científico. Nos referimos a la rica documentación de los archivos de los institutos de secundaria, las memorias de estos centros publicadas y manuscritas, los cuadernos y los trabajos de prácticas de sus estudiantes, los expedientes y las publicaciones de los profesores, los libros de texto empleados a las aulas o los catálogos y los manuales de fabricantes que, muchas veces, se encuentran almacenados junto a los instrumentos. Con la información de estos documentos, complementadas por las fuentes materiales de las colecciones, podremos completar la catalogación de las piezas e integrarlas en las narraciones históricas sobre el desarrollo de la ciencia en España. Estos estudios serán también centrales para planificar la recuperación del patrimonio científico y realizar actuaciones para su correcto aprovechamiento museístico y pedagógico.

BIBLIOGRAFÍA SOBRE O TEMA

AA.VV.. Historia de un olvido: patrimonio en los centros escolares, *Participación educativa*, 2007, v.7, p.1-150.

ANDUAGA, Aitor. Ciencia, ideología y política en España: Augusto Arcimís (1844-1910) y la creación del Instituto Central Meteorológico. *BILE*, n.53, (Diciembre), p.1-15, 2003.

APARICI SOS, José; COTANDA, Vicente; FERNÁNDEZ, Carmen; GARCÍA SANZ, Bartolomé; MEZQUITA, Francisco; MOLINA, Rafaela; ORDEN, Justo; PASTO, Lidón; PAYÁ, José. La col·lecció d'instruments científics de l'I.E.S. "Francisco Ribalta" de Castelló. In: BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón; GARCÍA BELMAR, Antonio (eds.) *Obrint les Caixes Negres: Els instruments científics de la Universitat de València*. València: Universitat de València, 2002.

BELHOSTE, Bruno ; BALPE, Claudette; LAPORTE, Thierry. *Les sciences dans l'enseignement secondaire français. Textes officiels*. Paris: INRP, 1995.

BENSAUDE-VICENT, Bernadette; GARCIA BELMAR, Antonio; BERTOMEU SANCHEZ, José Ramón. *L'émergence d'une science des manuels. Les livres de chimie en France (1789-1852)*. Paris: Editions des Archives Contemporaines, 2003.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette; BLONDEL, Christine (eds.). *Science and Spectacle in the European Enlightenment*. London: Ashgate, 2008, 176 p.

BERNAL MARTÍNEZ, José. *Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas y experiencias escolares (1882-1936)*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2001.

BERNAL MARTÍNEZ, José; LOPEZ, José Damian. La Junta para Ampliación de Estudios (JAE) y la enseñanza de la ciencia para todos en España, *Revista de Educación*, n.1, p.215-239, 2007.

_____. Los museos educativos y el material científico-pedagógico construido en la escuela. In: B. Escolano (ed.) *La cultura*

material de la escuela, *En el centenario de la Junta de Ampliación de Estudios, 1907-2007*. Berlanga de Duero: CEINCE, 2007, p.155-167.

BERNAL MARTÍNEZ, José; DELGADO, Maria Angeles; LÓPEZ, Jose Damian. El patrimonio histórico-científico como recurso didáctico: de la ciencia en el laboratorio a las ciencias para la vida. In: BERRUEZO, M.R.; CONEJERO, S. (eds.). *El largo camino hacia una educación inclusiva: la educación especial y social del siglo XIX a nuestros días*. Pamplona, 2009, p.605-614.

BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón; GARCÍA BELMAR, Antonio (eds.). *Obrint les Caixes Negres: Els instruments científics de la Universitat de València*. València: Universitat de València, 412 p. + CD-ROM, 2002.

_____. *La Revolución Química: entre la Historia y la Memoria*. Valencia: PUV, 2006.

_____. Les coleccions universitàries d'instruments científics. El cas de la Universitat de València, *Actes d'història de la ciència i de la tècnica*, n.1, p.45-63, 2008.

_____. La cátedra de química aplicada a las artes de la Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia. In: *Historia de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia*. Valencia: RSEAP, 2010 (en publicación).

BRENNI, Paolo. *Le collezioni scientifiche del Ginnasio Liceo "Giovanni Prati" di Trento. A. Gli strumenti scientifici.*, Trento, 1997, 161 p.

_____. La funzione degli strumenti scientifici nella didattica fra Settecento e Ottocento, *Studi Settecenteschi*, n.18, p.421-431, 1998.

_____. La industria de la precisión en el siglo XIX. In: A. GARCÍA; BERTOMEU, José Ramon (ed.). *Obrint les Caixes Negres: Els instruments científics de la Universitat de València*. València: Universitat, 2002, p. 53-73.

BROCK, William. *Armstrong and the Teaching of Science, 1880-1930*. Cambridge: University Press, 1973.

BUD, Robert; WARNER, John (eds.). *Instruments of science: an historical encyclopædia*. New York: Science Museum, 1998, 709 p.

CANO PAVÓN, José Manuel. Las cátedras granadinas del Conservatorio de Artes (1833-1845). *Dynamis*, n.23, p.245-267, 2003.

_____. *Estado, enseñanza industrial y capital humano en la España isabelina (1833-1868)*. Esfuerzos y fracasos. Málaga, 2001.

Casals berges, quirol *Tots a l'escola? El sistema educatiu liberal en la Lleida del XIX*. València: PUV, 2006.

CHAMOUX, Henri. L'inventari descriptiu sistemàtic dels instruments científics als liceus i universitats de França. In: BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón; GARCÍA BELMAR, Antonio (eds.) *Obrint les Caixes Negres: Els instruments científics de la Universitat de València*, València: Universitat de València, 2002, p.153-166.

CLERQ, Paul. *The Leiden Cabinet of Physics. A Descriptive Catalogue*. Leiden]: Museum Boerhaave, 1997.

CUENCA, Mar; SIMON, Josép (2010). The Establishment and Development of Physics and Chemistry Collections in Nineteenth-Century Spanish Secondary Education. In: WITJE, R. AND HEERING, P.. *Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2010.

DELGADO MARTÍNEZ, María e colaboradores. La recuperación del material científico de los gabinetes y laboratorios de Física y Química de los institutos y su aplicación a la práctica docente en Secundaria. In: URBIETA, E. (ed.). *XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. País Vasco: UPV, 2004, p.361-380.

DELGADO MARTÍNEZ, María; LÓPEZ MARTÍNEZ, José Damián. *El gabinete de Física del Instituto de Lorca (1864-1883)*. Guía didáctica, s.l., Mecnografiado, 2005.

EGIDO, Angeles; GONZÁLEZ DE LA LASTRA, Leonor; GUIJARRO, Víctor. *Instrumentos científicos para enseñanza de la física*. Madrid: MEC, 2000.

ESCOLANO BENITO, Agustín (ed.). *La cultura material de la escuela. En el centenario de la Junta para Ampliación de Estudios, 1907-2007*. Berlanga de Duero: CEINCE, 2007.

_____ (ed.). *El patrimonio histórico-educativo y la enseñanza de la historia de la educación*. Madrid, Cuadernos de historia de la educación, 2009.

ESTALELLA GRAELLS, José. La simplificación del material escolar de Física y Química. *Revista de Segunda Enseñanza*, v.18, n.2, p.563-588, 1925,.

ESPIRAL (ed.). *OCNI - Objetos científicos no Imaginados. Fisikaren irakaskuntzarako tresnak Bizkaian*. Bilbao: Ezke, 148 p. + CD-ROM, 2003.

FOURNIER-BALPE, Claudette. *Histoire de l'enseignement de la physique dans l'enseignement secondaire en France au XIXe siècle*. Paris: Université Paris XI, 1994.

GARCÍA HOURCADE, José. El Gabinete de Física en el Instituto de Segovia en el siglo XIX, Estudios sobre Historia de la Ciencia y de la Técnica. In: *IV Congreso de la Sociedad Española de Historia de la Ciencia y de las Técnicas*. Valladolid: Junta de Castilla y León, 1988, p.505-517.

GARCÍA DEL REAL, María José. Un gran patrimonio al descubierto: Los materiales científicos utilizados para la enseñanza en los institutos andaluces. *Andalucía Educativa*, n.25, p.18-20, 2001.

_____. El patrimonio científico de los institutos andaluces. Los laboratorios de Física y Química. *Azimut*, n.7, 2002.

GARCÍA MOLINA, Rafael; VILLADA LOBETE, Luis Antonio. Un gabinet de física a cavall entre dos segles: els instruments antics de física de l'Institut "Jorge Juan" d'Alacant. *Quaderns de Migjorn*, n.1, p.1-29, 2002.

GIL DE ZÁRATE, Antonio. Circular ...". In: *Colección Legislativa de España. Tercer trimestre de 1846*. Madrid: Imprenta Nacional, 1846, v. 38, p.354-365.

_____. Real Orden ... de la comisión que llevó al extranjero para adquirir máquinas y útiles necesarios en las universidades. *Boletín Oficial de Instrucción Pública*, n.5, p.129-137, 1847.

_____. *De la instrucción pública en España*. Madrid: Imp. del Colegio de Sordo-Mudos, 1855, 3 vols.

GOLINSKI, Jan. *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*. Cambridge: University Press, 1992.

GONZALEZ BUENO, Antonio; BARATAS, Luis Alfredo. *El patrimonio de Minerva: Museos y colecciones histórico-científicas de las universidades madrileñas*. Madrid: MEC, 2008.

GOODAY, Graham. Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in Victorian Britain. *British Journal for the History of Science*, n.23, p.25-51, 1990.

_____. *The Morals of Measurement: Accuracy, Irony, and Trust in Late Victorian Electrical Practice*. Cambridge: University Press, 2004.

GUIJARRO MORA, Víctor. *Los Instrumentos de la Ciencia Ilustrada. Física experimental en los Reales Estudios de San Isidro de Madrid (1770-1835)*. Madrid: UNED, 2002, 215 p.

HANKINS, Thomas; HELDEN, Albert (eds.). *Instruments*, *Osiris*, n.9, p.1-243, 1994.

HOLMES, Frederic Lawrence; LEVERE, Trevor. *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge: MIT Press, 2000.

KAISER, Dave. *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*. Chicago: University Press, 2005.

_____. (ed.). *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*. Boston: MIT, 2005b.

KEENE, Melanie. Every Boy & Girl a Scientist Instruments for Children in Interwar Britain, *Isis*, n.98, v.2, p.266-289, 2007.

LOPEZ, José Damian. *La enseñanza de la física y la química en España en la educación secundaria en el primer tercio del siglo XX en España*. Murcia: Universidad de Murcia, 1999.

MARTI, Ernesto. *Jesuitas y pedagogía. El Colegio de San José en la Valencia de los años veinte*. Madrid: UPCO, 1997.

MARTÍNEZ ALFARO, Encarnación. *Un laboratorio pedagógico de la Junta de Ampliación de Estudios. El Instituto-Escuela Sección Retiro de Madrid*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2009.

MORRIS, Peter (ed.). *From Classical to Modern Chemistry: The Instrumental Revolution*. Cambridge: Royal Society of Chemistry-Science Museum, 2002.

MORTON, A. Q.; WESS, J. A.. *Public and private science. The king George III collection*. Oxford: Oxford University Press, 1993

NARVÁEZ BUENO, Manuel. *De Raíz a Corazón. Los gabinetes y los aparatos del Colegio de San Estanislao de Kostka*. El Palo: Málaga, 2008.

NIETO GALÁN, Agustí. 1994. *Ciència a Catalunya a l'inici del segle XIX: teoria i aplicacions tècniques a l'escola de Química de Barcelona sota la direcció de Francesc Carbonell i Bravo (1805-1822)*. Universidad Autónoma de Barcelona, Tesis (doctoral), 1994.

NIETO GALÁN, Agustí; ROCA, Antoni (coords.). *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVIII y XIX. Història, ciència i societat*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, 2000, 384 pp.

NUÑEZ, Carlos. Educación. In: CARRERAS, Antonio; TAFUNELL, Xavier (coords.). *Estadísticas históricas de España, siglos XIX-XX*. Madrid: BBVA, 2005, p.155-245.

OLESKO, Kathryn. *Physics as a calling: Discipline and practice in the Königsberg seminar for physics*. Ithaca: Cornell University Press, 1991, 488 p.

_____. Science Pedagogy as a Category of Historical Analysis: Past, Present, & Future. *Science & Education*, v.15, n.2-3, p.863-880, 2006.

PASCUAL, Consuelo. *Patrimoni científic d'Alcoy. Col·lecció d'instruments i aparells del Museu Pare Vitòria. 75 anys d'ensenyament de les ciències*. Alcoi, Institut, 2007, 111 p.

PASTOR DÍAZ, Nicomedes. Circular para que los Institutos ... Catálogo Modelo de los instrumentos de física-química... In: *Colección de Órdenes generales y especiales*

relativas a los diferentes ramos de la instrucción pública secundaria y superior. Madrid: Imprenta Nacional, 1847, p.330-338.

PATRIMONIO ... histórico-científico-social del Instituto Alfonso X el Sabio, Murcia, 2002.

PUERTO SARMIENTO, Francisco Javier. La huella de Proust: el laboratorio de química del Museo de Historia Natural. *Asclepio*, v.46, n.1, p.197-220, 1994.

PUIG-PLA, Carles. Desarrollo y difusión de la construcción de máquinas e instrumentos científicos: el caso de Barcelona en los siglos XVIII y XIX. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, n.69, v.8, 2001.

_____. Máquinas e instrumentos científicos de la Real Academia de Ciencias de Barcelona. *Investigación y ciencia*, n.331, p. 74-82, 2004.

_____. 2007. *Física Tècnica i Il·lustració a Catalunya. La cultura de la utilitat: assimilar, divulgar, aprofitar*. Barcelona, UAB, Tesis (Doctoral), 2007.

PYENSON, Louis; GAUVIN, Jean. *The art of teaching physics: the eighteenth-century demonstration apparatus of Jean Antoine Nollet*. Sillery: Septentrion, 2002.

RODRÍGUEZ GUERRERO, Carmen. *El instituto del Cardenal Cisneros de Madrid (1845-1877)*. Madrid: CSIC, 2009, 432 p.

ROMERO DE PABLOS, Ana. Dos políticas de instrumental científico: el Instituto del Material Científico y el Torres Quevedo. *Arbor*, n.160, v.631-632, p.395-386, 1998.

RUDOLPH, John. *Scientists in the Classroom: The Cold War Reconstruction of American Science Education*. New York: Palgrave, 2002.

_____. Historical Writing on Science Education: a View of the Landscape. *Studies in Science Education*, n.44, v.1, p.63-82, 2008.

RUIZ CASTELL, Pedro; SIMON, Josep; BERTOMEU SANCHEZ, José. Els fabricants d'instruments de la Universitat de València. In: BERTOMEU SANCHEZ, José; GARCIA BELMAR, Antonio (eds.). *Obrint les Caixes Negres: Instruments científics de la Universitat de València*, València: Universitat de València, 2002, p.367-380.

RUIZ CASTELL, Pedro. Scientific Instruments for Education in Early Twentieth-Century Spain. *Annals of Science*, n.65, v.4, p.519-527, 2008.

SANTISTEBAN, Mariano. *Breve historia de los Gabinetes de Física y Química del Instituto de S. Isidro de Madrid*. Madrid: Aguado, 1875.

SANZ DÍAZ, Federico. *La segunda enseñanza oficial en el siglo XIX (1834-1874)*. Madrid: MEC, 1985.

SCHAFFER, Simon. Machine Philosophy: Demonstration Devices in Georgian Mechanics. *Osiris*, n.9, p.157-182, 1994.

SIMON, Josep. *Els instruments científics de l'IES "Lluís Vives". Primers resultats d'un catàleg de la cultura material de la ciència*, Treball d'investigació doctoral, Universitat de València, 2002.

SIMON, Josep; GARCÍA BELMAR, Antonio, BERTOMEU SÁNCHEZ, José. Instrumentos y prácticas de enseñanza de las ciencias físicas y químicas en la Universidad de Valencia, durante el siglo XIX. *Endoxa, Revista de filosofía de la UNED*, v.19, p. 59-121, 2005.

SIMON, Josep. Les col·leccions de física y química dels instituts de secundària: catalogació, estudi i metodologies. *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, n.1, p.85-94, 2008.

_____. 2009. *Communicating Physics in Nineteenth-Century France and England: The Production, Distribution and Use of Ganot's Textbooks*, Leeds: University of Leeds, 2009, unpublished PhD Thesis.

SIMON, Josep; GARCÍA BELMAR, Antonio; BERTOMEU SÁNCHEZ, José. Nineteenth-century scientific instruments in Spanish secondary schools. In: CARNEIRO, Ana; LOURENÇO, Marta (orgs.). *Spaces and Collections in the History of Science: The Laboratorio Chimico Overture*. Lisbon: Museum of Science of the University of Lisbon, 2009, p.167-184.

SIMON, Josep; CUENCA, Mar. Science Pedagogy and the Material Culture of the Nineteenth-Century Classroom: Working with Collections in Spanish Secondary Schools. *Science & Education*, in press, 2010.

SIRERA, Carles. 2009. *Un título para las clases medias: La enseñanza media en la provincia de Valencia, 1859-1902*. Valencia, Universidad de Valencia, Tesis (Doctoral), 2009.

SISTO EDREIRA, Rafael. *O patrimonio histórico-científico do Instituto Xelmírez ...* La Coruña: Deputación Provincial, 1999, 191 p.

_____. 2007. *A disciplina de Física e química na educación secundaria do século XIX*. Santiago de Compostela, Universidad, Tese (doutoramento), 2007, 453 p.

SISTO EDREIRA, Rafael; FRAGA VÁZQUEZ, Xavier; BUGALLO RODRÍGUEZ, Antonio. El estudio y la recuperación del patrimonio hitoricocientífico en Galicia. *Métode*, p.50-51, 2000.

SUTTON, Geoffrey. *Science for a Polite Society. Gender, Culture and the Demonstration of Enlightenment*. Boulder: Westview Press, 1995, xi + 391 pp.

TEN ROS, Antoni. La física experimental en la universidad española de fines del siglo XVIII y principios del XIX. La Universidad de Valencia y su aula de mecánica y física experimental. *Llull*, n.6, p.165-189, 1983.

_____. La ciencia experimental en la Universidad española de la Ilustración. El laboratorio químico de la Universidad de Valencia: 1787-1807. *Asclepio*, n.28, p. 287-302, 1985.

TOMAS GOMEZ, José *et al.* *Un siglo de instrumentación científica: (1851-1950)...* Granada: Universidad, 2003.

TURNER, George. *Nineteenth-Century Scientific Instruments*. Berkeley: University of California, 1983.

VÁZQUEZ ALONSO, Angel. Arqueología científica en el Instituto Balear. *Revista de Ciència*, p.11-13, 9-18, 67-80 65-72, p.1992-1993.

VIDAL DE LABRA, José Abelardo (coord.). *Conservación, actualización y divulgación del patrimonio histórico-científico-social del Instituto Alfonso X el Sabio de Murcia*. Murcia: Consejería de Educación y Cultura, 2002.

WARWICK, Andrew. *Masters of Theory: Cambridge and the Rise of Mathematical Physics*. Chicago: Chicago University Press, 2003.

WILLIAMS, Mari e. *The Precision Makers: A history of the instruments industry in Britain and France, 1870-1939*. London: Routledge, 1994.