

Viejos objetos y nuevas perspectivas historiográficas: la cultura material de la ciencia en las aulas del siglo XIX¹

José Ramón Bertomeu Sánchez

Institut d'Història de la Medicina i de la Ciència «López Piñero»
bertomeu@uv.es

Josep Simon Castel

Université Paris Ouest
jsimoncastel@u-paris10.fr

Introducción

En los últimos años, los instrumentos científicos han sido integrados con pleno derecho en las nuevas líneas de investigación en historia de la ciencia. Han dejado de ser exclusivamente piezas de museo o de coleccionismo erudito, para transformarse en una importante fuente para la historia social y cultural de la ciencia. Los nuevos estudios se realizan desde perspectivas que son fruto de la convergencia de varias disciplinas como la historia de la ciencia, la historia de la educación, la museología y la didáctica de las ciencias. Aunque existen un gran número de iniciativas, el campo adolece de una fragmentación considerable y todavía predominan los estudios de carácter local y los análisis descriptivos ajenos a cuestiones históricas de mayor calado. Este problema ha conducido, en ocasiones, a la repetición de trabajos y ha limitado

las ventajas que podrían derivarse de la transformación de los instrumentos en fuentes materiales para la historia de la ciencia. El caso que nos ocupa, la cultura material de la ciencia en las aulas, ofrece además el problema adicional del papel secundario otorgado tradicionalmente a la enseñanza en la historia de las ciencias, en parte alimentado por la incomunicación entre esta disciplina y la historia de la educación. Nuestro objetivo es tender puentes para superar estas barreras y mostrar en qué medida la renovación historiográfica puede contribuir a mejorar la comprensión histórica de las colecciones de instrumentos que se conservan en muchas instituciones educativas, así como a renovar los estudios sobre la historia de la enseñanza de las ciencias.

Los instrumentos científicos no son una novedad en la historia de la ciencia. Son objetos que han atraído siempre la atención de los historiadores de la ciencia, particularmente de aquellos relacionados con museos. Un gran número de museos se han transformado en importantes centros de investigación en historia de la ciencia y han promovido el uso de sus colecciones con finalidades *históricas* (e.g. Science Museum, Londres; Deutsches Museum, Munich;

¹ Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos de investigación HUM2006-07206-C03-02 y HAR2009-12918-C03-03, así como el programa de investigación del Institut d'Estudis Catalans PT2008-S0201-BERTOMEU01, que ha permitido la creación de la red COMIC y la página <http://www.instrumentscientifics.com>.

Conservatoire des Arts et Métiers, París; Museo Galileo, Florencia; Museum of the History of Science, Oxford; National Museum of American History, Washington D.C.). Pero es en las últimas décadas cuando las investigaciones sobre instrumentos científicos han ocupado finalmente un territorio bien definido dentro de la historia de la ciencia, contando con bibliografías especializadas (Turner, 1997), enciclopedias (Bud, 1998), congresos (Bud, 1992; Holmes, 2000) y numerosas monografías y estudios colectivos (Turner, 1993; Hankins, 1994).

Las nuevas perspectivas han tenido también consecuencias en el terreno de la museografía. Como ha señalado Jim Bennett (1997), la recuperación y la exposición de instrumentos científicos son actividades condicionadas por los planteamientos historiográficos y los objetivos perseguidos, tanto si son explícitos como si son asumidos sin discusión. A mediados del siglo XIX, Henri Michel, miembro de la «Commission pour l'Inventaire Mondial des Appareils Scientifiques» creada dentro de la Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences, consideraba que solamente se debía inventariar los instrumentos relacionados con los «principales hitos en la historia de la ciencia», dejando de lado aquellos que, según él, tenían un valor meramente «arqueológico, artístico o histórico» (Holbrook, 1992: 11). Pero la nueva historia social y cultural de la ciencia ha introducido nuevos intereses, problemas, contextos y protagonistas, que han afectado a los criterios de constitución de colecciones. Así, por ejemplo, en contraste con las perspectivas de antaño, la práctica museística incluye hoy en día tanto instrumentos destinados a investigaciones rutinarias como aquellos empleados en la enseñanza o la divulgación de las ciencias (Bertomeu et al., 2002).

Sin embargo, la integración de los instrumentos destinados a la enseñanza en la historiografía de la ciencia no ha sido fácil, debido a la inestable posición que sigue ocupando el estudio de la educación dentro de la historia de la ciencia y la escasa presencia del estudio de las ciencias dentro de la historia de la educación. El creciente interés de los historiadores de la educación por el estudio de la cultura material de las aulas (Escolano, 2007; AA.VV., 2007)

ha estado poco conectado con la recuperación de instrumentos científicos, a pesar de los numerosos trabajos realizados por profesores de enseñanza secundaria y la inclusión de algunas de estas piezas en los «museos pedagógicos» que se han establecido en los últimos años (Juan, 2008; Colledemont, 2010)². No han sido mucho más numerosos los estudios en el ámbito de la historia de la ciencia. Considerada tradicionalmente como una actividad menor, en comparación con la investigación científica, la historia de la enseñanza de las ciencias se limitó durante mucho tiempo sobre todo al estudio de los planes de estudio y el desarrollo institucional de los grandes centros de enseñanza, tal y como muestra la revisión realizada por William Brock (1975). Treinta años después, una revisión semejante publicada por John Rudolph (2008), muestra un panorama mucho más rico y complejo. Los temas de investigación se han ampliado a cuestiones tales como las relaciones entre educación y política, las disciplinas escolares, las formas de literatura escolar (con particular atención a los libros de texto o las obras de divulgación), el papel de profesores y alumnos, la influencia de los poderes políticos y económicos en los sistemas educativos, los métodos de control (por ejemplo, los exámenes), etc.

Una novedad importante de los últimos años ha sido la colaboración entre historiadores de la ciencia y de la educación, aunque, como hemos señalado, todavía es mucho el camino que se debe recorrer en este sentido. En esta incipiente convergencia ha jugado un papel relevante la recuperación y la reinterpretación desde diversas perspectivas de la obra de autores como Ludwig Fleck, Thomas S. Kuhn y Michel Foucault. De este modo, se han impulsado estudios que abordan la cuestión de la formación y la consolidación de los «estilos de pensamiento», los «paradigmas» o

² Existen, por supuesto, numerosas excepciones a esta tendencia general, entre las que destacaremos los trabajos de Damián López Martínez que figuran en la bibliografía general, así como los estudios de Rafael Sisto (2007) sobre los institutos gallegos. Más recientemente, el libro de M^a Ángeles Delgado (2009) revisa la educación femenina en ciencias y el importante papel jugado por diversas educadoras en la renovación de la enseñanza de las ciencias a principios del siglo XX.

las «disciplinas» académicas (Golinski, 1998; Warwick, 2005). Por otra parte, la nueva historia social y cultural de la ciencia ha mostrado interés por actores desconocidos como los profesores y los públicos de la ciencia. También se ha consolidado el estudio de cuestiones como ciencia y género, la cultura material de la ciencia, la historia del libro y las prácticas de lectura, las traducciones, la retórica de los textos científicos y la divulgación científica, todo lo cual ha influido en mayor o menor medida en los nuevos trabajos sobre la historia de la enseñanza científica³.

Por su parte, los historiadores de la educación, tradicionalmente centrados en las disciplinas humanísticas y en los niveles más elementales de la enseñanza, también han comenzado a prestar en los últimos años atención a las ciencias, particularmente en el terreno de la enseñanza secundaria. Así lo demuestran los trabajos realizados por Bruno Belhoste (1989, 1995) en Francia, John Rudolph (2002, 2005) en Estados Unidos y José M. Bernal (2001) en España. Junto con otros investigadores del INRP, Belhoste ha ofrecido una excelente revisión del papel de las ciencias en la enseñanza secundaria, incluyendo una útil recopilación legislativa, y estudios sobre la enseñanza de las matemáticas, un tema que está también presente en su monografía dedicada a la *Ecole Polytechnique* (Belhoste, 2003). John Rudolph ha estudiado la enseñanza de las ciencias en el siglo XX en Estados Unidos, concentrando su atención en los movimientos de renovación de las primeras décadas y los cambios que ocurrieron tras la Segunda Guerra Mundial, como se comentará más adelante. José M. Bernal ha rescatado las biografías y los proyectos de renovación de numerosos profesores de ciencias del primer tercio del siglo XX en España, apuntando la existencia de corrientes de innovación en la didáctica de las ciencias que fueron borradas de la memoria histórica por los vencedores de la guerra civil. Los tres estudios presentan muchos rasgos comunes, por lo que resulta sorprendente que se hayan desarrollado de manera

absolutamente independiente, quizá debido al carácter marcadamente local de muchos trabajos de historia de la educación y los pocos estudios que abordan espacios geográficos transnacionales. Por ello, un acercamiento a la historia de la ciencia, donde la historia comparada y los análisis transnacionales juegan un papel mucho mayor, podría servir para romper estas tendencias aislacionistas, al mismo tiempo que, como apunta el propio John Rudolph, conduciría al descubrimiento de nuevas fuentes, planteamientos y estudios sobre temas comunes.

El creciente interés por las cuestiones antes mencionadas y las posibilidades de colaboración entre varias especialidades académicas (museología, historia de la ciencia y de la educación, didáctica de las ciencias, etc.) se encuentra claramente perfilado en los congresos y en las publicaciones colectivas más recientes. Un ejemplo es el libro *Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching* y el monográfico *An Historical Perspective on Instruments and Experiments in Science Education* publicado recientemente en la revista *Science & Education*. Ambas publicaciones reflejan la riqueza y diversidad de perspectivas en torno al estudio de la cultura material de la ciencia. Una de sus virtudes es que reúnen a historiadores de la ciencia, historiadores de la educación, conservadores de museos, profesores de enseñanza secundaria y coleccionistas privados interesados en el estudio de los instrumentos científicos y sus usos educativos en diferentes contextos. Las contribuciones abordan desde estudios sobre el uso de un instrumento particular en demostraciones pedagógicas a lo largo de varias décadas a la interacción entre libros de texto, experimentos e instrumentos en las aulas, hasta revisiones de la formación de colecciones escolares en contextos nacionales o estudios sobre la evolución en el diseño de los instrumentos pedagógicos y sus interacciones con el instrumental utilizado en la investigación científica (Heering y Wittje, 2011).

Estos trabajos permiten analizar desde nuevos planteamientos el estudio de la ciencia en las aulas del siglo XX en España, tema que ha sido el objeto central de un proyecto de investigación que hemos

³ Una revisión de estos estudios, con abundante bibliografía orientativa, en el número de la revista *Cultura escrita & Sociedad* 10, (2010).

desarrollado en los últimos años. En este artículo repasaremos algunas de las principales conclusiones de estas investigaciones, remarcando las propuestas historiográficas sobre las que están basadas. Aunque centrado en los casos que hemos estudiado, también haremos referencias a otros contextos, particularmente a Francia, Inglaterra y Estados Unidos. Nuestro enfoque girará alrededor de la formación de las colecciones de instrumentos científicos de física y química que actualmente conservan muchos institutos históricos de enseñanza secundaria. En primer lugar, analizaremos la formación de las disciplinas escolares asociadas con estas colecciones, y los protagonistas principales del proceso educativo. Más adelante, revisaremos la creación de las colecciones a mediados del siglo XX, comparándolas con el caso francés. En el siguiente apartado, se estudiarán las relaciones entre los instrumentos de latón y los problemas de lápiz y papel, así como su relación con los métodos de evaluación y las pruebas orales y escritas realizadas en el contexto escolar. También se apuntarán los múltiples significados de estos objetos en el marco de las cambiantes prácticas pedagógicas y la cultura visual de la escuela. Finalmente, se revisará la evolución de la cultura material de la ciencia en consonancia con las ideas pedagógicas predominantes a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Las conclusiones servirán para repasar la situación actual de las colecciones de instrumentos científicos y discutir las posibilidades que ofrecen para servir de vínculo entre los diversos grupos académicos interesados en la historia de la enseñanza de las ciencias⁴.

Disciplinas escolares y libros de texto

El interés por el estudio de las disciplinas (tanto escolares como académicas) ha sido compartido por los historiadores de la ciencia y de la educación. Al superar las viejas narraciones centradas

en el progreso lineal, los historiadores de la ciencia se han visto obligados a plantear los rasgos que caracterizan una disciplina (memoria histórica, espacio institucional, literatura propia, sistema formativo, etc.), analizándolos en diversos contextos locales y a lo largo del tiempo (Golinski, 1998). Los historiadores de la educación han mostrado también que las disciplinas escolares son estructuras vivas, que nacen y se desarrollan —a veces, desaparecen— en el contexto escolar, con una fuerte interacción, que puede derivar en competición, generalmente bajo una rígida reglamentación, en cuanto a horarios, programas, prácticas educativas, material escolar, profesores y público destinatario. Las disciplinas escolares son creadas por los diferentes protagonistas del sistema educativo (profesores, estudiantes, grupos académicos y profesionales, poderes políticos, económicos y religiosos, etc.) que no siempre tienen ideas similares respecto a los objetivos de la educación y la organización del currículo escolar. Las disciplinas escolares, creadas en el contexto educativo de las escuelas o institutos, pueden tener una configuración muy diferente a las disciplinas académicas, configuradas en los centros de investigación⁵.

Las disciplinas escolares están muy condicionadas por la legislación vigente, el marco educativo y los contextos locales. Así queda reflejado en el surgimiento de la asignatura de Física y Química, alrededor de la cual se estructuraron las colecciones de instrumentos que describiremos más adelante. Los cambios disciplinares de la química a finales del siglo XVIII propiciaron un acercamiento a la física experimental centrada en torno a los llamados fluidos imponderables (luz, calórico, electricidad y magnetismo) que quedó reflejado en numerosas investigaciones e instrumentos conjuntos. Coincidiendo con las transformaciones educativas de la Revolución en Francia, varios profesores sugirieron la creación de una disciplina de «ciencias físicas» (incluyendo tanto física

⁴ Este trabajo forma parte del proyecto HUM2006-07206-C03-02. La ciencia en las aulas del siglo XIX: libros de texto, prácticas de enseñanza e instrumentos científicos.

⁵ Sobre esta cuestión, v. Chervel, 1988, Viñao, 2006 y el capítulo de A. Viñao en este libro.

como química) que se impartió durante un breve período de tiempo a principios del siglo XIX. La relación entre la física y la química en el espacio escolar fue muy variable en las décadas siguientes, dependiendo del nivel educativo y del contexto geográfico. En España, a partir de la década de 1840, se estableció en el currículo escolar una asignatura conjunta de Física y Química que, con diferentes nombres y variaciones, ha sobrevivido hasta la actualidad (López Martínez, 1999). Como consecuencia, en la segunda mitad del siglo XIX, se publicaron una gran cantidad de manuales de física y química que tuvieron muchas ediciones y contribuyeron a diseñar los contornos, la secuenciación, los contenidos y los métodos didácticos de la nueva disciplina en la enseñanza secundaria. En la universidad, por el contrario, las facultades de ciencias, farmacia y medicina crearon cursos separados de física y química que dieron lugar a sus propios libros de texto, dedicados a cada una de estas ciencias de manera separada. Aun así, en ciertos casos existió una considerable relación entre libros de secundaria y universitarios, que fue variando al mismo tiempo que las relaciones entre estos dos ámbitos educativos.

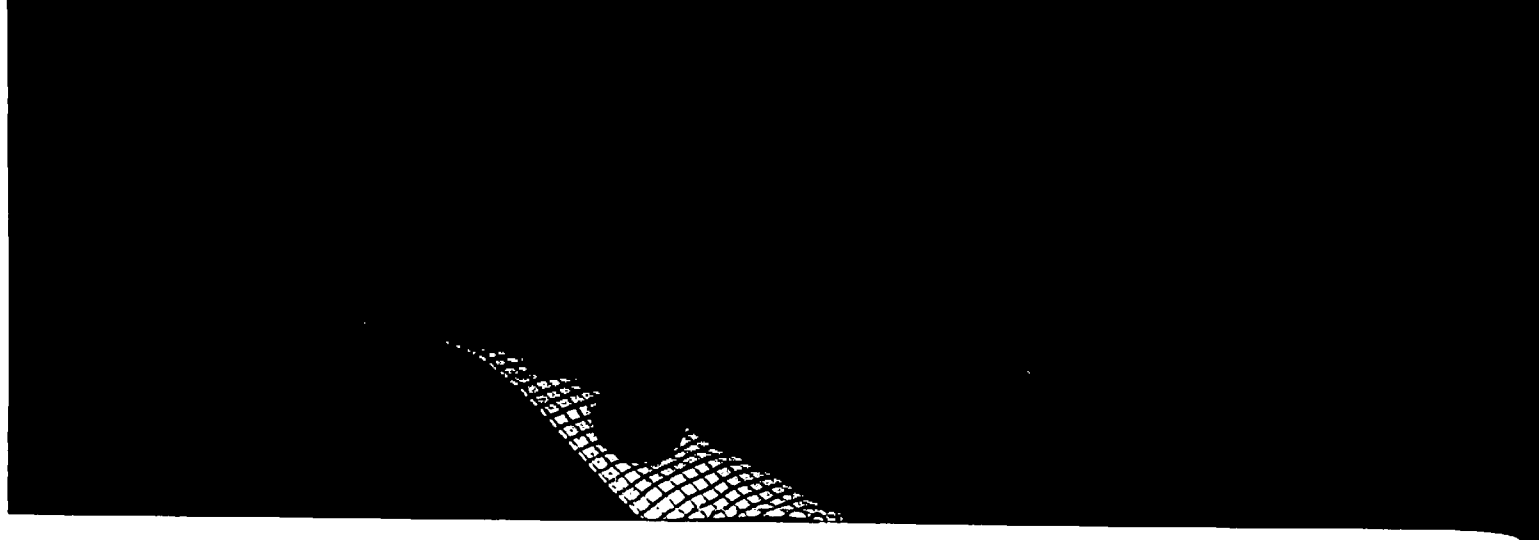
Estos ejemplos muestran la fuerte interacción entre los libros de texto y las disciplinas científicas, un tema de investigación que ha ocupado tanto a historiadores de la ciencia como de la educación. Si en la revisión de Brock (1975) se afirmaba que el estudio de los manuales era un «tema potencialmente fructífero», más de treinta años después, John Rudolph (2008) lo considera como una especialidad que «goza de buena salud». Aunque ha sido un tema tradicional para los historiadores de la educación, los proyectos colectivos que surgieron en diversos países durante los años ochenta y noventa le han dado un nuevo impulso. El proyecto más importante se desarrolló en el Institut de la Recherche Pédagogique de París bajo la dirección de Alain Choppin (1992). Otros programas de trabajo semejantes empezaron en diversos países durante los años siguientes. Por ejemplo, el proyecto MANES reúne investigadores de diferentes países latinoamericanos y universidades españolas para estudiar los manuales escolares escritos

en castellano en la época contemporánea. Además de bases de datos y bibliografías, estos proyectos han permitido la realización de estudios dedicados, por ejemplo, al mercado editorial o a los sistemas de control del libro escolar⁶.

En el terreno de la historia de la ciencia, el interés por los manuales de enseñanza es más reciente, al menos como campo propio de estudio. Los manuales habían sido tradicionalmente empleados por los historiadores de la ciencia como fuentes para conocer la «difusión» en las aulas de determinadas ideas como el darwinismo o la astronomía copernicana. Los proyectos colectivos desarrollados en los años noventa, como el propiciado por la European Science Foundation, abrieron nuevas perspectivas e introdujeron posibilidades para los análisis comparados y el estudio de obras que tenían un marcado carácter transnacional (Lundgren y Bensaude, 2000). El resultado ha sido la aparición de estudios dirigidos a conocer mejor el proceso de creación, producción y consumo del manual escolar en una gran variedad de contextos geográficos e institucionales. Todo ello ha puesto de manifiesto la libertad creativa de autores y traductores, siempre condicionada por las expectativas de los públicos destinatarios y limitada por los diversos sistemas de control gubernamentales, así como por los competitivos mercados editoriales y los cambios en las técnicas de impresión, entre muchos otros aspectos (Bensaude et al. 2002, Bertomeu et al. 2006, Simon, 2011).

Los libros de texto suelen ser productos editoriales muy rentables, por lo que han contribuido al nacimiento y consolidación de algunas de las principales editoriales europeas constituidas en el siglo XIX, período clave de desarrollo de la enseñanza de las ciencias (Larousse, Masson y Hachette son algunos ejemplos en Francia). Al mismo tiempo son obras generalmente sometidas al control gubernamental o institucional mediante varios tipos de mecanismos como,

⁶ Más datos sobre el proyecto MANES, muy relacionado con los programas de investigación que se describen en este libro, se encuentran en <http://www.uned.es/manesvirtual/portalmans.html>. Se ofrecen más referencias en la bibliografía final.



Viejos objetos y nuevas perspectivas historiográficas: la cultura material de la ciencia en las aulas del siglo XIX

José Ramón Bertramea Sánchez y Josep Simon Castet

por ejemplo, el establecimiento de un manual único para determinados niveles educativos o instituciones o, de un modo más flexible, la creación de listas de manuales oficiales, entre los que los profesores podían elegir para sus clases. Este último método fue adoptado en España con el nuevo plan de 1845, en el que se consideraba «premature» dejar libertad total a los profesores para elegir los libros de texto. A lo largo de los siguientes años, el gobierno publicó listas de libros recomendados. Si inicialmente la lista contenía numerosas traducciones de obras francesas, en la segunda mitad del siglo XIX ganaron terreno las obras de profesores españoles como Venancio González Valledor y Juan Chavarrí, Gerardo Morquecho, Francisco de Paula Montells y Nadal, Manuel Rico y Mariano Santisteban o Fernando Santos de Castro (Villalaín, 1997-1999). Ello no impidió la circulación de obras internacionales como los libros de texto de Adolphe Ganot, que tuvieron numerosas traducciones y adaptaciones a la mayor parte de lenguas europeas (Simon, 2011).

Profesores y estudiantes

El creciente papel de los profesores como autores de manuales es una muestra más de los cambios en los perfiles biográficos colectivos de los principales protagonistas de la enseñanza de las ciencias. Estos no se limitan a profesores y estudiantes, sino que también incluyen políticos, administradores educativos, directores de centros, impresores y editores, así como otros grupos profesionales. Todos ellos contribuyen, en diversa medida, a modelar las prácticas didácticas de las aulas de ciencias y su cultura material. Pero no conviene olvidar que todo esto no sería posible sin la existencia de un público interesado por los conocimientos relacionados con las ciencias experimentales. En este sentido, la expansión de la ciencia en la esfera pública durante los años de la Ilustración (Golinski, 1992; Steward, 1992) jugó un papel decisivo tanto en la creación de nuevos públicos como en el desarrollo de un modelo pedagógico que perduró durante gran parte del siglo

XIX y condicionó enormemente el diseño de los instrumentos que estudiaremos a continuación.

En el siglo XVIII, la enseñanza de la física experimental ganó un fuerte impulso gracias a la labor de un numeroso grupo de «demostradores» que recorrieron toda Europa con un amplio catálogo de experimentos espectaculares, repletos de explosiones, chispas eléctricas, fluidos elásticos y fenómenos visuales sorprendentes (Sutton, 1995; Morton, 1995; Bensaude y Lehman, 2007). Estos profesores desarrollaron un modelo de enseñanza basado en la demostración de un gran número de experimentos que constituían, en muchas ocasiones, la parte más importante de las lecciones. Gracias a la espectacularidad de los experimentos y la carga visual de las lecciones, los demostradores pudieron atraer a un público muy amplio y con intereses muy variados. Para este tipo de lecciones se diseñaron toda una serie de instrumentos científicos que tendrían una larga vida en las aulas de ciencias, tales como la máquina eléctrica de Ramsden, la máquina de Atwood para las leyes de la mecánica o la bomba de vacío para el estudio de la neumática. Algunos demostradores publicaron libros de texto con la descripción de los instrumentos y las principales experiencias, y también crearon museos de curiosidades y colecciones de historia natural (Pyenson y Gauvin, 2002). Las demostraciones se desarrollaban en una gran variedad de escenarios, desde jardines botánicos y sociedades académicas (Perkins, 2003-2004, 2010) hasta salones ilustrados, museos (Lynn, 1999) o incluso «coffee-houses» (Levere y Turner, 2002). En España, los cursos de física experimental y química fueron impulsados por diversas instituciones gubernamentales así como por un amplio grupo de nobles ilustrados y, muy especialmente, por las sociedades económicas de amigos del país que surgieron en el último tercio del siglo XVIII. Bajo

⁷ Sobre los cursos de física experimental y los instrumentos científicos de la Ilustración, véase los libros de Víctor Gujarro (2002), acerca de los Reales Estudios de San Isidro, y Nuria Valverde (2007). Este último, que repasa las diferentes culturas de la precisión en la España del siglo XVIII incluye un capítulo sobre el Seminario de Nobles de Madrid y la «deriva experimentalista» de los jesuitas así como una interesante discusión de la labor educativa de la Sociedad Económica Matritense.

el impulso de estas tendencias, también algunas universidades establecieron gabinetes de física experimental y cursos de química, generalmente dirigidos a la formación de médicos y boticarios, pero, en ocasiones, abiertos también a la participación de artesanos y público en general (Golinski, 1992; Simon et al, 2005, Taylor, 2008).

De este modo, cuando surgieron en España los nuevos centros de enseñanza, existía ya un modelo pedagógico basado en las demostraciones experimentales que implicaba el empleo de una gran cantidad de aparatos por parte del profesor. Los nuevos centros se crearon principalmente entre 1836 y 1845 en diversas situaciones, tanto desde el punto de vista del profesorado como de los recursos, el marco geográfico y político, las instalaciones y los espacios disponibles⁸. Muchos de ellos incorporaron una asignatura de Física experimental (mecánica, hidrostática e hidrodinámica, acústica, calor, óptica, electricidad y magnetismo) con algunas clases sobre nociones de química. 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 (López Martínez, 1999). Muchos de los aparatos del siglo XIX eran versiones simplificadas de instrumentos de la ciencia ilustrada y cumplían una función pedagógica similar, dentro del modelo de enseñanza antes descrito, donde la lección teórica y la demostración experimental se consideraban ingredientes esenciales de las clases de ciencias.

Este modelo de enseñanza aparece en los primeros informes que elaboraron los profesores de ciencias, poco después del inicio de la enseñanza secundaria en ciencias. En 1849, por ejemplo, Josep Llach i Soliva, profesor del Instituto de Girona, indicaba que

las lecciones comenzaban con los principios teóricos acompañados de «demostraciones matemáticas», siempre que lo permitiera el nivel elemental de los alumnos, y, por regla general, continuaban con la «confirmación experimental». Llach afirmaba poner «el mayor empeño» en que los alumnos adquirieran «una idea exacta de los aparatos en conjunto, y de cada una de sus partes», así como «de la marcha de los experimentos y su teoría», para lo cual empleaba «los abundantes medios materiales» del gabinete de Física. Finalmente, también hacía énfasis en las «aplicaciones más importantes» del tema en cuestión a «las demás ciencias, a las artes y a los usos más comunes de la vida»⁹.

Para desarrollar este tipo de enseñanza fue necesario comprar instrumentos adecuados, de los que nos ocuparemos en el apartado siguiente, y crear una plantilla de profesorado capaz de realizar demostraciones experimentales. Los primeros profesores de física y química de los institutos creados alrededor de 1840, eran farmacéuticos, médicos o abogados, con una formación complementaria, más o menos avanzada, en el campo de las ciencias experimentales. A mitad del siglo XIX, hubo un intento de creación de una escuela normal, semejante a la francesa, pero la experiencia fue muy limitada, a pesar de lo cual sirvió para formar algunos profesores y futuros directores de centros (Yanes, 2006). Entre ellos se encontraban José Monlau, traductor del importante manual de Adolphe Ganot; Jaume Banús, futuro director del Instituto de Valencia (Cuenca, 2011); y Luis Morón, profesor de Física y Química que jugó un papel crucial en la constitución de la colección de instrumentos de Granada (Castellón, 2009; Sánchez, 2011). En los años siguientes, la formación del profesorado de secundaria fue una de las principales funciones de las nuevas facultades de ciencias surgidas a mediados de la década de 1840. Por ello, muchos profesores adquirieron una formación avanzada en ciencias y publicaron manuales actualizados e, incluso, realizaron contribuciones originales en

⁸ Para una introducción general, véase Viñao (1982) y 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 histórica, de muy diversa calidad, de carácter local y, en ocasiones, con pocos contactos entre sus autores. Por suerte, hay numerosas excepciones a esta tendencia general como, por el ejemplo, el reciente estudio realizado por Sirera (2011).

⁹ Citado por Oloriz, 2008, p. 48.

forma de artículos o nuevos diseños de aparatos (Simon et al. 2009, Bertomeu et al. 2011).

La creación de las colecciones: perspectivas comparadas

El establecimiento de gabinetes de Física y laboratorios de Química fue una prioridad para los centros de enseñanza y las autoridades académicas que organizaron la enseñanza secundaria alrededor de 1845. Un protagonista importante de estas iniciativas fue Antonio Gil de Zárate, que 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 podía conocer la importancia de los instrumentos en la enseñanza de las ciencias. Después de revisar el estado de las colecciones universitarias, una comisión de profesores designada por el Gobierno estableció un catálogo de referencia y, en el otoño de 1846, Gil de Zárate, acompañado por Juan Chavarri, viajó a París para organizar la compra de instrumentos, contrató los servicios de varios fabricantes y adquirió piezas para gabinetes de Física, 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 (Simon et al. 2009; Simon y Cuenca, 2012).

Durante los años siguientes, y con el fin de coordinar la compra de los instrumentos y homogenizar las colecciones, se elaboraron varios catálogos modelo de los gabinetes de Física y Química para las universidades y los centros de enseñanza secundaria. Se trataba de listas de instrumentos basadas en catálogos de los constructores franceses Lerebours y Pixii que, en el caso de los centros de enseñanza secundaria, incluía inicialmente 152 instrumentos de física y 133 objetos de química, aunque posteriormente la lista fue reducida, particularmente en el caso de la química. El catálogo para las universidades era bastante similar pero incluía un tercio más de instrumentos de física y casi tres veces más de objetos de química, muchos de ellos destinados a realizar actividades de investigación o análisis químicos (Bertomeu, 2011; Cuenca y Simon, 2011).

Estos catálogos modelo emulaban las medidas adoptadas 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 las 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 en el catálogo modelo francés de 1821 como en el de 1842 se sugería que, aunque el principal objetivo era pedagógico, las escuelas de enseñanza secundaria deberían adquirir, cuando resultara posible, instrumentos para las investigaciones de los profesores de ciencias físicas (Belhoste, 1995; Belhoste y Hulin, 1996).

Un análisis comparado de todos estos catálogos puede ayudar a apuntar algunas particularidades de las colecciones españolas y permite matizar la importancia de las inversiones que se realizaron. Resulta evidente que el catálogo escolar francés de 1842 contenía muchos más instrumentos de física que los establecidos en las listas previstas, tanto para las universidades españolas (1846) como para los institutos (1847). La colección francesa incluía más barómetros y termómetros, así como numerosos instrumentos más complejos para el estudio del calor, la electricidad y el magnetismo, y otros destinados a ilustrar innovaciones industriales recientes. Muchos de estos instrumentos estaban estrechamente relacionados con las investigaciones realizadas por autores como François Arago, Alexandre-Edmond Becquerel y Macedonio Melloni que desarrollaron su carrera científica en París. Existen también diferencias en las especialidades científicas. El catálogo español de universidad era muy pobre en instrumentos de acústica pero la colección modelo francesa tenía menos instrumentos relacionados con 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 las escuelas francesas (1821), por su número limitado de instrumentos, seleccionados con el objetivo de mostrar fenómenos físicos simples.

Las recomendaciones de los 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 finalizados y sólo cinco escuelas estaban mal equipadas¹⁰. 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 (Simon y Cuenca, 2012).

Los inventarios disponibles muestran que, a mediados de 1860, la situación de las colecciones era diversa. 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 recomendados en el catálogo modelo de 1847 para las escuelas, y doblaban el número estipulado por los catálogos modelo de las universidades españolas (1846) y las escuelas francesas (1842). Un número considerable de institutos provinciales habían conseguido también 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 pudo igualar o aproximarse muy ligeramente a las recomendaciones hechas más de una década antes. Este fue también el caso de los institutos locales (Cuenca y Simon, 2011; Bertomeu et al. 2011).

A pesar del papel homogenizador que desempeñaron los primeros catálogos modelo, las colecciones crecieron de diverso modo en función de cuestiones tales como los requerimientos pedagógicos y el diverso peso de las materias impartidas, lo que, por ejemplo, supuso un aumento en el número de piezas de las áreas relacionadas con el electromagnetismo (nuevas pilas eléctricas, instrumentos de medición, modelos de aparatos eléctricos de uso industrial, etc.) que experimentó una fuerte expansión en la segunda mitad del siglo XIX. Otros factores que contribuyeron a modificar las colecciones fueron la situación geopolítica de los centros, su cercanía a grandes universidades y la competencia de otras instituciones educativas; la población escolar que determinó sustancialmente las cantidades invertidas en la compra de material escolar; el carácter más o menos activo del profesorado en la constitución de las colecciones; y la realización de funciones de peritaje técnico o de información meteorológica, como la red coordinada por el observatorio nacional que alentó la compra de termómetros, barómetros e higrómetros de gran precisión por parte de los institutos de enseñanza secundaria. Por regla general, los centros con mayor número de alumnos y profesores tuvieron más oportunidades para ampliar sus colecciones, mientras que los institutos más pequeños tuvieron más dificultades para renovarlas y ampliarlas. Existen, no obstante, muchas excepciones a esta tendencia general que pueden explicarse por el mayor peso de los otros factores ya mencionados. Así, por ejemplo, los pocos galvanómetros (instrumentos de medidas eléctricas) presentes en las colecciones españolas no fueron adquiridos por los más importantes institutos universitarios o provinciales (con excepción de Salamanca) sino por centros más pequeños como los de Logroño, Huesca y Monforte de Lemos. Los intereses y el espíritu emprendedor de algunos profesores y autoridades locales condicionaron de manera relevante la compra de instrumentos tanto para la enseñanza como para la investigación, independientemente del estatus de los centros en la política educativa estatal.

¹⁰ *Gaceta de Madrid*, 7 de septiembre 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 Orense) tenían colecciones mayores que las prescritas por el catálogo modelo. Cf. A. Gil de Zárate, *De la instrucción pública en España*, Madrid, Colegio de Sordo-Mudos, 1855, vol. II, pp. 80-161.

Instrumentos de latón y de papel

Las demostraciones experimentales perseguían una gran diversidad de objetivos, 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. Los manuales de enseñanza de esos años están plagados de grabados que describen estas experiencias que, como se ha apuntado, provenían de la tradición pedagógica desarrollada en el siglo XVIII. Los experimentos se realizaban con instrumentos caros y delicados que no podían permanecer en manos de los alumnos. Suponían una gran pericia por parte del profesor, que también debía integrar los experimentos en un discurso oral coherente y realizar las operaciones de modo adecuado para delimitar los significados transmitidos a través de los instrumentos. Los instrumentos científicos del siglo XIX, por lo tanto, estaban inscritos en una cultura oral y gestual que resulta muy complicada de recuperar con las fuentes históricas disponibles (Waquet, 2003; Morus, 2010).

Los cuadernos de notas de los estudiantes son una de las fuentes principales que permiten recuperar el contexto en el que fueron empleados los instrumentos científicos en las aulas del siglo XIX. Estos cuadernos eran producidos siguiendo una serie de patrones de toma de notas de las lecciones magistrales (Bruter, 2008, 2011) y, en algunas ocasiones, se transformaron en los gérmenes de manuales de enseñanza, con o sin el consentimiento del profesor (Bensaude et al. 2003). Todavía son fuentes poco estudiadas por los historiadores de la ciencia pero los análisis disponibles muestran las diferencias entre los contenidos de estos cuadernos y los manuales de enseñanza, tanto en la secuenciación de contenidos como en el número de experimentos y la descripción de los mismos (García y Bertomeu, 2004, 2010).

Los cuadernos de estudiantes muestran que los instrumentos científicos estaban integrados en un conjunto más amplio de recursos didácticos que podríamos denominar «instrumentos de

papel» («paper tools»). Estos recursos incluyen, en primer lugar, lo que el científico británico James Clerk Maxwell (1831-1879) denominaba «los familiares instrumentos de pluma, tinta y papel», las herramientas básicas de las personas que trabajaban en ciencias teóricas durante el siglo XIX (Warwick, 1998, 2003). La realización de ejercicios de lápiz y papel, explicados generalmente en la pizarra por parte del profesor, formaba una parte importante de las clases de Física y Química, que fue ganando importancia hasta el siglo XX, cuando Thomas Kuhn los consideró como un ingrediente característico de la enseñanza científica:

El proceso de aprendizaje de una teoría depende del estudio de aplicaciones, que incluyen la práctica de resolución de problemas, tanto con lápiz y papel como con instrumentos en el laboratorio. Si por ejemplo el estudiante de la dinámica newtoniana descubre el significado de términos como 'fuerza'/'masa', 'espacio' y 'tiempo' lo hace en menor medida por las definiciones incompletas, aunque a veces útiles, contenidas en su libro de texto, que por la observación y participación en la aplicación de esos conceptos a la solución de problemas. (Kuhn, 1996: p. 47).

El texto de Kuhn apunta las similitudes entre los problemas escritos y las demostraciones de laboratorio. Algunos instrumentos y demostraciones desarrolladas en las aulas del siglo XIX se transformaron progresivamente en problemas de lápiz y papel, con más o menos contacto con los objetos y las operaciones prácticas de los que procedían. Así ocurrió con los experimentos con la máquina de Atwood, que se transformaron en problemas idealizados para estudiar las leyes de caídas de graves, o los análisis eudiométricos, que sirvieron de base para problemas relacionados con la estequiometría. La naturaleza, las funciones y las características de estos problemas han variado a lo largo de los últimos siglos pero es poco lo que conocemos respecto a estas transformaciones. Es posible encontrar ejemplos de problemas de física, tanto prácticos como escritos y orales, en los libros del siglo XVIII, particularmente en temas relacionados con la matemática aplicada, el dibujo

geométrico, la arquitectura, o la ingeniería. A veces, estos problemas eran la base de los exámenes escritos y orales para la selección de profesores de enseñanza secundaria, arquitectos, ingenieros, forestales, etc., tal y como se practicó en algunos estados centroeuropeos al menos desde principios del siglo XIX. En la década de 1830 estos ejercicios escritos y prácticos habían tomado una forma más o menos definida y eran habituales en los seminarios de enseñanza secundaria y en las aulas y laboratorios universitarios. De este modo, en las décadas siguientes, fueron recogidos, estandarizados y difundidos a través de varios manuales de física como el publicado por Kohlrausch en 1870 que, aunque fue concebido inicialmente para sus estudiantes de Göttingen, acabó transformándose en un auténtico «canon» de la física práctica durante el siglo XIX. El manual contenía tanto descripciones detalladas sobre el funcionamiento de los instrumentos y la preparación de prácticas experimentales como indicaciones acerca de los métodos de calibración y la minimización de errores y un programa de problemas para diversas especialidades de la física (Olesko, 2005). Uno de los primeros libros en castellano dedicados exclusivamente a problemas de física y química fue publicado en 1840 por Juan Mieg, profesor de origen centroeuropeo afincado en Madrid. Contenía casi mil problemas, muchos de ellos relacionados con fenómenos de la vida cotidiana, que repasaban las principales leyes de la dinámica, la gravitación, la hidrostática, la electricidad, la óptica y la química. Una pequeña selección de las cuestiones de química nos dará una idea de la gran distancia entre estos problemas y los actuales. Mieg planteaba preguntas cortas con respecto a la formación de «tintas simpáticas», el mejor modo de fabricar cerraduras impermeables, la elaboración de grabados químicos, etc. También había toda una serie de cálculos de análisis químico y del resultado previsto de determinadas reacciones, cuya principal diferencia con los actuales es la ausencia de fórmulas químicas, aunque ya comenzaban a ser habituales en su época¹¹.

Unas décadas después, Mariano Santisteban, publicó una colección de «problemas de física y química» dirigidos a los alumnos que cursaban su asignatura en el Instituto de San Isidro de Madrid. Incluía problemas sobre varios apartados del temario de física (presión atmosférica, acústica, termometría, calor específico, óptica, fuerzas, dinámica, etc.) que podían resolverse mediante cálculos matemáticos sencillos. En la segunda sección, dedicada a la química, Santisteban incluyó varios ejercicios de lápiz y papel basados en instrumentos como el eudiómetro (para medir la calidad del aire) o la «cuba hidroneumática». No obstante, la mayor parte de los problemas de esta sección estaban basados en el uso de los pesos equivalentes y las fórmulas químicas de Berzelius para calcular las cantidades de reactivos implicadas en reacciones químicas¹².

Una sencilla comparación de la sección de química de los libros de Mieg y de Santisteban muestra en qué medida la introducción de fórmulas y ecuaciones químicas (Klein, 2003) creó nuevos tipos de problemas asociados con las cuestiones que hoy comprende la estequiometría. La resolución de estos problemas suponía emplear determinadas técnicas matemáticas y procedimientos pautados que han variado también enormemente, tal y como puede comprobarse a través de la evolución de los diferentes métodos de ajuste de las ecuaciones químicas (Garrigós, 1990).

Esta tradición de problemas de lápiz y papel jugó un papel muy destacado en los ejercicios escritos que se transformaron en los principales métodos de evaluación durante la segunda mitad del siglo XIX. Estas pruebas tienen también su propia historia. En los conocidos estudios, Andrew Warwick (1998, 2003) ha mostrado los cambios de los contenidos y las prácticas de la enseñanza de la Física matemática en Cambridge como consecuencia del abandono de los exámenes orales para introducir la realización de pruebas escritas, es decir, el cambio de «una cultura de la lectura y el discurso oral a otra basada en la escritura en el papel». A lo largo del siglo XVIII y buena

¹¹ Juan Mieg, *Colección de problemas y cuestiones sobre la Física y la Química*, Madrid, Pedro Sanz y Sanz, 1840.

¹² Mariano Santisteban, *Problemas de física y química*, Madrid, Aguado, 1868.

parte del siglo siguiente, los ejercicios orales, a veces realizados con la asistencia de un público muy variado y amplio, eran habituales en muchas universidades europeas. En la segunda mitad del siglo XIX, los exámenes se transformaron en actos privados, individuales y escritos sobre papel, en clara contraposición a los concursos públicos, colectivos y orales como el que, por ejemplo, organizó la Universidad de Valencia en 1805 para otorgar un premio de química ofrecido por un aficionado a las ciencias. Los candidatos debían responder a tres cuestiones elegidas al azar del popular manual de química de Pierre Macquer, ampliando la información con la «doctrina de los gases descubierta posteriormente» y empleando la nueva nomenclatura química. También debían «responder a los reparos y dificultades que les propongian los examinadores»¹³.

Warwick ha mostrado que estos cambios en las pruebas de evaluación condujeron a nuevos objetivos formativos que comportaron nuevas formas de enseñanza y prácticas de estudio. En los exámenes orales, la capacidad memorística y las habilidades oratorias de los candidatos eran fundamentales, tanto para presentar ordenadamente los contenidos de los manuales como para responder a las preguntas de los profesores. A menudo, como en el caso de los estudiantes de farmacia, los estudiantes debían repetir experimentos o realizar preparaciones químicas, lo que comportaba una formación previa en el laboratorio. La llegada de las pruebas escritas estuvo asociada con la generalización de los nuevos problemas de lápiz y papel antes mencionados. Los estudiantes debían mostrar su habilidad para resolver cuestiones con un aparato matemático cada vez más complejo, que difícilmente se podía incluir en los exámenes orales. En algunos casos, las experiencias prácticas fueron sustituidas por algoritmos formalizados de resolución de problemas que permitían obtener respuestas correctas, aunque a menudo alejaban al alumno de los problemas prácticos y de los experimentos del laboratorio. En otras situaciones, como en el citado manual de Kohlrausch, el análisis matemático fue de la mano

de la práctica experimental. Los cambios en las pruebas de evaluación supusieron, por lo tanto, una transformación muy importante en los contenidos enseñados y en los métodos pedagógicos asociados, así como en el papel desempeñado por los instrumentos de latón y de papel (Warwick, 2003; Olesko, 2005).

Estos ejemplos muestran que los instrumentos científicos se integraron en prácticas de oralidad, lectura y escritura, dentro de las cuales adquirieron diversos significados y funciones pedagógicas. También formaron parte de una cultura visual más amplia, repleta de convenciones gráficas, diagramas y modelos bi- y tridimensionales, tales como las ya mencionadas fórmulas químicas y las diversas representaciones gráficas y materiales de las moléculas. Estas imágenes y objetos estaban basados en toda una serie de supuestos implícitos entre creadores y usuarios, muchos de ellos de carácter local y transitorio, tal y como han mostrado los recientes estudios sobre el tema (Pang, 1997).

El papel de la cultura visual de la ciencia comportó una serie de problemas pedagógicos que merecerían ser estudiados con mayor detalle de lo que podemos hacer en esta breve revisión. En el siglo XIX, nuevas técnicas de ilustración e imprenta promovieron la multiplicación e importancia pedagógica de las imágenes en los libros de texto. Estas imágenes fueron a menudo puestas al servicio de diversas técnicas pedagógicas de visualización tales como las proyecciones con linternas mágicas o el uso de pósters didácticos, también presentes en las colecciones de los institutos españoles (Bucchi, 1998; Simon 2011). Un buen ejemplo de combinación de representaciones visuales con instrumentos de latón y de papel, es la espectroscopia del siglo XIX, una disciplina basada en el uso del color para el análisis de mezclas de sustancias químicas. La herramienta básica era el espectroscopio, un instrumento presente en muchos centros de enseñanza secundaria y universidades del siglo XIX, y que tenía como objetivo principal la separación de las líneas de colores que formaban la emisión luminosa de las muestras analizadas. Esta información cualitativa sobre el color (y la intensidad de las líneas espectrales) tuvo dificultades para abrirse paso en los

¹³ *Diario de Valencia*, 60 (78), 17-06-1805. V. Simon et al. 2005.

libros de texto por requerir láminas coloreadas y, por lo tanto, costosas técnicas de imprenta. A pesar de ello, fueron incluidas en muchos de los manuales publicados en España y en otros países. Las circunstancias y el carácter de las representaciones varió con la llegada de escalas graduadas (con valores numéricos aproximados para las líneas) y también con los cambios en el tipo de representación (gracias a la llegada de la fotografía y las nuevas técnicas de reproducción e impresión de imágenes). En este cambiante escenario fue necesario crear materiales didácticos (láminas coloreadas) para formar a los estudiantes que debían también manejar espectroscopios didácticos en las aulas de ciencias para poder reconocer y, más adelante, calibrar los valores de las rayas espectrales (Hentschel, 2002).

En este terreno hay que reseñar también los trabajos de David Kaiser sobre la producción, la circulación y el uso de los diagramas de Feynman en el siglo XX. Kaiser ha mostrado las sucesivas transformaciones de los diagramas hasta convertirse en una herramienta didáctica para la formación en física, así como las conexiones entre prácticas de investigación y registros experimentales con métodos pedagógicos y estrategias de formación que condicionaron la forma final de los diagramas. Asimismo, ha subrayado que los problemas asociados con su circulación son semejantes a los que se dan en la reproducción de experimentos con instrumentos difíciles de manejar, en los que resultan fundamentales los contactos personales y la repetición práctica junto con las personas que han realizado previamente el experimento (Kaiser et al., 2004; Kaiser, 2005a y 2005b).

Estos ejemplos muestran las similitudes y las conexiones entre los problemas pedagógicos creados por nuevos métodos de cálculo y de comunicación visual y los planteados por la llegada de nuevos instrumentos y técnicas experimentales. Las diversas culturas escolares condicionaron la circulación de estas prácticas (teóricas o experimentales), en algunos casos propiciando la aparición de nuevos ejercicios didácticos, experiencias de aula o problemas de lápiz y papel, sometidos a diversos métodos de evaluación y control. Los instrumentos científicos adquirieron diversos significados a

medida que se integraron en diversas prácticas de oralidad y escritura, así como en una cultura material y visual más amplia, que fue cambiando a lo largo del siglo XIX con la llegada de nuevas tendencias pedagógicas que analizaremos a continuación.

Nuevas tendencias pedagógicas y prácticas didácticas

Las compras de nuevos instrumentos y la mejora de las colecciones continuaron durante las tres primeras décadas del siglo XX, cuando todavía eran herramientas indispensables para la enseñanza de las ciencias. Nuevas tendencias, sin embargo, pronto cambiarían este escenario. La introducción de modelos pedagógicos 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 (1848-1937), que postulaba la transformación del estudiante en un científico en miniatura que podría descubrir las leyes físicas con experimentos simples realizados bajo la tutela del profesor (Armstrong, 1903: 237). En el Finsbury College, Armstrong daba a los estudiantes instrucciones precisas para hacer una larga lista de experimentos sencillos, que servían para introducir la terminología química y los conceptos básicos:

La instrucción consistía en comprender los elementos de la ciencia del día a día en la medida que es esencial para entender las operaciones ordinarias y objetos de la Naturaleza y había de ser, de principio a final, de carácter tan práctico como posible, de manera que sirva para desarrollar las facultades de observación, comparación y razonamiento a partir de la observación. (Armstrong, 1903: 241)

Los primeros experimentos giraban en torno al aire y al agua (sustancias suficientemente familiares para los estudiantes), después introducía las sustancias elementales (el oxígeno, el hidrógeno, etc.) y avanzaba de esta manera hasta los conceptos más teóricos. Sus ideas fueron desarrolladas por el comité para la renovación de

la enseñanza de las ciencias de la British Association for the Advancement of Science que preparó una encuesta entre los profesores sobre los mejores métodos para enseñar ciencia. Las respuestas señalaban un fuerte descontento con los métodos de enseñanza existentes, aunque carecían de alternativas plenamente consolidadas. La comisión elaboró varios informes a finales del siglo XIX en los que apoyaba algunas de las propuestas de Armstrong que fueron llevadas adelante en otros centros de Gran Bretaña y dieron lugar a la aparición de nuevos tipos de manuales de ciencias y programas, donde la labor práctica del alumno ganaba un nuevo protagonismo (Armstrong, 1903; Brock, 1973).

En un contexto muy diferente, los movimientos pedagógicos del primero tercio del siglo XX en España propiciaron un cambio sustancial en la cultura material de las aulas, defendiendo un nuevo tipo de educación científica, dirigida a la formación de los ciudadanos, en la que las actividades prácticas realizadas por alumnos jugaban ahora un papel destacado. Los Institutos-Escuela, el Museo Pedagógico y la Junta de Ampliación de Estudios tuvieron gran protagonismo en este proceso. Muchos profesores innovadores, como José Estalella o Miguel Catalán, se habían formado en el extranjero gracias a becas de la Junta. Aconsejaban evitar el uso de demostraciones con instrumentos complicados y ajenos a la experiencia cotidiana de los estudiantes, para reemplazarlos por excursiones para conocer la naturaleza circundante y prácticas de laboratorio, con instrumentos sencillos fabricados por los propios estudiantes. «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», afirmaba Estalella en 1925. Estas tendencias condujeron a la progresiva desaparición de los instrumentos mencionados en el apartado anterior y su sustitución por otros más sencillos y con nuevos propósitos pedagógicos¹⁴.

¹⁴ La cita de Estalella procede del trabajo de Bernal (2001). V. también López Martínez (1999) y Martínez Alfaro (2009). Sobre los instrumentos, v. Bertomeu y García (2002) y Ruiz Castell (2008).

En EE. UU. este nuevo modo de enseñar las ciencias elementales se expandió durante el primer tercio del siglo XX para establecer nuevos currículos y prácticas didácticas para las ciencias naturales. Los nuevos profesores desdeñaban el excesivo peso de la taxonomía, aprendida memorísticamente, y enfocaban la actividad didáctica en los objetos y la cultura visual, así como en el interés por el entorno local, potenciado a través de pequeñas excursiones fuera del aula. También prestaban especial atención a asuntos relacionados con la experiencia cotidiana de los alumnos (Rudolph, 2005; Kohlstedt, 2010). Por ejemplo, el proyecto «life-adjustment curriculum», desarrollado por los maestros de ciencias de los años treinta, pretendía diferenciar claramente el saber escolar de la estructura de las disciplinas científicas a través del uso masivo de ejemplos de la vida cotidiana y de aplicaciones tecnológicas relacionadas con el entorno de los estudiantes, a los que se les otorgaba un gran protagonismo en la elaboración de su propia formación y materiales didácticos. La Segunda Guerra Mundial cambió esta situación porque, entre otras cosas, supuso una mayor influencia de los científicos universitarios en la organización de la enseñanza elemental. A principios de los años cincuenta diversos académicos comenzaron a criticar el currículum basado en experiencias de la vida cotidiana para reclamar un mayor protagonismo de las estructuras y los conceptos propios de las disciplinas académicas, como una forma democrática de acercar la ciudadanía a la élite intelectual y de propiciar las vocaciones científicas en los años de la guerra fría y la competición con la URSS. Así autores como Harry Fuller criticaron el excesivo peso de la botánica aplicada, limitada a nociones de higiene y agricultura, para reivindicar la introducción de conocimientos básicos relacionados con la nueva biología. Muchos científicos estaban preocupados por esta confusión entre ciencia y tecnología que podía ir en detrimento de la autonomía que pensaban que requería la ciencia básica para transformarse en clave del desarrollo tecnológico (Rudolph, 2002). De este modo, con el apoyo de asociaciones de científicos y del

gobierno norteamericano, se elaboraron nuevos programas, materiales didácticos (que incluían nuevos manuales, libros de ejercicios y documentales), así como recursos para dotar laboratorios «hands-on», generalmente basados en aparatos sencillos, que permitían ejemplificar fácilmente la cuestión teórica estudiada, muchas veces contruidos con elementos de la vida cotidiana por los propios estudiantes¹⁵.

Estos cambios en las prácticas pedagógicas tuvieron, como es lógico, su reflejo en los espacios y en la cultura material de las aulas. Las colecciones históricas de instrumentos de muchos centros de enseñanza en España son buenos testigos de estas transformaciones. Basta con comparar los instrumentos de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, pensados para las demostraciones experimentales hechas por profesores, con los que llegaron en las décadas de 1950 y 1960, muchos de ellos fabricados por el instituto Torres Quevedo y la empresa ENOSA, y que proponían experiencias sencillas realizadas por los estudiantes (Bertomeu y García, 2002; Ruiz, 2008). En otro contexto, la Gran Bretaña de principios del siglo XX, inspirados por el método heurístico de Armstrong, los fabricantes de instrumentos comercializaron toda una colección de instrumentos sencillos, que podían ser fácilmente contruidos por los alumnos. El lema empleado, «Every Boy & Girl, A Scientist» es suficientemente significativo (Keene, 2007).

En definitiva, y a pesar de la concisión requerida, resulta evidente la gran variedad de funciones atribuidas a los instrumentos y a las prácticas experimentales de profesores y alumnos en la enseñanza de las ciencias del período analizado. Los cambios en las prácticas e ideas pedagógicas quedan reflejados tanto en las colecciones de instrumentos que han sobrevivido, y que estudiaremos en el apartado siguiente, como en los espacios y los dise-

ños arquitectónicos de los centros y las aulas de enseñanza¹⁶. Son pocos los casos en los que se mantienen los espacios donde se desarrollaron las clases, salvo excepciones como el laboratorio químico de la Universidad de Lisboa, recientemente restaurado (Lourenço y Carneiro, 2009). Sin embargo, los archivos conservan una gran cantidad de fuentes que podrían ser empleadas para mostrar la interacción entre los diseños arquitectónicos y las prácticas pedagógicas, de modo semejante a lo que ocurre con la cultura material conservada en muchos institutos de enseñanza secundaria.

Patrimonio científico e historia de la ciencia

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 y viejos armarios o fueron transformados en piezas decorativas de salas de profesores y bibliotecas escolares. Además del azar, la conservación de estas colecciones ha estado condicionada por muy diversas circunstancias: la importancia de cada una de las especialidades científicas 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); y, finalmente, el valor cultural y

¹⁵ «Complicated apparatus is apt to obscure the basic simplicity of the subject under investigation, while simple apparatus makes it easy both to see the principles of physics and to appreciate how these principles influence the design of [the experiments]» Cf. Physical Science Study Committee, *Physics: laboratory Guide*, 1965. Citado por Rudolph, 2002, pp. 131-132.

¹⁶ Esta cuestión remite a la reciente literatura sobre los diversos espacios en los que se desarrolla la ciencia, que inicialmente se centró en los diseños de los laboratorios (Shapin, 1988; Hannaway, 1996).

estético atribuido a las piezas a lo largo de los años en que dejaron de ser herramientas pedagógicas para convertirse en parte del patrimonio del centro (Bertomeu et al., 2011).

Muchos institutos históricos y universidades conservan importantes colecciones de instrumentos científicos procedentes, en su mayor parte, de los años finales del siglo XIX y del primer tercio del siglo XX, que incluyen piezas muy valiosas construidas por algunos de los más importantes fabricantes europeos de esos años. Ante la ausencia de políticas locales o estatales sobre patrimonio científico, los protagonistas de la conservación de estos objetos han sido los propios profesores de ciencias de los institutos históricos que han sabido reconocer sus potenciales usos pedagógicos y su valor patrimonial. Todo ello ha permitido la realización de inventarios, estudios y, en algunos casos, la creación de pequeños museos en los centros, generalmente con escasos recursos económicos y de personal. En la mayor parte de ocasiones, los trabajos de gestión de las colecciones han sido impulsados por celebraciones y aniversarios, por lo que han tenido un carácter muy limitado en el tiempo. Esta situación ha condicionado el tipo de estudios realizados, generalmente centrados en una única colección de instrumentos, con escasos contactos entre los diversos proyectos similares existentes y, por regla general, sin ninguna relación con las investigaciones académicas en el terreno de la museología, la historia de la ciencia o la historia de la educación. Solamente en las últimas décadas se han comenzado a establecer redes de trabajo y grupos más amplios de investigadores, profesores y conservadores de museos, que han permitido la aparición de proyectos más ambiciosos y nuevas líneas de trabajo como las que hemos apuntado en este artículo¹⁷.

La conservación de estas colecciones exige la mejora de los contactos entre los diversos grupos interesados en el patrimonio

material de la ciencia, con el objetivo de evitar las repeticiones innecesarias, intercambiar experiencias y superar el carácter local de los estudios y los proyectos de catalogación, para conectarlos con las investigaciones internacionales sobre historia de la ciencia e historia de la educación. La revisión historiográfica que hemos presentado en este trabajo es una invitación para superar barreras disciplinarias y propiciar un escenario de colaboración.

Hemos visto que la cultura material de la ciencia que se conserva en las instituciones educativas refleja muchas de las cambiantes características de la enseñanza de las ciencias de los últimos siglos. Las diversas investigaciones revisadas muestran transformaciones importantes en aspectos como las disciplinas escolares, los manuales de enseñanza, los protagonistas de la educación, las instituciones y las políticas educativas, así como en otros aspectos que han condicionado los usos de los instrumentos en las aulas. Se han estudiado los procesos que condujeron a la creación de las colecciones y la evolución diferenciada de los gabinetes de Física y Química según los rasgos de cada centro. También se ha apuntado la relación entre estos objetos con los problemas de lápiz y papel, los modelos didácticos, la cultura visual y el diseño de los espacios educativos. Y hemos dejado fuera de nuestro análisis muchos otros aspectos que merecerían mayor atención: la relación entre programas de curso, manuales escolares y la cultura material; el papel de los instrumentos y las prácticas experimentales en el diseño de los cambiantes métodos de evaluación y en los exámenes orales, escritos o prácticos; o el papel de los museos y los instrumentos en la creación de la memoria histórica de las disciplinas científicas.

El estudio de estas cuestiones permitirá ampliar nuestro conocimiento sobre las colecciones de instrumentos científicos que han sobrevivido y, al mismo tiempo, propiciar nuevos usos de estos objetos como piezas de museo, herramientas didácticas y fuentes materiales para la historia de la ciencia y de la educación. Estos estudios exigen la cooperación de diversos grupos académicos con profesores y conservadores de museo. También obliga a supe-

¹⁷ Hemos revisado estos proyectos en Bertomeu et al. 2011. Se encuentran descritos en la página de la red COMIC: <http://www.instrumentscientifics.com>. Véase López-Ocón y Pedrazuela, 2011 para una revisión de los resultados producidos por una de las redes de trabajo, el programa CEIMES.

rar el carácter local de los estudios para variar las escalas del análisis y renovar el tipo de narraciones históricas, que no pueden limitarse ya a la necesaria (pero insuficiente) reconstrucción de las características e historia de las colecciones particulares en el contexto de aniversarios y celebraciones de instituciones educativas. Resulta urgente generar estudios comparados que conecten los casos particulares con la reciente literatura histórica sobre la enseñanza de las ciencias que, como sugerimos, ofrece nuevas preguntas, planteamientos y métodos de análisis para estudiar una gran variedad de fuentes tradicionalmente poco empleadas, incluyendo las fuentes materiales que ofrecen las colecciones que se han conservado. Los estudios que hemos repasado permiten recuperar la perspectiva diacrónica y el papel creativo de la enseñanza de las ciencias, mucho más rica que las tradicionales reconstrucciones en las que se le otorgaba un papel secundario frente a la

investigación. Las nuevas tendencias han otorgado también un nuevo protagonismo a toda una serie de personajes habitualmente olvidados, al mismo tiempo que han dado mayor importancia a contextos locales que no figuraban dentro de las grandes narrativas de la historia de la ciencia. Estas líneas de investigación apuntan nuevas posibilidades para el estudio de las colecciones escolares que sólo podrán desarrollarse plenamente en la medida que se superen toda una serie de inercias académicas y barreras disciplinarias para la creación de redes de trabajo y nuevas dinámicas de colaboración. Los cambiantes significados de los instrumentos científicos en las aulas de ciencias ofrecen un punto de encuentro entre la historia de la ciencia y la historia de la educación, que pueden permitir el intercambio de estudios, protagonistas, fuentes y métodos de análisis. Este trabajo pretende ser una pequeña contribución para avanzar en esta dirección.

Bibliografía

- AA. VV. (2007): «Historia de un olvido: patrimonio en los centros escolares», *Participación educativa*, núm. 7, pp. 1-150.
- ANDREWS, J. T. (2003): *Science for the Masses: The Bolshevik State, Public Science, and the Popular Imagination in Soviet Russia, 1917-1934*, Austin, Texas University.
- APPLE, M. W. Y L. K. CHRISTIAN-SMITH (eds) (1991): *The Politics of the Textbook*, London, Routledge.
- ARMSTRONG, H. E. (1903): *The Teaching of Science Method and other Papers on Education*, London, MacMillan.
- BELHOSTE B. (1989): «Les caractères généraux de l'enseignement secondaire scientifique de la fin de l'Ancien Régime à la première guerre mondiale», *Histoire de l'éducation*, núm. 41, pp. 3-45.
- BELHOSTE B., ET. AL. (1995): *Les sciences dans l'enseignement secondaire en France. Tome 1, 1789-1914*, París, INRP.
- BELHOSTE B. (2003): *La formation d'une technocratie. L'Ecole Polytechnique et ses élèves de la Revolution au Second Empire*, París, Belin.
- BELHOSTE B. Y HULIN N. (eds.) (1996): *Les Sciences au lycée: Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, París, Vuibert-INRP.
- BENNETT, J. A. (1997): «Museums and the establishment of the history of science at Oxford and Cambridge», *British Journal for the History of Science*, núm. 30 (1), pp. 29-46.
- BENSAUDE-VINCENT B. Y ABBRI F. (eds.) (1995): *Lavoisier in European Context. Negotiating a New Language for Chemistry*, Canton, Science History Publications.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2006): «Textbooks on the Map of Science Studies», *Science and Education*, núm. 15, pp. 667-670.
- BENSAUDE-VINCENT, B., GARCÍA BELMAR, A. Y BERTOMEU, J. R. (2003): *L'émergence d'une science des manuels. Les livres de chimie en France (1789-1852)*, París, Editions des Archives Contemporaines.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Y LEHMAN, C. (2007): «Public Lectures of Chemistry in Mid-Eighteenth-Century France», en PRINCIPE L. (ed.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, pp. 77-97.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Y BLONDEL, C. (eds.) (2008): *Science and Spectacle in the European Enlightenment*, Ashgate.
- BERETTA, M. (1992): «The Historiography of Chemistry in the Eighteenth Century: a Preliminary Survey and Bibliography», *Ambix*, núm. 39 (1), pp. 1-11.
- BERNAL, J. M. (2001): *Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas y experiencias escolares (1882-1936)*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- BERNAL MARTÍNEZ, J. M. Y LÓPEZ, J. D. (2007): «Los museos educativos y el material científico-pedagógico construido en la escuela», en ESCOLANO, A. (ed.): *La cultura material de la escuela, En el centenario de la Junta de Ampliación de Estudios, 1907-2007*, Berlanga de Duero, CEINCE, pp. 155-167.
- BERNAL MARTÍNEZ, J. M.; DELGADO, M. A. Y LÓPEZ, J. D. (2009): «El patrimonio histórico-científico como recurso didáctico: de la ciencia en el laboratorio a las ciencias para la vida» en BERRUEZO, M. R. Y CONEJERO, S. (eds.): *El largo camino hacia una educación inclusiva: la educación especial y social del siglo XIX a nuestros días*, Pamplona, pp. 605-614.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. Y GARCÍA BELMAR, A. (eds.) (2002): *Obrint les caixes negres*, Valencia, PUV.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R., GARCÍA BELMAR, A. Y BENSAUDE-VINCENT B. (2002): «Looking for an order of things: Textbooks and Chemical Classifications in Nineteenth Century France», *Ambix*, núm. 49 (2), pp. 227-251.
- BERTOMEU Y SÁNCHEZ, J. R.; GARCÍA BELMAR, A.; LUNDGREN, A. Y PATINIOTIS, M. (eds.) (2006): *Science Textbooks in the European Periphery: Science and Education* (special issue), núm. 15 (2-3).

- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. Y GARCÍA BELMAR, A. (2006): *La revolución química. Entre la historia y la memoria*, Valencia, PUV.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. (2009): «Llibres de text i pràctiques d'ensenyament de la química (1700-1900). Part I: Manuals, disciplines escolars i protagonistes de la educació científica. Part II: Manuals, disciplines escolars i protagonistes de la educació científica», *Educació Química*, núm. 3, 37-46, 4, 4-12.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. ET AL. (2010): «Los instrumentos científicos de los centros de enseñanza secundaria en España: historia, estado actual y futuro del patrimonio científico educativo» en GRANATO, M. Y LOURENÇO, M. (eds.): *Coleções científicas de instituições luso-brasileiras: Patrimônio a ser Descoberto*, Rio De Janeiro, Brasil, Editorial, MAST/MCT.
- BERTOMEU J. R. Y MUÑOZ R. (2010b): «Sulfureto y azoote. Debates y propuestas en torno a la terminología química durante la primera mitad del siglo XIX», *Revista de Investigación Lingüística*, núm. 13, pp. 275-302.
- BERTOMEU J. R. Y MUÑOZ R. (2010c): «Resistencias, novedades y negociaciones: la terminología química durante la primera mitad del siglo XIX en España», *Dynamis*, núm. 30, pp. 213-238.
- BERTOMEU J. R. Y MUÑOZ R. (2010d): «Los avatares de la traducción científica: los manuales de química franceses en castellano (1788-1845)», en DE MIGUEL, C.; HERNÁNDEZ, C. Y PINILLA, J. (eds.): *Enfoques de teoría, traducción y didáctica de la lengua francesa. Estudios dedicados a la profesora Brigitte Lépinette*, Valencia, PUV, pp. 61-81.
- BERTOMEU J. R. Y MUÑOZ R. (2011): «Darwinismo inorgánico y clasificaciones químicas: el sistema periódico en España (1880-1920)» (en prensa).
- BERTOMEU SANCHEZ, J. R.; CUENCA LORENTE, M.; GARCÍA BELMAR, A. Y SIMON CASTEL, J. (2011): «Las colecciones de instrumentos científicos de los centros de enseñanza secundaria del siglo XIX en España», *Historia de la educación*, núm. 30, pp. 167-193.
- BIAGIOLI, M. Y GALLISON, P. (eds.) (2003): *Scientific Authorship. Credit and Intellectual Property in Science*, Routledge, New York and London.
- BLONDEL, C. Y MEGRELIS, M. (2000): «Berzelius's Textbook: In Translation and Multiple Editions, as Seen Through His Correspondence», en LUNDGREN, A. Y BENSUADE-VINCENT, B. (eds.): *Communicating Chemistry: Textbooks and Their Audiences*, Canton, Science History Pub., pp. 233-255.
- BOUGARD M. (1999): *La chimie de Nicolas Lémery*, Turnhout, Brepols Publishers.
- BOWLER, P.J. (2007): *Monkey trials and gorilla sermons: evolution and Christianity from Darwin to intelligent design*, Cambridge, Harvard University Press.
- BROCK W. (1973): *H E Armstrong and the Teaching of Science 1880 -1930*, Cambridge, University Press.
- BROCK, W. (1975): «From Liebig to Nuffield: a bibliography of the history of science education», *Studies in Science Education*, núm. 2, pp. 67-99.
- BROOKE, J.H. (1991): *Science and Religion: Some Historical Perspectives*, Cambridge, University Press.
- BRUTER, A. (2008): «Le cours magistral XVe-XXe siècles. 1. Publics et savoirs», *Histoire de l'éducation*, núm. 120, pp. 5-161.
- BRUTER, A. (ed.) (2011): «Le cours magistral. Le cadre institutionnel et matériel», *Histoire de l'éducation*, núm. 30.
- BUCCI, M. (1998): «Images of science in the classroom: Wall-charts and science education 1850-1920», *British Journal for the History of Science*, núm 31 (2), pp. 161-164.
- BUD, R. Y COZZENS, S. E. (1992): *Invisible Connections. Instruments, Institutions, and Science*, Washington, SPIE.
- BUD, R. Y WARNER, J. D. (eds.) (1998): *Instruments of Science: and Historical Encyclopaedia*, Nueva York, Science Museum.
- CAMPI, E.; GRAFTON, A. Y GOEING, A. (2008): *Scholarly knowledge. Textbooks in early modern Europe*, Geneva, Droz.

- CASPARD, P. (1984): «De l'horrible danger d'une analyse superficielle des manuels scolaires», *Histoire de l'education*, núm. 21, pp. 67-74.
- CASTELLÓN SERRANO, L. (2009): *Historia y actualidad de un museo científico, 1845-2009: Instituto Padre Suárez*, Granada, IES Padre Suárez.
- CHADAVERIAN, S. Y HOPWOOD, N. (2004): *Models: the Third Dimension of Science*, Stanford University Press.
- CHERVEL A. (1988): «L'histoire des disciplines scolaires: réflexions sur un domaine de recherches», *Histoire de l'education*, núm. 38, pp. 59-121.
- CHOPPIN, A. (1992): *Les manuels scolaires: histoire et actualité*, París, Hachette.
- CLARK, W. (1997): «Textbooks in the "Goethezeit"», (Part I-II), *History of Science*, núm. 35 (2-3), 219-239; 295-363.
- CLARK, W. (2006): *Academic charisma and the origins of the research university*, Chicago University Press.
- CLERICUZZIO, A. (2006): «Teaching Chemistry and Chemical Textbooks in France. From Beguin to Lemery», *Science and Education*, núm. 15, pp. 335-355.
- COMIC, (2008): *Comissió d'Instruments Científics*. <www.instrumentscientifics.com>
- COMPÈRE M. M. (1995): *L'histoire de l'education en Europe: essai comparatif sur le façon dont elle s'écrit*, París, INRP.
- COLLELDEMONT, E., PADRÓS, N. Y CARRILLO, I. (eds.) (2010): *Memo-ria, ciudadanía y museos de la educación*, Vic, Universidad de Vic.
- CUENCA, M. Y SIMON, J. (2011): «The Establishment and Development of Physics and Chemistry Collections in Nineteenth-Century Spanish Secondary Education (1845-1861)», en WITJE, R. Y HEERING, P. (eds.): *Learning by Doing: Experiments and Instruments in the History of Science Teaching*, Stuttgart, Franz Steiner Verlag.
- DELGADO, M. Á. (2009): *Científicas y educadoras: las primeras mujeres en el proceso de construcción de la didáctica de las Ciencias en España*, Murcia, Universidad de Murcia.
- ESCOLANO A. (2007): *La cultura material de la escuela: En el centenario de la Junta para la Ampliación de Estudios, 1907-2007*, Berlanga del Duero, SEDHE.
- FARADAY, M. (1827): *Chemical Manipulations*, Londres.
- FARADAY, M. (2004): *La historia química de una vela*, Madrid, Nivola. Edición original en <<http://www.gutenberg.org/etext/14474>>
- GARCÍA BELMAR, A. Y BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. (2004): «Les cahiers d'élèves, Sources pour une histoire des contenus et des pratiques de l'enseignement de la chimie», en: http://www.inrp.fr/she/cours_magistral/expose_thenard/expose_thenard_complet.htm (consultado 01-02-2011).
- GARCÍA BELMAR, A. Y BERTOMEU J. R. (2010): «Palabras de química. Oralidad y escritura en la enseñanza de una ciencia experimental», *Cultura escrita y Sociedad*, núm. 10, pp. 107-148.
- GARCÍA BELMAR, A. Y BERTOMEU, J. R. (2010): «Louis Jacques Thenard's Chemistry Courses at the Collège de France, 1804-1835», *Ambix*, núm. 57(1), pp. 48-64.
- GARRIGÓS I OLTRA, L. (1990): *Aproximación a la evolución histórica de los métodos de ajuste de las ecuaciones químicas*, Alicante, Juan Gil-Albert.
- GOLINSKI, J. (1992): *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge University Press.
- GOLINSKI, J. (1998): *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*, Cambridge University Press.
- GOODAY, G. J. N. (2004): *The Morals of Measurement. Accuracy, Irony, and Trust in Late Victorian Electrical Practice*, Cambridge University Press.
- GUJARRO MORA, V. (2002): *Los instrumentos de la ciencia ilustrada: física experimental en los Reales Estudios de San Isidro de Madrid (1770-1835)*, Madrid, UNED.
- HANKINS, T. L.; HELDEN, A. V. (eds.) (1994): «Instruments», *Osiris*, núm. 9.
- HANNAWAY, A. O. (1975): *The Chemists and the Word. The Didactic Origins of Chemistry*, Baltimore and London, The Johns Hopkins University Press.

- HANNAWAY, O. (1986): «Laboratory Design and the Aim of Science: Andreas Libavius versus Tycho Brahe», *Isis*, núm. 77, pp. 585-610.
- HJALMAR, F. (2003): *Mutual Favours: The Social and Scientific Practice of Eighteenth-Century Swedish Chemistry*, Uppsala, Universitetsstryckeriet.
- HENTSCHEL, K. (2002): *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford University Press.
- HOLBROOK, M. (1992): *Science Preserved. A directory of scientific instruments in collections in the United Kingdom and Eire*, Londres, HMSO Publications Centre.
- HOLMES F. L. (1989): «The Complementary of Teaching and Research in Liebig's Laboratory», *Osiris*, núm. 5, pp. 121-164.
- HOLMES, F. Y LEVERE, T. H. (eds.) (2000): *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge, MIT Press.
- JENSEN, W. B. (2006): «Textbooks and the Future of the History of Chemistry as an Academic Discipline», *Bulletin for the History of Chemistry*, núm. 31, pp. 1-8.
- JOHNS, A. (1998): «Science and the Book in Modern Cultural Historiography», *Studies in History and Philosophy of Science*, núm. 29 (2), pp. 167-194.
- JOHNS, A. (2009): *Piracy: the intellectual property wars from Gutenberg to Gates*, Chicago University Press.
- JOHNSON, E. B. (1996): *Libros de texto en el calidoscopio. Estudio crítico de la literatura y la investigación sobre los textos escolares*, Ediciones Pomares-Corredor, Barcelona.
- JUAN, V. (ed.) (2008): *Museos Pedagógicos: la memoria recuperada*, Huesca, Museo Pedagógico de Aragón.
- KAISER, D. (2005): «Training and the Generalist's Vision in the History of Science», *Isis*, núm. 96, pp. 244-251.
- KAISER, D. (ed.) (2005a): *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*, Boston, MIT.
- KAISER, D. (2005b): *Drawing Theories Apart: The Dispersion of Feynman Diagrams in Postwar Physics*, Chicago University Press.
- KAISER, D.; ITO, K. Y HALL, K. (2004): «Spreading the Tools of Theory: Feynman Diagrams in the USA, Japan, and the Soviet Union», *Social Studies of Science*, núm. 34 (6), pp. 879-922.
- KAJI, M. (2003): «Mendeleev's Discovery of the Periodic Law: The Origin and the Reception», *Foundations of Chemistry*, núm. 5, pp. 189-214.
- KEENE, M. (2007): «"Every Boy & Girl a Scientist" Instruments for Children in Interwar Britain», *Isis*, núm. 98 (2), pp. 266-289.
- KIDWELL, P.A. ET AL. (2008): *Tools of American Mathematics Teaching, 1800-2000*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- KLEIN, U. (2003): *Experiments, Models, Paper Tools: Cultures of Organic Chemistry in the Nineteenth Century*, Stanford University Press.
- KOHLER, R. (1975): «The Lewis-Langmuir theory of valence and the chemical community, 1920-1928», *Historical Studies in the Physical Sciences*, núm. 6, pp. 431-468.
- KOHLER, D. (2002): *Chemiedidaktische Entwicklungen in Der Ersten Hälfte Des 20. Jahrhunderts: Eine Analyse Zur Situation Des Historischen Chemieunterrichts*, P. Lang.
- KOHLSTEDT, S.G. (2010): *Teaching Children Science. Hands-on Nature Study in North America, 1890-1930*, Chicago University Press.
- KUHN, T. (1996): *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University Press, 3rd edition.
- LEHMAN, C. (2010): «Innovation in chemistry courses in France in the mid-eighteenth century: experiments and affinities», *Ambix*, núm. 57 (1), pp. 64-83.
- LEVERE, T. Y TURNER, G. (eds.) (2002): *Discussing Chemistry and Steam: The Minutes of a Coffee House Philosophical Society, 1780-1787*, Oxford University Press.
- LIGHTMAN, B. (2007): *Victorian Popularizers of Science. Designing Nature for New Audiences*, Chicago, Chicago University Press.
- LIND, G. (1992): *Physik im Lehrbuch, 1700-1850*, Berlin, Springer.
- LIND, G. (2000): «Chemistry in Physics Textbooks, 1780-1280», en LUNDGREN, A.; BENSUADE-VINCENT, B. (eds.): *Communicating Chemistry*, Canton, Science History Publications, pp. 119-141.

LINDEE, M.S. (1991): «The American career of Jane Marcet's *Conversations on chemistry, 1806-1853*», *Isis*, núm. 82, pp. 9-23.

LÓPEZ MARTÍNEZ, J. D. (1999): «La enseñanza de la física y química en la educación secundaria en el primer tercio del siglo XX en España», Murcia, tesis doctoral.

LÓPEZ MARTÍNEZ, J. D. (2008): «Francia en el punto de mira: el material científico para la enseñanza de la física y química en los institutos de segunda enseñanza a partir del Plan de 1845», en HERNÁNDEZ DÍAZ, J. M. (ed.): *Influencias francesas en la educación española e iberoamericana (1808-2008)*, Salamanca, Universidad, pp. 147-160.

LÓPEZ MARTÍNEZ, J. D. Y BERNAL, M. (2009): «El material de enseñanza como recurso didáctico en la Historia de la Educación», *Cuadernos de historia de la educación*, núm. 6, pp. 53-93.

LÓPEZ-OCON, L. Y PEDRAZUELA, M. (eds.) (2011): «La enseñanza secundaria en construcción a través de los institutos históricos madrileños», *Arbor*, núm. 187 (749), pp. 453-651.

LOURENÇO, M. C.; CARNEIRO, A. (eds.) (2009): *Spaces and Collections in the History of Science: The Laboratório Chimico Overture*, Lisboa, Museum of Science of the University of Lisbon.

LUNDGREN, A. Y BENSUADE-VINCENT, B. (eds.) (2000): *Communicating Chemistry. Textbooks and Their Audiences, 1789-1939*, Canton, Science History Publications.

LYNN, M. R. (1999): «Enlightenment in the Public Sphere: The Musée de Monsieur and Scientific Culture in Late-Eighteenth-Century Paris», *Eighteenth-Century Studies*, 32 (4), pp. 463-476.

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

MATTHEWS, M. R. (1994): *Science teaching: The role of history and philosophy of science*, New York, Routledge.

MEINEL, C. (2004): «Molecules and Croquet Balls», en CHADAVIRIAN, S. Y HOPWOOD, N. (eds.): *Models: the Third Dimension of Science*, Stanford University Press, pp. 242-275.

MORTON, A. Y ESS, J. (1993): *Public and private science: the King George III collection*, Oxford University Press.

MORTON A.O. (ed.) (1995): «Science lecturing in the Eighteenth Century. Special Issue», *British Journal for the History of Science*, núm. 28, pp. 131-156.

MORUS, I. R. (1998): *Frankenstein's Children. Electricity, Exhibition and Experiment in Early-Nineteenth-Century London*, Princeton University Press.

MORUS, I. R. (2010): «Focus: Placing performance», *Isis*, núm. 101, pp. 775-778.

NEWMAN, W. R. Y PRINCIPE, L. M. (1998): «Alchemy vs. Chemistry: The Etymological Origins of a Historiographic Mistake», *Early Science and Medicine*, núm. 3 (1), pp. 32-65.

NIETO GALÁN, A. (1994): «Un projet régional de chimie appliquée à la fin du XVIII^e siècle: Montpellier et son influence sur l'École de Barcelone: Jean-Antoine Chaptal et Francesc Carbonell», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, núm. 44, pp. 38-62.

NUMBERS, R. (2006): *The Creationists: From Scientific Creationism to Intelligent Design*, Cambridge, Harvard University Press.

NYE, M. J. (1999): «From Student to Teacher. Linus Pauling and the Reformulation of the Principles of Chemistry in the 1930s» en LUNDGREN, A. Y BENSUADE-VINCENT, B. (eds.): *Communicating Chemistry. Textbooks and Their Audiences, 1789-1939*, Canton, Science History Publications, pp. 397-414.

OLESKO, K. M. (1991): *Physics as a calling: Discipline and practice in the Königsberg seminar for physics*, Ithaca, Cornell University Press.

OLESKO, K. M. (2005): «The Foundations of a Canon: Kohlrausch's Practical Physics» en KÄISER, D. *Pedagogy and the Practice of Science*, Boston, MIT, pp. 323-356.

OLESKO, K. (2006): «Science Pedagogy as a Category of Historical Analysis: Past, Present and Future», *Science and Education*, núm. 15 (2-3), 863-880.

OLORIZ, J. (2008): *L'Institut de Segon Ensenyament de Girona (1845-1900)*, Girona, CCG.

PAPANELOPOULOU, F. NIETO A. Y PERDIGUERO, E. (eds.) (2009): *Popularizing Science and Technology in the European Periphery, 1800-2000*, London, Ashgate.

- PANG, A. (1997): «Visual Representation and Post-Constructivist History of Science», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, núm. 28, pp. 139-171.
- PAULING, L. (1955): *College Chemistry. An Introductory Textbook of General Chemistry*, San Francisco, Freeman and Co, 2nd ed.
- PELLON, I. Y GAGO, R. (1994): *Historia de las cátedras de química de Vergara*, Bergara.
- PERKINS, J. (2003-04): «Creating chemistry in provincial France before the Revolution: the examples of Nancy and Metz. Part 1, Nancy. Part 2, Metz», *Ambix*, núm. 50 (2), pp. 145-182.
- PERKINS, J. (ed.) (2010): «Chemistry Courses and the Construction of Chemistry, 1750-1830», *Ambix*, núm. 57 (1), pp. 1-103.
- POWERS, J. (2007): «Chemistry without Principles: Herman Boerhaave on Instruments and Elements», en PRINCIPE, L. (ed.): *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, pp. 45-63.
- PRINCIPE, L. (2007): *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry. Contributions from the First Francis Bacon Workshop*, 21-23 April 2005, Springer.
- PYENSON, L. Y GAUVIN J. F. (2002): *The Art of Teaching Physics: The Eighteenth-century Demonstration Apparatus of Jean Antoine Nollet*, Montreal, Les éditions du Septentrion.
- RAMBERG, P.J. (2003): *Chemical Structure, Spatial Arrangement: The Early History of Stereochemistry, 1874-1914*, Aldershot, Ashgate.
- ROCKE, A. (1984): *Chemical atomism in 19th. Century: From Dalton to Cannizzaro*, Columbus, Ohio State Univ. Press.
- ROCKE, A. (2003): «Origins and spread of the "Giessen Model" in university science», *Ambix*, núm. 50 (1), pp. 90-115.
- RUDOLPH, J. L. (2002): *Scientists in the Classroom: The Cold War Reconstruction of American Science Education*, New York, Palgrave.
- RUDOLPH, J. L. (2005): «Turning Science to Account: Chicago and the General Science Movement in Secondary Education, 1905-1920», *Isis*, núm. 96, pp. 353-389.
- RUDOLPH, J. L. (2008): «Historical Writing on Science Education: a View of the Landscape», *Studies in Science Education*, núm. 44 (1), pp. 63-82.
- RUIZ CASTELL, P. (2008): «Scientific instruments for education in early twentieth-century Spain», *Annals of Science*, núm. 65, pp. 519-527.
- SÁNCHEZ TALLÓN, J. (2011): *Los instrumentos de física en los manuales y en los gabinetes del s. XIX en España. Estudio de caso: El gabinete del I.E.S. «P. Suárez» de Granada*, Granada, Universidad de Granada, tesis doctoral.
- SANZ DÍAZ, F. (1985): *La segunda enseñanza oficial en el siglo XIX (1834-1874)*, Madrid, MEC.
- SCERRI, E. (2006): *The Periodic Table: Its Story and Its Significance*, Oxford University Press.
- SHAPIN, S. (1988): «The House of Experiment in Seventeenth-Century England», *Isis*, núm. 79 (3), pp. 373-404.
- SIMÕES, A. (2008): «A quantum chemical dialogue mediated by textbooks: Pauling's *The nature of the chemical bond* and Coulson's *Valence*», *Notes and Records of the Royal Society*, 62 (3), pp. 259-269.
- SIMON J., GARCÍA A. Y BERTOMEU J. R. (2005): «Instrumentos y prácticas de enseñanza de las ciencias físicas y químicas en la Universidad de Valencia, durante el siglo XIX», *Endoxa*, núm. 19, pp. 59-121.
- SIMON, J. (2008): «Communicating Science and Pedagogy» en SIMON, J. Y HERRAN N. (eds.): *Beyond Borders: Fresh Perspectives in History of Science*, Cambridge, Scholars Publishing.
- SIMON, J., BERTOMEU, J. R. Y GARCÍA, A. (2009): «Nineteenth-Century Scientific Instruments in Spanish Secondary Schools», en LOURENÇO M. C. Y CARNEIRO, A. (eds.): *Spaces and Collections in the History of Science: The Laboratorio Chimico Overture*, Lisboa, Museum of Science of the University of Lisbon.
- SIMON, J. (2011): *Communicating physics: The production, circulation and appropriation of Ganot's textbooks in France and England, 1851-1887*, London, Pickering & Chatto.

SIMON, J. Y CUENCA, M. (2012): «Science Education and the Material Culture of the Nineteenth-Century Classroom: Physics and Chemistry in Spanish Secondary Schools», *Science and Education*, núm. 21 (2), 227-244.

SIRERA, C. (2011): *Un título para las clases medias. El instituto de bachillerato Lluís Vives de Valencia, 1859-1902*, Valencia, Universitat de València.

SISTO, R. (2007): *A disciplina de Física e química na educação secundária do século XIX*, Santiago de Compostela, Universidad, Tese de doutoramento.

STEWART, L. (1986): «Public Lectures and Private Patronage in Newtonian England», *Isis*, núm. 77, pp. 47-58.

STEWART, L. (1992): *The Rise of Public Science. Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge University Press.

SUTTON, G. (1995): *Science for a Polite Society. Gender, Culture and the Demonstration of Enlightenment*, Boulder, Westview Press.

TAYLOR, G. (2008): «Marking out a disciplinary common ground: The role of chemical pedagogy in establishing the doctrine of affinity at the heart of British chemistry», *Annals of Science*, núm. 65 (4), pp. 465-486.

TOPHAM, J. (ed.) (2009): «Focus: Historicizing "Popular Science"», *Isis*, núm. 2, pp. 310-318.

TOPHAM, J. (2009): «Rethinking the History of Science Popularization / Popular Science», en PAPANEOPOULOU F., NIETO A. Y PERDIGUERO E. (eds.): *Popularizing Science and Technology in the European Periphery, 1800-2000*, London, Ashgate, pp. 1-21.

USSELMAN, M. C. Y ET. AL. (2005): «Restaging Liebig: A Study in the Replication of Experiments», *Annals of Science*, núm. 62 (1), pp. 1-57.

VALVERDE, N. (2007): *Actos de precisión: instrumentos científicos, opinión pública y economía moral en la ilustración española*, Madrid, CSIC.

VILLALAIN BENITO, J. L. (1997-1999): *Manuales escolares en España. Tomo I. Legislación (1812-1939). Tomo II. Libros de Texto Autorizados y Censurados (1833-1874)*, Madrid, UNED.

VIÑAO, A. (1982): *Política y educación en los orígenes de la España contemporánea. Examen especial de sus relaciones en la enseñanza secundaria*, Madrid, Siglo XXI.

VIÑAO, A. (2006): «La historia de las disciplinas escolares», *Historia de la Educación*, núm. 25, pp. 243-269.

VITORIA, E. (1932): *Manual de química moderna, teórica y experimental*, Barcelona, Tipográfica Católica Casals, 11ª ed. (12ª ed. Barcelona, Casals, 1940).

YANES CABRERA, C. (2006): «Análisis histórico sobre la creación y desaparición del primer centro español para la formación del profesorado de educación secundaria», *Revista de Educación*, núm. 336, (2006), pp. 745-762.

WAQUET, F. (2003): *Parler comme un livre. L'oralité et le savoir (XVIe-XXe siècle)*, París, Albin Michel.

WARWICK, A. (1998): «A Mathematical World on Paper: Written Examinations in Early 19th Century Cambridge», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, núm. 3, pp. 295-319.

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

WARWICK, A. Y KAISER, D. (2005): «Conclusion: Kuhn, Foucault, and the Power of Pedagogy», en KAISER, D. (ed.): *Pedagogy and the Practice of Science: Historical and Contemporary Perspectives*, Cambridge, MA, MIT Press, pp. 393-404.