

LA FÍSICA EN LAS ESCUELAS INDUSTRIALES ESPAÑOLAS EN LA ÉPOCA ISABELINA (1850-1868)

JOSÉ M. CANO PAVÓN
Universidad de Málaga

JOSÉ M. LÓPEZ-CEPERO BORREGO
Universidad de Sevilla

RESUMEN

La Física tuvo en las escuelas industriales que funcionaron en España durante el reinado de Isabel II y especialmente a partir de 1850, una importancia bastante grande, al ser imprescindible para aquellos alumnos que cursaban la especialidad mecánica. Su importancia, medida por el número de profesores, el número de asignaturas, las horas lectivas y los instrumentos disponibles en los gabinetes, fue mayor que en las facultades de ciencias en ese periodo.

En general, la enseñanza de la Física en estas escuelas para aquellos alumnos que cursaban los estudios de ingeniería superior comprendía un curso de carácter básico y dos cursos de Física industrial, asignaturas necesarias para poder abordar el estudio de aquellas otras de mayor carácter tecnológico, como la Mecánica industrial y la Construcción de máquinas. Para aquellos que cursaban sólo el nivel elemental, la enseñanza se limitaba al estudio de los

ABSTRACT

Physics was quite prominent in Spanish industrial schools during the reign of Isabel II, and specially after 1850, when it became indispensable for students majoring in mechanics. Its significance, reflected in the number of teachers, subjects, lecture hours and instruments available at cabinets, exceeded that in the science faculties of the time.

As a rule, the Physics curriculum for higher engineering students at such schools encompassed a basic year and two Industrial Physics ones; the corresponding subjects constituted a prerequisite for addressing other, more technology-oriented studies such as Industrial Mechanics and Machine Construction. For those doing the elementary level, however, the curriculum was restricted to the fundamental principles and industrial applications of Mechanics.

principios más generales de la Mecánica y sus aplicaciones industriales.

En el presente artículo se realiza un estudio detallado sobre la enseñanza de la Física en las escuelas industriales en este periodo, considerando al profesorado, los programas, los libros utilizados y las características generales de los gabinetes de los distintos centros. También se abordan otros aspectos no docentes, haciendo hincapié en la contribución de estas escuelas a la difusión de las nuevas tecnologías, especialmente las experiencias de alumbrado eléctrico en las ciudades usando corrientes continuas.

This paper presents a comprehensive study of the teaching of Physics at industrial schools in the above-mentioned period. It deals with teachers, curricula, books and the characteristics of the cabinets in the different institutions. The paper is also concerned with other, non-teaching aspects, with especial emphasis on the role played by the schools in spreading the new technologies (e.g., the implementation in Spanish cities of electrical lighting based on direct current).

Palabras clave: Física, Enseñanza de la Física, Enseñanza Industrial, Escuelas Industriales, Instituciones, Siglo XIX, España.

1. Introducción

En los últimos años han proliferado los estudios sobre las escuelas industriales que surgieron en España a partir de la promulgación del plan Seijas de septiembre de 1850. Las escuelas industriales tenían sus precedentes en: a) las enseñanzas de este tipo establecidas en el Conservatorio de Artes de Madrid en 1824, que se extendieron a otras ciudades españolas a partir de 1833, con la colaboración de las sociedades económicas y de las juntas de comercio; b) en las diferentes cátedras (física, química, mecánica, etc.) creadas por la Junta de Comercio de Barcelona desde los años finales del siglo XVIII, con el objetivo de suministrar un personal especializado a las industrias —principalmente textiles— que iban extendiéndose por Cataluña.

La vida de las escuelas industriales creadas a partir de 1850 —en tres niveles: elemental, medio y superior— fue bastante azarosa: su normativa y funcionamiento experimentaron cambios continuos y pendulares que no lograron consolidarlas; esto, unido a las estrecheces económicas (mal endémico de los centros docentes españoles) y a otras causas, trajeron como consecuencia que en 1867 hubieran desaparecido todas las escuelas, salvo la de Barcelona y la

pequeña de nivel elemental existente en Alcoy. La Escuela de Barcelona, transformada con anterioridad en centro superior, sería el único centro para la formación de ingenieros industriales en España hasta la creación de la Escuela de Bilbao en 1899.

Los primeros datos sobre estos centros fueron publicados en 1961 por Alonso Viguera, en su libro sobre los diferentes aspectos de la ingeniería industrial española decimonónica [ALONSO VIGUERA, 1961]. Un enfoque parecido, aunque más actualizado, tiene el estudio realizado por Riera Tuebols [RIERA TUEBOLS, 1993]. La Escuela de Barcelona fue estudiada parcialmente por Garrabou en un interesante libro referido a determinados aspectos de la burguesía y la industrialización catalana [GARRABOU, 1982], y con posterioridad Guillermo Lusa Monforte y colaboradores del *Centre de Recerca per a la Historia de la Tècnica «Francesc Santponç i Roca»*, que funciona en la Universidad Politécnica de Cataluña, han publicado varios estudios parciales y documentos variados correspondientes a dicha Escuela [LUSA, 1995; 1996; 1997]. En los últimos tiempos han aparecido diversos trabajos sobre la escuelas industriales de Sevilla [CANO, 1996a; 1996b], Valencia [CANO, 1997; 2001a], Vergara [CABALLER, 1997 y 2001; CANO, 2000b], Gijón [CANO, 1999], Cádiz [CANO, 2000], Málaga [GRANA, 1997], Alcoy [BLANES, 2000] y Béjar [CANO, 2001b], en forma de artículos y libros. Un estudio global sobre estos centros y su significación en la búsqueda del capital humano industrial ha visto la luz muy recientemente [CANO, 2001c], al mismo tiempo que una breve síntesis histórica sobre la significación de estas escuelas [CANO, 2002].

En el presente trabajo se hace un estudio detenido sobre la enseñanza de la Física en estas escuelas industriales. La enseñanza de las matemáticas en las escuelas de ingenieros ha sido ya objeto de un estudio detallado [MARTÍNEZ GARCÍA, 1999]. La Física tuvo una importancia muy grande en estos centros, en especial para los alumnos que seguían la especialidad de Mecánica. Estos tenían que cursar una asignatura de Física general, y otras de carácter aplicado, como Física industrial; además, los conocimientos físicos eran esenciales para abordar el estudio de los problemas mecánicos, para el conocimiento de las máquinas de vapor y para las aplicaciones crecientes de la electricidad (como la telegrafía). Esto justifica que se le prestara una atención especial y que la mayoría de las escuelas dispusieran de gabinetes de Física convenientemente dotados. No puede afirmarse en consecuencia que en estos centros la Física fuera una materia en cuarentena, como ocurría en el ámbito universitario [MORENO, 1988].

2. Las asignaturas de Física en los planes de estudio de las escuelas industriales

En el plan Seijas de 1850, los estudios industriales se dividían, como es sabido, en tres niveles (elemental, medio o de ampliación y superior, siguiendo un modelo parecido al que en aquellas fechas existía en Prusia [GIL DE ZÁRATE, 1855, vol. 3, p. 323]. Como es sabido, el nivel superior sólo se daba en el Real Instituto Industrial madrileño; el de ampliación en las escuelas de Barcelona, Sevilla y Vergara (a las que luego se unirían Valencia en 1855 y Gijón en 1856), además de Madrid. El elemental, aunque previsto inicialmente en los institutos, terminó impartándose en las anteriores y en otras escuelas puramente elementales, como Málaga, Alcoy y Béjar.

La distribución de las asignaturas de Física general, Física industrial y Mecánica era la siguiente¹:

NIVEL	CURSO	ASIGNATURA
Elemental	3º	Principios de Mecánica con sus aplicaciones más usuales a la industria (lección diaria 1.º mitad curso)
	4º	Mecánica y Tecnología Industriales
Ampliación	1º	Principios Generales de Física Experimental con exclusión de toda la parte mecánica (lección diaria durante la 1.º mitad del curso)
	2º	Mecánica Pura y Aplicada, considerada analíticamente (lección diaria durante la 1.º mitad del curso)
	3º	Mecánica y Tecnología Industrial
Superior	1º	Complementos de Mecánica Industrial

El plan de Luxan de 1855, aunque mantuvo la división en tres niveles, introdujo algunas reformas con respecto al de Seijas, procurando buscar ante todo una simplificación². Aparte de disminuir el elevado número de titulaciones que podían obtenerse, separó en el nivel medio (ahora llamado profesional) la Física general, que se debía impartir en el primer curso, de la Física industrial, que cobraba mayor importancia. Además introducía en este nivel medio una asignatura de Construcción de máquinas. En el nivel superior (en el cual se incluían los cursos 4º y 5º, como prolongación de los tres primeros del nivel medio), introducía una Mecánica racional, de mayor carácter teórico, y una Mecánica industrial; y en 5º aparecía otra asignatura de Construcción de

máquinas. En conjunto, la distribución de las asignaturas de Física quedaba de la forma que se muestra en el cuadro:

NIVEL	CURSO	ASIGNATURA
Elemental	Sin especificar	Elementos de Mecánica, Física y Química
Profesional	1º	Física General
	2º	Física Industrial 1.º Mecánica Industrial
	3º	Física Industrial 2.º Mecánica Industrial Construcción de máquinas
Superior	4º	Mecánica Racional o General Mecánica Industrial
	5º	Construcción de Máquinas

En 1857 la ley Moyano alteró, como es sabido, a todo el conjunto de la enseñanza industrial. Los estudios elementales pasaron a los institutos como enseñanzas de aplicación industrial, y los niveles medio y superior se refundieron, constituyendo la carreras de ingeniero industrial, en la cual las enseñanzas básicas debían estudiarse en las facultades de ciencias. Las escuelas de nivel medio, que entonces eran cinco: Barcelona, Sevilla, Valencia, Vergara y Gijón se convertían en centros superiores con atribuciones parecidas a la de Madrid; sin embargo, estas cinco escuelas no eran sostenidas sólo por el Estado (como ocurría en el Real Instituto madrileño), sino que tendrían que ser costeadas además por la Diputación provincial y el Ayuntamiento correspondiente (un tercio cada organismo). Esta disposición en el fondo era un medio para eliminar centros, porque en general las autoridades provinciales y locales no tenían medios o voluntad política para pagar a las escuelas industriales. El resultado fue que las de Vergara y Gijón cerraron sus puertas casi enseguida, al estar situada en poblaciones no muy grandes, con limitados recursos económicos. Sevilla y Valencia aguantaron unos pocos años (aunque en el caso de ésta última el Ayuntamiento valenciano prácticamente no contribuyó económicamente, alegando diversas excusas). La Escuela de Valencia cerraría sus puertas en 1865, y la de Sevilla al año siguiente [CANO, 2001c]. En 1867, en plena crisis económica, el Gobierno terminó clausurando hasta el Real Instituto Industrial de Madrid, permaneciendo sólo la Escuela de Barcelona como centro superior (y la de Alcoy, ciudad donde no existía instituto, como centro de nivel elemental [BLANES, 2000]).

Volviendo de nuevo a la ley Moyano, y dado que ésta sólo daba una relación de asignaturas a cursar por los futuros ingenieros industriales, fue necesario sacar un decreto al año siguiente. En él se especificaba que para ingresar en la carrera se necesitaba: 1) ser bachiller en artes, 2) haber estudiado en la Facultad de Ciencias, en al menos tres años, las siguientes materias: Complementos de álgebra, geometría y trigonometría rectilínea y esférica; Geometría analítica de dos y tres dimensiones; Cálculo diferencial e integral; Mecánica; Geometría descriptiva; Física experimental; Química general; Zoología, botánica y mineralogía con nociones de geología; 3) tener conocimientos de dibujo hasta copiar a la aguada los diversos órdenes de arquitectura. Se obligaba por tanto a los alumnos industriales a hacer los cursos preparatorios en la Facultad de Ciencias, aunque también abría la posibilidad de que dichos estudios pudieran ser sustituidos por un examen de las citadas materias.

Una vez ingresados en las escuelas industriales, los alumnos tenían la posibilidad, tras estudiar una serie de asignaturas comunes, de elegir la especialidad mecánica o la química. Las materias comunes vinculadas con la Física para dichos alumnos eran: Física industrial 1º, Física industrial 2º, Mecánica industrial, así como las de Construcciones industriales. En la especialidad mecánica tenían que hacer además, las asignaturas de Máquinas 1er curso (construcción de máquinas) y Máquinas 2º curso (máquinas de vapor), así como la denominada Tecnología, artes mecánicas e industrias varias. Los alumnos tenían la posibilidad de elegir el orden que quisieran para cursar estas asignaturas, pero en el caso de las dos de Física industrial y de Mecánica industrial tenían que cursarlas en el orden establecido, lo que no deja de ser lógico.

Esta estructura sufrió diversos retoques en los dos años siguientes. La más importante fue la obligatoriedad de hacer los cursos preparatorios en la Facultad de Ciencias, que sólo se aplicó en Madrid, ya que en las otras ciudades eso no era posible porque sus facultades de ciencias no tenían los suficientes medios humanos y materiales para atender a los alumnos de ingeniería. En el caso de la Facultad de Ciencias de Sevilla, los medios disponibles en el gabinete de Física eran [CANO, 1993] similares a los de muchos institutos provinciales andaluces [CANO, 2000c].

3. Profesorado

Una característica de las escuelas industriales que funcionaron en este periodo fue el hecho de que los catedráticos cambiaban con cierta frecuencia de asignaturas, pasando del área de física al campo tecnológico, e incluso a explicar asignaturas como Geometría descriptiva. Este hecho se debía a los cambios de planes de estudio (tres en el espacio de ocho años), unido al cambio de categoría de algunos centros (Valencia y Gijón pasaron del nivel elemental al medio en 1855 y 1856, respectivamente) y, posteriormente, al trasvase de profesores como consecuencia de los cierres que se fueron produciendo a partir de 1860. Por este motivo, la enseñanza de la Física general y de la Física industrial, así como el de la Mecánica, estuvieron en manos de una diversidad de docentes, con un nivel muy distinto y un grado de formación muy diferente. Por lo general, los catedráticos fueron nombrados habitualmente sin el trámite de la oposición, por la escasez de personal preparado para desempeñar los puestos y para constituir los tribunales. Algunos de ellos procedían del Conservatorio de Artes de Madrid o de las cátedras que éste sostenía en las provincias. En Barcelona varios de los profesores procedían de las cátedras de la Junta de Comercio que quedaron englobadas en la Escuela Industrial.

En el Real Instituto Industrial, los profesores que se ocuparon de las enseñanzas de Física general fueron: Joaquín Alfonso, hasta 1853, y desde ese momento el ingeniero Eduardo Rodríguez; de la Física industrial se ocupó Fernando Boccherini, mientras que Manuel María de Azofra tuvo a su cargo las clases de Mecánica. En Barcelona, el encargado de la asignatura general fue Joaquín Balcells, y Lucas Echevarría impartió las clases de Mecánica. En Sevilla los profesores fueron Rafael Esbrí Hermosa (Física general) y Emilio Márquez Villarroel (Física industrial y Mecánica). En Valencia las enseñanzas de Física general y Física industrial fueron impartidas por el ingeniero Francisco de Paula Rojas, mientras de las clases de mecánica se encargó Federico Pérez de Nueros. Los datos biográficos de estos profesores [CANO, 1996b; 1997, 1998; 1999; 2000a; 2000b; 2001a; 2001b; CABALLER, 2001; BLANES, 2000] muestran lo variopinto de su formación, aunque había un cierto predominio de los ingenieros; no hay que olvidar que algunos de estos profesores (como Márquez Villarroel y Pérez de Nueros) obtuvieron el título en las mismas escuelas en las que desempeñaban su actividad docente.

4. El nivel de conocimientos en Física en 1850-67 y los programas docentes

A mediados del siglo XIX la Mecánica analítica era quizás la parte de la Física que estaba más establecida. Desarrollada a partir de las ideas de Newton, fue estructurada por J.L. Lagrange (1736-1813) en su libro *Mecanique analytique* (1788), que no trabajaba directamente con fuerzas, sino con la llamada función potencial, obtenida sumando los distintos cocientes resultados de dividir cada masa y su distancia hasta el punto en estudio; Lagrange afirmaba no necesitar diagramas ni desarrollos geométricos para plantear y resolver problemas mecánicos; sólo necesitaba la función lagrangiana (diferencia entre las energías cinética y potencial), combinadas con el cálculo. Los trabajos de Lagrange fueron continuados por Poisson a partir de 1809, y unos años después (1834-35) W.R. Hamilton volvió a considerar las ideas de Lagrange y Poisson, y llegó a la llamada forma canónica de las ecuaciones generales de la Dinámica. Estas ideas fueron perfiladas y desarrolladas por Jacobi en 1842-43, tratando de hacer más rigurosas las demostraciones, y serían continuadas por otros autores en años posteriores, aunque los aspectos generales estaban ya muy elaborados al comenzar el último tercio del siglo XIX [BYNUM, 1986].

También habían alcanzado un desarrollo importante los estudios mecánicos de los medios continuos, debido a las aportaciones de Cauchy, Navier y otros. Cauchy (entre 1822 y 1840) estudió inicialmente las deformaciones infinitamente pequeñas de los medios continuos, para pasar posteriormente de las deformaciones infinitamente pequeñas a las deformaciones finitas. Navier contemplaba el problema desde el punto de vista molecular, considerando a las moléculas individualmente y admitiendo la atracción entre ellas. Posteriormente, Lamé, en su obra publicada en 1852 sobre la teoría matemática de la elasticidad en los cuerpos sólidos, consiguió obviar el problema de las atracciones y repulsiones moleculares, escribiendo las ecuaciones generales de la elasticidad considerando los procesos de deformación establecidos por Cauchy y las tensiones internas del material. En el terreno de la Hidrodinámica, los trabajos de Helmholtz sobre los torbellinos (1858) fueron especialmente importantes, aunque considerara preferentemente los fluidos perfectos; unos años antes Jean Leon Poiseuille había estudiado el frotamiento interno de los líquidos y los gases en movimiento. Años más tarde, a partir de 1883, Reynolds estudiaría más detalladamente el problema de los remolinos.

Otro trabajo mecánico de gran interés realizado en este periodo es el de la experiencia del movimiento de la Tierra, realizada por Foucault mediante su

péndulo instalado en la cúpula del Panteón de París en 1851; la experiencia de Foucault planteó el problema de la noción del sistema de referencia de los movimientos. Foucault diseñó a continuación el giroscopio, más fácil de manejar que el péndulo y con el que se llega a conclusiones parecidas.

Si la Mecánica analítica estaba ya bien establecida en este periodo, la Termodinámica estaba en pleno desarrollo; las relaciones entre la energía mecánica y la energía calorífica, que ya se habían puesto de manifiesto años antes en la máquina de vapor de Watt, arrancan en su formulación teórica de la obra de Sadi Carnot de 1824. En 1842-43, los trabajos teóricos de Mayer y de Colding introdujeron claramente la noción de equivalencia entre el calor y el trabajo. En 1850, los trabajos de Thomson y de Clausius pusieron de manifiesto la degradación de la energía: la energía mecánica es siempre completamente utilizable, cosa que no ocurre con la energía calorífica. En 1859 Clausius introdujo además el concepto de entropía, del cual deriva uno de los principios básicos de la Termodinámica: la energía de un sistema aislado permanece constante, mientras que su entropía crece siempre hacia un máximo. Estos trabajos serían continuados, ya fuera del periodo que estamos considerando, por Boltzmann y otros investigadores [FOX, 1971].

El campo de la electricidad y del magnetismo estaba también en pleno crecimiento. En el primer tercio del siglo XIX Poisson estudió detenidamente los fenómenos magnéticos e introdujo el concepto de flujo de fuerzas. En años anteriores, Galvani, y especialmente Volta habían desarrollado las pilas eléctricas, y Davy, usando la electricidad, había aislado los elementos sodio y potasio. En 1820 el danés Oersted comprobó la desviación de las agujas imantadas al paso de una corriente eléctrica, y en años posteriores el francés Ampère trabajaría intensamente sobre electricidad y magnetismo, en una ciencia nueva que se denominó Electrodinámica. Los trabajos de Ampère y sus sucesores ampliaron enormemente los conocimientos sobre la electricidad. Otra figura importantísima fue la del inglés Michael Faraday (1791-1867), que estudió y estableció las leyes de la electrolisis de las sustancias y descubrió las corrientes inducidas. En los años centrales del periodo que estamos considerando, Maxwell (1831-1879) desarrollaba sus leyes fundamentales sobre el electromagnetismo, que tanta importancia tendrían en el desarrollo de la electricidad basada en el uso de las corrientes alternas (hasta entonces los primeros ensayos de alumbrado se habían hecho con corrientes continuas, usando pilas y acumuladores, que ofrecían posibilidades prácticas muy limitadas [EWERITT, 1975; CANO PAVÓN, 2001c, p. 198]).

En el campo de la Óptica se había producido un desarrollo importante en los cálculos óptico-geométricos, y se habían descubiertos los fenómenos de polarización y difracción. Los estudios del espectro solar presentaron bastante interés, destacando la figura del alemán Fraunhofer (1787-1926), quién estudió el espectro solar combinando un colimador y un prisma, construyendo así el primer espectroscopio. Años más tarde, y ya dentro del periodo que estamos considerando, Kirchhoff y Bunsen estudiaron con este dispositivo las líneas de emisión de algunos elementos situados en el seno de la llama. Este hecho, que tendría consecuencias importantísimas a la larga en el campo teórico (cuantización de la energía, estructura del átomo) fue utilizado en sus primeros años como una interesante técnica de análisis químico [MC GUCKEN, 1969; DIXON, 1967].

En resumen, en el periodo de funcionamiento de las escuelas industriales isabelinas, la Física era una disciplina en continua expansión (salvo quizás en lo referente a la Mecánica) en la que los nuevos hechos e hipótesis se sucedían sin solución de continuidad. Al mismo tiempo, las aplicaciones prácticas se iban poniendo de manifiesto de forma impactante para la sociedad, creciendo la fe en el progreso.

¿Respondían las enseñanzas de Física en las escuelas industriales españolas al estado de esta materia en aquellos años? Un primer análisis en el caso de la Física experimental o básica muestra que las materias que se enseñaban no estaban por lo general suficientemente actualizadas. Así, en el programa de esta materia que se impartía hacia 1860 en el Real Instituto Industrial, dividido en 61 lecciones, las cuestiones que se trataban era: fuerzas, movimientos, balanzas y gravedad (en 6 lecciones), hidrostática e hidrodinámica (8 lecciones, dedicando un breve apartado a las cuestiones de elasticidad). Seguían 2 lecciones de acústica, 15 dedicadas al calórico y sus efectos, 2 de meteorología, 17 sobre electricidad y magnetismo, y las restantes dedicadas a explicar cuestiones de óptica¹. Un análisis de los contenidos de este programa muestra que estaba en general muy anticuado, ya que no se mencionan para nada las experiencias y teorías de Lagrange, Hamilton, Navier, Clausius, Faraday, y Fraunhofer; presenta poca profundidad y predominan en él los aspectos descriptivos de instrumentos (balanzas, dispositivos mecánicos, conducción de calor, imanes, microscopios, etc.) sobre los aspectos fundamentales básicos. Se podría argumentar que era una asignatura para alumnos de ingeniería, pero en todo caso estaba pensada para dar unos conocimientos teóricos, ya que posteriormente los alumnos tendrían que cursar Física industrial y Mecánica industrial.

Un enfoque parecido se observa en otros programas de esta época. Incluso en el que explicaba Fernando Santos de Castro en la Universidad de Sevilla, cuyo nivel tenía que ser similar al de la asignatura de Física experimental de ingeniería industrial (de hecho los alumnos de esta ingeniería debían cursar esta asignatura en las facultades de Ciencias, aunque —como se ha indicado— en algunas escuelas se impartían en el mismo centro por las limitaciones de las facultades), el desarrollo es similar al que se ha descrito anteriormente, con 103 lecciones, de las que 24 se dedicaban a cuestiones mecánicas, haciendo especial hincapié en los instrumentos (poleas, balanzas, gatos, etc.), 18 a hidrostática, hidrodinámica y aerostática, 5 a acústica, 17 al calor y sus efectos, 11 a cuestiones ópticas, y el resto a electricidad y magnetismo (salvo las tres últimas cuestiones, dedicadas a meteorología), pero anteponiendo los aspectos aplicados a los teóricos². Esta huida de las cuestiones teóricas, más complejas indudablemente, era bastante común entre los profesores españoles de la época, quienes mostraban un evidente alejamiento de los nuevos avances científicos, posiblemente por ser personas muy ajenas al campo de la investigación, dedicados rutinariamente a sus actividades docentes y poco más (en el caso de Santos de Castro, alternaba esta actividad con cargos públicos y con la práctica privada de la Medicina).

En el campo de la Física industrial, los programas —basados principalmente en los textos franceses que se utilizaban— estaban más actualizados, aunque no hay que olvidar que esta época los estudios básicos iban ya por delante de las aplicaciones concretas (al contrario de lo que ocurrió cuarenta o cincuenta años antes). En general, los programas conservados son parecidos. En Sevilla, el profesor Rafael Esbrí explicaba las dos asignaturas de Mecánica industrial en 120 lecciones, cuyos contenidos eran: combustión, combustibles, salida de gases por orificios, hidrodinámica del aire caliente, chimeneas, hogares, vaporización, construcción de un generador, manómetros, válvulas, hornos, destilación, aparatos de destilación, evaporación, desecación, calentamiento del aire, estufas, calentamiento de los líquidos, enfriamiento de los cuerpos, mezclas frigoríficas, conservación del hielo, neveras, descubrimientos eléctricos de Galvani y Volta, pilas, electromagnetismo, acción de la corriente sobre los imanes, electrodinámica, electroimanes, corrientes de inducción, telégrafos, aplicaciones de la electricidad a la seguridad de los ferrocarriles, motores eléctricos, aplicaciones de la luz y alumbrado por gas³. Una orientación parecida daba a sus clases el profesor Rojas Caballero-Infantes en Valencia, dedicando el primer curso a todo lo relacionado con la mecánica y las aplicaciones del calor

(dedicando una especial atención a las máquinas de vapor) y el segundo curso a las aplicaciones de la luz y la electricidad⁴; sin embargo, el programa de Rojas estaba más actualizado, ya que en aquel momento, aunque la máquina de vapor era el dispositivo predominante en la industria, las aplicaciones de la electricidad se iban abriendo camino de forma incontestable. De hecho, aunque Rojas trabajó profesionalmente en sus primeros años como ingeniero en ventilación y calentamiento de edificios, se dedicaría luego de forma absoluta a las cuestiones relacionadas con la producción y distribución de la electricidad [CANO PAVÓN, 2001a, pp. 221-223].

5. Libros

En Física, al igual que en Química y en las materias tecnológicas, los libros establecidos oficialmente para la enseñanza eran habitualmente franceses, bien en versión original o traducidos; también se usaban a veces versiones en francés de textos alemanes o británicos. Sin embargo, las listas de libros no salían con periodicidad anual como en el caso de las facultades universitarias o de los institutos, sino muy de tarde en tarde, quizás porque no había más bibliografía disponible que la de origen francés.

En 1851, recién establecido el sistema docente del plan Seijas, se dio una primera relación de textos obligatorios para los niveles elemental y medio (ampliación) de enseñanza industrial; no se citaron textos para la enseñanza superior porque aún no estaba establecido este nivel⁵. En esta relación se especificaba para el nivel elemental las siguientes obras: *Curso Industrial* de Azofra [AZOFRA, 1838], *Geometría y Mecánica aplicada a las artes* de Dupin [DUPIN, 1828-42], *Curso elemental de Mecánica Industrial* de Jariez [JARIEZ, 1848] y los *Elementos de Mecánica traducidos del inglés al francés* por Cournot [KATER, 1842]. En el nivel medio, para la asignatura de Principios generales de Física los textos eran: el *Tratado elemental de Física* de Pelet [PECLET, 1847]; los *Elementos de Física elemental* de Pouillet [POUILLET, 1841] y el *Tratado de Física en sus relaciones con las ciencias industriales* por Becquerel [BECQUEREL, 1847]. Para Mecánica pura y aplicada de 2º curso (denominada con frecuencia Mecánica racional) los libros recomendados eran: *Tratado de Mecánica* de Poisson [POISSON, 1838]; *Lecciones de Mecánica analítica* de Prony [PRONY, 1810], *Elementos de Mecánica* por Boucharlat [BOUCHARLAT, 1827]; *Resumen de las lecciones dadas en la Escuela de puentes y calzadas* por Navier [NAVIER, 1841] y *Ensayo sobre la composición*

de las máquinas por Lanz y Bethancourt [LANZ, 1840]. En Mecánica aplicada se debían utilizar, además de los libros citados anteriormente, la *Introducción a la Mecánica industrial* de Poncelet [PONCELET, 1844], las *Lecciones de Mecánica dadas en el Conservatorio de París* por Arturo Morin [MORIN, 1846]; *Aplicación de los principios de mecánica a las máquinas más en uso*, por A. Taffe [TAFTE, 1843]; *Tratado de hidráulica* de D'Aubuisson de Voisins [D'AUBUISSON DE VOISINS, 1840]; *Tratado de los motores hidráulicos* de Armengaud [ARMENGAUD, varias ediciones]; *Teoría de las máquinas de vapor* por Pambour [PAMBOUR, 1848]; *Teoría de las máquinas operando* de José de Odriozola [ODRIOZOLA, 1839] e *Introducción a la arquitectura hidráulica* por Celestino del Piélagó [PIÉLAGO, 1841].

Durante varios años no hubo más relaciones. A partir de las reformas de 1857-58 que incluyeron el nivel elemental en los institutos (con el nombre de estudios de aplicación) y refundieron los niveles medio y superior, se dieron dos nuevas relaciones: en 1861 y en 1864. Estas relaciones son muy parecidas; así, en la de 1861⁶ se establecían para Física industrial las obras siguientes: *Tratado de Física aplicada* de Pecllet [PECLET, 1847], *Tratado de electricidad* de Manuel Fernández de Castro [FERNÁNDEZ DE CASTRO, 1857] y el *Manual de Física aplicada* de Eduardo Rodríguez [RODRÍGUEZ, 1858]; para Mecánica industrial se relacionaban las obras: *Manual del ingeniero*, de Nicolás Valdés [VALDÉS, 1859]; *Curso de Mecánica industrial* de Poncelet [PONCELET, 1844] y *Aplicación de la Mecánica a las máquinas*, de A. Taffe [TAFTE, 1843]. En la relación de 1864⁷ la única diferencia en el caso de Física industrial es la no inclusión del texto de Eduardo Rodríguez, mientras que en Mecánica industrial seguían las mismas obras.

Por otra parte, los alumnos de ingeniería industrial debían estudiar previamente en estos años una serie de asignaturas en las facultades de ciencias, entre las que pueden citarse las de Ampliación de Física y la Mecánica. Las obras que se establecían en 1861 para estas materias eran: en Ampliación de Física, el ya citado *Manual de Física* de Eduardo Rodríguez, el *Tratado de Física* de Fernando Santos de Castro [SANTOS DE CASTRO, 1846], y el *Tratado de Física* de Ganot, traducido por José Monlau [GANOT, 1861]; en Mecánica los textos eran: el *Tratado de Mecánica* de Poisson (traducido por Jerónimo del Campo) [POISSON, 1838], el *Tratado de Mecánica* de Fernando García San Pedro [GARCÍA SAN PEDRO, 1840], y el *Tratado de Mecánica* de Boucharlat [BOUCHARLAT, 1861]. En la relación de 1864 no había variaciones en estas materias. Es significativo que en el caso de la enseñanza media

tampoco hubiera variación de 1861 a 1864, estableciéndose para la asignatura de Elementos de Física y nociones de Química los textos siguientes: *Curso elemental de Física y Química*, de Venancio González Valledor y Juan Chavarrí [GONZÁLEZ VALLEDOR, 1854 y otros]; *Manual de Física y elementos de Química*, por Manuel Rico y Mariano Santisteban [RICO, 1858] y el *Manual de Física y nociones de Química*, por Manuel Fernández Figares [FERNÁNDEZ FIGARES, 2ª edición, 1861].

Algunas es estas obras merecen ser comentadas por su significación docente. En primer lugar la de Fernando Santos de Castro, catedrático de la Universidad de Sevilla durante más de cuarenta años; su libro de texto, en dos volúmenes, vio la luz en 1846, y tiene ciertas similitudes con la obra de Deguin [DEGUIN, 1841]. A pesar de no ser un libro muy actualizado, no deja de ser sorprendente que se mantuviera como obra de texto oficial durante unos veinte años⁸, periodo en el que se produjo un notorio crecimiento en el campo de la Física básica. Las raíces de dicha permanencia podemos buscarlas tanto en la inercia administrativa como en las influencias políticas del autor —Santos de Castro era una persona de tendencia conservadora, que fue rector de su Universidad en dos ocasiones (1874-75 y 1884-87), coincidentes en su mayor parte con gobiernos conservadores—. Junto a este hecho cabe señalar que apenas existía competencia para la obra, ya que las alternativas disponibles en la época para un curso elemental de Física de la época eran escasas y, si nos centramos en obras en castellano, prácticamente inexistentes.

El texto de Santos de Castro está dividido en siete partes (que denomina *libros*), dedicados respectivamente a Mecánica Física; Hidrostática e Hidrodinámica; fenómenos capilares y Acústica; estudio del calórico; Electromagnetismo; Óptica; y, por último, Meteorología. En su conjunto la obra presenta notables altibajos, según se la considere desde el punto de vista de la divulgación o de una enseñanza más seria. Ya desde el prólogo reconoce el autor haberse enfrascado en la elaboración del libro por *el vacío que existía de una obra didáctica de Física experimental*, y es en este aspecto didáctico en el que pone más ahínco. Así, la obra está muy orientada hacia su papel como libro de texto para un curso de Física, más que como libro de consulta; detalles como la inclusión, como apéndice al segundo tomo, de un conjunto de *definiciones exactas, claras y concisas* —con el objetivo de ayudar a los alumnos a aclarar ideas ante un examen—, o la anotación al margen de los diversos conceptos y aparatos que van describiéndose, dan fe de ello. En la redacción del texto se prefieren los ejemplos concretos y tangibles, apareciendo descritos buena

cantidad de aparatos y experiencias que demuestran los conceptos físicos que se explican; en este sentido, otra prueba de la preocupación del autor es que, ante la *dificultad de lograr en nuestro país láminas tan perfectas como las que se encuentran en muchas obras extranjeras*, Santos de Castro recurre a incluir las de un tratado francés, que puede identificarse en dichas láminas como la *Physique* de Soubeiran [SOUBEIRAN, 1842].

Sin embargo, desde el punto de vista de los contenidos el libro es bastante pobre para la época, estando, como ya se señaló, desfasado en muchos aspectos. En la Mecánica, que es la materia más interesante para este estudio, este hecho queda claramente de relieve: no hay referencia alguna a los avances en Mecánica Analítica, que tanta importancia tienen para las enseñanzas industriales; los problemas de Mecánica se afrontan desde una perspectiva completamente práctica, particularizando para multitud de máquinas específicas sin prestarle una excesiva atención al problema teórico de base, y uno de los capítulos a priori de mayor interés, el correspondiente a las máquinas de vapor, es claramente insuficiente. El estudio del calórico es medianamente aceptable, lo que no ocurre con el Electromagnetismo, en el que apenas se hace referencia al uso de corrientes eléctricas, o con la Óptica, donde la descripción es fundamentalmente cualitativa, sin introducir las relaciones básicas que ligan los elementos ópticos de un sistema más que en contadas ocasiones. Guiado probablemente por el esfuerzo de simplificar la materia para sus estudiantes, Santos de Castro rehuye en lo posible los enunciados matemáticos y las demostraciones formales, recurriendo muchas veces a argumentos de tipo persuasivo (o *demostraciones mediante el raciocinio*, como en alguna ocasión se las llama) antes que al estudio riguroso como medio para justificar las teorías que expone. Aunque podrían justificarse estas omisiones en el carácter elemental de la obra, lo cierto es que ésta se queda bastante corta. A este respecto, es ilustrativo comparar su temario con el del programa de las lecciones de Física que Santos de Castro impartía en la Universidad³; aunque en su estructura apenas difieren uno de otro, prácticamente en cada apartado el programa es mucho más amplio que el libro, tanto en la parte teórica como en la descripción de nuevos aparatos y técnicas que no tuvieron cabida en el libro de texto. En resumen, aunque hay que reconocerle a la obra su mérito y su valía dentro de un curso elemental de Física, lo cierto es que flaqueaba —especialmente en aquellos temas más sensibles para la enseñanza industrial—, por lo que como único libro de texto era claramente insuficiente.

La obra de Adolphe Ganot, profesor de Física en la Sorbona es, globalmente, más completa que la de Santos de Castro. Traducida por José Monlau, la cuarta edición, publicada en Madrid en 1865, fue *revisada y aumentada* por José Canalejas Casas, catedrático del Real Instituto Industrial. Con 661 páginas, está dividida en diez partes (llamadas también libros), que se refieren a las materias siguientes: 1) materia, fuerzas y movimientos, 2) gravedad y atracción molecular, 3) líquidos (hidrostática e hidrodinámica), 4) gases, 5) acústica, 6) calórico, 7) luz (óptica), 8) magnetismo, 9) electricidad estática, 10) electricidad dinámica. Concluye con un anexo sobre meteorología y climatología y un apéndice con problemas resueltos. La obra está bien ilustrada y consta de unas seiscientas figuras intercaladas en el texto. En general, el desarrollo matemático no es muy grande, y predomina la descripción de dispositivos y experimentos, y en general un manifiesto carácter aplicado. Se mueve en el campo de la mecánica clásica newtoniana, sin entrar para nada en la mecánica analítica. No contempla las cuestiones de termodinámica que entonces ya estaban establecidas, y cae en desenfoces manifiestos, como es el dedicarle la misma extensión a la descriptiva de los termómetros que a las máquinas de vapor. En los temas ópticos le dedica la mayor extensión a los aspectos geométricos e instrumentales, estudiando además la fotografía y los fenómenos de polarización. Sin embargo, describe también las experiencias de Fraunhofer que condujeron al descubrimiento de las rayas del espectro atómico en la luz solar, y que posteriormente serían estudiadas en las llamas por Kirchhoff y Bunsen. La parte dedicada a electricidad y magnetismo es la más extensa (casi doscientas páginas), y parece la más actualizada, citando las experiencias de Ampère y de Faraday (electrolisis), y los fenómenos de inducción eléctrica. En resumen, el texto de Ganot estaba algo anticuado, en términos globales para su época. Como aspecto positivo contiene una gran cantidad de datos; las figuras y los numerosos problemas debían hacerlo asequible y útil al sector de alumnos para quienes iba dirigido.

En Física industrial se utilizaban los textos de Pelet y de Fernández de Castro. El *Traité élémentaire de Physique* de E. Pelet, profesor de la *École Centrale des Arts et Manufactures*, conoció varias ediciones y se usó ampliamente en las escuelas industriales. Dividido en dos tomos, tiene unas 1.400 páginas. La estructura de la obra es sencilla, aunque algo discutible: consta de dos partes diferentes (cada una de seis capítulos), una dedicada a los cuerpos ponderables y otra a los fluidos imponderables. En la primera trata inicialmente de las propiedades de los cuerpos (extensión, impenetrabilidad, divisibilidad y movilidad), de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos, como la

gravitación, la atracción molecular y la fuerza repulsiva del calor. Los tres capítulos siguientes los dedica a las propiedades de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos; el último capítulo de esta parte se dedica a acústica. En la parte segunda se ocupa, como se ha indicado, a los fluidos imponderables, estudiando dichos fluidos (calor, magnetismo, electricidad y luz), en sus aspectos básicos y aplicados. A la electricidad le dedica unas trescientas páginas, describiendo los procesos de inducción eléctrica, las experiencias de Faraday y los efectos caloríficos y químicos producidos por la electricidad. A la luz le dedica una extensión similar, estudiando aquí los fenómenos de la propagación, reflexión, refracción, difracción y polarización. En resumen, la obra de Pecllet es extensa, con abundancia de datos (lo que se contradice con su título de *élémentaire*); su lectura es fácil y clara, y tiene un buen nivel, combinando los aspectos teóricos (en general, aceptablemente actualizados) con los aplicados. Tuvo una gran difusión en su tiempo.

La otra obra recomendada para física industrial era el libro de Manuel Fernández de Castro (1825-1895), titulado *La electricidad y los caminos de hierro*, y subtítulo como *descripción y examen de los sistemas propuestos para evitar accidentes en los caminos de hierro por medio de la electricidad, precedidos de una reseña histórico-elemental de esta ciencia y de sus principales aplicaciones*. Fernández de Castro, ingeniero de minas, fue un hombre polifacético; además de dedicarse al desarrollo de la señalización eléctrica en los ferrocarriles para prevenir accidentes, se ocupó de temas de paleontología, geodinámica, meteorología y mineralogía. Fue director del *Diario de la Marina* de la Habana, así como de la Comisión del mapa geológico de España. Esta dispersión de funciones afectó con toda seguridad a su actividad científica, para la que estaba bien dotado y preparado. El libro sobre la electricidad y los ferrocarriles fue una obra realizada en plena juventud. Su objetivo era dar a conocer las aplicaciones de la electricidad al tráfico ferroviario. Sin embargo, el libro se utilizaba como texto para aprender los aspectos básicos y aplicados de la electricidad y del magnetismo. Estaba muy actualizado, y en él se describe detalladamente todo lo relacionado con la telegrafía eléctrica, entonces en expansión por todo el mundo. La obra es excelente, quizás algo extensa y exhaustiva, pero muy útil para consultas. En la segunda parte describe el procedimiento que había desarrollado, y lo compara con los existentes en aquel momento. El sistema de señales eléctricas de Fernández de Castro recibió un amplio respaldo oficial, y fue instalado en la línea de Madrid a Alicante, perteneciente a la compañía ferroviaria MZA.

El *Traité de Mécanique Industrielle* de Jean Victor Poncelet era una de las obras más utilizadas en aquel momento en las escuelas de ingeniería industrial. Poncelet (1788-1867), coronel de ingenieros, profesor de mecánica de la Facultad de Ciencias de París y director de la *École Polytechnique*, había trabajado en geometría proyectiva y sobre los fenómenos producidos por el movimiento del aire. Su obra sobre mecánica industrial consta de casi novecientas páginas y está dividida en tres volúmenes de características diferentes. El primero está dedicado a los principios fundamentales de la mecánica, resistencia y frotamiento de sólidos, y resistencia de fluidos. El segundo se refiere a la dinámica; en él estudia las fuerzas y sus interacciones, el movimiento de los cuerpos y las características de las diferentes piezas de las maquinarias. Por último, el tercer volumen trata de las máquinas y motores en general, con especial referencia a los engranajes y elementos de las máquinas; una parte de este volumen está dedicado a las máquinas hidráulicas y a las máquinas de vapor, con unas extensiones parecidas. La obra, editada en Lieja, es aceptablemente clara y de un nivel alto, imprescindible en su época para la enseñanza de la mecánica.

Un libro que aparece repetidamente en diversas asignaturas en el listado de textos obligatorios, es el *Manual del Ingeniero* de Nicolás Valdés [VALDÉS, 1859], que se utilizaba en las asignaturas de estereotomía, mecánica industrial, construcciones industriales, máquinas de vapor y construcciones de máquinas, y cuyo uso estuvo muy extendido a lo largo de los años sesenta. Publicado en una editorial de París en 1859, el autor, teniente coronel de ingenieros, reconoce haber seguido en su elaboración las orientaciones del ingeniero Fernando García Sampedro, que había sido profesor suyo. Confiesa en el prólogo que su idea inicial era la de *ofrecer un cuadro suficientemente claro y preciso de las reglas teóricas y prácticas de la ciencia, y de las fórmulas y relaciones más importantes de las diferentes cuestiones mecánicas y sus aplicaciones a la construcción, agregando cuantos datos experimentales fueran posibles, con lo cual se tendría una tabla de resultados generales para poder consultar en multitud de casos*. Es decir, pretendía elaborar un manual de consulta rápida, un formulario extenso, lo que entonces se denominaba un *aide-memoire*, como el de Claudel [CLAUDEL, 1857]. Sin embargo, el esquema inicial fue ampliándose paulatinamente, introduciendo las bases teóricas de forma más detallada. Para su elaboración tuvo que manejar una extensa bibliografía, que según la relación que cita era fundamentalmente francesa, y que en líneas generales coincidía con los textos habitualmente utilizados en ingeniería de Armengaud, Pecelet, Pambour, Poncelet, etc.

La obra de Valdés consta de un tomo básico, con más de mil páginas, y un atlas separado con 103 láminas, de excelente calidad tipográfica, en la que se representan multitud de figuras, dispositivos, máquinas y puentes. El tomo básico consta de diez capítulos, cada una de ellas dividida en varios capítulos que llama artículos. El capítulo I está dedicado a matemáticas en general, en la que la parte mas extensa se refiere a geometría, trigonometría, derivadas e integrales; otra parte está consagrada a la topografía. El capítulo II se ocupa de la mecánica en general (principios, equilibrios simples y fluidos). Los capítulos III y IV los dedica a cuestiones variadas de hidráulica, con especial énfasis en las ruedas, turbinas, bombas y distribución de redes de aguas. El capítulo V aborda la tecnología del vapor, con mayor incidencia en los aspectos generales que en los aplicados (así, sólo dedica una diez páginas a las locomotoras, lo que parece demasiado breve). El capítulo VI, muy extenso, se refiere a construcciones, tratando las cuestiones estrictamente arquitectónicas como las correspondientes a los puentes y a la resistencia de los mismos, abordando también los problemas de la calefacción en los edificios. El capítulo VII está dedicado a los ferrocarriles, y en concreto a la infraestructura (túneles, terraplenes) y al material fijo (vías), dedicándole poca extensión a los vagones; trata también de la telegrafía eléctrica, pero de forma demasiado breve, citando los sistemas de Bonelli y de Fernández de Castro. El capítulo VIII trata de los canales de navegación y riego, el IX se refiere a los pozos artesianos, y por último, el X se dedica a la gnomónica (ciencia que trata de los relojes solares), que aunque se condensa en un capítulo corto, era un tema ya en su época de una importancia escasa. La obra tiene al final cuatro apéndices, uno de ellos dedicado a la conducción de aguas a La Habana, y otro referido a Madrid.

En conjunto, la obra de Valdés, auténticamente enciclopédica, presenta apreciables altibajos y parece algo anticuada, en especial en lo referente a la tecnología del vapor, dando mucha importancia a la hidráulica y a las máquinas basadas en el uso de esta energía, que en España, por sus características geográficas y climáticas, tenía unas posibilidades muy limitadas. Hay que tener en cuenta que se basa en textos de los años treinta y cuarenta. Su utilidad es la de un libro de cabecera, una agenda o *handbook* para buscar relaciones matemáticas y datos de uso habitual.

6. Equipamiento de los gabinetes de Física

En líneas generales el equipamiento de los gabinetes de Física en las escuelas industriales era muy variable, dependiendo principalmente de los orígenes del centro. Así, el Real Instituto Industrial de Madrid estaba bien dotado de material científico porque había heredado el del Conservatorio de Artes. Igual ocurría en la Escuela de Barcelona, que recogió todos los objetos pertenecientes a las cátedras dependientes de la Junta de Comercio. La escuelas de Valencia y Málaga heredaron, respectivamente, el material de las cátedras valencianas del Conservatorio de Artes y de la Junta de Comercio malagueña. Las escuelas de Gijón y de Vergara utilizaron los instrumentos del Real Instituto Asturiano y del Seminario de Vergara, respectivamente. En el caso de la Escuela de Sevilla todo el material tuvo que ser adquirido en sus años iniciales, ya que no había existido un centro previo dedicado a este tipo de enseñanzas. La Escuela de Béjar apenas tenía material científico, dado que siempre se movió dentro de unos parámetros de penuria económica y de incompreensión por parte de las autoridades provinciales y estatales.

El material de los gabinetes de las escuelas principales se dividía por lo general en una serie de grupos que comprendían las distintas partes de la Física. La mayoría de ellos contaban con péndulos, balanzas, giróscopos, niveles de burbuja, planos inclinados, aparato de bolas de marfil para la transmisión del movimiento, máquina neumática, tornillo de Arquímedes, anemómetros, alcoholómetros, hidrómetros, diapasón, barómetros, hemisferios de Magdeburgo, pluviómetros, cubo de Leslie, pilas diversas, telégrafo, imanes y electroimanes, brújulas, botellas de Leyden, balanza de Colulomb, eudiómetros, juegos de espejos y de lentes, daguerrotipo, cámara oscura, telescopio, dispositivos para la polarización de la luz, prismas diversos para el estudio del espectro visible y caleidoscopio. Era frecuente que poseyeran modelos a escala de diversos mecanismos y de máquinas de vapor. En general, este material se utilizaba para experiencias de cátedra, realizadas por el profesor o los ayudantes durante las explicaciones, y no solía ser manejado directamente por los alumnos. No existían horarios específicos para prácticas como hoy día. El material era caro (por lo general adquirido en Francia) y de difícil reposición. La situación en las escuelas industriales y en las facultades universitarias experimentales era parecida. Ya durante el Sexenio Revolucionario, algunas universidades —caso por ejemplo de Valencia— permitieron a los alumnos la realización de prácticas de laboratorio, aunque durante periodos breves de tiempo¹⁰.

7. Conclusiones

Una primera conclusión de la situación de la Física en las escuelas industriales que comenzaron a funcionar en España a partir de 1850 es que, en general, esta materia tenía en ellas una importancia bastante grande, principalmente para la ingeniería mecánica; se puede decir que la Física se institucionalizó antes en estas escuelas que en las facultades; no era una mera asignatura de servicio, sino que constituía una parte fundamental de los estudios, casi un fin en sí misma. Existía un problema importante en cuanto a la formación del profesorado; en general el nivel no era alto (en España no existió una Escuela Normal Superior, como en Francia, destinada a la formación del profesorado), y la Normal que funcionó en el Real Instituto Industrial durante unos tres años no llegó a cubrir las expectativas para las que se había creado. El problema de la formación del profesorado era común en la época isabelina a las escuelas técnicas y a las facultades de Ciencias.

Otra conclusión es que se cuidaron más los aspectos aplicados que los fundamentales. Aunque existía una Física básica en los primeros cursos, el nivel de la misma —a la luz de los programas conservados y de los libros oficiales que habían de seguir los profesores— era en general bajo, y los contenidos estaban anticuados, no exponiéndose los conocimientos que en aquel momento se manejaban dentro de la Física europea más avanzada; existían por ello en la enseñanza importantes lagunas en Mecánica analítica, Termodinámica y en los nuevos descubrimientos de los fenómenos eléctricos que en aquellos momentos ya se habían publicado en las revistas científicas; tampoco se enseñaban los nuevos conocimientos de espectroscopia. En general, las revistas que llegaban a las escuelas eran escasas, y en su gran mayoría españolas, por lo que tenían más carácter divulgativo que de fuentes primarias.

En el campo de la Física industrial el nivel era apreciablemente mejor, en parte debido al carácter aplicado de las escuelas, pero especialmente al uso de una bibliografía más actualizada, por lo general de origen francés, utilizándose también textos británicos y alemanes en su versión francesa. Las obras de Pelet, Poncelet, etc., tenían un buen nivel. En contraste, la obra casi enciclopédica de Valdés, muy útil por su esquematismo, estaba en su época manifiestamente anticuada; aunque aparecida en 1859, se basaba principalmente en textos de los años cuarenta, y le daba una importancia excesiva a las máquinas hidráulicas en detrimento de las de vapor.

Un inconveniente importante de las enseñanzas de Física eran las pocas o nulas facilidades que tenían los alumnos para acceder a los gabinetes y realizar experiencias ellos mismos; por lo general el material se destinaba principalmente a demostraciones de cátedra. En ocasiones se hicieron experiencias de alumbrado público (caso de Sevilla en 1860). El equipamiento era en general mediano, aunque había grandes diferencias de una escuela a otra en función de sus antecedentes y de sus recursos.

Pero en conjunto puede decirse que la enseñanza de los diferentes campos de la Física tuvo en las escuelas industriales una importancia y un nivel considerablemente mayor que en las facultades universitarias, en las que se explicaba la Física dentro de los cursos preparatorios, con la excepción de la Universidad de Madrid, donde existía una licenciatura específica. El cierre de la gran mayoría de las escuelas en los años sesenta quebró las expectativas levantadas dentro de este tipo de enseñanza experimental.

NOTAS

1. Programa de Física Experimental del Real Instituto Industrial, Archivo General de la Administración (AGA), legajo EC6092 (1860).
2. Programa de las lecciones de Física en la Facultad de Ciencias de Sevilla que sigue en sus clases el catedrático Fernando Santos de Castro, AGA, caja EC16738 (1861).
3. Programa de las asignaturas que se imparten en la Escuela Industrial de Sevilla, Archivo Histórico de la Universidad de Sevilla (AHUS), libro 651 (1860).
4. Programa de las asignaturas de Física industrial en la Escuela Industrial de Valencia, AGA, legajo EC6540 (1860).
5. Gaceta de Madrid de 24 de septiembre de 1851.
6. Real orden de 15 de octubre de 1861, Colección Legislativa de España, 86, 354-380.
7. Real orden de 31 de agosto de 1864, Colección Legislativa de España, 92, 375-410.
8. La inclusión de la obra de Santos de Castro como texto oficial puede verse citada en la Colección Legislativa de España, 57 (1852), 149-166; 60 (1853) 97-114; 63 (1854) 162-182; 77 (1858) 252-261; 86 (1861) 354-380, etc., hasta el final de la época isabelina.
9. Nota 2.
10. Reglamento para la realización de prácticas en gabinetes y laboratorios, Archivo Histórico de la Universidad de Valencia (AHUV), caja 233 (17 febrero 1869).

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO VIGUERA, J.M. (1961) *La Ingeniería Industrial en España en el siglo XIX*. Madrid, Servicio de Publicaciones de la ETSII. Existe una edición facsímil editada por la Asociación de Ingenieros Industriales de Andalucía, Sevilla, 1993.
- ARMENGAUD, J.E. (1858) *Traité theorique et pratique des moteurs hydrauliques*. Paris, Chez l'auteur.
- AZOFRA, M.M. de (1838) *Curso Industrial. Lecciones de aritmética, geometría y mecánica aplicada a las artes*. Valencia.
- BECQUEREL, M. y BECQUEREL, M.E. (1847) *Éléments de physique terrestre et de météorologie*. Paris, Firmin Didot Frères.
- BLANES NADAL, G., GARRIGÓS OLTRA, L., MILLÁN VERDÚ, C. y SEBASTIÁ ALCARAZ, R. (2000) *Orígenes de la enseñanza técnica en Alcoy*. Alicante, Instituto Alicantino de Cultura.
- BOCCHERINI, F. (1849) *Aritmética*. Madrid, Imprenta Nacional.
- BOUCHARLAT, J.L. (1827, 1861) *Eléments de mécanique*. Paris, Bachelier.
- BYNUM, W.F., BOWNE, E.J. y PORTER, R. (1986) *Diccionario de historia de la ciencia*. Barcelona, Herder
- CABALLER VIVES, M.C.; GARAIZAR AXPE, I. y PELLÓN GONZÁLEZ, I. (1997) «El Real Seminario Científico e Industrial de Vergara (1850-1860)». *Llull*, 20, 85-116.
- CABALLER VIVES, M.C., LLOMBART PALET, J. y PELLÓN GONZÁLEZ, I. (2001) *La Escuela Industrial de Bergara (1851-1861)*. San Sebastián, Colegio Oficial de Ingeniería Industrial de Gipuzkoa.
- CANO PAVÓN, J.M. (1993) *La ciencia en Sevilla (siglos XVI-XX)*. Sevilla, Universidad.
- CANO PAVÓN, J.M. (1996a) «La enseñanza de la ingeniería industrial en España entre 1850 y 1868. La Escuela Industrial de Sevilla». *Llull*, 19, 27-49.
- CANO PAVÓN, J.M. (1996b) *La Escuela Industrial Sevillana (1850-1866). Historia de una experiencia frustrada*. Sevilla. Universidad.
- CANO PAVÓN, J.M. (1997) «La Escuela Industrial de Valencia (1852-1865)». *Llull*, 20, 117-142.
- CANO PAVÓN, J.M. (1998) «El Real Instituto Industrial de Madrid (1850-1867): medios humanos y materiales». *Llull*, 21, 33-62.
- CANO PAVÓN, J.M. (1999) «La Escuela Especial (1845-1855) y de Industria (1855-1860) de Gijón». *Llull*, 22, 51-74.
- CANO PAVÓN, J.M. (2000a) «La Escuela Industrial, de Comercio y de Náutica de Cádiz (1851-1863)». *Llull*, 23, 5-36.
- CANO PAVÓN, J.M. (2000b) «La Escuela Industrial de Vergara (1848-1860)». *Historia de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 19, 225-248.
- CANO PAVÓN, J.M. (2001a) *La Escuela Industrial de Valencia (1852-1865) y sus antecedentes. La difícil formación de un capital humano*. Málaga, Imprenta Montes.

- CANO PAVÓN, J.M. (2001b) «Las limitaciones de la enseñanza técnica obrera en la España isabelina: la Escuela Industrial de Béjar (1852-1867)». *Llull*, 24, 315-346.
- CANO PAVÓN, J.M. (2001c) *Estado, enseñanza industrial y capital humano en la España Isabelina (1833-1868). Esfuerzos y fracasos*. Málaga, Imprenta Montes.
- CANO PAVÓN, J.M. (2002) «Industrial engineering studies in Spain in the 19th century». En: M.C. Duffi. *Engineering and engineers*. Brepols, Turnhout, Belgium, pp. 107-116.
- CLAUDEL, J. (1857) *Formules, tables et renseignements pratiques: aide-memoire des ingenieurs, des architectes, etc.* París, Victor Dalmont.
- D'AUBUISSON DE VOISINS, J.F. (1840) *Traité d'hydraulique a l'usage des ingénieurs*. París-Strasbourg, Pitois-Levrault.
- DEGUIN, M. [1841] *Curso elemental de Física* (trad. V. González Valledor). Madrid, Imp. I. Boix.
- DESPRETZ, C. (1839) *Tratado elemental de Física*. Madrid, Librería de la Sra. Viuda de Calleja e Hijos.
- DIXON, R.N. (1967) *Espectroscopía y estructura*. Madrid, Alhambra.
- DUPIN, C. (1828-42) *Géométrie et mécanique des Arts et Métier et des Beaux-Arts: cours normal à l'usage des artistes et des ouvriers*. París, Bachelier.
- EWERITT, C.W.F. (1975) *James Clark Maxwell*. New York.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, M. (1857) *La electricidad y los caminos de hierro. Descripción y examen de los sistemas propuestos para evitar accidentes en los caminos de hierro por medio de la electricidad, precedidos de una reseña histórico-elemental de esta ciencia y de sus principales aplicaciones*. Madrid, Imp. Rivadeneyra.
- FERNÁNDEZ FIGARES, M. (1861, 2^a edición) *Manual de Física y nociones de Química*. Granada, Imp. José María Zamora.
- FOX, R. (1971) *The Caloric Theory of Gases from Lavoisier to Regnault*. Oxford, Clarendon Press.
- GANOT, A. (1861 a 1880) *Tratado elemental de Física*. Madrid, Imp. Bailly-Bailliere.
- GARCÍA SAN PEDRO, F. (1840) *Tratado completo de Mecánica, destinado a la enseñanza en la Academia de Ingenieros del Ejército*. Madrid, Imprenta Nacional.
- GARRABOU, R. (1982) *Enginyers industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya*. Barcelona, L'Avenç.
- GIL DE ZÁRATE, A. (1855) *De la instrucción pública en España* (3 vols). Madrid, Imprenta del Colegio de Sordomudos.
- GONZÁLEZ VALLEDOR, V. y CHAVARRI, J. (1854 y otros) *Programa de un curso elemental de Física y nociones de Química*. Madrid, Imprenta del Colegio de Sordomudos.
- GRANA GIL, I. (1997) *La Escuela Industrial, de Comercio y de Náutica de Málaga (1851-57)*. Málaga, Universidad.
- GRELON, A. (1996), «La naissance de l'enseignement superieur industriel en France». *Quaderns d'Historia de l'Enginyeria, I*, 53-82.

- JARIEZ, J. (1848) *Cours élémentaire de Mécanique industrielle à l'usage des élèves des écoles royales d'arts et métiers*. París, Mathias.
- KATER, H., LARDNER, D. y COURNOT, A.A. (1842) *Eléments de Mécanique*. París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias.
- LANZ, J.M. de y BETANCOURT, A. (1840) *Essai sur la composition des machines*. París, Bachelier.
- LUSA MONFORTE, G. (1995) *Inventario de los objetos correspondientes a las enseñanzas que ha de abrazar la Escuela Industrial y que ahora existen en las escuelas que están a cargo de la Junta de Comercio de Barcelona*. Edición facsímil, transcripciones y notas, Barcelona, ETSII.
- LUSA MONFORTE, G. (1996) «La creación de la Escuela Industrial barcelonesa (1851)». *Quaderns d'història de l'enginyeria, I*, 1-51
- LUSA MONFORTE, G. (1997) *La difícil consolidación de las enseñanzas industriales (1855-1873)*. Barcelona, ETSII.
- MC GUCKEN, W. (1969), *Nineteenth-century Spectroscopy. Development of the understanding spectra (1802-1807)*. Baltimore, John Hopkins Press.
- MARTÍNEZ GARCÍA, M.A. (1999) *Las Matemáticas en los planes de estudios de los ingenieros civiles en el siglo XIX*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- MONÉS i PUJOL-BUSQUETS, J. (1987) *L'obra educativa de la Junta de Comerç (1769-1851)*. Barcelona, Cambra Oficial de Comerç, Indústria i Navegació.
- MORENO GONZÁLEZ, A. (1988). *Una ciencia en cuarentena. La Física académica en España (1750-1900)*. Madrid, CSIC.
- MORIN, A. (1846) *Leçons de Mécanique pratique: à l'usage des auditeurs des cours du Conservatoire des Arts et Métiers et de sous-officiers et ouvriers d'artillerie*. París, L. Mathias.
- NAVIER, L.M.H. (1841) *Résumé des leçons de Mécanique donnés à l'École Polytechnique*. París, Carilian-Goeury et V. Dalmont.
- NAVIER, L.M.H. y CÁMARA, E. de la (1850) *Resumen de las lecciones de análisis dadas en la Escuela Politécnica de París*. Madrid, Imp. M. Jiménez.
- ODRIOZOLA, J. de (1839) *Mecánica aplicada a las máquinas operando o tratado teórico y experimental sobre el trabajo de las fuerzas*. Madrid, Imp. del Colegio de Sordomudos, 1839.
- PAMBOUR, F.M.G. (1848) *Theorie des machines à vapeur: ouvrage destiné à prouver l'inexactitude des méthodes en usage*. Liege, D. Avanzo et C^{ie}.
- PAYEN, A. (1859) *Precis de Chimie industrielle*. París, Hachette.
- PECLET, E. (1847) *Traité élémentaire de Physique*. París, L. Hachette.
- PIÉLAGO, C. del (1841) *Introducción al estudio de la arquitectura hidráulica: para el uso de la Academia Especial de Ingenieros*. Madrid, Imp. Nacional.
- PONCELET, J.V. (1844) *Traité de Mécanique industrielle: exposant les différents méthodes pour déterminer et mesurer les forces motrices ainsi que le travail mécanique des forces*. Liege, A. Leroux.
- POISSON. S.D. (1838) *Traité de Mécanique*. Bruxelles, Société Belge de Librairie.

- POUILLET, M. (1841) *Elementos de Física experimental y de Meteorología*. Barcelona, Imp. Brusi.
- PRONY, R. (1810) *Leçons de Mécanique analytique*. París, Imprimerie de l'Ecole Imperial Polytechnique.
- RICO, M. y SANTISTEBAN, M. (1858) *Manual de Física y elementos de Química*. Madrid, Imp. Antonio Aguado.
- RIERA TUEBOLS, S. (1993) «Industrialization and technical education in Spain, 1850-1914». En: R. Fox y A. Guagnini *Education, technology and industrial performance in Europe, 1850-1939*. Cambridge, Cambridge University Press.
- RODRÍGUEZ, E. (1858) *Manual de Física General aplicada a la Agricultura y a la Industria*. Madrid, Imp. E. Aguado.
- SANTOS DE CASTRO, F. (1846) *Curso elemental completo de Física experimental*. Sevilla, Imp. Álvarez y Cía.
- SOUBEIRAN, E. (1842) *Precis élémentaire de Physique ou traité facile*. París, Renouard.
- TAFFE, A. (1843) *Application de la mécanique aux machines le plus en usage, mues par l'eau, le vapeur, le vent et les animaux, et a divers constructions*. París, L. Mathias.
- TREDGOLD, T. (1838) *Traité des machines á vapeur et de leur applications* (trad. de F.N. Mellet). Bruselas, Caus et C^{ie}.
- VALDÉS, N. (1859) *Manual del Ingeniero*. París, Dumaine.