

Ortiz-Villajos, José M. (2010): “Antecedentes históricos del sistema español de innovación. Siglos XVI-XVIII”, en J. Morilla, J. Hernández Andreu, J. L. García Ruiz y J. M. Ortiz-Villajos (coords.): *Homenaje a Gabriel Tortella. Las claves del desarrollo económico y social*, Madrid, LID Editorial-Universidad de Alcalá, pp. 289-315, EAN-ISBN13: 978-84-83560-96-9.

Antecedentes históricos del sistema español de innovación. Siglos XVI-XVIII

José María Ortiz-Villajos (Universidad Complutense de Madrid)

Introducción

Un sistema nacional de innovación se puede definir como el conjunto de elementos — instituciones— que, relacionados entre sí, contribuyen a crear, difundir y aplicar nuevos conocimientos para mejorar el proceso productivo de un país¹. Así, por ejemplo, el actual sistema español de innovación estaría compuesto por cinco elementos²: la inversión tecnológica empresarial, que a veces se traduce en departamentos o instituciones privadas de investigación y desarrollo (I+D); el sistema público de I+D (universidades y centros públicos de investigación); las Administraciones, como responsables de las políticas científicas y tecnológicas; las infraestructuras de soporte a la innovación (entidades proveedoras de servicios de I+D a las empresas); y el entorno en el que se desenvuelve la innovación, configurado por elementos tales como el sistema educativo, la legislación sobre protección y fomento de la invención, etcétera. Las relativamente recientes políticas estatales de ciencia y tecnología han tenido un peso decisivo en la formación de los sistemas nacionales de innovación. Pero estos han sido también resultado de un largo y complejo proceso histórico que ha implicado tanto al Estado como a particulares. Conocer este proceso ayudará a comprender cómo se ha producido la modernización tecnológica de los países y cuál ha sido en cada uno la función e importancia de las distintas instituciones involucradas.

Aunque el intento expreso de crear un “sistema” que incluya y coordine al conjunto de instituciones públicas y privadas interesadas en la innovación tecnológica no se ha producido propiamente hasta el siglo XX, los esfuerzos por impulsar la modernización científica y técnica son mucho más antiguos. Ya desde la Edad Media, los gremios de artesanos se ocuparon de conservar y transmitir los conocimientos de cada industria. Las universidades surgidas en aquella época comenzaron a cultivar saberes científicos que irían preparando el camino de avances posteriores. A la vez, en cortes, monasterios y ciudades fueron surgiendo astrónomos y hombres de ciencia que, además de avanzar en conocimientos teóricos, impulsaron las mejoras de las técnicas náuticas e industriales. A partir del siglo XV, los poderosos monarcas de los estados modernos promovieron instituciones dirigidas a

¹ El concepto de “sistema nacional de innovación” ha sido popularizado por Freeman, Nelson y Lundvall. Cfr. Nelson (ed.) (1993) y Mulet (1998), pp. 23-24.

² Según Cotec (1998), pp. 45 y ss., o Mulet (1998), p. 25.

impulsar o proteger conocimientos científicos y técnicos importantes para la defensa o engrandecimiento de sus reinos³.

En la España de los siglos XVI y XVII no faltaron iniciativas en este sentido, aunque el XVIII fue particularmente prolífico en el surgimiento de instituciones públicas y privadas dirigidas a la promoción de la innovación. Pero durante el cambio del siglo XVIII al XIX, las guerras con las potencias europeas, la invasión napoleónica, la independencia de las colonias americanas y el intento de mantener el absolutismo, sumieron a España en una crisis económica e institucional que abarcó los tres primeros decenios del ochocientos. El proceso de institucionalización científica y tecnológica impulsado en el setecientos también entró en crisis, y sólo se reanudó de forma decidida a partir del segundo tercio del XIX. Particular importancia cobraron entonces las instituciones dirigidas a formar técnicos e ingenieros, necesarios para impulsar en España la revolución industrial que estaba teniendo lugar en el norte de Europa⁴. Pero el siglo XIX, aunque tuvo aportaciones significativas como el establecimiento de una Real Academia de Ciencias (1847) —con mucho retraso con respecto a otros países— o una reforma que dinamizó la decisiva institución universitaria, se caracterizó por una todavía débil preocupación por la institucionalización del progreso científico-técnico.

Sería a partir del desastre de 1898 cuando se empezó a promover más decididamente la idea de establecer un sistema nacional de ciencia y tecnología. Dentro del impulso realizado durante el primer tercio del siglo XX, cabe destacar la creación de las primeras instituciones estatales dedicadas expresamente a la investigación científica: la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (1907), para investigación básica, y la FNICER (1931), para investigación aplicada. Pero hubo otras aportaciones significativas, como la creación de las escuelas de ingenieros de telecomunicaciones (1920) y aeronáuticos (1928), además de otras instituciones públicas y privadas, como el Instituto Químico de Sarrià (1916). A partir de 1939, el CSIC —heredero de la Junta para Ampliación de Estudios— se convirtió en la institución central del sistema español de ciencia y tecnología, aunque con el tiempo, las universidades fueron ganando peso como centros de investigación. No obstante, la escasa conexión entre los centros públicos de investigación y el mundo empresarial ha sido uno de los problemas fundamentales del sistema español de innovación, así como la debilidad de la inversión privada en I+D. El resultado ha sido que España ha mantenido unos niveles científicos y tecnológicos muy inferiores a los de los países más avanzados. La política científica de las últimas décadas ha ido dirigida a paliar estos problemas a través de una mayor coordinación y promoción de las actividades de I+D a todos los niveles. Esto ha permitido establecer un moderno y complejo sistema español de ciencia y tecnología, si bien todavía debe mejorar notablemente.

³ Ejemplo pionero fue el impulso dado a los conocimientos y tecnologías náuticas por Enrique *El Navegante* (1394-1460), creador de la Escuela de Navegación de Sagres (Portugal) en el siglo XV.

⁴ Las instituciones dedicadas a la educación técnica son también esenciales dentro de un sistema nacional de innovación, pues, al igual que las instituciones científicas, también están en el fundamento de la capacidad tecnológica de los países. Es más, no se puede pensar que puedan desarrollarse las unas sin las otras. Ingenieros y técnicos de menor grado, sin dedicarse expresamente a la investigación, han sido esenciales en la incorporación de las nuevas tecnologías al proceso productivo. Muy probablemente, el influjo de ingenieros y técnicos sobre el desarrollo industrial de España ha sido, al menos hasta mediados del siglo XX, más decisivo que el de las instituciones de I+D, ya que gran parte de la tecnología utilizada en las empresas españolas ha sido importada.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una panorámica del proceso histórico de formación del sistema español de innovación. Dada su complejidad y antigüedad, así como las limitaciones de espacio, nos hemos limitado a esbozar los principales acontecimientos acaecidos durante la edad Moderna. Siguiendo el hilo cronológico, se irá explicando la función e importancia de las principales instituciones promotoras de la innovación científico-técnica surgidas durante aquella época. El primer apartado se centra en los siglos XVI y XVII, y el segundo, en el XVIII. La panorámica sobre los decisivos avances producidos a partir del siglo XIX habrá de esperar a otra ocasión.

Siglos XVI y XVII

En coincidencia con su expansión territorial y económica, el desarrollo científico español del siglo XVI se podría comparar al de los países más desarrollados de la época, de forma que a principios del seiscientos “España contaba con tantos o más conocimientos científicos que otras naciones y con un cuerpo suficiente de científicos y técnicos”⁵, aunque en realidad bastantes eran extranjeros, como ahora se verá. El siglo XVII, en cambio, fue de decadencia política y económica. El ámbito científico y técnico no fue una excepción a esa tendencia⁶, pero no puede decirse que el país se convirtiera en un erial en este aspecto, como después se verá. Las universidades fueron las instituciones culturales más importantes de aquella época, por lo que el florecimiento científico del quinientos estuvo muy ligado al elevado nivel académico que aquéllas mantuvieron durante todo el siglo. Análogamente, la decadencia del XVII fue pareja al declive universitario. A pesar de su importancia como instituciones científicas y culturales, las universidades de entonces no se ocuparon en general de enseñanzas que tuvieran una aplicación inmediata a la industria y a las artes. Ello no quiere decir que no formaran parte del “sistema” de innovación, pues de forma indirecta y a medio y largo plazo también tuvieron un influjo decisivo —para bien o para mal— en la modernización científico-técnica del país. En cualquier caso, este trabajo se centra en las instituciones más directamente implicadas en la innovación técnica, motivo por el cual no se ocupa de la universidad, a pesar de su indudable importancia⁷. Sin ser las únicas, las instituciones que más se implicaron en el fomento de la innovación durante los siglos XVI y XVII fueron las militares, la Compañía de Jesús y algunos órganos del Estado, como la Junta de Comercio. Veamos sus principales aportaciones.

Instituciones militares

El ejército fue una de las instituciones más dinámicas de la época desde el punto de vista científico y técnico. Debido a los progresos de la artillería, desde el siglo XV fue necesario desarrollar la fortificación como rama separada de la arquitectura civil⁸. Ello implicó la

⁵ López, y Santesmases (2006), p. 893.

⁶ Cfr. López, y Santesmases (2006), p. 893.

⁷ Mucho se ha escrito sobre la historia de las universidades españolas. Entre los trabajos generales, cabe destacar los de Ajo González y Sáinz de Zúñiga (1957-1979), Álvarez Morales (1972 y 1993), Hernández Sandoica, y Peset (1990), Kagan (1981), López Piñero (1979), Peset (1974) y Rodríguez-San Pedro (ed.) (2000).

⁸ “La técnica militar había experimentado una considerable transformación a lo largo de la Baja Edad Media, como consecuencia del uso de la pólvora en Europa para fines bélicos y de las nuevas máquinas de ataque que trajo consigo. Esto condujo a un cambio en las tácticas de ataque y defensa, así como en la estructura de las fortificaciones y en la organización del ejército” (Vicente Maroto, 2002-2003, p. 1).

necesidad de potenciar los conocimientos en matemáticas y dibujo. Debido a la ausencia de instituciones docentes específicas, los que deseaban ejercer ese oficio habían de instruirse por su cuenta en tales materias, así como trabajar como ayudantes de algún arquitecto o ingeniero acreditado. Con el tiempo y la experiencia podían llegar a obtener el título de ingeniero. Pero en el siglo XVI estudiar matemáticas en España no era fácil, por lo que la escasez de ingenieros era tal que los ejércitos imperiales tuvieron que ir a buscarlos a Italia, Flandes y los estados alemanes, donde había más tradición y número de personas preparadas. Para paliar esta carencia, Felipe II estableció en 1582⁹ una Academia de Matemáticas y Arquitectura Militar en el antiguo Real Alcázar de Madrid, que estuvo dirigida por el prestigioso ingeniero militar Tiburcio Spannocchi y el arquitecto Juan de Herrera. “La formación de los alumnos, tanto militares como civiles —se admitían algunos ‘caballeros particulares’— era muy completa, especialmente para los futuros ingenieros. Abarcaba no solamente Matemáticas y Fortificación, sino Arquitectura, Cosmografía e incluso navegación o el *Arte de Marear*”¹⁰. Pero, no obstante su necesidad, “pronto cayó en decadencia *por falta de oyentes*, lo que obligó a *tener que reclutarlos entre los expósitos y desamparados de Madrid*”¹¹. Finalmente, cerró sus puertas en 1625, aunque su patrimonio y tradición no se perdieron: fueron asumidos por el Colegio Imperial de los Jesuitas, establecido precisamente aquel año.

Debido a su deficiente funcionamiento, la academia madrileña no pudo abastecer a la monarquía del creciente número de ingenieros que necesitaba¹² tanto para actividades militares como para proyectos de carácter civil, por lo que el principal contingente de ingenieros militares procedió de Italia¹³ y Flandes durante todo el siglo XVI y gran parte del XVII¹⁴. A pesar de todo, la Academia de Madrid tuvo un papel positivo, pues ayudó a incrementar el nivel científico y

⁹ Se ha dicho que en Madrid funcionó una Cátedra de Matemáticas dirigida a la formación de artilleros e ingenieros “durante todo el siglo XVI, es verdad que de manera intermitente, pero con una continuidad institucional que los artilleros e ingenieros del siglo XVIII reconocerían una y otra vez” (Capel, 1988, p. 191). Pero esto no parece plausible. De lo que hay realmente constancia es de la cátedra establecida en 1582 por Felipe II y de la creada en 1605 a instancias del Consejo de Guerra que, como luego se dirá, estuvo funcionando durante todo el siglo, pero no el XVI, sino el XVII.

¹⁰ [http://www.ingenierosdelrey.com/02_01_madrid.htm, consultada en agosto de 2007].

¹¹ *Ibid.*

¹² Los ingenieros de la monarquía hispana que han sido identificados nominalmente para los siglos XVI y XVII fueron 329 en total, según la siguiente distribución temporal (cfr. Capel *et al.*, 1988, p. 15):

Período	Nº de ingenieros
1501-1524	5
1525-1549	17
1550-1574	24
1575-1599	32
1600-1624	30
1625-1649	96
1650-1674	60
1675-1699	65
Total	329

¹³ Fuera de la Península se crearon otras academias similares, entre las que destacó la de Milán, que había sido fundada en tiempos de Carlos V y permaneció abierta durante todo el siglo XVII.

¹⁴ Cfr. Capel *et al.* (1988), p. 14.

tecnológico general y a formar ingenieros autóctonos. En cualquier caso, también hay que tener en cuenta que ni siquiera todos los ingenieros militares españoles reclutados a partir de 1582 se formaron en esta escuela, pues “con frecuencia, el reclutamiento se hacía entre los oficiales que poseían algún conocimiento de matemáticas y fortificación”¹⁵. No hay que olvidar que hasta 1711 no existió un Cuerpo de Ingenieros como tal, por lo que los ingenieros militares en los siglos XVI y XVII surgieron y estuvieron ligados a la infantería, a la marina y muy especialmente a la artillería. Esto es lógico, pues el desarrollo de la artillería desde la baja Edad Media fue lo que hizo necesario mejorar la fortificación, actividad de la que se encargaron los ingenieros de la época.

Pero también el propio desarrollo de la artillería estimuló la innovación y la formación de técnicos. Efectivamente, la creciente complejidad de las técnicas de artillería hizo necesario el desarrollo de nuevos conocimientos científicos, así como de centros industriales capaces de fabricar los artefactos y piezas necesarias. Fue, por tanto, un campo que contribuyó particularmente al avance científico, tecnológico e industrial de la época¹⁶. Y esto implicó a su vez la necesidad de formar personal preparado en aspectos tan fundamentales desde el punto de vista militar. Inicialmente, “los aspirantes a artilleros se formaban por su cuenta, a veces con ayuda de alguien que ya conocía la profesión, que solía ser un capitán de artillería o un experto en el arte militar”¹⁷, pero con el tiempo fue cada vez más necesario organizar esos estudios, lo que llevó a los monarcas españoles a crear escuelas con ese fin. Así, “a mediados del siglo XVI funcionaban, en el ámbito de los dominios hispánicos, las escuelas de artillería de Barcelona y Milán. En 1559 se creó la de Mallorca, y luego otras, aunque la escasez de medios hacía que funcionasen de modo muy irregular”¹⁸. Antes de 1590 se establecieron también las escuelas de artillería de Ferrol y La Coruña¹⁹, así como las de Burgos y Málaga. Estas dos últimas, estuvieron muy ligadas a las fábricas de fundición, pólvora y municiones de sus respectivas ciudades, consideradas las mejores de España en el quinientos. La conexión entre el ejército, la ciencia y la industria es particularmente visible en estos casos²⁰.

A pesar de la importancia de Sevilla, en la década de 1580 había allí gran escasez de artilleros, lo que generó quejas desde diversos ámbitos militares. Esto llevó al establecimiento de una escuela de artillería en aquella ciudad, que comenzó a funcionar en marzo de 1592 con setenta y cuatro

¹⁵ Capel *et al.* (1988), p. 15.

¹⁶ “En el ámbito de la producción, se requerían nuevas fábricas de fundición de cañones y de fabricación de todo tipo de objetos para la artillería. Además, el manejo de las nuevas armas implicaba la resolución de problemas, como el ángulo de tiro y la trayectoria del proyectil, que requerían conocimientos de geometría y de filosofía natural” (Vicente Maroto, 2002-2003, p. 1).

¹⁷ Vicente Maroto (2002-2003), p. 1.

¹⁸ Vicente Maroto (2002-2003), pp. 1-2.

¹⁹ Cfr. Vicente Maroto (2002-2003), pp. 4-5.

²⁰ “Según una cédula de la reina Juana fechada en Valladolid el día 17 de agosto de 1537, se ordenó al capitán de artillería elegir el lugar más conveniente de la ciudad de Burgos para instalar una fundición de cañones y otras piezas para el servicio de los artilleros. La fundición burgalesa estaba entre las mejores de España; según un informe de don Francés de Alava, del Consejo de Guerra, se conseguían piezas de mejor calidad que en las fundiciones de Navarra y Logroño, incluso podía compararse con la de Málaga, considerada como la mejor fundición de artillería de España. El cobre se traía de Hungría, a través de agentes de los Fugger, con la intervención de mercaderes burgaleses” (Vicente Maroto, 2002-2003, p. 2).

alumnos²¹. Al año siguiente había ya doscientos, y de los sesenta y cuatro que terminaron sus estudios fueron seleccionados cincuenta para servir como artilleros. El primer director y profesor de esa escuela fue el doctor italiano Julio Ferrofino, que había sido abogado del rey en Roma y formado en artillería en España²². Como reconocimiento a sus servicios, en 1595 fue nombrado catedrático de matemáticas de la Academia Real de Madrid²³, dirigida, como se ha dicho, a formar ingenieros. Es este un ejemplo de la vinculación y a veces difícil distinción entre la formación para artilleros e ingenieros en aquella época. Otro significativo ejemplo lo tenemos en la decisión que en 1605 tomó el Consejo de Guerra de establecer en Madrid una Cátedra de Matemáticas y Artillería dirigida a formar ingenieros militares y artilleros con la suficiente formación matemática y técnica²⁴. Las clases de esta cátedra comenzaron a impartirse en el palacio del Marqués de Leganés, Juan de Acuña, capitán general de artillería. Este centro alcanzó gran prestigio de la mano de su primer catedrático, Julio César Firrufino [*sic*], hijo del citado Julio Ferrofino, que permaneció en la Cátedra hasta su jubilación en 1650. Además de su actividad docente, Firrufino “realizó numerosos trabajos como ingeniero militar, por lo que fue recompensado con la concesión de dos hidalguías”²⁵. Tras su retirada, la actividad de la cátedra fue bastante irregular y con escasos oyentes, hasta el punto de que el Consejo de Guerra la suprimió en 1697. Y, aunque hacia 1730 volvió a abrirse, en 1737 se clausuró definitivamente “por estimarse que las enseñanzas teóricas ya existían en la corte, en el Colegio de Nobles y en el Colegio Imperial, y que la dotación económica debía dedicarse a plazas de artillería”²⁶.

A pesar de las dificultades y limitaciones de las academias militares, los ejércitos de la monarquía pudieron también reclutar ingenieros entre los alumnos del Colegio Imperial y en otros ámbitos, principalmente entre los propios oficiales que se iban formando como ingenieros a través de la práctica. Pero esto no significa que desaparecieran las escuelas militares de enseñanza técnica ni los esfuerzos del ejército por impulsarlas. Diversas escuelas de artillería siguieron en funcionamiento, así como la Academia de Milán, que funcionó durante todo el siglo XVII. Además, en 1656 el Consejo de la Guerra creó dos nuevas cátedras en Madrid, una en el Hospital de Desamparados y otra en el propio Real Alcázar, ambas de hora y media de duración al día, tanto para soldados como para particulares²⁷. Dada la escasez de alumnos, en 1663 se hizo un esfuerzo económico para pensionar hasta ocho estudiantes, pero fue inútil: en 1696 se decretó la extinción de las cátedras y su traslado a Barcelona, donde al año siguiente se crearía la

²¹ “Entre los que había veintidós carpinteros, once albañiles, tres entalladores, tres ensambladores, tres cerrajeros, tres polvoristas, dos canteros, dos escultores, un soldado, un empedrador, un impresor de libros, y el resto sin profesión conocida. Las edades de los aspirantes oscilaban entre los veintitrés años, el más joven, hasta los treinta y ocho del mayor, siendo la media de edad de unos treinta años” (Vicente Maroto, 2002-2003, p. 3).

²² Cfr. Vicente Maroto (2002-2003), p. 2.

²³ Cfr. Vicente Maroto (2002-2003), p. 4.

²⁴ “La existencia de esta Cátedra de Matemáticas y Artillería, dependiente del Consejo de Guerra, ha sido mal interpretada por algunos historiadores, que la han confundido y mezclado con la Cátedra de Matemáticas de la Academia Real de la corte, dependiente del Consejo de Indias y creada a instancia de Juan de Herrera en 1582. Ambas funcionaron independientemente, pero la de Artillería desapareció unos cincuenta años antes que la conocida como Academia de Matemáticas” (Vicente Maroto, 2002-2003, p. 9).

²⁵ Vicente Maroto (2002-2003), p. 8.

²⁶ Vicente Maroto (2002-2003), p. 9.

²⁷ [http://www.ingenierosdelrey.com/02_01_madrid.htm, consultada en agosto de 2007].

Academia de Matemáticas, de la que luego se hablará. Por último, no se puede pasar por alto la Real Academia Militar de Matemáticas de Bruselas. Fundada en 1675 por el Duque de Villahermosa, Capitán General de los Estados de Flandes, a ruegos de los maestros de campo de los tercios españoles. La Academia de Bruselas —que siempre estuvo bajo la dirección de Sebastián Fernández de Medrano— fue probablemente la institución que más ingenieros formó para la monarquía durante los siglos XVI y XVII: “Cada año ingresaban treinta oficiales y cadetes de los tercios y regimientos de Infantería, por lo que en los 31 años de existencia pasaron por sus aulas unos 900 alumnos”²⁸. Las enseñanzas duraban dos años, tras los que los alumnos se consideraban aptos para ser empleados como ingenieros. Pero, tras tres décadas de funcionamiento, la Academia tuvo que cerrar sus puertas en 1706, cuando el archiduque Carlos conquistó la ciudad y España perdió definitivamente los Países Bajos. Pero, como sucedió con los centros de Madrid, su tradición fue absorbida por la Academia de Barcelona.

El Colegio Imperial de la Compañía de Jesús

La pujanza de la Compañía de Jesús y el favor que recibió de la monarquía convirtió al Colegio Imperial de Madrid en una de las instituciones más dinámicas del seiscientos (y del setecientos) desde el punto de vista científico, probablemente en detrimento de las grandes universidades de Alcalá y Salamanca, que habían sido los principales centros culturales del Renacimiento español. Desde 1572 venía funcionando en Madrid un colegio de la Compañía²⁹, pero fue a principios del siglo XVII cuando la institución dio un gran salto gracias a un legado recibido de la emperatriz María de Austria (1528-1603)³⁰. En 1603 recibió el título de Colegio Imperial y en 1625 Felipe IV fundó en su seno los Reales Estudios, que absorbieron las enseñanzas de otras instituciones anteriores, como el viejo Estudio de la Villa y la cátedra de fortificación de la Academia de Matemáticas, desaparecida en 1625 como se ha señalado. El Plan de Estudios Mayores del Colegio tenía diecisiete cátedras³¹, entre las que además de materias habituales como filosofía, teología y lenguas, hubo otras consagradas a las nuevas ciencias: matemáticas, astronomía, cálculo de posiciones e hidrografía, anatomía, historia natural, botánica, mineralogía e, incluso, una de economía y política, así como la ya señalada de fortificación. No era, pues, una copia de las universidades de la época, sino que dio también importancia a las ciencias aplicadas. No fue esto una casualidad, sino resultado de la alianza de hecho que se produjo entre los intereses de la

²⁸ Cfr. *Estudio histórico del Cuerpo de Ingenieros del Ejército*, Madrid, 1911 (edición facsímil de la Inspección de Ingenieros, 1984, Tomo II, pp. 10-13, cfr. <http://www.ingenierosdelrey.com>).

²⁹ En el que se formaron personajes tan ilustres como Lope de Vega (1562-1635), Francisco de Quevedo (1580-1645) o Calderón de la Barca (1600-1681).

³⁰ Hija de Carlos V e Isabel de Portugal, y emperatriz de Alemania tras casar con el emperador Maximiliano II en 1548.

³¹ “Desde 1599 estaba ya fraguado el plan docente que se seguía en todos los colegios de la orden, la *Ratio Studiorum*, un proyecto educativo integral donde el latín, las letras y el teatro se combinaban con la filosofía natural y experimental, y todo ello con la esgrima, la danza y otras actividades bajo el respeto a la jerarquía y el fomento a la creatividad. En el Colegio Imperial se hacían primero los Estudios Menores de Gramática durante seis cursos, que abarcaban desde el aprendizaje incipiente de las declinaciones y conjugaciones hasta la prosodia, el verso y la retórica clásica” [http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/lugaresdelsaber/colegio_imperial, consultado en agosto de 2007].

Corona y los de la Compañía. Así, el Colegio tuvo muy presentes los requerimientos de la monarquía, necesitada de formar a sus futuros cortesanos, técnicos y administradores. Allí se formaron los hijos de buena parte de la nobleza española durante el Antiguo Régimen hasta la expulsión de la Compañía en 1767. La alianza entre ambas instituciones llevó a que las antiguas atribuciones de otras instancias —Casa de Contratación, Academia de Matemáticas, Consejo de Indias— “fueran asumidas y desplazadas a la órbita de los jesuitas, los verdaderos monopolizadores de la enseñanza nobiliaria, los ejecutores de buena parte de los proyectos técnicos e intelectuales relacionados con las Indias y, sin duda, los encargados de conciliar los nuevos conocimientos con el dogma católico”³². Ello no impidió —debido al eclecticismo jesuita— que por el Colegio Imperial desfilaran muchas de las nuevas ideas de la época, por lo que gozó de gran prestigio en muchos ámbitos académicos, también en el científico³³. De hecho, los mejores tratados de geometría, trigonometría, aritmética, álgebra y astronomía de la España del siglo XVII salieron de la pluma de algunos de sus profesores, como Claude Richard, La Faille y José de Zaragoza, todos ellos científicos de renombre.

Otras instituciones

Además de las señaladas, el “sistema” español de innovación durante los siglos XVI y XVII estuvo configurado por otras instituciones, entre las que cabe destacar los llamados privilegios de industria, la Junta General de Comercio y los gremios. Explicamos de forma muy resumida el papel de cada una. Con la concesión de privilegios de industria, la monarquía buscaba introducir nuevas técnicas que impulsaran la modernización y el desarrollo industrial. Entre ellos, algunos estuvieron especialmente dirigidos a fomentar la invención. Los privilegios de invención —antecedente de las actuales patentes— surgieron en Florencia y en Venecia durante el siglo XV, y la monarquía hispánica los introdujo y usó con cierta frecuencia desde el XVI, lo cual indica una relativamente temprana implantación en España de esta institución³⁴. No obstante, el alcance y efectividad de esta actividad, así como su institucionalización, fueron todavía limitados en aquella época. Los privilegios de industria fueron usados también con frecuencia para introducir en España la fabricación de determinados productos particularmente necesarios para la Corona. Un ejemplo paradigmático es el de la fábrica de Liérganes y La Cavada. Establecida a principios del siglo XVII a raíz de la concesión de un privilegio a un técnico extranjero, llegó a convertirse en el centro fabril de artillería más importante de la monarquía durante los siglos XVII y XVIII³⁵.

Con el paso del tiempo, las monarquías europeas fueron creando sistemas cada vez más organizados para fomentar la innovación. Así, durante el siglo XVII surgieron juntas o consejos

³² *Ibíd.*

³³ Para más detalles sobre la historia del Colegio Imperial, cfr. Simón Díaz (1992) y Rodríguez G. de Ceballos (1970).

³⁴ Sobre los privilegios de invención españoles de esta época, véase García Tapia (1990).

³⁵ Fundada en 1616 por el industrial flamenco Jean Curtius en la localidad cántabra de Liérganes, la fábrica se convirtió enseguida en proveedora fundamental de los ejércitos de la monarquía. A la muerte de Curtius, uno de sus socios —el luxemburgués Jorge De Bande— decidió establecer en 1643 otros altos hornos en la población vecina de La Cavada. Tras casi siglo y medio de funcionamiento privado y éxito empresarial, Carlos III revocó el privilegio en 1759 y convirtió estos centros en reales fábricas bajo dominio estatal (cfr. Alcalá-Zamora, 1974).

de comercio en la mayoría de los Estados con la finalidad de regular y fomentar el desarrollo económico e industrial. En España, la Junta General de Comercio³⁶ fue establecida en 1679 por iniciativa de “Juan José de Austria, un príncipe protector de los *novatores* científicos de fines del siglo XVII”³⁷. Esta medida cabe encuadrarla dentro del esfuerzo realizado durante el reinado de Carlos II (1665-1700) por mejorar la organización económica del reino para sacar al país de la crisis en la que se encontraba. La Junta nació con el cometido de “reflexionar sobre el problema mercantil e industrial y proponer soluciones legislativas”³⁸. Se ha dicho que representó “un cambio importante en la actividad estatal, al pasar el Estado de recaudador a impulsor de las actividades mercantiles”³⁹. En el aspecto que a nosotros ahora nos interesa —el fomento de la innovación—, la Junta tomó medidas directas, como la búsqueda de técnicos extranjeros que se establecieron en muchas zonas de España o la creación de manufacturas privilegiadas que usaran técnicas no presentes en nuestro país; e indirectas, como la concesión de exenciones fiscales y honores que incentivarán la inversión, la aclaración de ideas sobre la incompatibilidad entre nobleza y actividad industrial, así como la elaboración de informes sobre los problemas económicos y la forma de solventarlos⁴⁰. La Junta empezó a tomar medidas relevantes especialmente a partir de 1690, pero en el siglo XVII, debido a la falta de recursos, su “labor apenas afectó a la industria y poco aún al comercio”⁴¹. Fue en el siglo XVIII cuando esta institución ejerció su mayor influjo. Luego nos ocuparemos de ello. No obstante, cabe ahora señalar que ya en los años finales del siglo XVII la Junta tuvo una incidencia significativa sobre el desarrollo industrial y tecnológico si consideramos el número de empresarios que se beneficiaron de sus medidas “y sobre todo, si tenemos en cuenta que se abría una vía legal nueva por la que podrían caminar numerosas actividades sin recurrir necesariamente al orden gremial. En cualquier caso, la Junta también facilitaría la renovación de las ordenanzas gremiales”⁴².

Esto nos lleva por último a hablar de los gremios de artesanos como otra importante institución —en este caso privada— del “sistema” de innovación de la época. Surgidos en la baja Edad Media, cobraron fuerza y poder durante el siglo XVI y alcanzaron su edad dorada durante el XVII, “no necesariamente por su eficacia, sino por su proliferación y por la perfección de su institucionalización”⁴³. Aunque parece que sólo en sus primeras etapas desempeñaron un papel positivo en relación con la innovación técnica, tanto entonces como en épocas posteriores de mayor rigidez y conservadurismo tecnológico tuvieron mucho peso en la conformación del sistema productivo y en la difusión de técnicas industriales. Son, por tanto, instituciones que no se pueden pasar por alto, pues desempeñaron un papel relevante en el fomento y/o freno de la innovación.

³⁶ “A pesar de su nombre, la Junta se ocupó relativamente poco de cuestiones comerciales en sentido estricto. El término *comercio* a finales del siglo XVII y principios del XVIII tenía un significado similar al que cien años más tarde tendría *fomento* y en el siglo XX *desarrollo*” (Molas, 1988, p. 206).

³⁷ Molas (1988), p. 205.

³⁸ González Enciso (2004), p. 16.

³⁹ Cano Pavón (2001), p. 55.

⁴⁰ Cfr. González Enciso (2006), p. 127 y Cano Pavón (2001), p. 55.

⁴¹ González Enciso (2004), p. 16.

⁴² González Enciso (2006), p. 127.

⁴³ González Enciso (2006), p. 113.

En fin, como conclusión de este apartado cabe decir que el núcleo de lo que podría ser un muy incipiente sistema español de innovación en los siglos XVI y XVII era el formado por universidades, academias militares, Colegio Imperial, manufacturas privilegiadas, privilegios de invención, Junta de Comercio y gremios artesanales⁴⁴. No se puede olvidar, en todo caso, que hubo otras instituciones públicas y privadas que influyeron de forma puntual en la conformación de dicho “sistema”, así como multitud de empresas y comerciantes que promovieron la innovación con ayuda o al margen de las instituciones “oficiales”.

El siglo XVIII

Se ha dicho que la preocupación por la promoción e institucionalización de la ciencia y la innovación se originó “en el inicio del nuevo siglo, precisamente en 1700, cuando España aclamaba a un nuevo rey sobre su trono: Felipe de Borbón, nieto de Luis XIV de Francia”⁴⁵. Él y sus sucesores “se ocuparon personalmente de los asuntos de España, y esto era quizá lo que la nación más necesitaba”⁴⁶. No cabe duda de que la nueva dinastía se ocupó de la renovación científica y tecnológica, pero también es claro que en este aspecto no se partía de cero. Como acabamos de ver, los Borbones heredaron una larga tradición en el cultivo y fomento de la ciencia y de la técnica. Es cierto que esta herencia no estaba exenta de problemas y debilidades, por lo que a principios del siglo XVIII el atraso científico y económico de España con respecto a los países del norte de Europa era claro. También es cierto que los monarcas, políticos y pensadores ilustrados intentaron solucionar este problema con la implantación de un programa reformista; pero igualmente lo es que este programa no era tan original⁴⁷. Los arbitristas del siglo XVII generaron un amplio elenco de ideas y escritos sobre los llamados “males de España” y sus posibles soluciones. “En el siglo XVII no sólo había una discusión más o menos pública sobre los asuntos económicos, sino que también en algunos momentos de ese siglo hubo una firme voluntad de introducir reformas que modificasen las relaciones económicas, como ocurrió durante los reinados de Felipe IV y Carlos II, etapas para las que los investigadores hablan ya abiertamente de periodo reformista”⁴⁸.

En fin, aunque desde el punto de vista científico y técnico los esfuerzos de los siglos XVI y XVII fueron insuficientes, muchas de las iniciativas e instituciones creadas entonces estuvieron en la base de los progresos del XVIII. En estos aspectos, la continuidad entre el siglo XVII y el XVIII es quizá más acusada que la ruptura, aunque también es claro que durante el setecientos se produjo una mejora en estas instituciones, aparte de que surgieron muchas otras, por lo que no cabe duda de que el “sistema” español de innovación avanzó de forma muy significativa durante el siglo de la Ilustración. Veamos pues las líneas fundamentales de este progreso.

⁴⁴ Mucho se ha escrito sobre este conjunto de instituciones. Un reciente compendio de las aportaciones de buena parte de ellas en el campo de la innovación tecnológica es el recogido en Silva Suárez (ed.) (2004).

⁴⁵ Sánchez Ron (1999), p. 36.

⁴⁶ Sánchez Ron (1999), p. 37.

⁴⁷ Además, el alcance del programa reformista ilustrado, su relación con el crecimiento económico e incluso el programa en sí, son temas controvertidos (cfr. Torres Sánchez, 2006, p. 138).

⁴⁸ Torres Sánchez (2006), p. 138.

Del auge a la expulsión de la Compañía de Jesús

Cabe señalar antes de nada que las universidades, al menos inicialmente, incorporaron poco los avances en el saber y en las ciencias que se venían produciendo en Europa desde el siglo XVII, por lo que mantuvieron la tendencia declinante y poco dinámica del seiscientos. Aunque se intentó en las últimas décadas del XVIII⁴⁹, la necesaria reforma universitaria no llegaría hasta bien avanzado el siglo XIX. Por otro lado, el Colegio Imperial de los jesuitas mantuvo inicialmente el peso e influencia del siglo anterior. La fuerte vinculación que la Compañía de Jesús siguió teniendo con la nueva dinastía se puso de manifiesto cuando Felipe V encomendó a esta institución la dirección del Seminario de Nobles, creado por el monarca en 1725 con la finalidad de formar a los hijos de las élites y de nutrir con ellos los puestos de la administración del Estado y los ejércitos de la monarquía. Pero esta institución no tenía un carácter científico: era una escuela secundaria de prestigio, cuyos alumnos acabaron trabajando en su mayor parte en el ejército y la marina⁵⁰. Cuando la Compañía fue expulsada de España en 1767, el Colegio Imperial se transformó en los Reales Estudios de San Isidro⁵¹ y la dirección del Seminario de Nobles se encomendó a Jorge Juan. A partir de entonces, la institución cayó en el ámbito militar. Este hecho puntual es indicador de la creciente militarización de muchos aspectos administrativos, científicos y técnicos de la vida española del siglo XVIII. Efectivamente, “las grandes atribuciones en materia de cosmografía, geografía y matemáticas de que gozaban los jesuitas fueron pasando a manos de los ingenieros militares y los oficiales científicos de la Armada, los nuevos brazos de una Monarquía que liquidó su vieja alianza con la Compañía en favor de otros cuerpos más cercanos a sus ideales centralizadores y burocráticos”⁵².

Las instituciones militares

En el campo de la ingeniería, la milicia siguió siendo la institución decisiva en España durante el siglo XVIII. Antes se ha señalado que en 1697 se fundó una academia de matemáticas en Barcelona, cuyos precedentes se remontan a 1686. Esta academia heredó la tradición de las cátedras de matemáticas que habían funcionado en Madrid durante el siglo XVII y comenzó a funcionar en 1699 con el apoyo del director de la Academia de Bruselas, Sebastián Fernández de Medrano, que, además de emitir un informe en 1700 para su organización, envió a Barcelona dos discípulos suyos como profesores⁵³. Esta iniciativa duró poco, pues se interrumpió tras la toma de Barcelona por el Archiduque Carlos en 1705, y no se reanudaría hasta 1720. En el ínterin se produjo un acontecimiento importante: Felipe V creó en 1711 el Cuerpo de Ingenieros de los Ejércitos y Plazas. Los ingenieros militares alcanzaban así personalidad propia al separarse del arma de Artillería. Esta medida histórica es indicativa de la creciente importancia de la ingeniería, cada vez más necesaria

⁴⁹ Cfr. Lafuente, y Peset (1988), pp. 56-57.

⁵⁰ Cfr. Andújar Castillo (2004).

⁵¹ Los Jesuitas volvieron a hacerse cargo de los Reales Estudios en los períodos 1816-1820 y 1823-1834. Entre 1835 y 1845 volvió a ser una institución laica, con el nombre de Estudios Nacionales, y en 1845 se incorporó a la Universidad Literaria de Madrid.

⁵² [http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/patrimonio/lugaresdelsaber/colegio_imperial, consultado en agosto de 2007].

⁵³ Cfr. Capel (1988), p. 191.

para la monarquía y la sociedad. Una vez terminada la Guerra de Sucesión, el Cuerpo de Ingenieros se convirtió en un apoyo fundamental para el amplio programa de reformas impulsado por la nueva dinastía. De hecho, la Ordenanza de 1718 que regulaba las funciones del Cuerpo, “antes incluso de aludir a las funciones específicas sobre construcción y conservación de fortificaciones y puertos, esbozaba un ambicioso proyecto de modernización económica en cuya ejecución comprometía explícitamente al cuerpo”⁵⁴. Las amplias funciones atribuidas por la Corona a los ingenieros militares ponían de manifiesto la necesidad de contar con técnicos preparados y eficaces, pero también “la indigencia de la ciencia española y la debilidad, escasa preparación —o incluso inexistencia— de las corporaciones profesionales que podían haber colaborado en dichas tareas”⁵⁵.

Entre 1710 y 1718 se integraron en el cuerpo unos ciento diez ingenieros, “algunos de los cuales venían ya prestando servicios desde años atrás”⁵⁶. Aunque el porcentaje de españoles creció, todavía en 1718 la mayoría de sus integrantes eran extranjeros (franceses, flamencos, italianos o germanos). Como se ha dicho antes, bastantes de los ingenieros militares se habían reclutado hasta entonces entre oficiales —también entre civiles— con conocimientos técnicos, adquiridos de forma poco reglada. Pero mantener un cuerpo numeroso y bien preparado exigía organizar su formación, especialmente en un país caracterizado “por la pobreza del ambiente científico y la endeblez de las estructuras académicas”⁵⁷. Así, en 1716 se tomó la decisión de crear en Barcelona una academia, que por diversos avatares no se hizo efectiva hasta 1720. La Real Escuela Militar de Matemáticas de Barcelona nació como un “centro de formación científica castrense controlado plenamente por los militares, y con énfasis en las enseñanzas de aplicación práctica y militar”⁵⁸. No obstante, esta y otras academias militares que surgieron a continuación⁵⁹ también admitieron alumnos civiles, dada la falta de instituciones de enseñanza técnica en España, casi con la única excepción del Colegio Imperial de los jesuitas. Avanzado el siglo XVIII surgieron otras instituciones de educación técnica, pero los centros militares fueron casi los únicos durante los dos primeros tercios del setecientos. Debido a ello, este Cuerpo no sólo cumplió funciones castrenses, sino que se encargó también de la construcción de caminos, canales, puertos y otras obras públicas. Los ingenieros militares proyectaron también la mayor parte de las fábricas reales, introducidas en España por Felipe V, y fueron los mejores científicos y técnicos de la España del setecientos⁶⁰.

⁵⁴ Capel (1988), p. 188.

⁵⁵ Capel (1988), p. 189. Cabe destacar que todavía a estas alturas no había en España una Academia de Ciencias, cuando en los principales países europeos venían funcionando desde el siglo XVII como instituciones centrales en el impulso de las actividades científicas (cfr. Lafuente, y Peset, 1988, p. 53). No obstante, la propia Real Academia de Ciencias —que no se crearía hasta 1847— considera que sus orígenes históricos están en la Academia de Matemáticas fundada por Felipe II en 1582 [cfr. <http://www.rac.es>].

⁵⁶ Capel (1988), p. 189.

⁵⁷ Capel (1988), p. 189.

⁵⁸ Capel (1988), p. 192.

⁵⁹ En 1732 y 1739 respectivamente se fundaron las academias de ingenieros de Orán y de Ceuta, que funcionaron como “sucursales” de la de Barcelona.

⁶⁰ “Con la formación adquirida en las Academias de Matemáticas, completada luego con la práctica en los lugares de destino bajo la supervisión y el control de sus superiores jerárquicos, los ingenieros militares adquirirían una elevada capacitación que les permitía participar en tareas constructivas muy amplias y diversas. El aprecio en que eran tenidos se refleja también en la solicitud de que eran objeto por parte de instituciones militares (como la Academia de Guardias de Corps) o civiles (Academia de Bellas Artes de

Los artilleros, aunque, como se ha explicado, habían tenido desde el siglo XVI sus propias escuelas de formación⁶¹, no tenían realmente una academia donde reclutar sus futuros oficiales. Inicialmente, por tanto, la Academia de Barcelona sirvió para formar indistintamente aspirantes a oficiales ingenieros o artilleros. Pero como estaba controlada por ingenieros, eran estos los que más se aprovecharon de ella; algo que los artilleros no estaban dispuestos a aceptar, por lo que buscaron desde un principio crear su propia academia. El primer paso lo dieron en 1751 con la creación de las Escuelas de Formación Teórica con título de Artillería de Barcelona y Cádiz. La tensión entre artilleros e ingenieros parecía tocar a su fin en 1756 cuando se decidió reunificar los dos cuerpos bajo el mando de Aranda. Pero la reunificación fue breve. En 1761 volvían a separarse. Aranda fracasó en su intento, pero en su breve permanencia como director general de los dos cuerpos pudo crear en Madrid la Sociedad Militar de Matemáticas (1756), que sobreviviría a la ruptura. Advirtió Aranda la necesidad de renovar los conocimientos científicos de artilleros e ingenieros, por lo que impulsó la citada Sociedad con el objetivo fundamental de elaborar nuevos tratados para las academias militares.

Estos avatares sucedieron en torno al comienzo del reinado de Carlos III, monarca ilustrado por excelencia y gran impulsor de las instituciones científico-técnicas, tanto militares como civiles. Entre las militares, su principal aportación fue la creación del Real Colegio de Artillería de Segovia. Fundado en 1764 por el Conde de Gazola —italiano y Teniente General de los Reales Ejércitos—, estuvo instalado en el Alcázar de Segovia hasta el 6 de marzo de 1862, día en que un gran incendio lo destruyó casi por completo. El centro se convirtió en la anhelada academia militar del cuerpo de artilleros y alcanzó gran prestigio no sólo en España sino en el extranjero⁶². Los planes de estudios del Real Colegio daban un gran peso a la formación científica y técnica dirigida a la práctica artillera e industrial. El equilibrio entre formación teórica y práctica no sólo era importante para la buena operatividad de la artillería en campaña, sino también para la “dirección de las fábricas de material bélico españolas, dirigidas por artilleros y secularmente vinculadas a este Cuerpo de Artillería”⁶³. El prestigio que alcanzó esta institución se debió a la buena selección del profesorado, la generosa inversión en medios docentes y el alto nivel de sus planes de estudios⁶⁴. Entre sus profesores cabe destacar al científico francés Louis Proust, director del Laboratorio de Química inaugurado en el Real Colegio en 1792⁶⁵. Aunque la estancia de Proust en Segovia no estuvo exenta de problemas y dificultades⁶⁶, también supuso aportaciones reseñables para la historia de la ciencia española, como la publicación de los

San Fernando, Cátedra de Matemáticas de la Sociedad Económica de Amigos del País de Zaragoza, Seminario de Nobles), que contaron entre sus profesores a ingenieros como Pedro Padilla, José Hermosilla, Jaime Conde, Luis Rancaño de Cancio o Tadeo Lope y Aguilar” (Capel, 1988, pp. 199-200).

⁶¹ En algunas de las cuales también se enseñaban técnicas de fabricación del hierro, aspecto en el que al parecer destacaban en el siglo XVIII las escuelas de Asturias y Galicia.

⁶² Cfr. Herrero Fernández-Quesada (1995), p. 288.

⁶³ Herrero Fernández-Quesada (1995), p. 288.

⁶⁴ Cfr. Herrero Fernández-Quesada (1995), p. 289.

⁶⁵ “Se trataba del eminente químico francés Joseph Louis Proust, autor de la Ley de las proporciones constantes” (Warleta Carrillo, 1984, p. 107). Anteriormente, Proust estuvo contratado como profesor de Química en el Seminario Patriótico de Vergara, como luego se explicará.

⁶⁶ Cfr. Lafuente, y Peset (1988), pp. 58-9.

famosos *Anales del Real Laboratorio*⁶⁷ o la realización de la primera ascensión de un globo aerostático en España⁶⁸. El Real Colegio también impulsó la introducción de innovaciones en las fundiciones y fábricas de armamento y admitió como alumnos a artesanos de la ciudad de Segovia⁶⁹, contribuyendo así de forma directa a la modernización tecnológica del sector privado. Aunque Proust se fue en 1798⁷⁰, el Real Colegio mantuvo sus actividades hasta el incendio de 1862. A raíz de ello, se creó en Madrid el cuerpo de Ingenieros de Armamento y Construcción, institución que estuvo también muy relacionada con la industria armamentística y preocupada por la innovación tecnológica.

Lo dicho hasta ahora muestra que el papel del estamento militar en el progreso científico-técnico de la España del setecientos fue primordial⁷¹. Pero, además, todavía hay que destacar las contribuciones de la Marina en este sentido. Dentro del plan de reformas de la nueva dinastía, ocupó un lugar importante la renovación de la flota, así como de las técnicas de navegación y cartográficas, aspectos todos ellos fundamentales para el control del vasto imperio colonial y del comercio ultramarino. Esto llevó a la creación de diversos centros que hicieron una contribución destacada al avance científico e industrial. El programa de reconstrucción de la flota —muy mermada tras los desastres militares y crisis económica del siglo XVII— se inició con Felipe V, pero no fue efectivo hasta el reinado de Fernando VI. El gran artífice fue el Marqués de la Ensenada, que inició su plan de reconstrucción de la flota en 1748. Dado el anquilosamiento y atraso tecnológico de la construcción naval nacional, era necesario fijarse en lo que estaban haciendo países más avanzados. Así, Ensenada envió a Jorge Juan a Inglaterra en 1749 para que se pusiera al día de las nuevas técnicas. Tras una estancia de año y medio, el eminente marino y científico volvió a España con nuevos conocimientos y con cincuenta técnicos británicos para implantar en España el sistema observado en los astilleros de Londres. Dejando de lado antiguos centros navales, se pusieron en marcha nuevos arsenales en Cartagena, Cádiz y El Ferrol, al frente de los que estuvo Jorge Juan entre 1750 y 1752, año en que fue nombrado director de la Academia de Guardia Marinas de Cádiz. Aunque los nuevos arsenales empezaron a funcionar enseguida, “las tensiones entre el sector ‘militar’ y el ‘técnico’ retrasaban considerablemente los trabajos”⁷², por lo que Ensenada acudió a Juan Fernández Isla para que impulsara en el astillero de Guarnizo (Cantabria) la construcción de ocho navíos de setenta cañones bajo la dirección del ingeniero inglés D. Howel. En 1763 tomó otra medida similar, de tal forma que se fueron sumando otros astilleros al plan de reconstrucción de la armada⁷³. Aunque la puesta en marcha de

⁶⁷ Cfr. Herrero Fernández-Quesada (1995), p. 289.

⁶⁸ “En noviembre de 1792 se realizaron en Segovia las primeras experiencias de un globo cautivo específicamente destinado a la observación militar. Los constructores y experimentadores de este aerostato fueron los oficiales del Real Colegio de Artillería bajo la dirección del capitán don Luis Proust, profesor de dicho centro” (Warleta Carrillo, 1984, p. 107). La primera ascensión libre de la historia de un globo de aire caliente se había llevado a cabo en Francia el 21 de noviembre de 1783.

⁶⁹ Cfr. Lafuente, y Peset (1988), p. 44.

⁷⁰ Cfr. Lafuente, y Peset (1988), p. 59.

⁷¹ Pero las academias militares también tuvieron sus avatares y sus problemas, y a finales del siglo XVIII mostraban un preocupante atraso científico con respecto a instituciones similares de otros países europeos, según señalaba Floridablanca en una Instrucción reservada a la Junta de Estado en 1787 (cfr. Capel, 1988, p. 203).

⁷² Lafuente, y Peset (1988), p. 55.

⁷³ Cfr. Lafuente, y Peset (1988), p. 55.

los arsenales del Estado no estuvo exenta de dificultades y limitaciones —que persistieron en las décadas siguientes—, no se puede negar que contribuyó al aumento y renovación de la flota⁷⁴, así como a elevar la capacidad técnica en centros fabriles militares y civiles. La transferencia de técnicos extranjeros fue esencial en esta primera etapa, pero los problemas señalados se debían precisamente a la escasa preparación técnica autóctona. Esto llevó a Carlos III a crear en 1770 el Cuerpo de Ingenieros de la Marina con su correspondiente Escuela para la enseñanza de la técnica naval, que fue dirigida inicialmente por el ingeniero francés Francisco Gautier. De ella salieron los llamados ‘hidráulicos’ o ingenieros navales, que a partir de entonces serían los responsables de construir la flota⁷⁵.

Pero disponer de una nueva flota no bastaba. Para que fuera operativa y eficaz, era necesario mejorar los conocimientos astronómicos y cartográficos, aspectos en los que España también estaba atrasada. En otros países fueron instituciones civiles, como las Academias de Ciencias, las que más impulsaron el avance en estos ámbitos, pero en España las principales protagonistas fueron las instituciones militares, ya que no había una Academia de Ciencias⁷⁶. Así, el primer observatorio astronómico español fue creado en 1753 por Jorge Juan en la Escuela de Guardia Marinas de Cádiz. También la Compañía de Jesús planteó por aquel entonces el proyecto de crear un observatorio, “pero, salvo algunas observaciones astronómicas aisladas, poco se conoce de esta institución, que al parecer no tuvo apenas actividad”⁷⁷. El Observatorio de la Marina y la propia Escuela de Guardia Marinas, fueron, pues —dentro de sus limitaciones— las instituciones más dinámicas de la época en astronomía.

Pero en el último cuarto del setecientos, la Corona llevó a cabo un último esfuerzo ilustrado de promoción de la ciencia en el que las instituciones civiles cobraron mayor protagonismo. La reforma universitaria —plasmada en los planes de Olavide para Sevilla y de Blasco para Valencia— se propuso renovar los planes de estudios y crear un observatorio astronómico en la Universidad de Valencia, pero ambas propuestas se quedaron en proyectos. Más éxito tuvo —aunque no todo el pretendido— el intento de establecer en Madrid un núcleo científico compuesto por una escuela de construcción de instrumentos, un laboratorio de química, un observatorio astronómico, un gabinete de máquinas, una escuela de caminos e, incluso, la tan ansiada Academia de Ciencias⁷⁸. El Observatorio Astronómico de Madrid se creó en 1790. Aparte de la docencia en astronomía, se le encargaron funciones cartográficas, así como “la completa indagación de los fenómenos celestes, de cuyo programa debía surgir una *Historia Celeste Carolina*”⁷⁹. Estrechamente vinculado al Observatorio y dotado de organización militar, se creó en 1796 el Cuerpo de Ingenieros

⁷⁴ “Quedando muy lejano el recuerdo penoso de aquellos tiempos de Carlos II, en que para realizar el comercio con Ultramar sólo se disponía del irrisorio número de diez barcos, en tal estado que sólo podían hacerse a la mar con bonanza” (Alonso Viguera, 1944, p. 21).

⁷⁵ Cfr. Lafuente, y Valverde (2003), p. 13.

⁷⁶ Esto se debió en gran parte a que la monarquía —por razones prácticas, más que de otro tipo— apostó por impulsar las academias militares, lo cual fue en detrimento de la creación de una Academia de Ciencias, al ser sus funciones asumidas por los centros educativos y científicos de la milicia. Para una buena explicación del problema de la ciencia astronómica y náutica española y su proceso de militarización, véase Sellés (1988).

⁷⁷ Sellés (1988), p. 85.

⁷⁸ Cfr. Sellés (1988), p. 87.

⁷⁹ Sellés (1988), p. 88.

Cosmógrafos del Estado con la misión de “llevar finalmente a cabo la confección de un mapa general de España”⁸⁰. Pero, de nuevo, este ambicioso programa no pudo llevarse a cabo por dificultades económicas y por la invasión napoleónica: el Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos se extinguió en 1804 y el telescopio del Observatorio fue quemado por los franceses, que usaron el edificio como polvorín⁸¹. El taller de instrumentos científicos corrió una suerte parecida, aunque en 1788 sí se llegó a crear un laboratorio de Química dependiente del Jardín Botánico, así como la Escuela de Mineralogía de Madrid (1789). Además, en 1787 el Ministerio de Hacienda había creado, también en Madrid, la Cátedra de Química Aplicada a las Artes con la finalidad de facilitar el desarrollo tecnológico de la industria⁸². Con un objetivo similar, también se llegó a crear un Gabinete de Máquinas (1788), del que luego se hablará.

Instituciones civiles

El peso de las instituciones científicas y técnicas militares no impidió que la monarquía apoyara o impulsara a la vez otras de carácter civil⁸³. Aparte de las que se acaba de señalar, desde principios de siglo fueron naciendo otras como la Real Sociedad de Medicina y otras Ciencias de Sevilla (1700), la Academia Médica Matritense (1734), la Real Academia de la Historia (1735), la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (1752), el Real Jardín Botánico (1755), la Real Academia de San Carlos de Valencia (1768) o el Real Gabinete de Historia Natural (1776). A medida que avanzaba el siglo, las instituciones civiles fueron ganando fuerza en la promoción del desarrollo científico-técnico, y la monarquía se fue apoyando cada vez más en ellas⁸⁴. Así, por ejemplo, la Academia de Bellas Artes empezó a recibir muchos alumnos y a formar prestigiosos arquitectos, lo que le permitió disputar el monopolio que hasta entonces habían tenido los ingenieros militares en el diseño y construcción de edificios públicos. Pero las instituciones que más se ocuparon de promover la innovación de carácter aplicado fueron las llamadas Sociedades Económicas de Amigos del País, la Junta de Comercio y las incipientes escuelas de ingeniería surgidas a finales de siglo. Veamos a grandes rasgos cual fue el papel y las aportaciones fundamentales de cada una.

Como ha señalado Sánchez Ron, “muchas de las mejoras materiales que se produjeron [durante el siglo XVIII] tuvieron que ver más, naturalmente, con la técnica que con la ciencia”⁸⁵, alcanzando su momento culminante con Carlos III (1759-1788) y comenzando a decrecer con Carlos IV (1788-1808)⁸⁶. Según el mismo autor, “la experiencia institucional más original y emblemática de estos años fue la generalización a todo el territorio español de las Sociedades Patrióticas o de Amigos del

⁸⁰ Sellés (1988), p. 88.

⁸¹ Cfr. Sellés (1988), p. 88.

⁸² Cfr. Lafuente, y Peset (1988), p. 38.

⁸³ Si bien es cierto que muchas de ellas contaron en sus inicios con ingenieros militares, por lo que es claro que hubo una transferencia de conocimientos de las instituciones castrenses hacia las civiles (cfr. Lafuente, y Peset, 1988, p. 40).

⁸⁴ A partir de los años setenta y ochenta del siglo XVIII la monarquía fue creando organismos técnicos consultivos de carácter civil, como la Comisión de Arquitectura de la Academia de Bellas Artes o los cuerpos de ingenieros de minas, de caminos o navales, “cuyo asesoramiento se situaba en el vértice de la pirámide administrativa en la toma de decisiones en materia científico-técnica” (Lafuente, y Peset, 1988, p. 53).

⁸⁵ Sánchez Ron (1999), p. 37.

⁸⁶ Cfr. Sánchez Ron (1999), p. 36.

País, cuyo primer ejemplo fue la Vascongada, fundada en 1765, durante algunos años uno de los centros científicos más brillantes de la nación”⁸⁷. Los fines principales de estas Sociedades eran “proteger y avivar la industria en general, educar las clases humildes y difundir la afición a las ciencias y artes en su aplicación a la industria y a la agricultura”⁸⁸, ya que sus impulsores eran plenamente conscientes del atraso de España en estos aspectos tan fundamentales para el desarrollo del país.

Se puede decir que las Sociedades Patrióticas fueron las primeras en plantear claramente la necesidad de una promoción e institucionalización generalizada de la investigación científica y técnica en España. Aunque las primeras instituciones de investigación propiamente dichas no llegaron hasta el siglo XX, es indudable que las Sociedades Económicas impulsaron con sus ideas e iniciativas el progreso científico y tecnológico. Así, por ejemplo, puede decirse que la Sociedad Vascongada —modelo de las demás— fue la que estableció en España los estudios sobre laboreo de minas y metalurgia, “dando premios a los que introdujeran reformas en las ferrerías, publicando en los Extractos de sus Juntas generales muchas noticias y memorias sobre minas, minerales y oficinas metalúrgicas, así de España como del extranjero, pensionando alumnos que fuesen a estudiar la minería en los países más adelantados en esta industria, trayendo de Francia distinguidos profesores de física y química”⁸⁹, entre los que estuvieron Francisco Chaveneau y Luis Proust, del que ya se ha hablado. Muchas otras aportaciones hicieron las Sociedades Patrióticas⁹⁰, cuya importancia ha sido ampliamente reconocida⁹¹. Sin embargo, también es innegable que sus logros fueron limitados y que a finales del XVIII entraron en franca decadencia por diversas causas:

Engrosadas mayoritariamente por la nobleza y el clero, poco proclives a comprometer sus recursos personales en inversiones productivas, ayudaron a promover la circulación de ideas y libros, sin lograr crear mecanismos institucionales estables, tales como jardines botánicos o gabinetes de máquinas. A mediados de los ochenta su declive aparece claro, así como la orientación de beneficencia que paulatinamente van asumiendo sus iniciativas docentes⁹².

Las Sociedades Patrióticas —extinguidas en 1808⁹³— fueron, pues, un paso significativo en el incipiente proceso de formación de un sistema de innovación en España, pero no consiguieron vertebrarlo y plasmarlo estable y sólidamente. Quizá su mayor importancia radique en el hecho de haber sido las primeras instituciones “científicas” no promovidas directamente por el Estado sino por otras fuerzas sociales —nobleza, clero, burguesía local,...— unidas en el objetivo común de combatir el atraso económico y cultural del país. Así, aunque sus logros fueron limitados, contribuyeron a crear una conciencia social de atraso y a difundir la idea de la necesidad de invertir en educación, ciencia y tecnología.

⁸⁷ Sánchez Ron (1999), p. 42.

⁸⁸ Alonso Viguera (1944), p. 22.

⁸⁹ Maffei (1877), p. 2.

⁹⁰ Incluso llegaron a crear industrias privilegiadas, como hizo la Sociedad Económica Numantina de Amigos del País, promotora de la fábrica de medias al telar de Soria (cfr. González Enciso, 2004, p. 23).

⁹¹ El trabajo de Fernández Pérez (1988) resume bien las aportaciones historiográficas sobre las Sociedades Económicas.

⁹² Lafuente, y Peset (1988), pp. 45-6.

⁹³ Cfr. Fernández Pérez (1988), p. 218.

Entre los organismos estatales, quizá el que más directamente se implicó en el fomento de la innovación tecnológica durante el siglo XVIII fue la Junta de Comercio. Es cierto que los grandes ministerios o secretarías —Guerra, Marina, Hacienda— también promovieron el desarrollo tecnológico-industrial, pero más como efecto derivado de otros objetivos⁹⁴. La Junta de Comercio, en cambio, surgió con la finalidad expresa de estudiar el problema del atraso comercial e industrial del país y promover soluciones. Aunque, como se ha dicho, fue creada en el siglo XVII (1679), sería en el setecientos cuando estuvo más activa, especialmente durante la segunda mitad. “Tras unos altibajos institucionales que fueron comunes a organismos similares de otros estados europeos, la institución quedó consolidada y ampliada en sus funciones con el nombre de Junta de Comercio y Moneda en 1730”⁹⁵. Aunque sus actividades fueron bastante variadas, se centró especialmente en promover la mejora de la producción industrial a través de medidas como la modernización de las ordenanzas gremiales, la concesión de privilegios industriales y de invención y premios a la innovación⁹⁶, la financiación de viajes al extranjero por motivos de estudios o aprendizaje industrial⁹⁷, etcétera. Aunque la Junta no promovió directamente la investigación científica, mostró gran interés en que “los artesanos dispusieran de una cierta base teórica que hiciera más firme su dominio de la técnica”⁹⁸. Para ello, se preocupó de promover y financiar la publicación de estudios sobre técnicas industriales innovadoras⁹⁹.

Además, la Junta de Comercio tuvo un papel primordial en la promoción, gestión o control de muchas de las llamadas reales fábricas, quizá la iniciativa industrial y tecnológica más espectacular y visible del siglo XVIII. Aunque su tipología fue muy variada¹⁰⁰, estas fábricas compartieron en general el objetivo de implantar en España técnicas industriales novedosas, normalmente importadas del extranjero. Las manufacturas reales fueron en conjunto un fracaso desde el punto de vista económico, pero es innegable que supusieron una aportación importante para el desarrollo industrial y tecnológico de España. A partir de los muchos estudios que se han hecho sobre ellas¹⁰¹, se puede advertir tanto sus problemas como su importante papel como instituciones promotoras de la innovación¹⁰². A pesar de las limitaciones que tuvieron también en este sentido, es indudable que

⁹⁴ Piénsese en los arsenales y fábricas de armamento: su objetivo era militar, pero ello requirió la importación de tecnología que contribuyó a la modernización industrial del país.

⁹⁵ Molas (1988), p. 205. En 1747 cambiaría de nuevo de nombre y asumiría atribuciones sobre minas.

⁹⁶ La Junta “manifestó un deseo casi obsesivo de favorecer y estimular con recompensas materiales u honoríficas, a los técnicos especializados, a los artesanos progresivos que propusieran innovaciones en el proceso productivo” (Molas, 1988, p. 205). Desde el siglo XVIII, los sistemas de protección de la propiedad industrial fueron adquiriendo cada vez más importancia como instrumento de promoción de la innovación tecnológica en Occidente. Según Khan (2005), la diferente configuración de estos sistemas en países como Gran Bretaña, Francia y Estados Unidos, influyó de forma significativa en sus distintos ritmos de innovación. Para conocer las características de este sistema en la España del siglo XVIII y su situación con respecto a otros países, véase Sáiz (1999).

⁹⁷ Un ejemplo significativo en este sentido es el de Antonio Martínez (1750-1798), artesano formado en la Real Academia de San Fernando, que con el apoyo de la Junta de Comercio viajó a Francia e Inglaterra y fundó en Madrid la Real Escuela y Fábrica de Platería (cfr. Ortiz-Villajos, 2017).

⁹⁸ Molas (1988), p. 206.

⁹⁹ Cfr. Molas (1988), pp. 210-13.

¹⁰⁰ Cfr. González Enciso (2004), pp. 20-22.

¹⁰¹ Muy buenas visiones de conjunto son las de Helguera Quijada (1996) y González Enciso (2004).

¹⁰² “Es evidente que la renovación de la tecnología en la España del siglo XVIII está ligada en una gran medida a los técnicos extranjeros que trabajaron directamente al servicio del Estado en empresas estatales,

ocupan —también, por tanto, las instituciones que las promovieron, como la Junta de Comercio— un lugar destacado en el proceso histórico de formación del sistema español de innovación.

Además de la Junta “General” de Comercio, durante el siglo XVIII se crearon en diversas provincias Juntas “Particulares”, dependientes de la general y relacionadas normalmente con los consulados de comercio. Estas también desarrollaron una notable actividad de fomento de la innovación tecnológica e industrial en sus respectivas demarcaciones. La primera y más dinámica de todas fue la Junta de Comercio de Barcelona, creada en 1758. Aparte de conceder numerosas ayudas y privilegios industriales a artesanos innovadores con la condición de que difundieran sus nuevos métodos, “destacó por la fundación de escuelas especializadas de formación técnica”¹⁰³, como las de Náutica (1769), Dibujo (1774), Química (1804), Maquinaria (1808) y Física (1815)¹⁰⁴. Aunque no fue la institución civil pionera en la creación de centros de investigación y enseñanza técnica —le precedió el Seminario Patriótico de Vergara—, la Junta de Barcelona tuvo más continuidad e importancia. Sus escuelas se mantuvieron en actividad hasta que la Escuela Industrial de Barcelona tomó el relevo en 1850. A partir de sus diversas iniciativas, la Junta de Comercio de Barcelona desempeñó un papel de indudable importancia en la “revolución industrial” acaecida en Cataluña entre las décadas finales del XVIII y las primeras del XIX, especialmente en el sector textil.

El Seminario Patriótico de Vergara fue establecido en 1774 con el impulso de la Sociedad Vascongada de Amigos del País. Dicho Seminario se instaló en el antiguo Colegio de los Jesuitas —cuya expulsión dejó un vacío en el ámbito educativo de aquella localidad— con la finalidad de enseñar primeras letras, música, humanidades y otras materias, aunque no inicialmente asignaturas técnicas. Pero la mala calidad de los cañones fabricados entonces en las otrora pujantes Reales Fábricas de Artillería de Liérganes y La Cavada¹⁰⁵, llevó al Estado a firmar un contrato con la fábrica escocesa de Carron, que estuvo suministrándolos desde 1775 hasta el inicio de la guerra con Gran Bretaña en 1778. Para intentar solucionar este grave problema, el ministro de Marina acordó con Peñaflorida, fundador de la Sociedad Vascongada, “el establecimiento en Vergara de dos cátedras, una de Mineralogía y Ciencias Subterráneas y la otra de Química y Metalurgia”¹⁰⁶, conocimientos imprescindibles para implantar una industria metalúrgica moderna. Así fue como el Seminario

lo cual no puede reputarse como fracaso en modo alguno. La mayor parte de los avances tecnológicos significativos que se hicieron en la España de la época ocurrieron en manufacturas estatales. [...] Desde muchas empresas estatales se prestó ayuda técnica a empresas particulares y gremiales [...]. También aquí lo que se hizo está en el haber de las manufacturas estatales, aunque es evidente que podría haberse hecho más” (González Enciso, 2004, p. 29).

¹⁰³ Molas (1988), p. 214.

¹⁰⁴ “Ya en 1803 dicha Junta de Comercio procuró desarrollar las enseñanzas químicas, cabiéndole el honor de que en sus clases se verificaran los primeros ensayos de luz de gas, que tuvieron lugar en la cátedra que regentaba el distinguido químico D. José Roura, más tarde Director de la Escuela Industrial Barcelonesa; y en 1808 y 1815, respectivamente, las enseñanzas de Maquinaria práctica y Física experimental” (Alonso Viguera, 1944, p. 24).

¹⁰⁵ Fue a raíz de la estatalización de estas fábricas en 1759 cuando comenzaron los problemas de gestión, producción y tecnológicos que las llevaron a un deterioro progresivo. No obstante, en la década de 1780 el Estado tomó medidas importantes que condujeron a su renovación y recuperación. Aun así, tras la derrota de Trafalgar, la falta de demanda de la Marina y los problemas económicos generales llevaron a su cierre definitivo en 1835 (cfr. Alcalá-Zamora, 1974).

¹⁰⁶ Lafuente, y Peset (1988), p. 58.

Patriótico se convirtió desde 1778 en el primer centro español en impartir estos estudios, por lo que algunos lo consideran el antecedente de la ingeniería industrial y de minas en España¹⁰⁷, aunque esto es discutible como ahora se verá. Como profesor de la cátedra de química se contrató al francés Louis Proust y para la de mineralogía a Fausto Elhuyar. A pesar de la ilusión con que se crearon, la realidad es que las cátedras entraron pronto en decadencia y desaparecieron debido, entre otras cosas, a la falta de alumnado y al declive general de las sociedades patrióticas¹⁰⁸.

Las escuelas de ingeniería civil no fueron, pues, una continuación de los centros docentes instituidos por las Sociedades Económicas, sino que surgieron realmente tras el fracaso de estos. Se puede decir que la primera escuela civil de ingeniería surgida en España fue la Escuela de Minas de Almadén, establecida en 1777. En aquel año, tras muchos “desaciertos y falta de recursos del Estado”¹⁰⁹, fue nombrado director de las famosas minas de azogue —gestionadas directamente por la Corona desde 1645— el ingeniero alemán Enrique Cristóbal Storr, a quien se encomendó la tarea “de enseñar a los jóvenes matemáticos que se le remitieran de estos reinos y de los de América, la geometría subterránea y la mineralogía”¹¹⁰. Pero, a pesar de la importancia económica de estas y otras minas españolas, la inversión estatal y el impulso de la enseñanza en este campo fueron muy tímidos. La Escuela arrancó con un solo profesor y una sola cátedra. Su verdadero desarrollo no llegaría hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando comenzó la explotación a gran escala de la riqueza minera peninsular. La tardía atención a la formación de ingenieros de minas estuvo entre las causas de la incapacidad nacional para explotar dicha riqueza, que en gran parte hubo de ser explotada por compañías extranjeras¹¹¹.

La siguiente escuela en crearse también estuvo dedicada a la minería, pero muy lejos de la Península Ibérica: el Colegio de Minería (o Seminario Metálico) de México, establecido en 1792. Este centro —ideado por Fausto de Elhuyar, presidente del Tribunal de Minería de Nueva España desde 1788— fue “la institución científica de mayor importancia que la Corona española fue capaz de crear en su territorio colonial”¹¹². Las siguientes escuelas de ingeniería se crearían ya en el siglo XIX bajo el impulso de la moderna industrialización y de las reformas liberales, por lo que se puede decir que el verdadero despegue de la ingeniería civil es posterior a la Ilustración. No obstante, la emblemática escuela de Caminos, aunque surgida en el siglo XIX (1802), todavía procedió del esfuerzo ilustrado. Es necesario, pues, añadir un comentario sobre el surgimiento de esta escuela, con el que ponemos fin a estos apuntes sobre lo que podríamos llamar la etapa preindustrial del sistema español de innovación.

¹⁰⁷ Cfr. Ramón Teijelo (2002-2003), pp. 64-65 y Herrero López (2005), p. 32.

¹⁰⁸ Para más detalles sobre la fundación y problemas de estas cátedras, cfr. Fernández Pérez (1988), p. 226-7.

¹⁰⁹ Maffei (1877), p. 8.

¹¹⁰ Maffei (1877). p. 9.

¹¹¹ “Los extranjeros —especialmente franceses y británicos, pero también belgas y alemanes— han sido los grandes protagonistas del desarrollo minero español del último tercio del siglo XIX. Por una parte han aportado los recursos financieros que los autóctonos no se hallaban en condiciones de reunir. De otra, han introducido las técnicas y la organización del trabajo propias del medio industrial que era el suyo” (Nadal, 1988b, p. 59).

¹¹² Peset (1988), p. 233.

Como se ha señalado, durante el siglo XVIII no hubo ningún cuerpo civil encargado de la planificación y construcción de las infraestructuras de comunicación y transporte del Estado, sino que fue esta una tarea llevada a cabo principalmente por los ingenieros militares. Pero en 1799, imitando el sistema francés de obras públicas —“que, a lo largo de la centuria, dieron pasos de gigante bajo una administración centralizada, servida por un cuerpo técnico especialmente dedicado a dirigirlos”¹¹³—, se creó en España el Cuerpo de Ingenieros de Caminos como órgano técnico de la Inspección General de Caminos y Canales. Pero, para que la Inspección y el Cuerpo recién creados pudieran llevar a cabo sus funciones, era necesario que sus integrantes tuvieran una adecuada formación técnica. Para ello se abrió en noviembre de 1802 una escuela para la formación de ingenieros de caminos, y en julio de 1803 se promulgaron las ordenanzas por las que debía regirse. El impulsor de la escuela fue Agustín de Betancourt¹¹⁴, Inspector general de Caminos desde 1801, que en 1788 ya había instalado en el Palacio del Buen Retiro el Gabinete de Máquinas: “una maravillosa colección de maquetas y planos de las más variadas máquinas hidráulicas e industriales, concebida como laboratorio y centro de experimentación de la futura Escuela de Caminos y Canales”¹¹⁵. Pero, como sucedió con tantas otras instituciones ilustradas, la Escuela de Caminos se cerró en 1808 y —con la excepción de una breve puesta en marcha entre 1820 y 1823— no se reabría definitivamente hasta 1834, un año después del restablecimiento de la Dirección General de Caminos. El Gabinete de Máquinas quedó igualmente paralizado y su patrimonio fue finalmente absorbido por el Real Conservatorio de Artes, establecido en 1824¹¹⁶. Los cambios legislativos y las instituciones científico-técnicas que comenzaron a crearse a partir de entonces marcan el inicio de una nueva etapa en el proceso histórico de formación del sistema español de innovación.

Conclusión

El gasto de España en I+D en la actualidad es sólo ligeramente superior al 1% del PIB, lo que la sitúa a la cola de Europa en esfuerzo innovador. Aunque en la segunda mitad del siglo XX el país dio pasos muy importantes hacia la configuración de un sistema moderno de innovación, el dato señalado indica que todavía no está suficientemente desarrollado. Quizá las mayores debilidades de este sistema sean la todavía escasa inversión en I+D por parte del sector privado y la débil transferencia de los resultados de los centros públicos de investigación hacia las empresas¹¹⁷. Son muchas las voces que se alzan advirtiendo que esta debilidad innovadora puede generar crecientes problemas económicos en el país por su dificultad para competir en una economía cada vez más global. Aunque el problema es acuciante, la falta de competitividad no se soluciona de la noche a la mañana, pues requiere invertir más y mejor en I+D; y los resultados de estas inversiones sólo se

¹¹³ Sáenz Ridruejo (1990), p. 2.

¹¹⁴ Mecánico formado en el extranjero que se hizo “famoso por haber revelado a la Academia de Ciencias de París, y por tanto al mundo entero, el secreto de la máquina de vapor de doble efecto, celosísimamente guardado por Watt y Boulton [sic]” (Nadal, 1988a, p. 19).

¹¹⁵ Nadal (1988a), p. 19. Según este autor, el Gabinete de Máquinas fue “el núcleo científico más interesante del país” en aquellos años.

¹¹⁶ Cfr. Ramón Teijelo (2002-2003) para un análisis del significado histórico del Conservatorio de Artes.

¹¹⁷ Cfr. Ortiz-Villajos (2004) para un análisis de este problema, así como de sus orígenes históricos.

verán a medio y largo plazo, como ha demostrado la historia. De hecho, un mejor conocimiento de la historia por parte de políticos y empresarios, quizá ayudaría a acertar más fácilmente con la solución de estos problemas.

Gabriel Tortella ha sido uno de los pioneros en señalar y estudiar la relación entre la escasa inversión en capital humano y el atraso económico de España en el largo plazo. Aunque él se ha centrado más en el aspecto educativo¹¹⁸, no cabe duda de que la ciencia y la tecnología son también componentes fundamentales del capital humano de un país, además de estar estrechamente relacionados con la educación. La finalidad de este trabajo ha sido precisamente echar una mirada al pasado para intentar explicar el proceso histórico de formación del sistema español de innovación, con el deseo de ayudar a una mejor comprensión de la situación actual. Pero, como se habrá podido comprobar, las páginas previas no pasan de ser unos meros apuntes que, además, están inacabados, pues sólo abordan el periodo que va del siglo XVI al XVIII. Dejan fuera, por tanto, lo acaecido durante los dos últimos siglos, o sea, la época en que la ciencia y la tecnología han cobrado un mayor protagonismo en la vida social y económica. Aun así, el recorrido por esos tres “remotos” siglos permite advertir que las raíces históricas de los problemas actuales son mucho más antiguas de lo que a veces se piensa, y que nuestros antepasados aportaron muchas más cosas —también en el ámbito científico y técnico— de lo que sospechamos. Mucho se puede aprender de lo que hicieron: de sus aciertos y de sus errores.

Aunque durante la Edad Media e incluso antes ya hubo en lo que hoy es España aportaciones importantes desde el punto de vista científico y técnico, nuestro recorrido se ha iniciado en el siglo XVI: la época del nacimiento de las grandes monarquías europeas, una de cuyas preocupaciones fue mejorar el dominio de la técnica para poder defender y engrandecer sus posesiones. La monarquía hispánica del quinientos no escapó a esta tendencia e impulsó la creación de instituciones —universidades, academias militares, Casa de Contratación, etcétera— que le ayudaran en ese fin. Además, implantó sistemas —privilegios industriales y de invención— para fomentar el desarrollo de la industria y los avances tecnológicos entre sus súbditos. No faltaron otras instituciones, como los gremios de artesanos, que también fueron importantes en la tarea de fomentar y conservar las técnicas de sus respectivos oficios, aunque su excesivo afán conservador pudo limitar también el progreso técnico. En todo caso, las instituciones culturales más florecientes del quinientos fueron las universidades, pero estas estuvieron más volcadas en los estudios teóricos y humanísticos que en la ciencia aplicada. El siglo XVI fue, por tanto, un siglo escaso —más bien incipiente— en la creación de instituciones promotoras de la innovación.

En el siglo XVII, los centros educativos y científicos militares tuvieron un papel central en la configuración del “sistema” nacional de innovación. La monarquía se apoyó en ellos para el desarrollo de proyectos técnicos y científicos, tanto de tipo militar como civil. A la vez, irrumpió con fuerza la Compañía de Jesús, que se embarcó también en el empeño por mejorar la educación y promover el conocimiento científico. De hecho, el Colegio Imperial de Madrid se convirtió en uno de los centros más dinámicos de la época desde el punto de vista científico-técnico. En ciertos aspectos, tomó el relevo de las universidades, que entraron en declive en el seiscientos. Como parte del amplio proyecto renovador iniciado por la monarquía en las últimas décadas del siglo XVII, en

¹¹⁸ Véase, por ejemplo, Tortella (ed.) (1990).

1679 creó la Junta de Comercio, que supuso una mayor implicación del Estado en la promoción y coordinación del progreso tecnológico. Además, no faltó durante todo el siglo la concesión de privilegios industriales y de invención que permitieron la puesta en marcha de diversas iniciativas empresariales innovadoras.

Las reformas de finales del XVII fueron el prelude de las del siglo siguiente, en el que la nueva dinastía borbónica impulsó un amplio programa de reformas políticas, administrativas, militares, económicas y científicas. Así, el siglo XVIII fue particularmente prolífico en la promoción de iniciativas e instituciones dirigidas a promover la innovación. Las academias militares fueron potenciadas por la monarquía, necesitada de ingenieros y científicos para el logro de muchos de sus fines. Así, los centros castrenses fueron los más dinámicos desde el punto de vista científico y técnico, lo que llevó a posponer el proyecto de crear una Academia de Ciencias. El Colegio Imperial de los jesuitas siguió siendo un centro muy activo hasta que la Compañía perdió el favor de la monarquía, que decretó su expulsión en 1767. A pesar del peso de las instituciones militares, su actividad científico-técnica era insuficiente para las necesidades del país, muy atrasado en este aspecto con respecto a Inglaterra y Francia. Así, los reyes apoyaron también de forma creciente la creación de instituciones civiles, entre las que cabe destacar las Sociedades Económicas de Amigos del País. Aunque a finales de siglo entraron en declive, estas Sociedades tuvieron la virtud de difundir la educación científica y técnica así como una mayor sensibilidad por estos temas entre las clases populares. Por otro lado, la Junta de Comercio incrementó su importancia durante el setecientos, contribuyendo a través de diversas medidas —privilegios industriales, pensiones para viajes al extranjero, etcétera— al desarrollo tecnológico y empresarial. Además, surgieron Juntas particulares de Comercio en diversas provincias, entre las que destacó la Junta de Comercio de Barcelona, pionera, junto con el Seminario Patriótico de Vergara, en la enseñanza técnica civil. La Junta de Comercio también apoyó la creación de fábricas reales que, a pesar de sus problemas, ayudaron en la implantación de tecnologías foráneas en España. Por último, a finales de siglo se crearon las primeras escuelas de ingeniería civil. Todo este esfuerzo ilustrado perdió mucha fuerza como consecuencia de las guerras y avatares políticos en que se vio envuelto el país entre finales del XVIII y principios del XIX. Aunque muchas de las instituciones señaladas desaparecieron, es indudable que en conjunto contribuyeron a aumentar significativamente el nivel científico-técnico del país y prepararon los avances del siglo siguiente.

Esta breve panorámica muestra que en España no faltaron iniciativas e instituciones promotoras de la ciencia y la técnica a lo largo de los tres siglos analizados. Además, es claro que el sistema de innovación fue progresando con el tiempo, como indica el aumento del número y variedad de las instituciones implicadas. Esto no quiere decir, como es evidente, que el sistema fuese perfecto. Tuvo limitaciones y problemas, que en ocasiones pudieron ir en detrimento del avance científico-técnico del país. Además, a tenor de los resultados, es claro que el sistema se desarrolló más lentamente que en otros países europeos, cuyo progreso en ciencia y tecnología fue superior al español. La falta de una Academia de Ciencias hasta el siglo XIX, cuando en Inglaterra se había creado en 1660 y en Francia en 1699, es un significativo indicador de este hecho. Por último, cabe advertir que el principal promotor de la innovación tecnológica fue el Estado, mientras que la iniciativa privada

autóctona se implicó poco en este empeño¹¹⁹. Esto supuso que los esfuerzos estatales —que seguramente podrían haber sido mayores y mejores— tuvieron menos repercusión de la esperada, ya que el tejido social tenía poca capacidad para absorber los avances impulsados desde arriba¹²⁰. Aunque el sistema español de innovación ha progresado mucho desde el siglo XVIII, no lo ha hecho tanto en relación con otros países. Quizá la explicación esté en que sigue teniendo debilidades análogas a las de entonces, como la poca inversión privada en I+D o la débil vinculación entre los centros públicos de investigación y las empresas. La situación puede cambiar, pero sólo si se hace algo distinto de lo que se ha venido haciendo durante los últimos siglos.

Bibliografía

Ajo González y Sáinz de Zúñiga, C.M. (1957-1979), *Historia de las universidades hispánicas. Origen y desarrollo desde su aparición hasta nuestros días*, 11 vols., Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Alcalá-Zamora, J.N. (1974), *Historia de una empresa siderúrgica española: los altos hornos de Liérganes y La Cavada, 1622-1834*, Santander, Diputación Provincial de Santander.

Alonso Viguera, J.M. (1944): *La Ingeniería Industrial Española en el Siglo XIX*, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Álvarez de Morales, A. (1972), *Génesis de la Universidad española Contemporánea*, Madrid, Instituto de Estudios Administrativos.

Álvarez de Morales, A. (1993), *Estudios de historia de la Universidad española*, Madrid, Ediciones Pegaso.

Andújar Castillo, F. (2004), “El Seminario de Nobles de Madrid en el siglo XVIII. Un estudio social”, *Cuadernos de Historia Moderna. Anejos*, III, pp. 201-225.

Aquerreta, S. (2001), *Negocios y finanzas en el siglo XVIII: la familia Goyeneche*, Pamplona, Eunsa.

Cano Pavón, J.M. (2001), *Estado, enseñanza industrial y capital humano en la España Isabelina (1833-1868). Esfuerzos y fracasos*, Málaga.

¹¹⁹ Pero no faltaron iniciativas privadas innovadoras realizadas al margen del entramado institucional, por lo que es importante decir que estas páginas no contienen toda la historia, que habrá de ser completada con un estudio y valoración de las diversas empresas privadas que contribuyeron al avance tecnológico de la época. Como botón de muestra cabe señalar la iniciativa empresarial de Juan de Goyeneche, creador a principios del siglo XVIII del complejo industrial de Nuevo Baztán (Madrid), que se adelantó a innovaciones que luego se llevaron a cabo en fábricas reales (cfr. Aquerreta, 2001). Otro ejemplo es el de la compañía de los Cinco Gremios Mayores de Madrid. Establecida en 1763, fue una empresa de origen gremial y privilegiada, pero polifacética y de funcionamiento capitalista. Entre otros muchos, participó también en proyectos innovadores como el de la construcción del Canal Imperial de Aragón (cfr. Capella, y Matilla Tascón, 1957).

¹²⁰ La constante necesidad de importar técnicas y técnicos del extranjero durante aquellos siglos (y los siguientes), así como el fracaso en la implantación de la máquina de vapor en el XVIII, a pesar de la ayuda concedida por el Estado (cfr. Helguera, y Torrejón, 2001), son ejemplos paradigmáticos de la falta de capacidad técnica de la sociedad española.

- Capel, H. (1988), “Las Academias de Ingenieros”, en Sellés, Peset y Lafuente (comps.), pp. 187-204.
- Capel, H., J.E. Sánchez y O. Moncada (1988), *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Barcelona-Madrid, Serbal-CSIC.
- Capella, M. y A. Matilla Tascón (1957), *Los Cinco Gremios Mayores de Madrid. Estudio crítico-histórico*, Madrid, Cámara de Comercio e Industria de Madrid.
- Cotec, Fundación (1998), *El sistema español de innovación. Diagnósticos y recomendaciones (Libro Blanco)*, Madrid, Cotec.
- Fernández Pérez, J. (1988), “La ciencia ilustrada y las Sociedades Económicas de Amigos del País”, en Sellés, Peset y Lafuente (comps.), pp. 217-232.
- García Tapia, N. (1990), *Patentes de invención españolas en el Siglo de oro*, Madrid, Registro de la Propiedad Industrial, Ministerio de Industria y Energía.
- González Enciso, A. (2004), “Las Fábricas del Estado en la economía ilustrada”, en *Jornadas sobre las Reales Fábricas*, La Granja (Segovia), Fundación Centro Nacional del Vidrio, pp. 15-33.
- González Enciso, A. (2006), “La crisis del siglo XVII”, en González Enciso y Matés Barco (coords.), pp. 103-128.
- González Enciso, A. y J.M. Matés Barco (coords.) (2006), *Historia económica de España*, Barcelona, Ariel.
- Helguera Quijada, J. (1996), “Empresas y manufactureros en la España del siglo XVIII”, en F. Comín y P. Martín Aceña (eds.), *La empresa en la historia de España*, Madrid, Cívitas, pp. 115-40.
- Helguera Quijada, J. y J. Torrejón Chaves (2001), “La introducción de la máquina de vapor”, en F.J. Ayala-Carcedo (ed.), *Historia de la tecnología en España*, 2 tomos, Valencia, Valatenea, Tomo I, pp. 241-252.
- Hernández Sandoica, E. y J.L. Peset (1990), *Universidad, poder académico y cambio social (Alcalá de Henares 1508-Madrid 1874)*, Madrid, Consejo de Universidades.
- Herrero Fernández-Quesada, M.D. (1995), “El Real Colegio de Artillería de Segovia en la Guerra de la Independencia”, *Militaria. Revista de Cultura Militar*, nº 7, pp. 287-296.
- Herrero López, P.J. (2005), “Historia de la ingeniería”, *DYNA*, Mayo, pp. 32-34.
- Kagan, R.L. (1981), *Universidad y sociedad en la España moderna*, Madrid, Tecnos.
- Khan, B.Z. (2005), *The Democratization of Invention: Patents and Copyrights in American Economic Development, 1790-1920*, New York, Cambridge University Press.
- Lafuente, A. y J.L. Peset (1988), “Las actividades e instituciones científicas en la España ilustrada”, en Sellés, Peset, y Lafuente (comps.), pp. 29-79.
- Lafuente, A. y N. Valverde (2003), *Los nuevos mundos de la ciencia en la Ilustración española*, Madrid, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

- López, S. y M.J. Santesmases (2006), “La ciencia en España”, en González Enciso y Matés Barco (coord.), pp. 891-918.
- López Piñero, J.M. (1979), *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, Labor.
- Maffei, E. (1877), *Centenario de la Escuela de Minas de España. 1777-1877*, Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Molas, P. (1988), “La Junta de Comercio”, en Sellés *et al.* (comps.), pp. 205-16.
- Mulet, J. (1998), “El Sistema Español de Innovación”, en A. Ollero, A. Luque y G. Millán (coords.), *Ciencia y tecnología en España: bases para una política*, Madrid, Fundación para el Análisis y los Estudios Sociales.
- Nadal, J. (1988a), “Carlos III, un cambio de mentalidad”, en Nadal, Jordi, A. Carreras y P. Martín Aceña (1988), *España, 200 años de tecnología*, Madrid, Ministerio de Industria y Energía, pp. 14-28.
- Nadal, J. (1988b), “España durante la 1ª revolución tecnológica”, en Nadal, J., A. Carreras y P. Martín Aceña (1988), *España, 200 años de tecnología*, Madrid, Ministerio de Industria y Energía, pp. 29-100.
- Nelson, R.R. (ed.) (1993), *National innovation systems: a comparative analysis*, New York, Oxford, Oxford University Press.
- Ortiz-Villajos, J.M. (2004), “Spain’s Low Technological Level: An Explanation”, en J. Ljungberg y J-P. Smits (eds.), *Technology and Human Capital in Historical Perspective*, Houndmills-New York, Palgrave Macmillan, pp. 182-204.
- Ortiz-Villajos, J.M. (2017), “Antonio Martínez Barrio (1750-1798)”, en E. Torres (dir.), *Cien empresarios madrileños*, Madrid, LID, pp. 289-315.
- Peset, J.L. (1988), “El Colegio de Minería de México”, en Sellés *et al.* (comps.), pp. 233-45.
- Peset, M. y J.L. (1974), *La universidad española. Siglos XVIII-XIX. Despotismo ilustrado y revolución liberal*, Madrid, Taurus.
- Ramón Teijelo, J. (2002-2003), “Aproximación al Real Conservatorio de Artes (1824-1850): precedente institucional de la ingeniería industrial moderna”, *Quaderns d’Història de l’Enginyeria*, Volum V, pp. 45-65.
- Rodríguez G. de Ceballos, A. (1970), *El Colegio Imperial de Madrid*, Madrid, Universidad Pontificia Comillas.
- Rodríguez-San Pedro, L.E. (ed.) (2000), *Las Universidades Hispánicas: de la Monarquía de los Austrias al Centralismo Liberal. V Congreso Internacional sobre Historia de las Universidades Hispánicas*, Salamanca, Junta de Castilla y León, 2 vols.
- Sáenz Ridruejo, F. (1990), *Ingenieros de Caminos del Siglo XIX*, Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, Nº 32, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Sáiz González, J.P. (1999), *Invencción, patentes e innovación en la España contemporánea*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas.

- Sánchez Ron, J.M. (1999), *Cinzel, martillo y piedra. Historia de la ciencia en España (siglos XIX y XX)*, Madrid, Taurus.
- Sellés, M.A. (1988), “Astronomía y Navegación”, en Sellés *et al.* (comps.), pp. 81-98.
- Sellés, M., J.L. Peset y A. Lafuente (comps.) (1988), *Carlos III y la ciencia de la Ilustración*, Madrid, Alianza.
- Silva Suárez, M. (ed.) (2004), *Técnica e Ingeniería en España I. El Renacimiento*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería-Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Simón Díaz, J. (1992), *Historia del Colegio Imperial de Madrid: del estudio de la villa al instituto de San Isidro: años 1346-1955*, Madrid, Instituto de Estudios Madrileños.
- Torres Sánchez, R. (2006), “Crecimiento y expansión económica en el siglo XVIII”, en González Enciso y Matés Barco (coords.), pp. 135-156.
- Tortella, G. (ed.) (1990), *Education and Economic Development since the Industrial Revolution*, Valencia, Generalitat Valencia.
- Vicente Maroto, M.I. (2002-2003), “Las escuelas de artillería en los siglos XVI y XVII”, *Quaderns d’Història de l’Enginyeria*, Volum V, pp. 1-9.
- Warleta Carrillo, J. (1984), “La ingeniería aeronáutica: Juan de la Cierva”, en VV.AA., *La ingeniería española en el siglo XX*, Madrid, Fundación Juan March, pp. 107-144.