

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA**

II

EL SIGLO DE LAS LUCES
De la ingeniería a la nueva navegación

Pedro Álvarez de Miranda
Arturo Ansón Navarro
Juan José Arenas de Pablo
Horacio Capel Sáez
Fernando Cobos Guerra
Irina Gouzevitch
Víctor Navarro Brotons

Guillermo Pérez-Sarrión
Manuel Sellés García
Manuel Silva Suárez
Julián Simón Calero
Hélène Vérin
Siro Villas Tinoco

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.562
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 · 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 · Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación / Manuel Silva Suárez, ed. — Zaragoza: Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias; Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2005.

624 p.; il.; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España; II)
ISBN: 84-7820-815-1

1. Ingeniería-Historia-S. XVIII. I. SILVA SUÁREZ, Manuel, ed. II. Institución «Fernando el Católico», ed.

© Los autores, 2005.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.

Cubierta: Ambrosio Lanzaco (dib.) y Josef Dordal (grab.): «Planta y perfil del Puente y Almenara construido en el Canal Ymperial, llamado de Formigales». Lámina n.º 3 de la *Descripción de los Canales Imperial de Aragón, y Tauste. Dedicada a los augustos soberanos Don Carlos IV y Doña María Luisa de Borbón. Por el actual protector de ambos canales, el conde de Sástago*, Zaragoza, Impr. de Francisco Magallón, 1796.

Contracubierta: Ilustraciones de las láminas 3 y 4 en el tomo II del *Examen marítimo, Teórico Práctico o Tratado de Mecánica aplicado a la Construcción, Conocimiento y Manejo de los Navíos y demás embarcaciones*, de Jorge Juan y Santacilia, Madrid, Impr. de D. Francisco Manuel de Mena, 1771.

ISBN: 84-7820-814-3 (obra completa)

ISBN: 84-7820-815-1 (volumen II)

Depósito Legal: Z-3032-2005

Revisión técnica de la obra: Marisancho Menjón

Digitalización: María Regina Ramón, Cristian Mahulea, FOTOPRO S.A.

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

PRESENTACIÓN
DEL AGOTAMIENTO RENACENTISTA
A UNA NUEVA ILUSIÓN

El sentido de modernidad del Siglo de las Luces queda sintéticamente expresado por Paul Hazard: «Somos los herederos directos del siglo XVIII»¹. Esa posición no surge *ex nihilo*, sino como la culminación de un proceso que arranca con el Renacimiento, donde a una idea en parte nostálgico-erudita de recuperación de la Antigüedad clásica se superpone una clara ambición de superación del legado, una nueva confianza en la razón, sólida idea de progreso. La navegación, la ingeniería militar, el arte de las máquinas son, en el ámbito de la técnica, y entre otras muchas evidencias, pruebas de esa conciencia de superioridad renacentista sobre lo simplemente “recuperado”.

Entre el Renacimiento y la Ilustración media un drástico cambio cultural, de raíz europea y trascendental significado: la revolución científica. Si bien es cierto que los ingenieros, artilleros, arquitectos o maestros de hacer cartas renacentistas apreciaban y utilizaban los rudimentarios conocimientos científicos disponibles, incluso como recursos intelectuales diferenciadores de la actividad de los artesanos, la “nueva ciencia” irá permitiendo a lo largo del siglo XVIII una “nueva técnica” algo más fundamentada en modelos formales. No obstante, hay que reconocer que aún durante este Siglo de las Luces la aplicación de los recientes saberes científicos será relativamente limitada.

Si en el ámbito renacentista se puede hablar con toda propiedad del «Imperio de la Geometría»², la expresión será aún válida doscientos años después, aunque la semilla y algunos frutos tempranos de un cambio sustancial en el entender y el saber hacer están presentes, disponiéndose de un mucho más rico abanico de conceptos y métodos. Pero la nueva técnica convive con los desarrollos de raíz artesanal, esencialmente empíricos, la *tecnología popular* al decir de Julio Caro Baroja³, la *industria popular* que tratará de fomentar Campomanes. En este siglo, un mayor y mejor empleo de

¹ Paul HAZARD: *El pensamiento europeo en el siglo XVIII*, Alianza Editorial, Madrid, 1985.

² Alicia CÁMARA MUÑOZ: «La profesión de ingeniero: Los ingenieros del rey», en M. SILVA SUÁREZ (ed.): *Técnica e Ingeniería en España (I): El Renacimiento*, Real Academia de Ingeniería, Institución Fernando el Católico, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2004, pp. 125-164.

³ Julio CARO BAROJA: *Tecnología Popular*, Editora Nacional, Madrid, 1983.

materiales metálicos (hierro, bronce, latón) obtenidos gracias al conocimiento metalúrgico-químico acumulado, posibilitará el comienzo de la sustitución de la madera, de donde la fabricación de máquinas más perfeccionadas, geométricamente más estables, con mejores mecanizaciones y, por consiguiente, ingenios más precisos, eficientes y duraderos, con menores necesidades de mantenimiento. Esto impactará también en la construcción de instrumentos más complejos y precisos, lo que redundará en una mayor calidad de las producciones técnicas, por ejemplo en un mejor trazado de la «Geometría del Imperio», tarea en la que hay que destacar lo realizado por los marinos e ingenieros del ejército, principalmente.

EL RENACIMIENTO: PLENITUD Y AGOTAMIENTO.

DE LA CIMA A LA SIMA, E INDICIOS DE RECUPERACIÓN TARDOBARROCOS

No se puede dudar de que la técnica fue un elemento estratégico en un Imperio donde no se ponía el Sol⁴. En ruptura con la tradición universitaria medieval, durante el Quinientos se produjo una incipiente secularización de las enseñanzas, visible en la fundación de las escuelas o cátedras de la sevillana Casa de la Contratación (la primera institución científico-técnica gubernamental de Europa, con funciones docentes y de desarrollo de un «arte») o la Real Academia Matemática de Madrid. A diferencia de las universidades, y merced a la voluntad real, en ambas instituciones las clases se impartían en castellano, «para que tanto bien sea a todos más fácilmente aprendido y comunicado». Fue muy significativa la resistencia de las universidades, ancladas en un infértil escolasticismo, a la introducción de las matemáticas, que en su doble visión de “puras y mixtas” recogían cuanto de mensurable y cuantificable se podía ir considerando. Sólo en algún caso, como Salamanca, por ejemplo, se incorporaron algunos cursos, aunque en condiciones de manifiesta marginalidad, lo cual no excluye que varios técnicos importantes del siglo se formaran inicialmente en ellas. Este “fracaso” de Felipe II por potenciar la docencia de las matemáticas, de la técnica superior, en la Universidad tendrá su repetición con Carlos III. La incapacidad formativa de las instituciones docentes hispanas se resuelve con procesos de inmigración de técnicos y científicos, trayéndolos desde el extranjero, expresión que habría que matizar porque en su mayoría eran provenientes de otros territorios de la misma Corona (Italia y Flandes, en su mayoría).

Pero junto a la renovación conceptual y metodológica iniciada, no se podrá comprender la crisis de la presencia de España en el desarrollo de las ciencias y las técnicas durante el Seiscientos sin recordar que, en el marco de la Contrarreforma, Felipe II dicta la pragmática aislacionista (1559) y potencia la Inquisición. La pragmática, ¡que estaría vigente más de siglo y medio!, prohibió «pasar los naturales de estos reynos a

⁴ Baste para ello un recorrido por los diferentes capítulos del volumen previo de esta colección.

estudiar a universidades fuera de ellos»⁵. España quedaba ideológicamente aislada de Europa.

El aislacionismo contrarreformista, la potenciación de la Inquisición (especialmente contra los judíos conversos y con rasgos diferenciales⁶) y una profunda decadencia económica abocan a un penoso estado a las ciencias y las técnicas durante el siglo XVII. Al declive económico contribuyen los compromisos bélicos, excesivos para el potencial demográfico del país, una despoblación reflejo del poblamiento de las tierras de ultramar, y una mentalidad y una estructura productiva antieconómicas, ya que el concepto de industria, en sentido amplio, sigue marcado por el estigma de “villanía”. La situación llega a ser tan preocupante que en el reinado de Carlos II se promulga (diciembre de 1682) una pragmática expresivamente intitulada «El mantener fábricas de textiles, con las calidades que se expresan, no se tenga por contrario á la nobleza y sus prerrogativas». En esencia, se declaran compatibles la nobleza y la posesión de industrias (textiles), siempre y cuando no se participase personalmente en las labores. Sin embargo, su eficacia fue muy limitada, y un siglo después habrá que insistir sobre ello⁷.

El cultivo de los saberes científico-técnicos pasa de la cima renacentista a la sima a mediados del Seiscientos, a un nivel cuasi-basal, mantenido por unos pocos individuos aislados, en ausencia de instituciones con empuje y con la consiguiente pérdida de la incipiente secularización de la enseñanza⁸. Contribuye a ello una visión excesi-

⁵ Excepciones matizadas a la regla fueron las universidades de Bolonia, Coimbra, Nápoles y Roma.

⁶ «La represión española se distingue menos por su crueldad que por el poderío del aparato burocrático, policiaco y judicial de que dispone. Su organización centralizada cubre toda la Península con malla apretadísima; hasta posee antenas en el extranjero [...]. Esta poderosa institución, nutrida de confiscaciones y de multas, está en pleno crecimiento [...]. Como el Edicto de la fe ordenaba denunciar los delitos contra la fe común de que cada cual pudiera tener conocimiento, el pueblo español entero se encontró asociado, de grado o por fuerza, a la acción inquisitorial». (M. BATAILLON: *Erasmo y España*. Fondo de Cultura Económica, México, 1966, pp. 490-491. Véase, también, J. L. ABEILLÁN: *Historia crítica del pensamiento español: Del Barroco a la Ilustración*, Espasa-Calpe, Madrid, 1981, pp. 27-28.)

⁷ Planteado ya desde el Renacimiento, el tema es recurrente a lo largo del XVII y el XVIII. Así, en 1558 escribe Luis de Ortiz, contador de Burgos: «Lo primero que se deroguen las leyes del reino por las cuales están los oficiales mecánicos anichilados y despreciados, y se promulguen y hagan otras en favor de ellos, dándoles honras y oficios, como se hace en Flandes y en los otros Reinos, donde hay ordenadas repúblicas con esas libertades. Se ha de mandar que todos los que al presente son nacidos en estos Reinos, de diez años abajo y los otros que nacieran de aquí en adelante para siempre jamás aprendan letras, artes u oficios mecánicos, aunque sean hijos de Grandes y de caballeros» (Memorial del Contador Luis de Ortiz a Felipe II, reproducido por M. FERNÁNDEZ ÁLVAREZ: *Economía, sociedad y corona*, Ed. de Cultura Hispánica, Madrid, 1963, p. 383).

⁸ Es paradigmático que la Real Academia Matemática terminara integrándose en el Colegio Imperial de Madrid, regentado por la Compañía de Jesús. Sin duda, los jesuitas constituyen la corporación internacional que merece señalarse con respecto al desarrollo de las matemáticas en este país en los siglos XVII y XVIII, hasta su expulsión en 1767.

vamente utilitarista de los saberes (por ausencia de entornos especulativos modernos), paralela a una sobrecarga administrativa de los “sabios y conocedores”, como ocurre en el entorno de la Casa de la Contratación. El fracaso de la herreriana Real Academia Matemática de Madrid es prueba de la enorme fragilidad de las instituciones científico-técnicas y la dejación real.

Si en el Renacimiento el cenit de las contribuciones ibéricas se puede plasmar en la navegación, baste recordar que la pérdida de competitividad técnica ya se manifiesta en ese ámbito a finales del mismo siglo XVI. Tres hechos pueden servir para apreciarlo: 1) la proyección esférica-loxodrómica se introduce por G. Mercator en 1569; aunque Mercator no publicó la demostración, una primera explicación fue propuesta por E. Wright en *Certaine Errors in Navigation Detected and Corrected* (1599), que numéricamente calcula una tabla, conocida como de «partes meridionales», con las separaciones aproximadas de los paralelos⁹; 2) para medir con mayor precisión la velocidad del buque, más allá de la simple estimación del piloto, W. Bourne propone la corredera en *A Regiment for the Sea* (1574); 3) la medida de la altura de un astro, útil para calcular la latitud, se mejora de forma significativa merced al doble cuadrante de J. Davis, presentado en su *The Seamans Secrets* (1594), consiguiendo reducir los errores de medición de 1° a 1/4°, es decir, de unos 112 a unos 28 km; ello elimina en muchos casos las “incómodas” estimaciones que a veces daban al barco “navegando por tierra” y que contribuían a actitudes defensivas de los pilotos frente a la tripulación, dotando a su actividad de un cierto sentido ritual e iniciático.

Buena parte del siglo XVII hispano fue áurea en la creación literaria y artística. No es así en el ámbito científico y técnico, en el que se pueden distinguir, aproximadamente por tercios, tres periodos¹⁰: un movimiento inercial, con importantes rozamientos, que lleva a la sima (entre las excepciones en ese nadir, se puede mencionar la publicación de *El Arte de los Metales*, de Alonso Barba, en 1640, o la ingente actividad de los ingenieros fortificadores, en Europa, África, y muy especialmente en ultramar), y finalmente un incipiente resurgir. Los síntomas de renovación se perciben en un reducidísimo grupo que crea un caldo de cultivo sobre el que germinará la Ilustración: denominados “novatores”, por ideológicamente innovadores, actúan prácticamente al margen de las universidades, en una sociedad presa de un misoneísmo asfixiante. El término *novator* tiene en la época un claro sentido peyorativo¹¹. Su labor fue globalmente modesta, aunque posibilitaron en parte el desarrollo posterior de la

⁹ En términos actuales, las separaciones han de ser proporcionales a las diferencias de la integral de la secante de la latitud. No existiendo aún el cálculo diferencial, la ecuación no fue publicada hasta 1696, por el conocido matemático y astrónomo Edmond Halley.

¹⁰ Para una visión de conjunto y matizada sobre el siglo XVII, vid. J. M.ª LÓPEZ PIÑERO: *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Labor, Barcelona, 1979.

¹¹ La actividad en el marco de las ciencias “físico-matemáticas” durante el XVII, con énfasis en los novatores, es el tema del capítulo de Víctor Navarro Brotons, que abre este volumen.

técnica y la ciencia ilustradas. Esas tímidas señales de recuperación no se circunscriben a cuestiones especulativas, sino que se pueden observar también en el mundo de la técnica y la economía. En el ámbito castrense se incluyen en ese resurgir la actividad de Sebastián Fernández de Medrano en la Academia de Matemáticas de Bruselas, institución de la que fue director, y el texto anónimo *Escuela de Palas* (Milán, 1693), probablemente debido al marqués de Leganés o a José Chafrión. En el marco de la construcción naval se vislumbran indicios de renovación en las contribuciones de personajes como Antonio Garrote y Antonio de Gaztañeta. El sevillano Garrote escribe un manuscrito sobre «bajeles» en 1691, aún en la transición del galeón al navío, innovador tipo de buque de combate a distancia perfeccionado por ingleses y holandeses; en el marco de la marina borbónica, el diseño arquitectónico naval se precisará algo más bajo la dirección del guipuzcoano Gaztañeta, avezado marino que escribió varios tratados, y que define un dilatado, todavía empírico y algo discrecional período constructivo. Ni en el caso de Garrote ni en el de Gaztañeta se puede hablar de incorporación de los conocimientos disponibles de las matemáticas mixtas, sino de mejora constructiva y de los medios de representación gráfica. Sin pretender trazar un panorama de estos síntomas de renovación, valga mencionar que en el ámbito de la ingeniería civil (obras públicas y manufacturas), y dentro de la tradición hispana, el vizcaíno Pedro Bernardo Villarreal de Bériz publica, ya en una “primera Ilustración”, el tratado sobre *Máquinas Hidráulicas de Molinos y Herrerías y Gobierno de los Árboles, y Montes de Vizcaya* (1736), con interesantes innovaciones técnicas, a quien Fernández Ordóñez denominó «el primer ingeniero genuino de presas»¹².

EL SIGLO DE LAS LUCES: REFORMAS, RESISTENCIAS Y ENCRUCIJADA

Pese a los indicios de renovación evocados, el legado del Seiscientos sobre la Corona española, de forma sintética y provocadora, y, por consiguiente, sin los debidos matices que se presentan a lo largo de este y del próximo volumen, se puede visualizar con el cadalsiano «un gran cadáver», o la capital de un imperio al imperativo «¡agua va!», que, de ser escuchada, era frecuentemente expresión de haber sido salpicado, ¡al menos!

En el siglo XVIII culmina la Revolución científica en Europa, progresándose trabajosamente en el establecimiento de una sólida conexión entre las ciencias y las técnicas. Además, a partir de 1750 comienza en Inglaterra un proceso de radical transformación técnica y social que ha preconfigurado el mundo contemporáneo, la Revolución industrial. Mientras tanto, en la Francia de 1751, aparece el primer volu-

¹² J. A. FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ (dir.): *Catálogo de noventa presas y azudes anteriores a 1900*, C.O.I.C.C.P., Madrid, 1984, p. 14. Sobre el personaje: E. RUIZ de AZÚA: *D. Pedro Bernardo Villarreal de Berriz (1669-1740). Semblanza de un vasco precursor*. Fund. Juanelo Turriano/Castalia, Madrid, 1990.

men de la *Enciclopedia*, impulsada por Diderot y D'Alembert. El siglo XVIII fue también el protagonista de la Revolución francesa, arranque de la Edad Contemporánea, en que la ciencia vendrá a presentarse para algunos como una suerte de religión. Los hombres de ciencia toman el poder y reestructuran el Estado. En este sentido, puede recordarse la fundación de la *École Polytechnique* (1794), de impacto tan destacado, en la instrucción de los cuerpos técnicos superiores del Estado francés, del propio sistema de formación de ingenieros en la Europa continental, y en el desarrollo de la ciencia y la técnica.

El siglo XVIII hispano será el de las *Luces*, expresión de una *ilusión* –sentida por un minoritario pero poderoso colectivo– por retomar la senda, por salir del túnel. Pero luces y sombras, avances y retrocesos, éxitos y fracasos, se entremezclaron, al punto que de las cuatro acepciones que incluye el DRAE para *ilusión*, convienen aquí perfectamente la segunda y tercera:

- «2. Esperanza cuyo cumplimiento parece especialmente atractivo;
3. Viva complacencia en una persona, cosa, tarea, etc.»

En ellas predomina un sentido positivo, de satisfacción, de construcción en marcha, reflejo de esa vitalidad y riqueza de iniciativas que se instrumentalizaron, claramente perceptible a mediados del siglo. En 1748 el marqués de Ensenada insta a Fernando VI a acometer un fabuloso y vertebrador plan radial de caminos con el conocido: «Es preciso empezar, Señor, porque lo que no se empieza no se acaba». Pero este tipo de impulsos modernizadores choca a veces con la realidad subyacente. Otro gran primer secretario de Estado, el conde de Floridablanca, habrá de recordar la necesidad de modificar comportamientos tradicionales como los prejuicios respecto a los trabajos mecánicos: mediante real cédula de marzo de 1783, se concede «Habilitación para obtener empleos de República a los que exercen artes y oficios, con declaracion de ser honestos y honrados»; afirma que «su desempeño no envilece la familia ni la persona del que los exerce, ni la inhabilita para obtener los empleos municipales [...] y que tampoco han de perjudicar las artes y oficios para el goce y prerrogativas de la hidalguía»¹³.

El balance global del período que aquí se acota con la guerra de la Independencia, desde múltiples perspectivas, las del desarrollo de las ciencias y las técnicas en particular, ha de afirmarse, sin duda, como positivo, aunque notoriamente mejorable por frágil, por carente del necesario arraigo. La polisemia de *ilusión* permite recoger esa insatisfacción en la primera acepción del DRAE:

¹³ Vid. *Novísima Recopilación de las Leyes de España, mandada formar por el Señor Don Carlos IV*, Madrid, 1805. Como contrapunto, téngase en cuenta que por orden del conde de Gazola (15-X-1766), bajo el mismo reinado de Carlos III, los aspirantes a cadetes del Real Colegio de Artillería habían de acreditar que sus padres no ejercían profesiones “indignas”, como oficios mecánicos o comerciantes al detall (P. A. PÉREZ RUIZ: *Biografía del Colegio-Academia de Artillería de Segovia*, Academia de Artillería, 1960, p. 105).

«1. Concepto, imagen o representación sin verdadera realidad, sugeridos por la imaginación o causados por engaño de los sentidos».

En suma, contraste, claroscuro que a veces evoca este riquísimo y apasionante período de nuestra historia, proyectista y vital, denostado en tiempos, también fuente de discursos panegíricos¹⁴, que, sin embargo, ofrece áureos resplandores en el desarrollo técnico y científico. Entre éstos, a nivel estructural, la institucionalización con definición de competencias técnicas y de estudios reglados para la formación de aspirantes a diversas profesiones, entre las que nos interesan especialmente las ingenierías, la artillería y la arquitectura, perfiles que ya presentan una primera delimitación en el Renacimiento. La ingeniería sufrirá un trascendente proceso de diversificación y segmentación institucional. Los ingenieros se estructurarán básicamente en cuerpos facultativos del Estado, es decir, en conjuntos de funcionarios, militares o civiles, que le sirven merced a conocimientos técnicos especializados en un cierto ramo. El siglo XVIII será testigo de la creación de los cuerpos de ingenieros del Ejército y Plazas (ingenieros militares, 1711), de la Marina (1770), Cosmógrafos de Estado (1796, de fugaz existencia pues será disuelto en 1804) y de Caminos y Canales (1799). No formalizada como tal cuerpo facultativo, el último cuarto del siglo contempla el surgimiento de la ingeniería de Minas (los «Geómetras Subterráneos», en 1777).

La generalización de la educación técnica reglada, con mínimos precedentes renacentistas como la de los pilotos de la Carrera de Indias, es una aportación mayor del Setecientos, singularmente en sus tres últimas décadas y en los primeros años del siglo siguiente. Y no sólo lo fue para los perfiles técnicos superiores sino en un ámbito mucho mayor, de lo que da muestras, por ejemplo, la actividad docente de las reales sociedades económicas de amigos del país o de las juntas y consulados de comercio. Son tiempos en los que «asistiremos [...] al nacimiento de la escuela técnica como lugar separado de los establecimientos en los que la formación profesional y el trabajo se llevaban a cabo conjunta y simultáneamente»¹⁵. Como afirma Jordi Nadal, refi-

¹⁴ El análisis historiográfico permite observar interpretaciones decididamente positivas como la clásica de Jean SARRAILH: *La España ilustrada de la segunda mitad del siglo XVIII* (Fondo de Cultura Económica, México, 1957); otras son mucho más matizadas, como VV. AA.: *La Ilustración, claroscuro de un siglo maldito* (Historia 16, VIII, 1978). Sobre el reinado de Carlos III se da una valoración ponderada en Antonio DOMÍNGUEZ ORTIZ: *Carlos III y la España de la Ilustración* (Alianza Editorial, Madrid, 1988), quien afirma que «no fue un revolucionario sino un reformador prudente», destacando que en el Setecientos «las nuevas ideas sólo podían imponerse si contaban con el apoyo de poderosas corrientes subterráneas; la mera imposición desde arriba no era suficiente» (p. 228). Como contraste, abiertamente negativa es la visión de Francisco SÁNCHEZ BLANCO: *El Absolutismo y las Luces en el reinado de Carlos III* (Marcial Pons, Madrid, 2002), que ácidamente llega a tildar al monarca de «rey absoluto, con pocas luces y sordo a los signos de los tiempos».

¹⁵ A. ESCOLANO BENITO: *Educación y Economía en la España Ilustrada*, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1988, p. 9.

riéndose a Carlos III, «el impulso dado a las nuevas enseñanzas constituye el mayor timbre de gloria de su reinado»¹⁶.

Entre los efectos de ese programa de renovación, de integración en la modernidad, se puede anotar el nivel alcanzado en arquitectura naval, donde conviene reflejar la importancia del *Examen Marítimo* (1771) de Jorge Juan, y el desarrollo de nuevas técnicas de navegación; el descubrimiento del platino (por Antonio de Ulloa en Bolivia, descrito como un cuerpo simple en las *Observaciones astronómicas y físicas*, 1748; refinado por Francisco Chabaneau en Vergara en 1786), del wolframio o tungsteno (aislado por los hermanos Elhuyar en Vergara, 1783) y del vanadio (descubierto por Andrés del Río en México, aunque inicialmente se pensó que era una forma de cromo, 1801); el decidido empeño de vertebrar el país con una red de carreteras (con algunas de difícil ejecución, como las de Guadarrama, Sierra Morena o Reinosa-Santader) y de canales, destinada a crear un mercado nacional; y la participación a nivel conceptual, en tiempos de la gestación del maquinismo, al nacimiento de la cinemática industrial, con la fundamental contribución de J. M.^a de Lanz y A. de Betancourt, *Essai sur la composition des machines* (1808)¹⁷.

Cierto es que también hubo fracasos técnicos, unas veces de planificación, en otros casos de diseño o ejecución. Por ejemplo, a la hora de fabricar cañones de hierro fundidos en sólido en Liérganes y La Cavada, o en el proyecto y construcción de pantanos como el de Puentes, que revienta en 1802, llevándose por delante más de seiscientas vidas. También se puede apuntar en ese lado negativo de la balanza la limitada modernidad de la ingeniería de puentes, estructural y morfológicamente más renacentista que ilustrada (paradigmáticamente representados por los que, por ejemplo, hacía Perronet en Francia); o el puro arbitrio en diversos aspectos de los proyectos en torno al Canal de Castilla, o los fallos de gestión en el Canal Imperial de Aragón, hasta que providencialmente se hizo cargo Ramón de Pignatelli. Si bien España comienza a re-europeizarse tras decretarse por Felipe V la derogación de la pragmática aislacionista de 1559, la importación de técnicos extranjeros no fue siempre positiva. Aunque con éxitos importantes, Carlos Lemaury anima a Floridablanca y a Cabarrús, y transmite a sus hijos, también ingenieros militares, la loca pretensión de conectar Madrid con Sevilla mediante canales, lo que “afortunadamente” (porque el proyecto, así, queda olvidado) da lugar al desastre del pantano del Gasco: la insuficiente valoración de la orografía y de los regímenes de lluvia, de haberse concluido el proyecto, hubiera llevado a un enorme desembolso de muy negativo interés económico. En la política de fomento de las manufacturas, de las reales en particular, la tarea

¹⁶ J. NADAL: «Carlos III, un cambio de mentalidad», en *España, 200 años de tecnología*, Barcelona, 1988, p. 19.

¹⁷ El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Madrid, 1990) ha publicado el volumen *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, donde se recogen sendos facsímiles de las primeras ediciones francesa e inglesa, así como su traducción al español.

de los técnicos extranjeros es fundamental; no obstante, entre otros muchos problemas que surgen está la débil capacidad de innovación que se observa en la mayoría de esas factorías, en general aisladas de entornos técnica y empresarialmente evolucionados, acomodadas a la subvención de la Hacienda, con lo que las industrias quedan obsoletas en poco tiempo, contribuyendo a su falta de competitividad.

El siglo XVIII, enmarcado entre dos conflagraciones internacionales con connotaciones de guerra civil en el solar hispano (las guerras de Sucesión y la de la Independencia), y pleno de enfrentamientos bélicos, es poliédrico, complejo, a veces contradictorio. Pero la siguiente etapa es el electrizante siglo XIX, que “comienza” a construirse sobre la base de la liberal Constitución elaborada por las Cortes de Cádiz (1812) y una feroz y aniquiladora reacción absolutista. Cabe, sin embargo, mencionar en el Siglo de las Luces el lapso pacífico de once años potenciado por Fernando VI, tras la Paz de Aquisgrán. Importa señalar esta incesante actividad bélica setecentista, porque la mayoría de los centros de excelencia en la enseñanza técnica y científica estuvo en la esfera militar, donde la indiscutible prioridad era el servicio castrense.

Se ha aludido a algunos aspectos del denominado reformismo borbónico, proyecto absolutista que se muestra un tanto permeable a ideas de filósofos ilustrados y que adopta formas paternalistas en el ejercicio del poder, que conviene anotar con unas rápidas menciones. Entre sus rasgos generales se encuentran la uniformización legislativa y la centralización administrativa, asistiéndose al nacimiento de la idea de Estado-nación. Se pretende a ultranza el mantenimiento del Antiguo Régimen, en flagrante contradicción con ideas proto-liberales en circulación, por lo que, ante los acontecimientos de la Revolución francesa, la reacción es lo que se da en denominar el “pánico de Floridablanca” (1791), lo que comprende el establecimiento de un “cordón sanitario” frente a la “peste” revolucionaria. Es en cierto modo una reacción “filipina”: nuevo cierre de las fronteras para evitar el contagio ideológico, aunque la “porosidad” de los puertos, Cádiz y Barcelona en particular, fue muy superior a la pretendida por el poder. Se aborda la reforma agraria, intentándose modernizar las estructuras de propiedad (concentrada en manos de la Iglesia y la nobleza), aunque con limitadísima efectividad, pues la reacción se canalizó utilizando al Santo Oficio contra los reformadores; entre los grandes proyectos cabe reseñar la repoblación de Sierra Morena, gestión asumida personalmente por el superintendente Pablo de Olavide¹⁸, que le terminará llevando ante la Inquisición, tribunal que, aunque atenuado, sirvió también para condenar o atemorizar a personajes como Melchor de Macanaz, Benito Bails, Enrique Cristóbal Storr y Luis Proust.

¹⁸ Pablo de Olavide (1725-1802) funda trece poblaciones. Condenado por el Santo Oficio (1778) a ocho años de reclusión, consigue huir a Francia (1780). Bajo el seudónimo “conde de Pilos” reside en París, donde fue encarcelado como sospechoso en 1794, en el marco de los acontecimientos provocados por la Revolución francesa. Terminó escribiendo el *Evangelio en Triunfo* (1797).

Además de la uniformización y centralización borbónica, son rasgos generales, propios del gobierno absoluto hispano, un importante utilitarismo y el desarraigo en la construcción de infraestructuras para el desarrollo de las actividades científicas y técnicas, algo ya padecido en el Renacimiento. Por otro lado, conviene subrayar que el fracaso de las reformas hacendística y política se percibió en la política de los últimos años de Carlos III, antes de eclosionar el terror por la Revolución francesa. Es el fin de un ciclo en el que el Estado, al margen de la realidad socioeconómica, se erigió en valedor supremo del desarrollo técnico y científico, por lo que su crisis a finales del XVIII y comienzos del XIX se saldará con la casi desaparición del sistema tan trabajosamente construido. En cualquier caso, la Ilustración posibilitó una de las etapas más brillantes de nuestro pasado científico-técnico. Si el entronque con Europa se realiza razonablemente en el siglo XVIII, «época en la que, como en ninguna otra, se acercó a Europa la naciente ciencia española»¹⁹, en el XIX habrá que volver a intentarlo.

TÉCNICA, CIENCIA, UTILIDAD Y MILICIA

Se abría el volumen I de esta colección afirmando que el Renacimiento se desarrolla desde una nueva confianza en la razón, asistiéndose a un proceso de modernización dominado por la idea de progreso, que termina mostrando el orgullo por la superación de los saberes precedentes. Una de las grandes aportaciones de este período de transición y replanteamiento es la sustitución de la autoridad como criterio científico y técnico por la experiencia y capacidad de raciocinio personal. En este marco, y en el tránsito a la Ilustración, se producirá la Revolución científica, un aporte cultural de primer orden para el desarrollo de una “nueva técnica”, mejor fundamentada y cuantificada. No obstante, durante el Siglo de las Luces el empleo de los recientes saberes científicos a la técnica será relativamente limitado, muy especialmente en sus dos primeros tercios. Como ocurriera en el Renacimiento, la navegación marítima (entonces, «arte de navegar») madurará ahora merced a la aplicación del nuevo conocimiento cosmográfico (método de las distancias lunares, por ejemplo) y al desarrollo de más precisos instrumentos (sextantes, cronómetros), así como al uso del renovado lenguaje matemático. Por el contrario, la metalurgia se desarrollará aún de forma primordialmente empírica, sin un sólido esquema conceptual director, aunque la naciente “química” aportará, muy al final del período, algunos elementos de mejora. Por su parte, el renacentista «arte de las máquinas» se transformará en el Setecientos en «machinaria», «mecánica» o «machinica»²⁰; empleará las matemáticas de

¹⁹ Ángel MARTÍN MUNICIO: «El español y la ciencia», en *II Congreso Internacional de la Lengua Española*, Valladolid, 2001.

²⁰ Según el *Diccionario de Autoridades* (1734) de la Real Academia Española. En el de Terreros y Pando (*op. cit.*, 1787) se recogen en forma ortográfica más moderna: *maquinaria* (y *maquinica*, que considera término bárbaro).

forma aún rudimentaria, avanzándose en cuestiones de dinámica y, ya a comienzos del Ochocientos, en la consideración de las máquinas –antes entidades “indivisibles”²¹– como conjuntos de mecanismos transformadores de movimientos (la geometría de los desplazamientos), lo que constituye el nacimiento de la Cinemática Industrial, una genuina ciencia de la ingeniería, no de la naturaleza²².

Según el DRAE, *técnica* es saber «de procedimientos y recursos», y entre sus “recursos conceptuales” se puede anotar el conocimiento científico (saberes «por sus principios y causas»), que, parafraseando a Luis Proust, será “antorcha que iluminará a la técnica”²³, del mismo modo que la ciencia se apoya necesariamente en la técnica para su desarrollo.

Frente a la imagen falaz que a veces se propaga de una técnica siempre fosilizada en ausencia de “luz científica”, limitada a la rutina procedimental “ciega”, baste recordar la trascendencia de los avances durante el medioevo o el desarrollo del artefacto paradigmático de la Revolución industrial. Dicho muy expresivamente por Ashby, la máquina de vapor «fue realizada por cabezas duras y dedos inteligentes», por hombres que «carecían de una educación sistemática en ciencia o tecnología»²⁴. Si la distancia cualitativa entre la ciencia pre-revolucionaria, tardo-medieval y primorenacentista de un lado, y la ilustrada (la “nueva ciencia”), de otro, supera a la establecida entre las técnicas de una y otra época²⁵, la Revolución industrial (revolución energética, maquinista y organizativa) es una etapa larvada o en desarrollo, según los países.

²¹ En realidad, el estudio de mecanismos se observa ya en trabajos de Leonardo da Vinci. Hacia 1696, el ingeniero sueco Christopher Polhammer, conocido como Polhem, concibe la idea de desarrollar “un alfabeto” para la construcción de máquinas, descomponiéndolas en sus elementos constitutivos.

²² El texto pionero es el mencionado de J. M.^a de LANZ y A. de BETANCOURT: *Essai sur la composition des machines* (Impr. Impériale, París, 1808).

²³ «[...] era ya tiempo de iluminar el cahos de las fundiciones con la antorcha de la química», en Luis PROUST: *Discurso que en la abertura del Laboratorio de Química del Real Cuerpo de Artillería...*, Segovia, Antonio Espinosa, 1792, p. XLIV.

²⁴ E. ASHBY: *La Tecnología y los Académicos*, Monte Ávila, Caracas, 1968, p. 79.

²⁵ A modo de digresión, cabe señalar que la “nueva ciencia” se denominará simplemente ciencia, mientras que a la “nueva técnica” se la podrá acabar llamando *tecnología*, término de una clara significación etimológica pero de semántica aún no estabilizada por el uso, pudiéndose observar perspectivas que van desde lo puramente material (los artefactos), pasando por lo cognitivo, hasta lo social, esfera donde, debido a su sufijo –quizás la razón de su difuso empleo–, se le atribuye la transmisión de nociones de nobleza, modernidad o poder. Pero, como dice Álex Grijelmo, «el genio de la lengua es caprichoso» (*El genio del idioma*, Taurus, Madrid, 2004), por lo que quizás, en desenfadada acotación, entre “técnica-tecnología y ciencia” no se aplicó esa regla de tres léxica que una revista humorística en el tardo-franquismo hizo celebrísima con “bombín-bombón y cojín”, dando lugar a un salaz resultado.

La nueva ciencia, hija de la filosofía²⁶ (el saber teórico) y también de la técnica (el saber hacer), cambia la forma de considerar la naturaleza, instaurándose un eficazísimo protocolo de actuación, el *método científico*. En éste es esencial la componente de experimentación y exigencia de repetitividad práctica, así como el uso intensivo de a veces delicados instrumentos (ingenios o artificios) de medición, y un procedimiento de aceptación de “verdades” (siempre relativas) por consenso entre los miembros de la comunidad. En paralelo, con similar raíz, se desarrolla un *método de la ingeniería*, expresión destilada del saber técnico en lo procedimental, que emplea sistemática pero no exclusivamente el conocimiento científico acumulado²⁷. Del desarrollo del método de la ingeniería, menos estudiado, hay pruebas evidentes en el Setecientos. Valga mencionar, por ejemplo, el diseño y construcción de navíos, proceso en el que se comienza explicitando los requisitos de tamaño, velocidad, estabilidad, maniobrabilidad, robustez u operabilidad artillera. Dado el carácter contradictorio de varias de las cualidades exigidas, el problema es claramente multi-objetivo, pretendiéndose con los diseños –iluminados por la ciencia, la experiencia y las peculiaridades de estilo del diseñador y los condicionantes socio-económicos– diferentes compromisos “sub-óptimos”; ineludiblemente, la hora de la verdad llega de la mano de protocolos de comparación experimental en la mar entre los buques, los artefactos resultado de las concepciones alternativas. Aquí son los usuarios los que tienen la última palabra.

Aunque no exclusivamente, porque hay una técnica que emerge desde otros focos (el artesanado, por ejemplo), el método de trabajo de la ingeniería se perfila y codifica en organizaciones como el Real Cuerpo de Ingenieros Militares o el de Ingenieros de la Marina, desde las que se transmite. A través de sus innumerables encargos a lo largo y ancho del Imperio, se difundirán protocolos de trabajo racionalizados y normalizados para la organización y el desarrollo de las grandes obras²⁸. Por ejemplo, el Canal Imperial de Aragón, donde confluyen direcciones técnicas civiles y castrenses, según el marqués de Villanueva del Pardo y Agustín de Betancourt, «la obra más grande en su género que jamás han emprendido los españoles y en nada cede a las

²⁶ Así, es frecuente que en el siglo XVIII se hable de «Filosofía Natural», no de «Ciencias Naturales». Cuando la Ley Moyano (9-IX-1857) instaure las facultades de Ciencias, el posterior *Reglamento de las universidades* (R. O. de 22-V-1859) le otorgará como color académico el azul turquí, demostración de su procedencia de las facultades de Filosofía, que poseen el azul celeste (M. SILVA SUÁREZ: *Uniformes y Emblemas de la Ingeniería Civil Española, 1835-1975*, Institución Fernando el Católico/CSIC, Zaragoza, 1999). El sustantivo *científico*, plenamente tardo-decimonónico, no se incorpora al DRAE hasta 1956 (XVIIª edición).

²⁷ Javier ARACIL: «¿La ingeniería es ciencia aplicada?», en J. ARACIL (ed.): *Ingeniería y Pensamiento*, Fundación el Monte, Sevilla, en prensa.

²⁸ Las grandes obras siempre fueron inmensas escuelas. Por ejemplo, en el medioevo la construcción de catedrales concitaba el interés de agrupaciones gremiales, al punto de organizar excursiones de observación-espionaje a las obras en otras ciudades, algo particularmente cierto en el caso de templos paradigmáticos, como son las catedrales góticas.

más celebradas en otras naciones»²⁹. En ella el canónigo Ramón de Pignatelli no sólo gestionó eficazísimamente la obra, organizando un gran equipo técnico perfectamente conjuntado, sino que llegó a proyectar como ingeniero. Su construcción supuso la elevación del nivel técnico de la región, y así lo reflejan el marqués de Villanueva y Betancourt:

«Maestros de obras que antes se conducían por una vieja práctica [están ahora] guiados por una teoría luminosa, instruidos en los preceptos más recónditos de su arte y familiarizados con los mejores autores».

Si la ciencia “ilumina” a la ingeniería, ¿cuál es su papel? Dos acotaciones a declaraciones de Francisco Sabatini y Agustín de Betancourt, ingenieros del más alto nivel, ayudarán a clarificar elementos de la posición a finales de la Ilustración, planteamiento que, por otro lado, no ha de ser esencialmente diferente del que se pueda ofrecer en nuestros días. A comienzos de la década de 1780, el cuerpo de ingenieros militares está casi saturado y son pocas las vacantes para el ingreso. Si bien Silvestre Abarca, ingeniero director del ramo de fortificaciones, propone que la excelencia en «ciencia y dibujo» se erijan en *los* criterios sobre la calidad de un ingeniero o aspirante, Francisco Sabatini responde que³⁰

«aunque esta parte del curso es esencial al Ingeniero, es más útil y necesaria la inteligencia de las materias; porque podrá darse el caso de que el más ábil en ellas, tenga, o poca inclinación, o poca afición, al diseño, y esta falta no le ha de hacer desmerecer su ingreso, ni el cuerpo perder un individuo que haga progresos en la ciencia, aunque siempre es bueno se halle adornado de uno y otro».

Por otro lado, en la definición que hace Agustín de Betancourt sobre las cualidades y circunstancias que deben concurrir en un director de la Inspección de Caminos, tras enumerar conocimientos científicos, técnicos y metodológicos, afirma³¹:

«En fin, permítasenos decirlo, tener una educación no vulgar, la qual no solamente hace recomendables los hombres en el trato con los demás, sino que también da discernimiento y aquel tacto fino que en ciertos casos suele servir aún más que la ciencia».

En suma, la ciencia y el dibujo no son suficientes, sino altamente convenientes. Además son determinantes la afición al diseño –la creatividad– y, dado que su actividad se realiza en estrecha interacción con agentes sociales diversos, una amplia cultura. En términos nada dieciochescos se puede interpretar que se aboga por capaci-

²⁹ Marqués de VILLANUEVA DEL PARDO y Agustín de BETANCOURT: *Noticia de la Acequia Imperial, o Canal Real de Aragón*, 1783. Recogida en VV. AA.: *Canal Imperial de Aragón*, Ministerio de Obras Públicas, Madrid, 1984. Este entusiasta comentario habría que atemperarlo al considerar el otro gran canal hispano del siglo, el de Castilla, aunque su diseño, ejecución y terminación respondan a situaciones muy diferentes.

³⁰ CAPEL, SÁNCHEZ y MONCADA, 1988, p. 192.

³¹ A. RUMEU DE ARMAS, 1980, p. 60.

dades adicionales más allá de la mera formación científica y técnica, que complementen la dimensión puramente racional de la inteligencia en aspectos de inventiva y de relación interpersonal.

El nivel de los contenidos científicos de las profesiones técnicas superiores, la ingeniería en particular, es tema de discusión ya en fechas tan tempranas. Por ejemplo, en el ámbito del Real Colegio segoviano, abierto con la oración de Antonio Eximeno *Sobre la necesidad de la teoría para desempeñar en la práctica el servicio de S. M.*, se produjo en 1782 una fuerte disensión a este propósito entre Pedro Guannini, profesor de matemáticas y director de estudios, y el consejo de profesores, liderado por Tomás Morla, secretario a la sazón. La cuestión era «si el oficial de artillería, para cumplir con su misión, necesita ser profundo matemático y conocer bien las ciencias físico-químicas, o por el contrario basta con tener conocimientos elementales de todas esas ciencias»³². Morla, reputado artillero, autor de textos técnicos de gran interés, profesor de química aplicada a la artillería, lo expresa categóricamente: «Las teorías sublimes sólo sirven para alargar los estudios, hacerlos más penosos, y lo que es peor, causar un cierto hastío y tedio, que hacen confundir lo que es de utilidad remota con lo que es esencial para el cumplimiento de su obligación».

Y es que, sin considerar a los que muy gráficamente se alude como «titanes de la rutina»³³, el nivel científico de las formaciones técnicas superiores es siempre un tema controvertido, siendo a veces muy difícil establecer una frontera nítida entre los conocimientos potencialmente útiles y los que probablemente no lo serán nunca o, al menos, en los horizontes temporales personales. En cualquier caso, es cuestión en continuo debate a lo largo del mismo siglo XVIII.

Presidiendo esta última cuestión, en un ámbito mucho más general de la cultura se encuentra el principio de «utilidad» al que tan afecto fue el Setecientos. No es que la utilidad afectara sólo a la instrucción en la nueva técnica; se aplica en Europa al mismo desarrollo de las ciencias³⁴, que de este modo para ser apreciables han de ser «útiles»³⁵. El objetivo y el método de la ciencia dieciochesca visan las aplicaciones prácticas, constituyendo en sí un freno ideológico a su propia expansión, algo compartido

³² P. A. PÉREZ RUIZ, *op. cit.*, pp. 115-116.

³³ S. GARMA, D. FERRANT, V. NAVARRO (eds.): *Contra los titanes de la rutina*, Comunidad de Madrid/CSIC, Madrid, 1994.

³⁴ J. A. MARAVALL: «El principio de la utilidad como límite de la investigación científica en el pensamiento ilustrado», en *Historia y pensamiento. Homenaje a Luis Díez del Corral*, Endema, Madrid, vol. II, pp. 223-236. También se puede consultar F. del PINO DÍAZ: «Utilidad y honor nacional en la política científica ilustrada», en J. PÉREZ e I. GONZÁLEZ (eds.): *Ciencia, Técnica y Estado*, Ministerio de Educación y Sociedad Española de Historia de las Ciencias, Madrid, 1990, pp. 31-43.

³⁵ Reflexión que habría que complementar con la “ciencia espectáculo”, valoración que al parecer primó en la sociedad madrileña ante las clases teórico-prácticas de química que imparte Luis Proust, o que se hace extensiva a demostraciones de las “capacidades” de la naciente rama de la electricidad.

por los “filósofos modernos”, curiosamente en contra de lo expresado en diversas ocasiones por Roger Bacon³⁶, en la contraposición entre los *experimenta luminifera* y los *fructifera*.

Los ilustrados españoles saben que el conocimiento científico y su desarrollo es inferior en España frente al de países como Francia o Inglaterra, y, aunque existen contribuciones, la productividad dista de lo deseable. Sin embargo, se da una arrogante actitud al proclamarse explícitamente la intención de «remediar con el arte los defectos de la naturaleza»³⁷. Pero la naturaleza impondrá sus leyes con frecuencia; en particular, puentes, diques o puertos serán derribados por los elementos, o comenzarán a aparecer problemas importantes en la conservación de entornos, por ejemplo debido a la deforestación provocada por los procesos metalúrgicos, lo que incitará a la dificultosa sustitución del carbón vegetal por el mineral.

*

En el ámbito castrense, disponer de una técnica, no sólo material sino también organizativa³⁸, más evolucionada que el adversario es factor que provee de ventaja competitiva crucial. La conquista del continente americano por las potencias europeas tras el descubrimiento colombino, la Corona de Castilla en particular, o, unos cuatro siglos más tarde, el desastre naval hispano en Santiago de Cuba (1898) –«la guerra se perdió en los laboratorios», se llegó lúcidamente a afirmar– son concluyentes a este respecto. Por ello no es de sorprender que la nueva técnica, perfeccionada en sus diversas facetas bajo el prisma de la nueva ciencia, se integre en la formación de los oficiales militares. En efecto, si la fortificación del Quinientos es una geometría euclidiana aplicada, en el Setecientos la geometría (también la analítica, basada en el álgebra, la trigonometría y los logaritmos) sigue desempeñando ese papel; y enriquecida con nociones de velocidad llega a definirse una cierta “cinemática militar”, de clara aplicación en los movimientos de tropas. El fuego artillero renacentista, basado en proyectiles macizos, cuyo efecto destructor deriva del impacto mecánico, se concibe como tiros “rectos”. A finales del XVII, el cálculo de las trayectorias de los proyectiles interesa especialmente, ya que las bombas explosivas acrecientan el interés por los

³⁶ La ambición de utilidad es criticada por Bacon empleando bellamente la leyenda de la heroína mitológica Atalanta (especialmente en su *De Sapientia Veterum*, 1609), que ofreció su mano a quien la venciera en una carrera. En caso contrario, al candidato le esperaba la muerte. Ayudado por Afrodita, Melanión (o Hipómenes) le ganó al arrojarle en la prueba tres manzanas de oro que, distraída de su objetivo esencial, Atalanta no se resistió a coger. Vid. Miguel Ángel GRANADA: «Valoración Filosófica de la Técnica en el Renacimiento», en M. SILVA SUÁREZ (ed.): *Técnica e Ingeniería en España: El Renacimiento*, 2004, p. 88.

³⁷ Ordenanzas para el Real Cuerpo de Ingenieros Militares, 1739.

³⁸ Donde se encuentran cuestiones de racionalización y normalización de procedimientos. Obsérvese, además, que términos como *estrategia*, *táctica*, *logística*, o aforismos como “divide y vencerás”, han pasado al mundo de los negocios civiles desde el campo militar.

tiros por el segundo sector, o tiros “parabólicos”. Es decir, la dinámica aplicada al diseño y operación de estas “máquinas” gana interés, como también ocurre en el diseño de buques con determinadas capacidades de maniobra, por ejemplo. Finalmente, en la tradición de los «maestros de hazer cartas» y cosmógrafos renacentistas, los ingenieros militares y los oficiales de la Marina del XVIII, siempre cartógrafos, han de formarse en la nueva cosmografía, así como en el manejo de innovadores instrumentos técnicos de medida, sus cada vez más precisos “ojos”. De importancia crucial son asimismo los problemas de logística, necesitados de una aritmética contable adicionada de la consideración de recursos y costes para establecer programas de aprovisionamiento (siempre en el compromiso coste económico-rapidez de servicio)³⁹. La barcelonesa Academia de Matemáticas del Ejército de Tierra adopta como lema (sin duda simbólico e innovador) *Nunc Minerva, postea Palas*, es decir, las operaciones bélicas en su conjunto, no sólo la fortificación, han de emplear los saberes científicos disponibles.

Ahora bien, interesados los mandos en resultados técnicos inmediatos, imbuidos de una mentalidad algo cortoplacista frente a la que desarrollará la más joven Academia del correspondiente cuerpo galo (Mézières, 1748), no se dejará espacio a la especulación. Ya en 1739, el *Reglamento, Ordenanza e Instrucción de S. M. para la subsistencia, régimen, y enseñanza de la Real Academia Militar de Matemáticas establecida en Barcelona* es explícito al respecto (art. 54), buscándose «la instrucción de las tropas sólo en las partes de las matemáticas concernientes al arte de la guerra, tomando de ellas sólo lo preciso a este intento, prefiriendo siempre lo útil a lo deleitoso». Las enseñanzas regladas que se pusieron en marcha tanto en el Ejército como en la Marina, rasgo innovador de este Siglo de las Luces, constituyeron una aproximación exitosa, incluso brillante a corto y medio plazo, pero su utilitarismo –particularmente en el Ejército– cercenó la adecuada renovación en algunos casos. Una vez más, es el complejo problema de determinar las direcciones e intensidades de la formación científica en ámbitos técnicos superiores.

Incluso avanzado el reinado de Carlos III, más que hacer descansar las enseñanzas científicas en el Ejército o la Marina, lo que se instrumenta es su propia modernización técnica. En paralelo, en la vía civil se tiene una universidad que, con excepciones, es manifiestamente escolástica, más medieval que contemporánea, siendo singular el papel de la Compañía de Jesús, auténtica multinacional impuesta en los nuevos saberes. El carácter vanamente especulativo de las enseñanzas de la mayoría de las instituciones civiles provoca desconfianza en los gobernantes, chocando con la urgencia que la Corona desea dar a la renovación técnica y científica. Es sintomático

³⁹ Esta problemática tardará un par de siglos en ser formalizada en la incorrectamente denominada *investigación operativa*, disciplina que adquiere carta de naturaleza durante la segunda guerra mundial, para establecer el óptimo empleo de los recursos disponibles, realizando una adecuada «*investigación de operaciones* ‘militares’».

que el generalizado desdén universitario por las matemáticas (puras y mixtas) fuese compensado por un importante cultivo en academias militares, que incluso emplean el término en su denominación, como la varias veces mencionada Real y Militar Academia de Matemáticas de Barcelona.

Dicho esto, hay que reconocer que, en 1718, las ordenanzas del joven Cuerpo de Ingenieros Militares le atribuyen funciones técnicas civiles (camino, puentes, puertos, canales, hospitales). De ello se desprende una mayor confianza del monarca en el Ejército frente a las instituciones civiles. Entre las razones de esta opción puede recordarse que Felipe V es el gran impulsor del ejército moderno español. Crea estructuras permanentes (regimientos, la Real Armada...) y fomenta su actualización técnica. Para ello, y con el objeto de dignificar la milicia heredada del XVII, que no estaba singularmente prestigiada, impuso a la nobleza (básicamente, segundones o nobleza baja) en la oficialía (1704) como estamento estructurador de la institución. Su ejército nobiliarizado, “eslabón” entre la Corona y el pueblo, cumple con el doble papel de defensa y vertebración del territorio, así como de fomento en el nuevo Estado. La lealtad, fidelidad, obediencia debida y eficiente disponibilidad merced a consolidadas estructuras organizativas del Ejército y la Marina fueron decisivas para la mencionada atribución de competencias. Además, desde esta concepción monárquica, la financiación de las actividades encontraba cauces bien establecidos, lo que simplificaba su gestión administrativa.

Pero tanto, la gaditana Academia de Guardias Marinas, como la barcelonesa del Ejército de Tierra, y también las de Artillería creadas en 1751 en esas mismas ciudades, admiten a unos cuantos civiles en sus clases, de donde, aunque marginalmente, diríase que como subproducto se aprecia una clara opción educativa que trasciende lo meramente castrense. De los seis primeros alumnos de la Real Academia de Geometría Subterránea y Mineralogía de Almadén, tres fueron civiles seleccionados por Pedro de Lucuce (1777) en su Academia Militar de Barcelona. Curiosamente, los alumnos y profesores de la academia civil almadenense demandarán la asimilación militar, prueba del prestigio de la institución castrense, amén de algunas ventajas materiales y sociales que ello les proporcionaba, como es el uso de uniforme. Petición concedida por el monarca, los alumnos, inicialmente denominados «profesores matemáticos», pasarán a ser conocidos como «cadetes».

La militarización de los saberes científicos exhibirá las limitaciones de la opción, pues, naturalmente, para un soldado lo primero son sus funciones castrenses, siendo más fáciles los ascensos en campañas militares o situaciones de mando. Así, el sistema docente e investigador sufrirá los múltiples conflictos bélicos que jalonan el siglo: los empleos en las academias, observatorios o laboratorios no eran los más adecuados para ascender en las carreras castrenses, de donde a veces se encuentran comprensibles reticencias para dedicarse a estas nobles funciones.

Fruto tardío de esta concepción militarizada de las funciones científico-técnicas es la creación como militar del Real Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos de Estado

(1796). Pensado como civil, sus integrantes serán notoriamente menos sensibles a cuestiones como indumentarias castrenses o «sueños bélicos y galantes», comprensibles preocupaciones prioritarias de los jóvenes guardias marinas, como apuntó M. Sellés en su tesis doctoral. Por otro lado, en explicación de Salvador Jiménez Coronado, director del Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos, el esfuerzo intelectual requerido y las magras perspectivas de desarrollo profesional desmotivaban especialmente a los menos vocacionales alumnos de buena cuna.

Bajo Carlos III se produce la expulsión de los jesuitas (1767), lo que contribuye a secularizar la enseñanza. Las magníficas instalaciones de la Compañía son reutilizadas con frecuencia para potenciar el sistema educativo y de investigación civil. Baste reflejar que en Sevilla pasan a constituir la sede de la Universidad hispalense; las de Vergara contendrán el Real Seminario de Vergara, institución de enorme interés, con decidida ambición investigadora donde trabajan Luis Proust, Francisco Chabaneau y los hermanos Elhuyar; o el antiguo recinto del madrileño Colegio Imperial se dedica a los Reales Estudios de San Isidro. En el ámbito de la ciencia y la técnica, la lista de instituciones civiles creadas en este siglo en España comprende, entre otras muchas, el Real Jardín Botánico, el Gabinete de Historia Natural de Madrid, la Academia de Almadén o la Escuela de Caminos y Canales, así como diversas juntas (particulares) de comercio y reales sociedades económicas de amigos del país. Las primeras son parte del programa de “saberes superiores” centralizados; los dos últimos tipos de instituciones corresponden al más difícil programa de crear una cultura técnica moderna a lo largo y ancho del país, *in extenso*.

UNA PERSPECTIVA DEL VOLUMEN

Este primer volumen dedicado al Siglo de las Luces está en gran parte centrado en la institucionalización, conocimientos, saber hacer y patrimonio legado por los grandes cuerpos técnicos del Ejército y la Marina, así como por los arquitectos “titulados”. Se presenta organizado en doce capítulos que se pueden contemplar estructurados en tres partes. Los seis primeros abordan cuestiones generales, abocetando un marco para el conjunto. De este modo, Víctor Navarro Brotons establece el alcance de la tradición seiscentista hispana en el ámbito de las disciplinas físico-matemáticas. Apunta que crisis y decadencia durante el siglo XVII no ha de confundirse con ausencia de actividad científica y técnica, mostrando que un reducido grupo de «novatores» transmite las corrientes europeas más importantes en el país; su labor en el ámbito de las ciencias físico-matemáticas fue no sólo de asimilación, sino en gran parte una continuación y profundización de lo realizado previamente. El segundo capítulo, debido a Siro Villas Tinoco, incide en la articulación del sistema de ciencia y técnica que se va institucionalizando y el poder político. «Utilidad pública», «honor nacional» o «prestigio internacional» confluyen entre las motivaciones de un vasto programa de recuperación que termina situando a la ciencia y la técnica hispanas en condiciones “próxi-

mas” a las alcanzadas por las potencias europeas. Si bien hubo brillantes resultados a corto plazo, no se consiguió arraigar suficientemente la infraestructura científica y técnica creada. Irina Gouzevitch y Hélène Vérin presentan una perspectiva de conjunto sobre la ingeniería en Europa. Plantean reflexiones abiertas sobre el ámbito en el que debe inscribirse la ingeniería,   el físico-matemático o el socio-económico?, sobre el incipiente y a la vez emblemático uso como elemento diferenciador de los conocimientos científicos, o sobre su evolución espacial y temporal. Las estrategias de apropiación de los conocimientos, así como la puesta en marcha del oficio de ingeniero son analizados en un esfuerzo integrador dentro de la diversidad subyacente. En particular, resalta la natural emergencia y diversificación de tipos de organismos profesionales durante ese siglo. En España la ingeniería se institucionaliza en forma de cuerpos del Estado. Al proceso de creación, diferenciación y segmentación en cuerpos especiales, a la aparición de conflictos competenciales intercorporativos y a los mecanismos de enseñanza reglada que se ponen en marcha para los diversos ramos, así como para artilleros y arquitectos, se dedica el cuarto capítulo, que con el objeto de proporcionar visiones de conjunto de las múltiples creaciones institucionales tiene una mayor extensión. La predominancia de cuerpos militares se evidencia en el uso de uniformes castrenses, algo que, como se ha dicho, también emplearán los «geómetras subterráneos» (ingenieros de Minas), especialidad nacida en el ámbito civil, a la que se traslada esta práctica social centroeuropea.

Los dos últimos capítulos de esta primera parte, debidos a Pedro   lvarez de Miranda y Arturo Ansón Navarro, se centran en dos lenguajes: en el léxico “técnico” y en el lenguaje arquitectónico, es decir, en las dimensiones ling  stica y est  tica, respectivamente. La lengua y su evolución dictada por el progreso científico y técnico es el objeto del primero. Se realizan reflexiones que abarcan desde las “voces facultativas” a los diccionarios de voces “técnicas”, que ya aparecen a finales del siglo XVII como ampliación de los glosarios de «términos oscuros y dificultosos» renacentistas. Además, se aborda la peculiar dimensión ling  stica que tiene la acu  naci  n del adjetivo *técnico*. En el aspecto est  tico, la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando tiene entre sus funciones primordiales el imponer el denominado «buen gusto», lenguajes clasicistas, presididos por la racionalidad ilustrada, que encuentran su referente en la contenida elegancia de la Antigüedad –que aflora en estado puro en Herculano (1738), Pompeya (1748) y Estav  a (1749)⁴⁰– o del Renacimiento. Pero, lejos de existir un lenguaje   nico, Ansón subraya la diversidad y evolución de las concepciones est  ticas en el ámbito arquitectónico en ese período. Si bien los ingenieros militares se desenvolvían con antelación en esas esferas est  ticas, no se evitarán los conflictos de competencias entre ingenieros y arquitectos, profesiones en proceso de afirmación y diferenciación. Con el final del siglo se puede afirmar que arquitectura

⁴⁰ Descubiertas y tenazmente excavadas por el zaragozano Roque Joaquín de Alcubierre (1702-1780), ingeniero militar que llegaría a Mariscal de Campo en Nápoles.

civil e ingeniería militar forman ramas con intereses disjuntos, pero la «polémica ingenieros (civiles)-arquitectos» surgirá con fuerza.

La segunda parte del volumen, dedicada a la obra pública civil y militar, arranca con el séptimo capítulo. Horacio Capel Sáez pone de manifiesto parte del enorme espectro de actuaciones que el Real Cuerpo de Ingenieros de los Ejércitos y Plazas desarrolla, desde la ordenación del territorio, pasando por la morfología urbana, hasta el diseño de edificios. Su implicación en infraestructuras que podríamos denominar de doble uso civil y militar, como caminos, puentes, canales o puertos, es fundamental en este siglo. Ello choca en cierto sentido con el concepto vitrubiano y civil de arquitecto que desea desarrollar la fernandina Academia de Bellas Artes. A veces diseñadores de catedrales, hospitales, palacios o viviendas, los ingenieros militares constituirán la corporación técnica más activa de la Corona en todo lo relacionado con el territorio, comprendiendo su defensa y control, su ordenación, e incluso el fomento económico. Pero la amplitud de funciones que les fueron asignadas hace insuficientes sus posibilidades de actuación, lo que facilita la participación de los arquitectos en las obras públicas, así como la creación de otros cuerpos de ingeniería. Como se afirma en el texto, entre otras cosas, «lo que se instaura en el siglo XVIII es una nueva división del trabajo entre arquitectos e ingenieros». El examen sectorial de las realizaciones civiles más importantes es el objeto del capítulo de Juan José Arenas. Considera caminos, puentes y construcciones hidráulicas (como presas, canales, abastecimiento de poblaciones o puertos). En su conjunto se observa con claridad un nuevo clima de atención a las realizaciones que tienen por objetivo vertebrar el territorio, pero a la vez un cierto desorden operativo. Desde un punto de vista meramente técnico, en la ingeniería de puentes se constata que estructuralmente los “nuevos” diseños son todavía renacentistas, afirmación que tiene sus excepciones (en el Canal Imperial de Aragón, por ejemplo). En el ámbito de una especialidad tan hispana como la ingeniería de presas se observa la coexistencia de desarrollos en el marco de tradiciones peninsulares y su evolución “natural” (en Extremadura, Aragón o el País Vasco, por ejemplo), con otros que suponen una cierta amnesia con respecto al sensato saber hacer heredado, como ocurrirá en Puentes (Lorca) o en el Gasco (Guadarrama). Uno de los rasgos más singulares de la política de obras públicas del Setecientos es la decidida apuesta por la construcción de canales, en particular los que contemplan la navegación; es decir, los realizados pensando en facilitar el transporte y la comunicación, en articular el territorio. Más que un análisis tipológico y constructivo de las obras, objeto del capítulo anterior, Guillermo Pérez Sarrión aborda la relación entre el objeto técnico y el entorno socio-económico, a través de tres construcciones importantes. A diferencia de la ciencia, la técnica no se puede circunscribir a un laboratorio: tiene su razón de ser en esa interacción con la realidad circundante, en el mencionado «remediar con el Arte los defectos de la Naturaleza», que proclaman altivamente las Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros Militares, o en la construcción del «paisaje artificial» que deseamos, al decir de Ortega y Gasset. Las dificultades orográficas del solar

peninsular, la irregularidad e insuficiencia de la pluviometría, así como la escasez de técnicos hidráulicos adecuadamente formados plantearán problemas a veces insuperables. Sólo uno de los dos grandes canales nacionales se terminará en la época; la navegación será marginal en ambos, siendo por el contrario fundamental la reforma agraria que posibilitará el Imperial de Aragón, hoy además suministrador decisivo del agua de boca a la ciudad de Zaragoza. La defensa del territorio necesita de enclaves fortificados a lo largo y ancho del mismo. Fernando Cobos aborda el tema en el décimo capítulo. Enlaza la herencia renacentista con las evoluciones del Seiscentos hasta llegar a la Ilustración, afirmando sonoramente que «el español será, posiblemente, el imperio que más fortificaciones haya construido en la historia de la humanidad y su arquitectura ha marcado el paisaje de sus dominios tanto o más de lo que lo hizo la romana con los suyos». En esencia, el capítulo plantea razones y métodos del diseño, observando la forma en que se incorporan planteamientos analíticos, con lo que se pretende superar lo ofrecido por la tradicional geometría euclidiana.

La tercera parte del volumen se dedica al ámbito de la Marina, sobre la que recaía el mantenimiento de la comunicación física del imperio. Desde una situación de radical insuficiencia, durante el siglo XVIII España consiguió afirmarse como tercera potencia marítima de Europa. Por un lado, Manuel Sellés aborda la navegación, donde por fin los problemas del cálculo de la longitud recibirán solución, merced a nuevos procedimientos e instrumentos. La resistencia a incorporar un mayor aparato analítico para los cálculos por parte de los pilotos llevó a tildar de «senistas» a los que abrazaban la innovación, del mismo modo que en el siglo XVI se denominaba «pilotos de salón» a los cosmógrafos. «Senistas» y «oficiales científicos» (frente los oficiales de «caza y braza») son síntomas de la resistencia social a la tecnificación en la Marina, algo que también ocurrirá en la Artillería, donde se hablará de oficiales «sublimes» (los que cursaban esos estudios de “postgrado”). «Senistas», oficiales «científicos» y «sublimes», como antes «novatores», ilustran la resistencia en la transición a los nuevos tiempos. Si la cartografía renacentista tiene sabor “salino” en sus orígenes, la cartografía marina dieciochesca será también de crucial importancia, en particular debido al importante programa hidrográfico desplegado. El esfuerzo técnico desarrollado por la Marina a instancia del poder político fue colosal, pues se le encargó, además, la producción de las máquinas más complejas del siglo: los navíos. Construcción y uso –pilotaje– son aspectos complementarios de una realidad en la que hubo que apostar por la creación de “islotés” técnicos avanzados: arsenales –las más importantes instalaciones manufactureras, donde no sólo se fabricaban sino que también se reparaban los buques–, fundiciones de cañones, talleres de instrumentos de precisión... Las iniciativas no siempre culminaron con éxito, aunque a veces se saldó positivamente la realización de atrevidos proyectos, como los diques secos de carenar de Cartagena. Los primeros diques en un “mar sin mareas” terminaron impulsando la introducción de máquinas de vapor para el achique, que, aunque de simple efecto, son las primeras de que se tiene constancia en ese tipo de aplicación. Julián Simón Calero presenta

en el capítulo final la compleja evolución del diseño y construcción naval, estructurándola en cuatro períodos estilísticos. Jorge Juan representa el tránsito de la construcción empírica a la simultáneamente iluminada por el saber científico, el saber práctico y la creatividad, es decir, a la ingeniería naval. Teorías, tratados y producción son aspectos a los que se dedica atención, así como a los propios arsenales, los peninsulares departamentales en particular.

Nos queda agradecer el esencial patrocinio del Gobierno de Aragón, a través de su Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad. Jesús Santamaría Ramiro, director general de Investigación, apoyó el curso que con carácter de coordinación preparatoria tuvo lugar en la Institución Fernando el Católico en octubre de 2004, así como el arranque del primer volumen de los dos que ahora informan sobre este Siglo de las Luces vital, proyectista e innovador. Pero el plan inicial sobre este gran siglo del progreso de la humanidad (trazado en 2003) requería más que una práctica duplicación. Por un lado, obviamente sin pretender de ningún modo exhaustividad, se encargó la redacción de nuevos capítulos que ayudaran a completar la visión de tan poliédrica centuria. Por otro, era importante reforzar el programa de ilustraciones, en absoluto con el legítimo objetivo de hermosear los volúmenes, sino con el de contribuir a educar la lectura gráfica del período. No en vano el dibujo es uno de los lenguajes esenciales de la técnica y la ingeniería. Asimismo, proyecto cultural en estado “puro”, dentro de nuestras limitaciones, convenía esforzarse en reflejar fotográficamente aunque fuese una mínima parte de ese patrimonio documental y monumental heredado, afortunadamente cada vez más valorado. Finalmente, si con el Greco el retrato civil adquiere autonomía en España como género pictórico no cortesano, con Francisco de Goya alcanza las más diversas capas de la sociedad: técnicos, arquitectos e ingenieros, en particular. En algunos casos se ha traído en óleos o grabados el rostro de esos profesionales, quizás la imagen que de sí mismos se formaban o quisieron transmitir. Varias son obras del maestro de Fuendetodos, también las hay de otros grandes pintores dieciochescos, nacionales o extranjeros (J. Amiconi, A. R. Mengs o F. Bayeu, por ejemplo), o copias-recreaciones del siglo XIX (R. Tejeo, entre los documentados), siendo bastantes los retratos anónimos. No se ha pretendido la recreación estética en las composiciones pictóricas, lo que necesitaría de presentaciones aisladas con mayor tamaño, y para lo que se dan las referencias sobre su ubicación. A veces se reproducen parcialmente las obras, ya que el objetivo es sólo “acercar” a algunos de los personajes que nos ocupan.

En conjunto, a través de los veintidós capítulos que suman el presente y el siguiente volumen de la colección, y que trazan un bosquejo de esta activa y atractiva Edad de la Razón en España, se incluyen más de trescientas ilustraciones; dado que muchas contienen diversas imágenes, en total se superan las quinientas. En el sustancial redimensionamiento temático del proyecto original ha sido decisiva la comprensión de Fernando Beltrán Blázquez, director general de Tecnologías para la Sociedad

de la Información del Gobierno de Aragón, ex-alumno de los tiempos heroicos en que aterrizamos en la Universidad de Zaragoza. Sin su decidido apoyo esta aventura no habría podido ver la luz. Nuestro reconocimiento también a las tres instituciones editoras, por la absoluta libertad operativa que nos han concedido siempre. Al Centro Politécnico Superior, al Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas, y a la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, en particular a José Antonio Simón Lázaro, por su eficiente ayuda. Aunque los créditos gráficos se detallan con las ilustraciones, conste aquí nuestro general agradecimiento a todas las instituciones depositarias del rico patrimonio documental reflejado. Entre otros, al Ministerio de Cultura, del que dependen en particular el Archivo General de Simancas y la Biblioteca Nacional, así como al Ministerio de Defensa, singularmente al Servicio Histórico de Cultura Militar y al Museo Naval de Madrid. Finalmente, nuestro reconocimiento y afecto a la Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País, a cuyas puertas llamamos para conseguir algunas imágenes, y que poniéndonos irrestrictamente al alcance sus riquísimos fondos nos permitió hacer un complejo reportaje fotográfico del que hay trazas a lo largo de muy diferentes capítulos de los dos volúmenes.

Manuel Silva
Universidad de Zaragoza
De la Real Academia de Ingeniería