

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

EL RENACIMIENTO

De la técnica imperial y la popular

(2.^a edición corregida y aumentada)

TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

TÉCNICA E INGENIERÍA EN ESPAÑA

I

EL RENACIMIENTO

De la técnica imperial y la popular

Alicia Cámara Muñoz	M. ^a Jesús Mancho Duque
Jordi Cartaña i Pinén	Pedro Mora Piris
Fernando Cobos Guerra	Fernando Sáenz Ridruejo
Jesús Criado Mainar	Julio Sánchez Gómez
Mariano Esteban Piñeiro	Manuel Silva Suárez
Nicolás García Tapia	M. ^a Isabel Vicente Maroto
Miguel Á. Granada Martínez	Siro Villas Tinoco
Alexander G. Keller	

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

Publicación número 2.829
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

SILVA SUÁREZ, Manuel
El Renacimiento: De la técnica imperial y la popular / Manuel Silva Suárez. —
Zaragoza: Real Academia de Ingeniería : Institución «Fernando el Católico» :
Prensas Universitarias, 2008

760 p. : il. ; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España ; I)
ISBN: 978-7820-XXX-X

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

© De los textos, sus autores.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico»,
Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.

Cubierta: Diversos modelos de alambiques recogidos por Miguel Agustí en el libro
Secrets d'Agricultura, casa rústica i pastoril (Barcelona, 1617). El uso más
común de estos ingenios era la destilación de licores. No obstante, con el
objetivo de conseguir restaurativos medicinales, también se empleaba para
conseguir extractos de flores, cortezas, frutas y raíces, e incluso de animales
como ranas, garzas, babosas u hormigas.

Contracubierta: Para romper una pieza defectuosa de artillería se construía un peque-
ño horno con el que se le calentaba por el lugar deseado. Una vez alcanza-
da la temperatura adecuada se rompía con golpes de maza. Con objeto de
avivar el fuego se solía emplear una pareja de barquines como los mostra-
dos. (*Discurso del Capitán Cristóbal Lechuga, en que trata de la Artillería y
de todo lo necesario a ella con un tratado de fortificación y otros adverti-
mientos*, Milán, 1611; fig. 27).

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-7820-975-0 (2.ª edición ampliada del volumen I)

Depósito Legal: Z-XXXX-08

Corrección ortotipográfica: Marisancho Menjón y María Regina Ramón

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

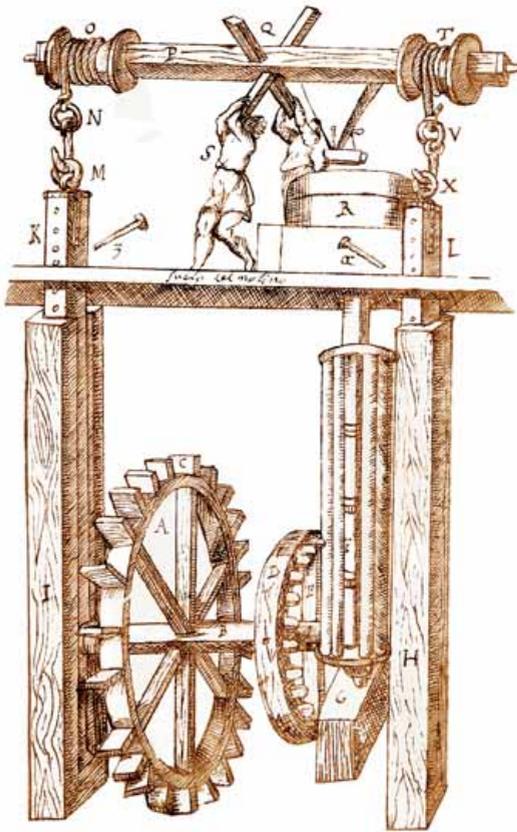
IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

Nota previa a la segunda edición

Tocado por Fortuna, al aglutinar un importante esfuerzo colectivo de especialistas del primer nivel, el arranque de esta colección, para algunos enciclopedia, se saldó con el volumen I agotado antes de concluir el año de haber visto la luz. La crítica, en unos casos de amigos, en otros de especialistas cuya amistad ha sido un regalo posterior, la ha acogido con interés y satisfacción¹. Por ello, desde el mismo 2005 hemos mantenido la firme intención de reeditararlo, algo que ahora se acomete limitándonos, por un lado, a la corrección de erratas de los textos previos, en algún caso a actualizar muy someramente la bibliografía, y por otro a la adición de dos capítulos «y medio» y casi una quincena de apuntes biográficos. Ello permite completar un tanto la esencialmente parcial impronta que un solo volumen sobre tema tan amplio y apasionante puede ofrecer.

Realidad poliédrica, compleja y consustancial al desarrollo de las civilizaciones, *la técnica es cultura e importante motor cultural*. Por ello, esta colección la aborda más allá de las perspectivas «internas», las que se centran exclusivamente en la concepción, el análisis y la síntesis de «artefactos». De este modo, se tienen en cuenta desde sus lenguajes de base (la lengua, el dibujo y las matemáticas, esencialmente), a conceptos, métodos y realizaciones singulares, y el patrimonio subsecuente. Por otro lado, se ambiciona poner en relación su desarrollo con el de mundos como el de las ideas, el de las valoraciones estéticas, el de las profesiones, o el de las consecuencias sociales del quehacer técnico. Es decir, se aspira a bosquejar una visión global y consistente, por naturaleza incompleta, de las actividades técnicas acometidas, y de la sociedad en que se desarrollan. Ciertamente con reflejos baconianos, en ocasiones

¹ Reflejos del concepto que ha guiado el diseño de la colección, en lo que sigue se adoptan a veces variaciones menores de expresiones empleadas por algunos de los revisores de la primera edición del volumen I en revistas, nacionales o internacionales. En particular de: G. LUSA, *Quaderns d'Historia de l'Enginyeria*, 2005; A. T. REGUERA RODRÍGUEZ, *Biblio 3W*, 2005; J. ARACIL, *Ingenio*, 2005; F. SÁENZ RIDUEJO, *Cuenta y Razón, del pensamiento actual*, 2005; M. FERNÁNDEZ-CAÑADAS, *LLull*, 2005; P. BRIOIST, *Journal de la Renaissance*, 2006; L. VILLENA, *Castillos de España*, 2006; M. P. DIOGO, *Nuncius*, 2007.



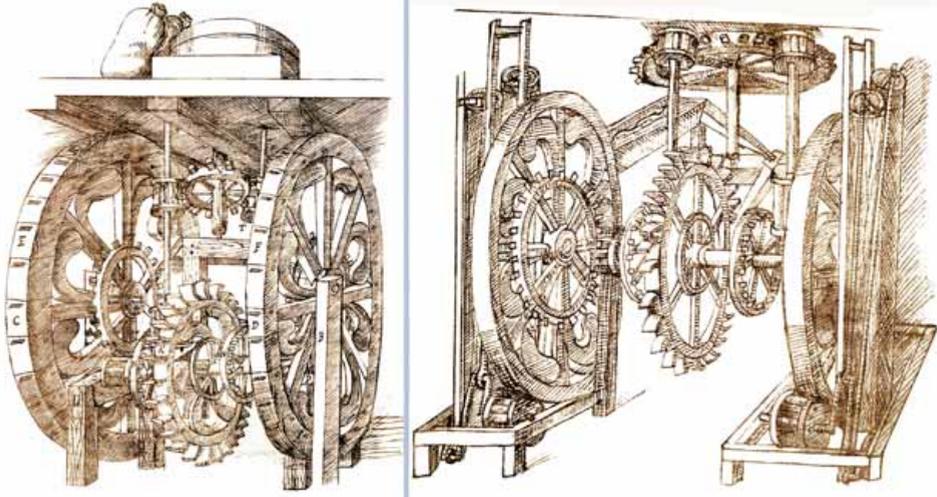
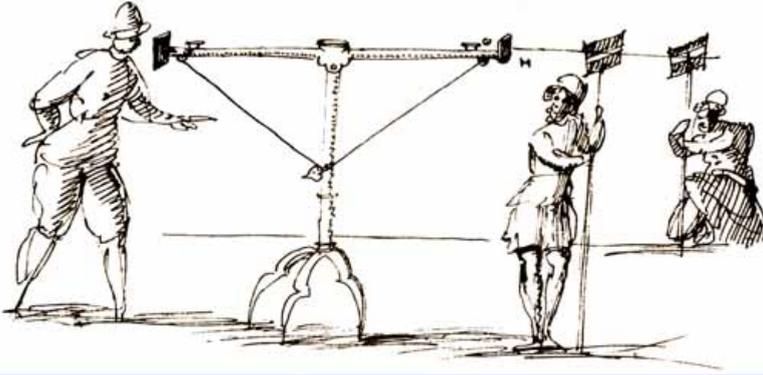
0.1. Una de las tres invenciones presentadas para graduar la elevación de una rueda vitruviana, lo que en ríos sujetos a grandes crecidas permite un funcionamiento óptimo del molino. Empleado en la cubierta de la primera edición de este volumen, en 2004, el dibujo ilustra el manuscrito R. 5.794 (pág. 319) de la Colección Torner, de Barcelona. Junto con Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas (mss. 3372-3376, Bibl. Nacional de Madrid) y el Trattato dell'Acque (códice «Panciaticchi 200», Bibl. Centrale de Florencia), los tres escritos en castellano, son las versiones hoy conocidas del más importante tratado de ingeniería hidráulica renacentista de Europa. Excluidas las construcciones euclidianas del apéndice del código catalán, «Principios de Geometría», de las 530 figuras diferentes que aparecen en el trío, 258 se observan en los tres manuscritos, entre ellas la aquí mostrada. Una veintena no se contiene en el código matritense, el más completo. (La contracubierta de la edición de 2004 es la parte superior de la ilustración 1.3).

trasluce la necesidad de sobrepasar el limitado esquema unidireccional que sitúa a la ciencia o teoría en primer lugar, y después la técnica o práctica como corolario. La multitud de ejemplos históricos de ello es elocuente.

Los textos que se reúnen son, por un lado, síntesis enraizadas en largas trayectorias de investigación y, por otro, nuevas líneas que, incluso si presentadas por primera vez, muestran una notable madurez. En este sentido, se ofrecen aspectos inéditos, reuniendo ideas raras veces puestas en contacto hasta el presente. Los tres ejes principales alrededor de los que se organizan los materiales son: el epistemológico y hermenéutico; los procesos de afirmación e institucionalización de la ingeniería y «profesiones conexas», y la consideración de algunos sectores técnicos trascendentes, a los que la ingeniería ha contribuido de forma decisiva.

Aunque forzosamente incompletos, la colección pretende plantear análisis multidisciplinarios, abordando aspectos filosóficos, sociológicos, técnicos, científicos, estéticos y lingüísticos, en periodos históricos sucesivos. Más que la yuxtaposición de contribuciones específicas, se intenta ofrecer una visión panorámica y plural. Es empresa que pretende poner a disposición de los lectores un importante material

documental y bibliográfico, a la vez que proponer pistas de reflexión que van más allá de la historia de la técnica (tomada en sentido restrictivo), en la dirección —pero sin invadirlas— de la historia económica, la social y la política. Nuestro propósito es interesar no solo a los especialistas de la historia de la técnica y la ciencia en España, también a los que se preocupan por esta temática a nivel internacional, incluso a ingenieros, arquitectos e historiadores en general.



0.2. Dibujos no contenidos en Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas (h. 1585-1610, con mayor probabilidad h. 1590-1605): (1) Nivel de agua (libella aquaria), que verosíblemente no aparece «por olvido» o «dejación» de los copistas. Esta imagen pertenece al código Panciatichi 200 (posterior a 1585, probablemente anterior a 1590). Análisis paleográficos, lingüísticos, gráficos y diversas circunstancias históricas permiten atribuírselo a Tiburcio Spannocchi, «ingeniero del rey» que sirvió a las órdenes del Marqués de Santa Cruz; (2 y 3) Complejos dispositivos para moler y elevar agua. A pesar del interés que supone la presencia de una rueda hidráulica de eje horizontal con «palas curvas» (en el centro abajo), se dice que funcionan en aguas muertas, buscando una suerte de movimiento continuo. Solo aparecen en el Código Torner (h. 1590-1620). Ninguno de los tres códigos conocidos es copia directa de otro, por lo que hubieron de existir otros.

Con respecto a la primera edición, los grandes cambios introducidos en este volumen han sido: desdoblar el anterior capítulo sobre «El arte de navegar y la construcción naval» en dos (ahora capítulos 14 y 15). No se afectan sustancialmente los contenidos en el primero, duplicando la atención prestada al segundo en el ámbito hispano-portugués, de reinos que se unifican bajo Felipe II, a comienzos de los años ochenta del Quinientos. La artillería ve ahora reforzada su presencia con el análisis de un significativo conjunto de tratados escritos por súbditos peninsulares de la Corona. Una de las ausencias de las que nos lamentábamos en la presentación de la primera edición, «lo relativo al mundo agrario, de una importante tradición y concluyente alcance poblacional», se cubre ahora con un tratamiento basado, como en los dos casos anteriores, en la tratadística generada. Si a modo de brevísimo resumen cabe hacer un máximo común divisor de las conclusiones parciales de estos tres capítulos, es la calidad y cantidad de textos editados o manuscritos, reflejo de un saber hacer muy importante, así como su influjo en la literatura europea, tanto la coetánea, como la posterior. Conviene asimismo observar que todos estos textos fueron escritos en lenguas romances (esencialmente en castellano, también en catalán, italiano y portugués), no en latín, lengua preferente en ámbitos como el eclesiástico o el universitario.

Si en la primera edición de este primer volumen ya se evidenciaba la coexistencia de la técnica imperial y la popular, algo incluso patentizado en la cubierta de ese volumen merced a la Navegación y la Protoindustria (molienda de cereal), ahora, centrados en las adiciones, la Artillería y la destilación –evocada desde la Agronomía y geoponía– apuntan de nuevo semejante complementaridad.

Tras esta nota previa, el lector encontrará la presentación inicial, simplemente matizada en algún punto (básicamente lo presentado entre corchetes, []) con objeto de reflejar la materialidad de ese volumen.

Por prudencia, terminamos haciendo explícitos solo dos de las muchas «ausencias» adicionales que en un futuro nos gustaría ver en vías de superación. Nos atrevemos a enunciarlas por si Fortuna se acuerda otra vez de este volumen y algún día se hace conveniente una edición nuevamente ampliada: el diseño y la construcción arquitectónica civil (el arte de la montea, peculiaridades de las técnicas constructivas hispanas...) y el arte de la pesca (navíos, almadrabas, jábegas, etc.) e industrias derivadas (salazones, escabeches, ceciales, etc.). ¡Que así sea!

Manuel Silva
Universidad de Zaragoza
De la Real Academia de Ingeniería

PRESENTACIÓN
MODERNIDAD Y TÉCNICA
EN EL IMPERIO

Desde una nueva confianza en la razón, a partir de la recuperación de valores de la Antigüedad Clásica propugnada por el Humanismo, en el Renacimiento se asiste a un proceso de modernización vigorosamente dominado por la idea de progreso. Partiendo de una nostalgia erudita, se termina mostrando el orgullo por la superación no solo del saber disponible en la Edad Media, sino de la herencia de los clásicos. La sustitución de la autoridad como criterio científico-técnico por la experiencia y capacidad de raciocinio personal es una de las grandes aportaciones de un periodo de transición y replanteamiento, que va mucho más allá de la mera recuperación de la cultura greco-romana. En el marco de la técnica hispana son ejemplos de esta aludida superación: el «arte de navegar», que, empleando palabras de Martín Cortés, conseguirá «dar guía a una nao engolfada donde solo agua y cielo verse puede»; la navegabilidad, antes impensable, de ríos como el Tajo hasta Toledo; la irrigación de nuevos territorios mediante presas como la de Tibi, récord mundial de altura hasta el siglo XVIII; o la explotación con eficiencia inimaginable de recursos mineros, «la savia del imperio», con mejoras sustanciales tanto en los procesos extractivos como en los metalúrgicos, la amalgamación en particular.

El «arte de navegar» madurará merced a la aplicación del conocimiento cosmo-gráfico acumulado desde la Antigüedad y perfeccionado en la Edad Media. Por el contrario, la metalurgia se desarrollará de forma esencialmente empírica, sin un esquema conceptual director. Por su parte, la ingeniería de fortificación y la artillería, o «el arte de las máquinas», comenzarán a emplear las matemáticas de forma más o menos rudimentaria, utilizando en primer lugar la geometría euclidiana y la aritmética.

Frente a la rígida diferenciación entre artes liberales y mecánicas, con origen en el mundo clásico, se produce una cierta dignificación de las segundas, generándose nuevos perfiles profesionales de carácter técnico enmarcables en las «artes liberales»: ingenieros, arquitectos o geógrafos-cartógrafos, por ejemplo. El Renacimiento es época de inflexión en la que se complementan descubrimientos geográficos mayores y avances técnicos diversos, configurándose una nueva valoración de la ciencia y la técnica, tanto por su utilidad práctica como por su contribución a un mejor conocimiento de la Naturaleza. Periodo de gran capacidad técnica creadora, son relativamente escasas las grandes invenciones. Las tres innovaciones mayores

son: los descubrimientos geográficos, que necesitan de importantes mejoras en procedimientos de pilotaje náutico, en instrumentos de medida, en cartografía y en arquitectura naval, lo que permite una primera aproximación integral a la realidad del globo terráqueo; la artillería, primero forjada y después fundida, que renueva profundamente el arte militar, es impulsora de cambios radicales en las técnicas de fortificación y de procesos de concentración del poder político; y la imprenta, que «democratiza» no solo la palabra, sino también la imagen, consagrándose como vehículo de comunicación de un poder jamás soñado. La difusión del conocimiento técnico impulsada por la imprenta atenta contra los procesos de transmisión oral en el tajo o taller, paradigmáticos de la tradición gremial.

La realidad de las contribuciones científico-técnicas hispanas del siglo xvi se puede apreciar fácilmente, ya que, como afirma J. M.^a López Piñero, «fueron traducidas a otros idiomas o reimpresas en otros países 206 obras científicas españolas, es decir, más de una cuarta parte del total. Dichas obras alcanzaron hasta 1800 la importante cifra de 1.226 ediciones extranjeras»¹. En otros términos, en Europa, entre traducciones y reediciones, se superó ampliamente el millar de libros científicos y técnicos hispanos en este periodo. La ingeniería y la arquitectura (militar, civil y naval), la cosmografía y el arte de navegar, el arte militar, la geografía y la historia natural, la minería y la metalurgia o la medicina son especialidades en las que las aportaciones españolas del siglo xvi y comienzos del xvii tienen especial relevancia.

El presente volumen se concentra primordialmente, pero no de forma exclusiva, en las actividades técnicas relativas a la ingeniería, «la técnica por antonomasia» al decir de Ortega y Gasset, y «oficios matemáticos» conexos. En sentido laxo, se entenderá por ingeniería el conjunto de labores precursoras de las hoy reconocidas como tal. De este modo, «machinarios» o «machinistas», mineros y metalúrgicos, «fontaneros», «niveladores de las aguas», «maestros de hacer presas» o arquitectos hidráulicos tendrán cabida como precedentes de los actuales ingenieros. En conjunto, de forma explícita o implícita, entre los perfiles profesionales técnicos que se considerarán, según la terminología contemplada por Juan de Herrera en su *INSTITUCION de la Academia Real Mathematica*, se encuentran los:

Geómetras diestros en el medir todo género de superficies, cuerpos campos y tierras [...] *Cosmógrafos* científicos para situar las tierras, y descriuir las prouincias y regiones, *Pilotos* diestros y cursados en navegaciones que sepan guiar con seguridad las flotas y poderosas armadas [...] *Architectos y fortificadores* fundados que con fábricas magníficas, y edificios públicos, y particulares ennoblezcan las ciudades, y las fortifiquen y defiendan asegurándolas del ímpetu de los enemigos. *Ingenieros y Machinistas*, entendidos en la arte de los pesos, fundamento para hazer y entender todo género de Machinas, de que la vida política y Económica se sirve. *Artilleros y maestros de instrumentos y aparatos bélicos* [...] Y así mismo *fontaneros y nivelado-*

¹ J. M. LÓPEZ PIÑERO: *Ciencia y Técnica en la Sociedad Española de los siglos xvi y xvii*, Ed. Labor, Barcelona, 1979, p. 146.

res de las aguas para los aguaductos y regadíos...Y para desaguar y beneficiar las minas de ricos metales [...] ².

Relación en la que faltan las actividades referentes al ensayo de metales y metalurgia, entonces especialidad empírica pero de gran trascendencia económica, en la que ya era conocida la importante contribución técnica de Bartolomé de Medina en el Nuevo Continente (1554-55).

En cualquier caso, al solicitar Herrera de los artilleros que «deben de saber como se funde al artillería, que mezcla lleva de metales» se hace mención al ámbito metalúrgico, pero no al extractivo-separador de minerales. Tampoco aparece reflejado el ámbito agroforestal, estableciéndose tan solo mención detallada a «el Geómetra, o Mensurador de tierras campos y qualquier genero de superficies, cuerpos, alturas [y] profundidades»³. Por otro lado, las tres bellas artes básicas aparecen reflejadas en la definición programática de la técnico-artística y civil-militar Academia Real Mathemática.

En el marco temporal, el presente volumen comprende esencialmente el reinado de los Reyes Católicos y el siglo XVI, adentrándose a veces en las primeras décadas del XVII, marcado inercialmente por el último tercio del Quinientos, periodo en el que ya se observaban síntomas de agotamiento. Habrá ingenieros nombrados por el rey, otros se autodenominarán así o serán reconocidos como tales «por el vulgo». Los designados por el rey podrán tener nombramientos de carácter permanente, o bien gozarán puntualmente de tal reconocimiento para determinadas obras. En su mayoría poseerán una formación científica destacada⁴; su misión fundamental será la fortificación, pero también participarán en la realización de obras para hacer navegables los ríos o en la construcción de canales, presas, caminos, palacios, jardines, fundiciones, ingenios y molinos. Además de los designados por el rey, otros «ingenieros» surgirán desde el artesanado o en relación con las nacientes categorías de artistas. Combinando experiencia y ciencia, serán ingenieros algunos militares como Luis de Escrivá, arquitectos como Juan de Herrera o cosmógrafos como Juan Jorge Setara. También se podrán considerar como tales algunos artesanos destacados como el fustero Jaime Fanegas, el metalista Guillén Tuxarón o el mecánico-inventor Francisco Lobato e, incluso, eclesiásticos como el carmelita descalzo fray Mariano Azaro *el Ermitaño*.

²J. de HERRERA: *Institución de la Academia Real Matemática*, Madrid, 1584, fols. 2r-3r (Ed. facsímil y estudios preliminares de José Simón Díaz y Luis Cervera Vera, Instituto de Estudios Madrileños, Madrid, 1995). Además se mencionan los: *aritméticos teóricos y prácticos, astrónomos, músicos expertos en aritmética, horologiographos* (relojeros), *perspectivos, pintores y scultores*.

³J. de HERRERA, *op. cit.*, fol. 9r.

⁴Aunque con excepciones como pueda ser el caso de Jerónimo de Borja. Referido como ingeniero, se confiesa en diversas ocasiones «hombre que no ha estudiado ni sabe latín» (v. R. GONZÁLEZ CASTRILLO: «Inventos y artificios de Jerónimo de Borja, ingeniero militar del siglo XVI», *Hispania*, LI/1, n.º 177, 1991, pp. 103-151).

El control del territorio hará que algunos se autotitulen geógrafo y arquitecto militar, arrogándose a veces capacidades como historiador, como es el caso de Leonardo Turriano, que llegó a ser nombrado Ingeniero Mayor de Portugal bajo Felipe III. Además, ingenieros de fortificación y cosmógrafos fueron frecuentemente cartógrafos. En cualquier caso, y en sentido ptolemaico, corografía-topografía es disciplina a la que también contribuyeron los ingenieros de la época. Desde un punto de vista sociológico, básicamente en el entorno de lo militar, los hubo de extracción nobiliaria como Jerónimo de Ayanz y Beaumont, e incluso de alta alcurnia, como Bernardino de Mendoza. Para artesanos «distinguidos», ser ingeniero era una forma de promoción social. En todo caso, y al igual que los arquitectos, los ingenieros no constituían una especialidad o nivel profesional bien estructurado, reconocible por una reglamentación y pruebas de entrada definidas, como ocurría, por ejemplo, con cirujanos, boticarios o pilotos de la Carrera de Indias.

Las ingentes necesidades de técnicos por parte del imperio hacen que, en los más diversos campos, se articulen políticas de captación y formación. Por un lado se contratan extranjeros, no siempre súbditos pertenecientes a otros territorios de la Corona, lo que llegó a plantear, a veces, dificultades de integración y fidelidad. En lo educacional perviven los esquemas tradicionales, a la sombra de maestros, lo que explica la existencia de algunas sagas familiares en las nuevas profesiones; pero comienzan a crearse instituciones específicas para la enseñanza de las técnicas. Particularmente importante fue la Casa de la Contratación, en su dimensión científico-técnica la primera institución gubernamental europea con funciones de enseñanza y desarrollo de un «arte». Aunque a menudo infradotada en relación con las tareas que tenía encomendadas, lo que le impidió disfrutar de un ámbito más especulativo que potenciara los desarrollos conceptuales, fue paradigmática del conocimiento en navegación y cartografía en el Quinientos, sobre todo en sus dos primeros tercios. En 1582 Felipe II fundó la mencionada Academia Real Mathematica, en la Villa y Corte. A diferencia de las universidades, y merced a la voluntad real, en las dos instituciones mencionadas la enseñanza se impartía en castellano, «para que tanto bien sea a todos más fácilmente aprendido y comunicado». No obstante, las diferencias entre las dos instituciones fueron significativas: la primera, en un sector especializado, con ciertas depreciaciones dictadas por diversas circunstancias socioeconómicas, en clara ruptura con la tradición formativa de origen gremial, impartió estudios reglados, examinando y emitiendo las oportunas licencias profesionales a los «pilotos de la Carrera de Indias», así como creó y actualizó las cartas náuticas necesarias, el padrón real en particular. La Academia matritense ni examinó ni expidió títulos, limitando su actuación a lo docente. A pesar de ser un ambicioso proyecto cuya «concepción era en lo científico tan grandiosa como el monasterio escurialense en lo arquitectónico»⁵, su alcance fue mucho más modesto,

⁵ J. SIMÓN DÍAZ: «Nueva Imagen de la Academia de matemáticas a la luz de la *Institución* de Juan de Herrera», en J. de HERRERA, *op.cit.*, p. 9.

limitándose a cuestiones relativas a la cosmografía-navegación y a la fortificación, esencialmente. En ambos casos se observa una incipiente secularización del conocimiento científico-técnico y un moderno proceso de socialización de la actividad correspondiente.

El presente texto es el primer volumen de una serie que pretende plantear análisis multidisciplinares, aunque forzosamente incompletos, abordando aspectos filosóficos, sociológicos, técnicos, estéticos y lingüísticos, en periodos históricos sucesivos.⁶ Con carácter previo al estudio del periodo renacentista, en el primer capítulo de este volumen se realiza un breve *excursus* lexicográfico donde se bosquejan reflexiones de corte histórico y conceptual en torno a términos como arte, técnica, ingeniería, arquitectura, ciencia y tecnología. Los capítulos siguientes se pueden contemplar estructurados en dos partes. En la primera se abordan cuestiones de corte general u horizontal, mientras que en la segunda se introducen diversos sectores de actividad técnica. El reconocimiento intelectual y económico de la invención completa el panorama. Además, con objeto de presentar a los personajes que desfilan por estas páginas, se ha introducido un anexo con un centenar y pico de breves notas biográficas [ahora 116, al contar las 14 añadidas en esta segunda edición].

La primera parte se abre propiamente con el segundo capítulo, donde Miguel Ángel Granada, tras los preliminares dedicados al lugar de las artes mecánicas en el conjunto del saber antiguo y medieval, y a propósito de la evaluación y *status* social de las técnicas, aborda la *Valoración Filosófica de la Técnica*, presentando los cambios acontecidos en el Renacimiento. Concluye con un examen de la reivindicación de las «artes mechanicae» por parte de Francis Bacon a comienzos del siglo xvii. Los capítulos tercero y cuarto ofrecen elementos sociológicos sobre los actores de la técnica. Siro Villas presenta la *Estructura y dinámica de un «modelo» gremial*. Parte de su organización interna, considerando el gremio en tanto que célula de producción material, elemento de integración social, instrumento de control político y factor de seguridad vital y celestial. En *La profesión de ingeniero*, objeto del análisis que ofrece Alicia Cámara en el capítulo cuarto, se expone como durante el siglo xvi, cuando la cultura del Renacimiento se expande por Europa, la profesión de ingeniero se va definiendo paulatinamente, siempre en relación con los avances científicos que permiten transformar la realidad. Se consideran especialmente los ingenieros al servicio directo de la monarquía española, los que podríamos denominar «ingenieros del rey», expertos en la guerra, pero también en la paz.

El Estado moderno, el imperio, demandó la presencia de un alto número de técnicos al servicio del poder. Pilotos, cosmógrafos, cartógrafos, artilleros, ingenieros militares y civiles..., muchas veces confluyendo varios perfiles en un mismo perso-

⁶ [La edición original de 2004 contenía 15 capítulos. Buscando una lectura coherente con lo que se presenta en esta segunda, se apuntan al pasar las novedades, esencialmente los actuales capítulos 11, 15 y 16.]

naje, eran requeridos continuamente por los Consejos Reales. En el quinto capítulo, Mariano Esteban traza el panorama de las *Instituciones para la formación de los técnicos*. Representaron los primeros intentos institucionalizados europeos para la enseñanza de las técnicas. El capítulo sexto está dedicado a la *Técnica y la Estética*: Jesús Criado se centra en los tratados de arquitectura civil. Incidiendo sobre la nueva práctica cimentada en un mayor conocimiento de la base teórica, en la que se separa con criterios racionales la labor de creación y la de ejecución material, recuerda que ello permitió la categorización de la arquitectura y la ingeniería como artes liberales.

Los dos capítulos siguientes consideran la lengua y el dibujo, dos de los tres lenguajes imprescindibles para la técnica. No todos los temas importantes podían tener cabida en menos de una veintena de capítulos. La ausencia del lenguaje matemático en tanto que disciplina autónoma, en tanto que ciencia, puede «justificarse» porque, aun siendo un lenguaje esencial, su uso en el ámbito de la técnica renacentista se reduce en gran parte a contenidos bastante tradicionales⁷, básicamente a la geometría y a la aritmética heredadas del *Quadrivium* medieval. Quede claro, sin embargo, que esta elección no supone en absoluto una minusvaloración de los desarrollos matemáticos renacentistas⁸ que posteriormente serán utilizados para representar, analizar y calcular creaciones técnicas. Además, es fundamental reseñar que el Renacimiento apunta la incipiente matematización sistemática y rigurosa de la ciencia y la técnica, transformándolas de meramente cualitativas y empíricas en cuantitativas, buscando leyes precisas y comprobables. La necesidad de *Scienza Nuova* queda bien caracterizada merced a la conocida reflexión de Galileo:

La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a comprender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar vanamente en un oscuro laberinto⁹.

Por último, cabe observar que en métodos y construcciones del dibujo, el articulador de las «artes del diseño», se reencuentra una parte significativa de las matemáticas empleadas en la época. *El lenguaje gráfico* es el tema esbozado en el séptimo capítulo. «Lingua franca» de cartógrafos, ingenieros y arquitectos, el dibujo será instrumento esencial en su consideración como ejercientes de artes liberales, ca-

⁷ Un análisis reciente se puede consultar en M. ESTEBAN PIÑERO y V. SALAVERT FABIANI: «Las Matemáticas», en J. M.^º LÓPEZ PIÑERO (dir.): *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla* (vol. 3), *Siglos XVI y XVII*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 2002, pp. 231-257.

⁸ Con contribuciones de personajes como Pacioli (1445-1517), Tartaglia (1499-1557), Cardan (1501-1576) o Ferrari (1522-1565), preocupados por la solución de ecuaciones de tercer y cuarto grado, o Stevin (1548-1620) en Flandes y Viète (1540-1603) en Francia, impulsores del desarrollo del álgebra.

⁹ *Il sagggiatore (El Ensayador)*. Dedicado al Papa Urbano VIII, el libro fue publicado por la Academia dei Lincei, ya en el siglo XVII, en 1623 (Aguilar, 1981, pp. 62-63).

paces de expresarse con un cierto grado de abstracción. El dibujo permite a ingenieros y arquitectos concentrarse en las tareas de diseño-proyecto, alejándose de la realización material, al tiempo que los cartógrafos («maestros de hazer cartas») e ingenieros «dibujan mares y tierras». La exposición se centra en un panorama basado en la representación de tres tipos de realidades tridimensionales sobre un plano: cartografía (planimetría y relieve), edificaciones y máquinas. Articulación entre la cartografía y la representación de edificios, las vistas urbanas serán también consideradas. Finalmente, en el capítulo octavo, *La divulgación técnica en la España del Quinientos: características lingüísticas*, María Jesús Mancho constata el auge de la lengua romance como medio de comunicación técnica, algo que sobrepasa los muros de los claustros universitarios y eclesiásticos para alcanzar capas más amplias de la sociedad. El castellano tendrá que adaptarse a esta nueva función, sustituyendo al latín. La creación de una terminología especializada se realizará bien alumbrando voces nuevas a partir de los mecanismos de la propia lengua española, bien tomando prestados términos procedentes de las lenguas clásicas prestigiadas —latín o griego—, o de otros idiomas coetáneos.

La que podría considerarse segunda parte del volumen, estructurada según diversos sectores de actividad, comienza con el noveno capítulo, dedicado a la *Ingeniería y obra pública civil*. El texto de Fernando Sáenz examina sectorialmente las realizaciones más importantes. Considera caminos, puentes (ámbito constructivo donde queda singularmente patente la evolución estilística), obras hidráulicas —presas, azudes, acequias, fuentes, túneles de protección, etc.— para el abastecimiento de poblaciones, regadíos y aprovechamientos industriales (molinos, batanes), y puertos, tema estratégico en tanto que el sistema de transporte dependía en gran parte del sector naval, ya que los desplazamientos internos por tierra eran lentos, incómodos y caros. Los tres capítulos que siguen son relativos a la técnica en el arte militar. En el décimo, Pedro Mora nos aproxima a *La artillería: organización y materiales*. Partiendo de la artillería de los Reyes Católicos, mayoritariamente de hierro forjado sobre duelas, comenta su transformación en cañones de una sola pieza fundidos en bronce, lo que mejora alcances, cadencias y seguridad de tiro, entre otras cosas. [Un estudio detallado de la *Teoría y práctica en los tratados de artillería* más significativos es objeto del undécimo capítulo, debido a Mariano Esteban, novedad en esta segunda edición.] La fortificación evoluciona en íntima relación con la artillería. Por ello, Fernando Cobos estudia en el duodécimo capítulo *La formulación de los principios de la fortificación abaluartada en el siglo XVI*. Su análisis se centra en la evolución de los conceptos vertidos en los tratados publicados a lo largo de la centuria, empleando como hilo conductor la *Apología* de Escrivá (1538) y el *Tratado* de Rojas (1598), y utiliza como ilustración algunos ejemplos sobresalientes de la arquitectura militar de la monarquía hispana.

Julio Sánchez, en el capítulo decimotercero, aborda el desarrollo de la *Minería y metalurgia* en España y en la América Hispana. Desde un extremo primitivismo

y fragmentación de las explotaciones, en la década de 1550-60 se desencadena una rápida transformación, con la aparición de dos grandes empresas mineras en la península, Almadén y Guadalcanal, al tiempo que el descubrimiento de la amalgamación con mercurio provoca el primer gran auge productivo de la minería americana, que se prolongará hasta bien entrado el siglo xvii. A raíz de ello, Almadén se convierte en el núcleo del entramado productivo que termina en la acumulación de metales preciosos en Europa occidental.

El arte de navegar y la construcción naval son los temas que [desdoblados en esta segunda edición] desarrolla María Isabel Vicente en los capítulos decimocuarto y decimoquinto. El mantenimiento de la hegemonía hispánica dependía en buena medida de su dominio del mar, y durante el siglo xvi España fue la mayor potencia marítima de Europa. La necesidad de «dar guía a las naos» hizo que se desarrollaran procedimientos basados en la astronomía así como una nueva cartografía, disciplinas en las que se contaba con una brillante tradición en los reinos ibéricos. Se publicó solo una parte exigua de lo mucho que se generó, pero con todo constituye la más significativa colección de textos náuticos del xvi, con innumerables traducciones a diversas lenguas europeas, lo que reflejó sintéticamente Guillén Tato en el título de un trabajo de 1943: «Europa aprendió a navegar en libros españoles». Pero junto al pilotaje, se produjeron importantes innovaciones en la «arquitectura naval» (o «traça de naos»), según Juan Bautista Lavaña «la que enseña con reglas ciertas fabricar navíos, en los cuales se pueda navegar bien y cómodamente».

[Jordi Cartaña estudia en esta segunda edición la Agronomía y geopenía, en el capítulo décimosexto.] *La Proto-industria*, en parte identificada como *Tecnología popular* por Julio Caro Baroja, es abordada en colaboración con Alexander Keller en el decimoséptimo. El hilo conductor lo constituyen *Los Veintitún Libros de los Ingenios y Máquinas*, el manuscrito de ingeniería hidráulica más importante del Renacimiento. Se consideran diferentes tipos de molinos (muy en particular, el denominado «de regolfo», precedente de las turbinas actuales, primero documentado en España, pero presente también en otras partes del área mediterránea), y se mencionan varias industrias en las que el agua se emplea en diversos procesos para el refinado de materias primas.

Desde el Renacimiento se ha reconocido a los inventores la propiedad intelectual y el derecho en exclusiva para explotar sus mejoras técnicas. Precedente de las actuales patentes, es el tema que analiza Nicolás García Tapia en el decimoctavo capítulo: *Privilegios de invención*. A partir de una tipología de las invenciones, se introducen diversos privilegios otorgados a partir de 1478 por los reyes españoles, comentando el origen social de los inventores. Algunas de las «patentes» son de notable anticipación e interés, evidenciándose el papel incentivador de la Corona en la innovación técnica durante el Renacimiento, época que no solo fue para España de descubridores geográficos, sino también de inventores.

En el panorama global esbozado a lo largo de los diferentes capítulos subyace la idea de que la ingeniería no es solo cultura, sino también un potentísimo catalizador de cambios culturales. Obviamente son muchos los temas que faltan. Valga recordar que en la primera edición no se metió (ahora felizmente considerado) lo relativo al mundo agrario, de una importante tradición y concluyente alcance poblacional, pero de un relativamente limitado dinamismo en el periodo que nos ocupa. En este ámbito, casi acotando el siglo xvi, dos títulos merecen ser destacados: la *Obra de Agricultura copilada de diversos autores*¹⁰ de Gabriel Alonso de Herrera, publicado en 1513, y la *Agricultura de jardines, que trata de la manera que se ha de criar, gobernar, y conservar las plantas*, escrito por Gregorio de los Ríos, el primer libro de jardinería impreso en Europa (1592). Resulta curioso observar que ambos autores fueron clérigos, más precisamente capellanes en altas esferas del poder. Herrera lo fue del cardenal Cisneros, quien le impulsó a redactar la obra, mientras que De los Ríos fue capellán y jardinero de la Casa de Campo de Felipe II, rey a quien dedicó el libro. La obra de Herrera es la principal contribución hispana al mundo agropecuario del xvi. Múltiples veces reeditada en castellano hasta el siglo xix (aunque con adiciones), traducida al italiano y al francés, integra su experiencia en una compilación de saberes transmitidos por diversos autores clásicos (básicamente Plinio, Palladio y Columela), medievales cristianos como Petrus de Crescentiis (siglos xiii-xiv), y musulmanes, como Avicena (siglos x-xi). Original en su estructuración, comienza con cuestiones generales relativas a las tierras y al sembrado, estudiando el cultivo de cereales, de leguminosas y otras plantas de secano. Los libros siguientes se dedican a los viñedos, los vinos y el vinagre; a los árboles; a las hortalizas y su regadío; a los animales de granja y sus enfermedades; y termina con un calendario de los trabajos del año agrícola. El texto de Gregorio de los Ríos aborda el diseño de jardines, tema que desde la perspectiva geométrica fue objeto de atención por grandes tratados de arquitectura e ingeniería, estudia las plantas —se mencionan casi dos centenares— hablándose de los cuidados necesarios, en particular de exposición, riego, multiplicación (semillas, esquejes, acodos e injertos), abonado y plagas. Incluye pocos árboles, pero se encuentran el ciprés, el laurel, el membrillo (que considera de granja) o el plátano (que declara medicinal). Dedicó una gran atención a los naranjos y a las parras, para terminar con la cría y conservación del rui-señor, por ser «tan de jardines y frescuras, y su canto tan suave». A partir de la edición de 1620, De los Ríos lo completó con un tratado sobre una veintena de «árboles mayores», «en que se ponen documentos para su beneficio, aumento y conserva-

¹⁰ Posteriormente se editó formando una *Agricultura general que trata de la labranza del campo y sus particularidades: crianza de animales, propiedades de las plantas que en ella se contiene, y virtudes provechosas à la salud humana*, como reza la edición madrileña de 1620, por la Viuda de Alonso. En el volumen se integran el texto de Herrera, «que trata de la labrança del campo, en seys libros», junto con otros cinco tratados, entre ellos el de Gregorio de los Ríos.

ción», y nociones de agricultura en general (de granja, huerto y bosque). Escrita en torno a 1609, la adenda incorpora informaciones de otros autores. Único libro sobre jardinería español en los siglos XVI-XVIII, la *Agricultura de Jardines* fue consulta obligada hasta el XIX. [Comenzado el siglo XVII, en 1617, otro eclesiástico, fray Miguel Agustí, prior del Temple en Perpiñán, dio luz en catalán al *Llibre dels seuets de agricultura, casa rustica y pastoril*, importante texto posteriormente traducido al castellano y reeditado con forofusión hasta el siglo XVIII.]

Los montes y bosques no dieron lugar a tratados específicos, pudiéndose tener información de temas relativos a ellos en libros de agricultura como los anteriormente mencionados o en otros como, por ejemplo, algunos de caza. En cualquier caso, se reflejan informaciones varias en múltiples documentos, tales como las «relaciones» encargadas por Felipe II (1570) para contar con descripciones de sus dominios. [Vicente Canals, en el capítulo 10 del volumen III, antes de abordar la temática en el Siglo de las Luces hace una presentación muy resumida, relativa a los siglos XVI y XVII.] En la Edad Moderna, serán azotes de los bosques las roturaciones, los pastos requeridos por las corporaciones de ganaderos —la Mesta en particular— o el carboneo, que proporcionó el combustible necesario para diversos procesos proto-industriales, los metalúrgicos en particular. A ello habrá que añadir la construcción naval (flotas de pesca, mercante y de guerra). Para aderezar naves, las atarazanas disfrutaron de privilegios de corte de madera en reservas forestales adecuadas a sus necesidades de producción¹¹. Para ello el norte peninsular disponía de la materia básica más adecuada, en tanto que la andaluza o la levantina era normalmente de peor calidad. Por ello las atarazanas de Barcelona se aprovisionaron en gran parte con madera pirenaica. Como su transporte mediante carros era costosísimo o imposible, un porcentaje significativo se realizaba mediante almadías o «navatas», utilizando el curso de los ríos.

En torno a las ausencias en este volumen, cabe señalar también que la visión de la proto-química es forzosamente incompleta, ya que la temática fármaco-médica no se aborda. En parte queda así ausente, por ejemplo, la destilación, operación mediante la que se obtenían medicamentos denominados genéricamente «aguas destiladas». En su fabricación se aplicaban prácticas alquímicas, extrayéndose sustancias activas a partir de plantas por maceración alcohólica y destilación. A mediados del siglo XVI, la imprenta colaborará en la difusión de estas técnicas con algunos tratados, y la destilación aparecerá como un recurso más dentro del arte de preparar medicamentos. Sirva como apunte que hubo destiladores reales en el Alcázar de Madrid, en Aranjuez,

¹¹ La esencialidad de la madera en la construcción naval de la época se recoge con metáforas y afirmaciones muy diversas: «la historia gloriosa de los descubrimientos y de la hegemonía española está escrita en madera»; o una armada recibe el apelativo de «bosque flotante», por ejemplo. En análoga línea, en su soneto *A la jornada de Inglaterra*, Lope de Vega alude a la Gran Armada como «selva del mar» (V. E. BAUER MANDERSCHIED: *Los Montes de España en la Historia*, Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 1991, pp. 31, 153 y 176).

y en el monasterio de El Escorial. Cabe destacar a Diego de Santiago (act. 1587-1590), al parecer «Destilador de Su Majestad» *ad honorem* y tratadista. Trabajó en El Escorial creando en 1590 un destilatorio (por el que obtuvo un privilegio de invención por diez años) para obtener aceites esenciales. Su libro *Arte separatoria y modo de apartar todos los licores, que se sacan por vía de destilacion: para que las medicinas obren con mayor virtud y presteza* (Sevilla, 1598) es el único impreso español del siglo xvi sobre el arte destilatoria y sus aplicaciones terapéuticas¹².

Aunque la ingeniería y la arquitectura (militar, civil y naval), la cosmografía y el arte de navegar, el arte militar, la geografía y la cartografía, o la minería y la metalurgia, son especialidades técnicas en las que las aportaciones españolas del siglo xvi tienen especial relevancia, después del nivel alcanzado no se podrá comprender la crisis del siglo siguiente sin recordar la profunda decadencia económica, a la que contribuyeron los fantásticos compromisos militares, la despoblación y una mentalidad y estructura productiva esencialmente antieconómicas. A estos factores se ha de sumar que, en el marco de la Contrarreforma, Felipe II dicta la pragmática aislacionista (1559) y potencia la Inquisición, llegándose a inducir en el xvii un manifiesto retroceso en la incipiente secularización docente. Todo ello terminará abocando a un penoso estado a las ciencias y las técnicas durante el Barroco en España.

Sin embargo, no sería justo ocultar que Felipe II es reconocido como amante e impulsor de la Geografía por los historiadores de la misma, como «rey arquitecto» (hasta hacía «rasguños») por los de la arquitectura, o como estimulador de la ingeniería, las matemáticas y la instrumentación por los historiadores de la técnica; es decir, es reconocido por su patrocinio e interés hacia un amplio abanico de actividades técnicas y científicas. Como se ha señalado en diversas ocasiones, quizás la monarquía hispana, guiada por un exacerbado utilitarismo, no secundada adecuadamente por universidades y concejos, no potenció en forma debida el desarrollo de actividades más especulativas (por ejemplo, en el entorno de la Casa de la Contratación), concentrando el hacer de sus pocos funcionarios cualificados en actividades técnicas de rutina. Puede resultar curioso señalar que un rasgo «moderno» de la administración de la Corona hispana del momento, nutrirse con técnicos y científicos de importante nivel, se terminó convirtiendo en un elemento negativo, ya que allende las fronteras, mediante figuras de mecenazgo, se sustentaron las actividades teórico-prácticas que darían lugar a la Revolución científica.

Tras el profundo bache, los *novatores* —innovadores en el sentido ideológico— representarán en España el primer síntoma de la renovación científica a finales del siglo xvii. Les corresponde actuar en una sociedad presa de un misonerismo asfixiante, donde *novator* tiene un sentido peyorativo. Apoyados en el humanismo cristiano, y haciendo gala de un gran eclecticismo científico, proponen entroncar a

¹² Existe edición facsímil, con estudio introductorio de J. M.⁸ LÓPEZ PIÑERO y E. PORTELA, publicado por el Instituto de Cultura Juan Gil-Albert, Alicante, 1994.

España con la ciencia moderna que se está desarrollando en Europa, abandonando los planteamientos especulativos de un escolasticismo anclado en sus orígenes.

El libro de Juan Cabriada, *Carta filosófica, médico-chymica* (1687), es considerado el documento fundacional de la renovación de las ciencias químicas, biológicas y médicas en España. Su denuncia de nuestro atraso científico e inmovilismo es contundente:

Que es lastimosa y aun vergonzosa cosa que como si fuéramos indios, hayamos de ser los últimos en recibir las noticias y luces públicas que ya están esparcidas por Europa. Y así mismo, que hombres a quienes tocaba saber esto se ofendan con la advertencia y se enconen con el desengaño. ¡Oh, y que cierto es que el intentar apartar el dictamen de una opinión anticuada es de lo más difícil que se pretende en los hombres!.

Con la llegada de la dinastía borbónica, la Ilustración posibilitará un esperado resurgir a la técnica y la ciencia en nuestro solar, cuestión que se abordará en el próximo volumen [en realidad dos] de la serie con este comenzada. Nos queda que agradecer a la Real Academia de Ingeniería y a la Institución «Fernando el Católico» su apoyo, tanto en el curso preparatorio como en esta publicación del que en parte es corolario, y a cuya edición gozosamente se ha sumado Prensas Universitarias de Zaragoza. El patrocinio del Gobierno de Aragón, a través de Manuel López Pérez, entonces Director General de Enseñanza Superior, ha sido esencial para el conjunto de la empresa. Nuestro reconocimiento también al Centro Politécnico Superior y a la Biblioteca de la Universidad de Zaragoza, por su eficiente ayuda.

Manuel Silva
Universidad de Zaragoza
De la Real Academia de Ingeniería

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- CÁMARA MUÑOZ, A.: *Fortificación y Ciudad en los reinos de Felipe II*, Nerea, Madrid, 1998.
- CARO BAROJA, J.: *Tecnología popular española*, Editora Nacional, Madrid, 1983.
- CEREZO MARTÍNEZ, R.: *La Cartografía Náutica Española en los siglos XIV, XV y XVI*, CSIC-Museo Naval, Madrid, 1994.
- GARCÍA DIEGO, J. A. (ed.): *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas*, Fundación Juanelo Turriano y Ed. Doce Calles, Aranjuez, 1996.
- GARCÍA TAPIA, N.: *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento Español*, Universidad de Valladolid, 1990.
- *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*, Junta de Castilla y León, Salamanca, 1989 (2.ª edición, 2003).
- GENTIL BALDRICH, J. M.ª: *Traza y Modelo en el Renacimiento*, Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, E.T.S. de Arquitectura de Sevilla, 1998.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. (comisario): *Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y Obras Públicas en la época de Felipe II*, Sociedad Estatal para la Conmemoración de los centenarios de Felipe II y Carlos V, Madrid, 1998.
- GOODMAN, D.: *Poder y Penuria. Gobierno, tecnología y Ciencia en la España de Felipe II*, Alianza Editorial, Madrid, 1994 (ed. original en inglés por Cambridge University Press, 1988).
- HERNANDO SÁNCHEZ, C. J. (coord.): *Las fortificaciones de Carlos V*, Ediciones del Umbral, Madrid, 2000.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.ª: *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Labor, Barcelona, 1979.
- (dir.): *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla* (vol. 3), *Siglos XVI y XVII*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 2002.
- MARTÍNEZ RUIZ, E. (ed.): *Felipe II, la Ciencia y la Técnica*, Actas Editorial, Madrid, 1999.
- REY PASTOR, J.: *La Ciencia y la Técnica en el Descubrimiento de América*, Madrid, 1942 (4.ª ed., 1970).
- SÁNCHEZ GÓMEZ, J.: *De minería, metalurgia y comercio de metales*, Salamanca, 1989.
- VICENTE MAROTO, M.ª I. y M. ESTEBAN PIÑEIRO: *Aspectos de la Ciencia Aplicada en la España del Siglo de Oro*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 1991.
- VIGÓN, J.: *Historia de la Artillería Española*, Madrid, 1947.
- VV. AA.: *Historia de la Cartografía Española*, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1982.