

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

Sobre Técnica e Ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico

Manuel Silva Suárez
Universidad de Zaragoza

Técnica e Ingeniería son dos términos estrechamente vinculados. En este capítulo se analizan ambos vocablos bajo una óptica no convencional, desbordando ampliamente el marco temporal del Renacimiento¹. Se empleará como hilo conductor la lengua y su tesoro, uno de los más preciados patrimonios de que podemos hacer gala. En un breve *excursus* lexicográfico, se bosquejan diversas reflexiones de corte histórico y conceptual, incluyendo algunos términos conexos como arte, arquitectura, ciencia y tecnología.

Acudir al reflejo especular que proporcionan los grandes diccionarios ayuda a valorar la percepción que la sociedad ha ido teniendo de la ingeniería, profesión de singular contribución a la cultura.

Por este procedimiento se observan cambios significativos, aunque con un retraso que puede ser importante —medurable en cuartos de siglo— con respecto a los acontecimientos históricos. Se parte de unas consideraciones preliminares en torno a técnica y arte, términos sinónimos en la tradición clásica pero que a partir del Renacimiento fueron divergiendo, hasta la consolidación de acepciones claramente diferenciadas en el Siglo de las Luces.

El análisis de los términos «ingeniería» e «ingeniero» ocupa el tramo central de este texto. Ingenieros y arquitectos fueron, en el Renacimiento y hasta la casi culminación de la Ilustración, profesionales en muchos casos indiferenciados y hasta nuestros días con importantes áreas de interacción. Por ello también se esboza un análisis de los conceptos «arquitecto» y «arquitectura». Finalmente, las ciencias se ponen en relación con la técnica, apuntando brevemente diferencias ontológicas y epistemológicas.

¹ En este sentido, el primer capítulo de este volumen centrado en la época renacentista es el dedicado a la *Valoración filosófica de la técnica*. El presente texto es una reelaboración del primer tercio de nuestro discurso de entrada a la Real Academia de Ingeniería: *De la Ingeniería y de los Sistemas de Eventos Discretos* (Madrid, noviembre, 2000).

I

TÉCNICA Y ARTE

La técnica es un rasgo esencial del proceso de hominización. Basada en conocimientos, experiencia y creatividad, se puede entender como «sistema de reglas intencionalmente orientadas a dirigir una actuación con el fin de conseguir de forma eficiente un resultado útil»², o bien «conjunto de habilidades y conocimientos que sirven para resolver problemas prácticos»³. Es decir, la técnica «es un recurso para ampliar el alcance de posibilidades» disponibles⁴. Ortega y Gasset, en su *Meditación de la Técnica*⁵, la caracteriza como «lo contrario de la adaptación del sujeto al medio, puesto que es la adaptación del medio al sujeto». Mediante la técnica, la Humanidad ha creado una sobrenaturaleza, «un paisaje artificial», en el que ha invertido «esfuerzo para ahorrar esfuerzo», puesto que «vida significa para [el hombre] no simple estar, sino bienestar». Para terminar con este abuso del pensamiento orteguiano, permítasenos acotar que, en su concepción, la ingeniería queda asimilada «con la técnica por antonomasia».

Testimonio de su desarrollo y condiciones de vida, a través de sus expresiones técnicas se suele establecer un primer acercamiento al estudio de las civilizaciones. De este modo, a falta de documentos escritos, los amplios periodos que se engloban en la Prehistoria han sido caracterizados por medio de los materiales sobre los que se basaba la técnica (Edad de Piedra —Paleo y Neolítico—, del Bronce, del Hierro). Periodizaciones más finas emplean otras creaciones más específicas, como las cerámicas.

Llegando hasta los tiempos en que se institucionaliza la profesión de ingeniero, es bien sabido que la Ilustración y la Revolución Industrial consolidaron un nuevo marco sociocultural. El saber técnico eclosionó, alcanzando vertiginosa y omnímodamente sucesivas esferas de la vida y, como consecuencia, afectando de forma significativa a la Naturaleza. Las técnicas se desarrollan en determinadas esferas culturales, no forzosamente eruditas, y son a su vez fantásticos catalizadores, impulsores de los procesos de transformación de esas mismas culturas en que surgen.

«Técnica» deriva del griego τέχνη (*techné*)⁶, concepto que en latín pasa a recogerse bajo *ars*, de donde procede el vocablo «arte», que el *Diccionario de*

²J. ARACIL: «Elogio de la Ingeniería», 1999.

³M. A. QUINTANILLA: «Técnica y Cultura», *Teorema*, vol. XVII (3), pp. 49-69, 1998.

⁴P. LAÍN ENTRALGO: «Humanización de la Técnica», 1988 (p. 121). En su conjunto analiza la tecnificación de la vida desde una triple perspectiva: como recurso, como peligro y como reto.

⁵J. ORTEGA Y GASSET: *Meditación de la Técnica...*, 1939 (pp. 31-33, 42, 19).

⁶En los diccionarios de griego se encuentran acepciones como: «Arte, oficio, profesión»; «industria»; «producto de un arte, obra de arte, artificio»; «tratado de un arte». V., por ejemplo: A. BAILLY, París, 1950 (16.ª ed.); Ed. Sopena, Barcelona, 1998.

Valoración filosófica de la técnica

Miguel Ángel Granada Martínez
Universidad de Barcelona

I

ARTES LIBERALES Y ARTES MECÁNICAS EN LA ANTIGÜEDAD Y EN LA EDAD MEDIA

Hasta el Renacimiento y a lo largo del mismo la cultura occidental está dominada por la distinción y jerarquización entre *artes liberales* y *artes mechanicae*, donde la superioridad corresponde a las primeras. La distinción entre ambas se remonta a la Antigüedad clásica y en concreto a la cultura aristocrática de la antigua Roma, que había recogido —por ejemplo en Cicerón, uno de sus valedores más conspicuos— la herencia de la también aristocrática cultura griega.

Las *artes liberales* serán definidas ya desde la alta Edad Media como las disciplinas del *trivium* (artes o disciplinas del lenguaje) y las del *quadrivium* (las disciplinas matemáticas: aritmética, geometría, astronomía y música), solidarias de la *Philosophia*, que, en sus disciplinas básicas de la filosofía natural, moral y metafísica o teología, será considerada como la culminación de las *artes liberales*, además de estudio «libre» por sí mismo.

A todo este conjunto cultural la Antigüedad, por ejemplo Cicerón, lo denominó *liberal* por considerarlo propio del hombre libre y consustancial a él, al ciudadano liberado y ajeno a la servidumbre del trabajo productivo. En el cultivo de las artes liberales y de la filosofía el ciudadano libre expresaba y construía su libertad («esculpía su propia estatua», por decirlo con Plotino), alcanzando la perfecta realización de la humanidad o de la naturaleza humana en el conocimiento puro y desinteresado de lo existente y en la *praxis* o vida moral como una existencia *autónoma*.

Por el contrario, las *artes mechanicae* designaban todo el ámbito de las técnicas volcadas o encaminadas a la fabricación de *artefactos* o *machinae* y, en general, las técnicas *productivas* (el arte del zapatero, por ejemplo, o el arte del arquitecto). Característico de las artes mecánicas frente a las liberales es que estas últimas se dan en el marco de la *praxis*, esto es, de una acción libre, en la que el sujeto del arte es su mismo destinatario o agente final, siendo el ejercicio del arte la construcción autó-

noma del sujeto humano por sí mismo; en cambio, las artes mecánicas se dan en el ámbito de la *producción* (*poiesis*), esto es, en un marco de existencia en el que el sujeto del arte, el artesano (zapatero o arquitecto), no es el destinatario o agente final de su trabajo, de su obra, esto es: no trabaja para sí, sino para otro, el cual es el determinante del trabajo artístico o técnico, que pasa a tener las características de la *heteronomía*, de la servidumbre o esclavitud. De esta manera, aunque el *mechanicus* o el *productor* tengan el estatus jurídico de individuo libre, su ejercicio no deja de ser por ello subordinado, esto es, siervo con respecto al usuario o destinatario de su producción.

De ahí que las artes liberales estén asociadas con el *ocio* (*otium, scholé*), pues solo el ciudadano libre y autónomo dispone de la totalidad del propio tiempo para dedicarse a ellas; y de ahí también viene el nombre de *schola* (*escuela*) para designar el ámbito y el lugar físico en el que dichas artes se ejercitan y desarrollan. Por el contrario, las artes mecánicas, como ámbito y territorio de servidumbre, de finalización o destinación a un tercero, están asociadas con el *nec-otium* (en griego, *ascholía*), esto es: con la falta de libertad manifiesta en el no disponer para uno mismo del propio tiempo, sino para otro, para aquel a quien se destina el producto del trabajo, directamente o a través del mercado. En suma: las artes mecánicas se mueven en el ámbito servil de la producción; las artes liberales en el ámbito de libertad del *ocio*, de la construcción de la propia personalidad a través de la *ciencia* y de la *ética-política*.

Todo este esquema opera, por ejemplo, en la teoría aristotélica de la necesidad y justicia natural de la esclavitud, así como en la teoría económica, expuestas en el libro primero de la *Política*. Es también el presupuesto de la clasificación y jerarquización de las ciencias que se expone en el primer capítulo del libro E de la *Metafísica*, donde las ciencias productivas son inferiores a las prácticas y a las *teóricas* (física, matemáticas y filosofía o sabiduría primera: la teología). El conocimiento que se concreta en las técnicas productivas es inferior al que se persigue por sí mismo —sin búsqueda de utilidad productiva—, esto es: inferior al conocimiento y contemplación desinteresado de la verdad, el cual solo es posible en un sujeto libre y se concreta en las artes liberales, y en especial en las diversas ramas de la filosofía.

La organización escolar y académica de Occidente presupone este esquema, al menos hasta el periodo del Renacimiento: las *scholae* son centros de enseñanza y cultivo de las artes liberales y de la filosofía (o sea, la ciencia concebida como una empresa *teórica* o contemplativa, como conocimiento puro). Así, cuando en el siglo XII surge la Universidad y da comienzo su desarrollo, lo hace en esta perspectiva.

Ahora bien, la actividad económica y productiva tiene su propia lógica y necesidad, su propia dinámica y fuerza como ámbito de la realización de la riqueza social. Por ello, al margen del entramado de las artes liberales, en el mundo antiguo y medieval, las *artes mechanicae*, las técnicas, conocieron su propio desarrollo vin-

Los gremios: estructura y dinámica de un «modelo» gremial

Siro Villas Tinoco
Universidad de Málaga

La palabra «gremio» presenta una acusada polisemia, que está en consonancia con las diversas acepciones que ha tenido durante el devenir histórico, aunque la idea que ha quedado como paradigma (quizá sería mejor decir tópico) es que los gremios fueron unas asociaciones profesionales económicamente potentes, combativas y eficaces en la política local, pacificadoras de los conflictos sociales y que equitativamente prestaban su apoyo a los trabajadores en la desgracia. Además de la falsedad intrínseca de la imagen descrita, el problema ya se evidencia en la enorme dificultad para distinguir en el plano científico entre lo que solo fueron actividades profesionales reguladas y lo que posteriormente ya constituyeron los gremios formalizados¹.

Recurrir a los diccionarios no aporta clarificaciones sustantivas, antes bien puede aumentar la confusión al respecto, pues en uno de los primeros impresos, el

¹ En general, los medievalistas diferencian netamente entre los oficios, cuerpos, artes, mesteres y otras denominaciones originarias del siglo XIII y los gremios, un término que con este sentido aparece por vez primera en Castilla, en 1565 referido a la comunidad católica y en 1615 aplicado a los trabajadores de una misma actividad. Paulino Iradiel entiende que la identificación entre ambas denominaciones corresponde a una cierta ligereza conceptual, más acusada entre los modernistas. P. IRADIEL: «Corporaciones de oficio, acción política y sociedad civil en Valencia», en *Cofradías, gremios y solidaridades en la Europa Medieval*, Gobierno de Navarra, Pamplona, 1993, pp. 253-284. J. A. SESMA MUÑOZ: «Cofradías, gremios y solidaridades en la Europa Medieval», en *Cofradías, gremios...*, *op. cit.*, pp. 17-30. Dado que el Medioevo no es un periodo —ni la cuestión del nombre una polémica— que implique directamente al contenido de la ponencia, adoptamos la propuesta de Antonio Collantes de Terán, para quien el elemento diferencial determinante entre ambos términos sería la existencia de unas autoridades gremiales elegidas por los artesanos y admitidas por los concejos locales. A. COLLANTES DE TERÁN: «La formación de los gremios sevillanos. A propósito de unos documentos sobre los tejedores», en *La España medieval. Estudios dedicados al profesor D. Julio González González*, Madrid, 1980, tomo I, p. 89. Matiz distinto en A. RUMEU DE ARMAS: *Historia de la previsión social en España. Cofradías - Gremios - Hermandades - Montepíos*, Editorial Revista de Derecho Privado, Madrid, 1944, p. 49: «[...] porque el «Gremio» no es sino el «oficio» organizado; es decir, el oficio unido y reglamentado».

de Terreros y Pando², hallamos tres acepciones: a) regazo, seno o falda; b) la comunidad católica y c) todo colectivo profesional diferenciado. El sentido figurado protector de todas las entradas parece evidente y la acepción eclesial sigue apareciendo en los documentos hasta alcanzar el siglo XIX.

En el *Diccionario de la Real Academia Española*³ se observa que algunos de los significados anteriormente contemplados han caído en desuso, y lo más importante es que mientras la acepción cuarta transmite un concepto gremial muy formalista, la quinta abandona todas las especificaciones normativas, dado que cualquier grupo de personas con intereses comunes también puede ser denominado como gremio.

En tercer lugar, el *Diccionario de uso del Español*⁴ retoma el sentido gremialista más formal y jurídico, hasta el punto de que podría interpretarse que las corporaciones medievales incluían a todas las profesiones existentes y a la totalidad de sus artesanos, aunque a continuación pone de manifiesto el proceso de ampliación significativa y de trivialización sufrido por el término, que puede aplicarse a cualquier grupo de personas que presenten una mínima afinidad de cualquier tipo que sea.

Las dificultades para definir adecuadamente lo que era un gremio aumentan si se han de abordar las diferencias y peculiaridades correspondientes a los distintos ámbitos territoriales y urbanos que constituyeron la génesis y el fundamento de los

² E. de TERREROS Y PANDO: *Diccionario castellano con las voces de ciencias y artes y sus correspondientes en las 3 lenguas francesa, latina e italiana...*, 3 volúmenes, Vda. de Ibarra, Madrid, 1786. En el tomo II aparecen las siguientes acepciones: «Gremio, regazo, espacio que hay desde la cintura a las rodillas. Fr. *Girón*. Lat. *Simus, grémium*. It. *Seno, grembo*. Más comúnmente se dice regazo; y hablando de las mujeres más común es decir *falda o faldas*. Figuradamente se dice gremio por lo mismo que seno. V. *Estamos en el Gremio de la Santa Iglesia*. Gremio o suelo firme, nombre que daban los Romanos a las zanjas, que abrían para fabricar sus caminos. Fr. *Assiete*. Lat. *Gremium*. Gremio, lo mismo que cuerpo o Comunidad, clase, sociedad. Fr. *Corpos, communaute*. Lat. *Coetus, collégium, clasis, ordo, gradus*. It. *Raunanza*. V. El *Gremio* de Doctores. El *Gremio* de los Sabios. *En esta Corte hay cinco Gremios mayores y cosa de sesenta menores que comprehenden los ramos del comercio*».

³ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la Lengua Española*, Unigraf S. L., Madrid, 1992, (21.^ª). «Gremio. 1. (Del lat. *Gremium*.) m. desus. Regazo. / 2. p. us. Unión de los fieles con sus legítimos pastores, y especialmente con el Pontífice Romano. / 3. desus. En las Universidades, el cuerpo de doctores y catedráticos. / 4. Corporación formada por los maestros, oficiales y aprendices de una misma profesión u oficio, regida por ordenanzas o estatutos especiales. / 5. Conjunto de personas que tienen el mismo ejercicio, profesión o estado social».

⁴ M. MOLINER: *Diccionario de uso del Español*, Gredos, Madrid, 1998, (2.^ª) «Gremio (del lat. *Gremium*, seno). 1 (ant.) m. Regazo. 2. Asociación de personas del mismo oficio o profesión. Tenían gran importancia en la Edad Media, en que estaban constituidos por todos los aprendices, oficiales y maestros de una profesión. Ahora, salvo en algunas denominaciones particulares, el nombre no designa una organización, sino un conjunto o una clase de personas que se dedican a la misma profesión: El gremio de hosteleros (de panaderos, de la construcción...). 3. A veces, en lenguaje informal, significa la clase de personas que hacen el mismo género de vida, que tienen los mismos gustos, etc.: Pertenece todavía al gremio de solteros. Tú y yo pertenecemos al mismo gremio».

La profesión de ingeniero: los ingenieros del rey

Alicia Cámara Muñoz
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Probablemente la profesión de ingeniero puede definir la época del Renacimiento: una profesión nueva en la que el progreso fue el argumento de todas sus actuaciones, ya se tratara de canalizaciones de aguas, de descripciones del territorio o de arquitectura militar. Siempre al servicio del poder, su trabajo estuvo ligado a esa «ciencia y modo de gobernar la ciudad y república», como definía Covarrubias la política en 1611, en el *Tesoro de la lengua castellana o española*.

Reconocerse ante unos siglos medievales que entonces se consideraban oscuros como protagonistas de una nueva época en la que arte y ciencia transformarían el mundo fue más fácil gracias a los ingenios, las máquinas y todo tipo de nuevas invenciones de los ingenieros. Un Leonardo da Vinci fue ingeniero antes que pintor, y como ingeniero se ofreció a Ludovico *el Moro* en la corte de Milán. Su pintura era un resultado más de su ciencia, pero el príncipe —en sentido genérico y recordando a Maquiavelo— le necesitaba para construir nuevas máquinas de guerra, nuevos ingenios para las fiestas, nuevas obras de infraestructura en las ciudades... Es el ejemplo más famoso, pero podríamos hablar de otros muchos artistas y arquitectos que hoy se estudian desde la historia del arte, aunque muchas veces trabajaron como ingenieros: las fortificaciones florentinas proyectadas por Miguel Ángel nos eximen de citar más ejemplos.

En la monarquía española, con sus inmensos territorios en varios continentes, el papel de los ingenieros se está estudiando desde hace unos años, entre otros por algunos de los participantes en este curso, pero queda todavía mucho por saber. Dominar tierras y describirlas, controlar reinos, defender fronteras, construir ciudades, navegar ríos, dominar las aguas... la monarquía necesitó de los mejores ingenieros del siglo *xvi* para llevar adelante tan desmesurada empresa de dominio de nuevas realidades.

Ante un tema como el de la profesión del ingeniero en el Renacimiento español, que es en lo que nos vamos a centrar, caben dos opciones: hablar de los ingenieros que fueron reconocidos como tales por sus coetáneos o limitarse a aquellos que recibieron el título de ingeniero que otorgaba el rey. Unos podían ser llamados

maquinarios y maestros mayores de las fortificaciones, como fue el caso de Lastanosa, alumno del cosmógrafo Girava; oficiales de hacer presas, como los que acompañaron a Juan Bautista Antonelli en su navegación del Tajo; «maestros de estanques para pescados», como Pieter Yansen que construyó los estanques de la Fresneda en El Escorial, o relojeros casi míticos como Juanelo Turriano, inventor de ingenios y máquinas¹. Creo que no se debe hacer un problema del nombre: ingenieros propiamente, si queremos ser muy estrictos, fueron aquellos que recibieron tal título por parte del rey, y estos en su mayoría se dedicaron a la arquitectura militar, aunque entre sus cometidos se incluyeran canalización de ríos, construcción de caminos o invenciones de máquinas. Pero «ingeniero» no era solo un título, empezaba a ser una profesión, que se iría definiendo poco a poco. Los grandes sueldos fueron para aquellos que tuvieron título de ingenieros del rey, a los que acompañó la fama, pero hubo otros muchos ingenieros, y en esa complejidad vamos a intentar movernos.

No parece útil para avanzar en el conocimiento de esta profesión plantear un debate para el siglo XVI sobre si los que construían edificios públicos (según la división vitruviana de la arquitectura) eran arquitectos o ingenieros, sobre todo si recordamos que hasta la muerte de Sabatini en el XVIII no se dividen definitivamente la arquitectura civil y la arquitectura militar². ¿Por qué empeñarnos en poner corsés decimonónicos —cuando se regularon definitivamente los distintos cuerpos— a algo que fluía en la profesión con más naturalidad? La indefinición profesional de lo que hoy llamamos ingeniero, con sus distintas especializaciones, es patente en el siglo XVI. Pero si nos vamos a ese siglo, y nos atenemos a los documentos, la categoría de ingeniero es un título que un individuo recibe del rey, bien para unas obras en concreto, bien con carácter general. Ingenieros del rey con título de tales: Benedetto de Ravena, Juan Bautista Calvi, Juan Bautista Antonelli, Jacome Palearo Fratin, Tiburzio Spannocchi... que lo eran allí donde estuvieran. Otros fueron nombrados ingenieros para obras concretas y por supuesto hubo maestros expertos que todos podían reconocer como ingenieros pero sin haber recibido el título.

En un siglo XVI en guerra, el ingeniero es el que posibilita la victoria, bien con sus informes, bien con sus dibujos, bien con sus fortificaciones. Pero, si se contempla desde hoy día ¿quién negaría a Jerónimo de Ayanz la categoría de ingeniero siendo como fue inventor de equipos de buceo y de máquinas de vapor?³ Todos contri-

¹ Además de la bibliografía específica sobre estos ingenieros, es de gran utilidad consultar el reciente libro de N. GARCÍA TAPIA y J. CARRILLO CASTILLO: *Turriano, Lastanosa, Herrera, Ayanz. Tecnología e Imperio. Ingenios y leyendas del Siglo de Oro*, Madrid, 2002.

² A. CÁMARA: «El ingeniero Sabatini», en *Catálogo de la Exposición Francisco Sabatini, 1721-1797*, Madrid, 1993, pp. 437-460.

³ N. GARCÍA TAPIA: *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*, Salamanca, 1989, pp. 205-225.

Instituciones para la formación de los técnicos

Mariano Esteban Piñeiro
Universidad de Valladolid

Está generalmente admitido que el siglo xvi contempló el desarrollo de un proceso de institucionalización de la ciencia y de la técnica, es decir, de la asunción por parte de los Estados de la responsabilidad de la investigación científica y de la subsiguiente aparición de «profesionales» de la ciencia y de sus aplicaciones prácticas, aspectos que propiciaron otros dos relevantes fenómenos: la secularización de la ciencia¹ y la socialización de su actividad.

Estos hechos, de importancia trascendental para la conformación de la ciencia y de la técnica modernas, tuvieron como escenarios principales a España, más concretamente a Castilla, y a Portugal. Las colonizaciones en ultramar exigieron la utilización por los monarcas de un alto número de técnicos: cosmógrafos capaces de dibujar las cartas náuticas, de construir instrumentos de navegación precisos y de describir con exactitud las nuevas tierras; ingenieros y arquitectos que pudieran diseñar y levantar las nuevas ciudades, erigir modernos bastiones y fortificaciones y trazar la red de comunicaciones terrestres necesarias; técnicos que consiguieran un mayor aprovechamiento de las riquezas del suelo y del subsuelo, y ensayadores que perfeccionaran los métodos de obtención de metales cuando se agotaron los minerales de alta ley de las ricas minas de Indias. En el caso castellano-aragonés, además, el sostenimiento de su posición en Europa exigía una continua mejora del «arte militar», por lo que el Estado tuvo que recurrir a experimentados ingenieros en balística, construcción de cañones y confección de la pólvora.

La mayor parte de estas técnicas se fundamentaba en propiedades y reglas geométricas, por lo cual fueron los expertos en geometría quienes actuaron en el siglo xvi como cosmógrafos, ingenieros civiles o militares y arquitectos; de manera que frecuentemente un mismo matemático ejerció a lo largo de su vida varias de esas

¹ J. SALA CATALÁ: *La ciencia española en los siglos xv y xvi*, Madrid, Akal, 1982.

actividades, si no todas; en muchos casos, como titular de alguno de los relativamente numerosos «oficios» que la administración fue creando en esa centuria, con cargo a las haciendas reales².

Esa especial formación que requerían estos técnicos se adquiría principalmente mediante la práctica, es decir, trabajando y aprendiendo durante años al lado de personas ya expertas, pero ya se apreciaba como conveniente que previamente se hubiera conseguido una formación teórica básica. El principal problema radicaba en este aspecto: la ausencia de instituciones capaces de proporcionar esos conocimientos, lo que se intentó resolver mediante la creación de diversos centros de enseñanza especializada. El primero de ellos, y de acuerdo con la importancia de la cosmografía y la navegación, fue la institucionalización de una cátedra de tales materias en la Casa de la Contratación sevillana, en diciembre de 1552. En la misma década se crearon en los castillos de Barcelona, Burgos y Mallorca unas «academias» para formar artilleros con una cierta base matemática; pocos años más tarde, se llevó a cabo la modificación de «las lecturas» de la cátedra de Astrología y Matemáticas de la Universidad de Salamanca para orientarla más hacia la cosmografía y la navegación, y la fundación de una cátedra de «partido» de matemáticas dirigida a los técnicos, también en esta universidad. En la Universidad de Alcalá, su cátedra de matemáticas se orientó asimismo hacia temas vinculados con el arte de navegar, lo mismo pasó con la cátedra que la Universidad de Mareantes y el Cabildo de Sevilla establecieron en los últimos años de la centuria.

También en las últimas décadas del siglo xvi, diversas «escuelas de artillería naval» nacieron en algunas localidades, como Málaga, Sevilla y La Coruña, una escuela de navegación aparece en San Sebastián, y en Madrid se funda la Academia Real Matemática. En torno a 1590 se produjo el intento fallido de instituir «escuelas técnicas» en las ciudades castellanas representadas en las Cortes y en los inicios del siglo xvii, por orden de Felipe III, inicia su actividad una cátedra de matemáticas y fortificación en el seno del Consejo de Guerra.

Es preciso aclarar que tras el nombre de «escuelas» o «academias» no existían complejas instituciones sino únicamente una enseñanza más o menos reglada impartida, en la mayoría de los casos, por un único profesor. El caso del italiano Julián Ferrofino es muy interesante: fue llamado en torno a 1575 para explicar «matemáticas» en la escuela de Artillería de Burgos; poco después pasó a enseñar artillería naval a Sevilla; en 1590 se frustró el proyecto de Felipe II de que impartiera conocimientos teóricos en la fábrica de munición de Málaga y regresó a Sevilla para cumplir la orden real de crear una Escuela de Artillería de tierra. Después de realizar esta misión, en 1595 pasó a ocuparse de las lecturas de la Academia Real Matemática de

² M. ESTEBAN PIÑEIRO: «Los oficios matemáticos en la España del siglo xvi», en *I Trobades d'Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Barcelona, CSIC, 1993, pp. 239-251.

6

Técnica y estética: los tratados de arquitectura

Jesús Criado Mainar
Universidad de Zaragoza

El Renacimiento es un tiempo de cambios culturales impulsados por una nueva actitud frente al pasado clásico. Los italianos de los siglos xv y xvi estaban convencidos de la existencia de una clara cesura entre su época y el periodo anterior, al que llamaron Edad Media para diferenciarlo con nitidez tanto del que les tocó vivir como de la Antigüedad.

Para regenerar la sociedad era preciso acudir a los modelos y valores del mundo romano perdido poniendo en marcha, ante todo, un programa de recuperación de fuentes literarias. Las raíces de este movimiento, que denominamos *humanismo*, se hunden en Petrarca y el siglo xiv. Fue entonces cuando se empezaron a mirar con ojos más sabios y atentos los textos grecorromanos, preservados en las bibliotecas monásticas, a los que, además, se aplicó un nuevo método de estudio y análisis basado en una rigurosa crítica filológica que posibilitó un conocimiento más profundo de los mismos¹.

Es también un momento de cambios profundos en el campo de las artes, presididos por parámetros similares. Así, el arte del Renacimiento se caracteriza por la recuperación del lenguaje de la Antigüedad adaptado a las necesidades de la época en aquellas disciplinas en las que los restos arqueológicos lo hacían posible —en especial, la arquitectura— y por un esfuerzo dirigido a crear un sistema figurativo que aproximara la experiencia visual de la pintura y el relieve escultórico a las pautas seguidas por la percepción humana de la realidad. Los propios artífices se sentían tan orgullosos de sus logros que no dudaron en tildarlos de excepcionales, fomentando una visión casi idílica de aquellos que alcanzaría su cenit en las *Vidas* de Giorgio Vasari² y que historiadores de épocas posteriores como Jacob Burckhardt³ acabaron mitificando.

¹ Una buena aproximación al problema en Paul O. KRISTELLER, 1993, pp. 38-51.

² Giorgio VASARI, 2002.

³ Jacob BURCKHARDT, 1992.

Algunos de los títulos griegos y latinos que los humanistas recuperaron y difundieron eran tan importantes para el problema que nos ocupa como la *Naturalis Historia* de Plinio *el Viejo*⁴, un extenso repertorio misceláneo que al tratar de los metales, los colores y las piedras incorpora noticias sobre obras de arte y arquitectura de la Antigüedad confeccionadas con esos materiales y, en algunos casos, también sobre sus autores. Sin embargo, el hallazgo más crucial corresponde a Poggio Bracciolini, que en 1416 localizó un excelente ejemplar del *De architectura* de Marco Vitruvio en la biblioteca del monasterio de Saint-Gall. En realidad, este texto⁵ había circulado con fluidez en la Europa medieval y, de hecho, conservamos un número importante de copias de esa época, pero a partir de su redescubrimiento en los albores del *Quattrocento* iba a ejercer una influencia capital⁶.

En los siglos precedentes no habían faltado los prontuarios de recetas artesanales, concebidos como instrumentos de trabajo en el seno del taller, a la manera del bien documentado *Libro del arte* (h. 1390) de Cennino Cennini, una cartilla en la que los pintores podían encontrar informaciones sobre la naturaleza y elaboración de los pigmentos o las diferentes técnicas pictóricas⁷, pero el *De architectura*, redactado en la Roma de finales del siglo I a. C. y dedicado al emperador Augusto, pertenecía a otra categoría literaria y su exégesis marcó un salto cualitativo que se sitúa en la base de algunos de los cambios más decisivos que asociamos con el arte renacentista. A pesar de las notables dificultades lingüísticas y de interpretación que entrañaba, se convirtió muy pronto en arquetipo de un género novedoso dentro del campo de la literatura artística llamado a gozar de enorme éxito a lo largo de los siglos siguientes.

Los artistas del Renacimiento se interesaron por la definición que Vitruvio efectúa del arquitecto [lib. I, cap. 1], en buena medida incompatible con el tradicional maestro de obras al centrar su responsabilidad en las tareas de creación y proyección, liberándole, de paso, de las de ejecución material de la obra. Fue Leon Battista Alberti quien se hizo eco por vez primera de esta doctrina en su *De re aedificatoria*⁸ (1443-1452), sentando las bases para la futura racionalización del dibujo arquitectónico en el ambiente romano de la segunda década del *Cinquecento*, cuando la nece-

⁴ En circulación en el ambiente florentino desde 1430, la primera edición latina es de 1469 y un año después se tradujo a lengua toscana (André CHASTEL, 1991, p. 111). Una edición hispana de los textos artísticos en PLINIO EL VIEJO, 2001.

⁵ Una edición de fácil acceso en Marco VITRUVIO, 1995.

⁶ Sobre la localización en 1416 del código del monasterio de Saint-Gall véase Luis CERVERA VERA, 1978, pp. 75-77. En esta obra se da cuenta de los códices medievales de Vitruvio que han llegado a nuestros días.

⁷ Cennino Cennini era discípulo del pintor florentino Agnolo Gaddi (Cennino CENNINI, 1988, p. 5).

⁸ Leon Battista ALBERTI, 1991, Prólogo al tratado. A este respecto, véase el acertado análisis de Luis CERVERA VERA, 1979, pp. 119-145.

El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias

Manuel Silva Suárez
Universidad de Zaragoza

La técnica necesita de lenguajes artificiales (verbal, gráfico y matemático) para transmitir y operar sobre realidades o concepciones. Palabras, dibujos y cálculos (técnicos y económicos) forman un todo en el proyecto. Las imágenes transmiten información de una naturaleza difícil de trasladar verbalmente. Por su importancia y «universal» legibilidad, el dibujo es la *lingua franca* de ingenieros, arquitectos y cartógrafos, entre otros «oficios matemáticos». El dibujo de los técnicos se emparenta con la geometría: en el Renacimiento, euclidiana y esférica; posteriormente, con la proyectiva y la descriptiva.

Sobre la base de las técnicas de representación gráfica bajo medievales, los recursos conceptuales del dibujo sufren un notable impulso en el Renacimiento, mejorándose significativamente la capacidad de representación. Como corolario, se potencia la diferenciación entre las tareas de diseño y las propiamente constructivas, tanto en el ámbito arquitectónico como en el de ingeniería. Por otro lado, el dominio de las técnicas para trazar cartas marca una separación neta entre los cosmógrafos-cartógrafos y los pilotos, a veces denominados «rudos marineros». Valga como reflexión aplicable a la ingeniería, la arquitectura y la cartografía, que la aludida diferenciación no estuvo exenta de tensiones entre los que simplemente se empeñaban en prolongar una técnica empírica y rutinaria, y quienes la enfocaban desde unos presupuestos conceptuales más abstractos.

El objetivo básico de este capítulo es explorar la disponibilidad de técnicas para la representación gráfica de realidades tridimensionales, constatando la acumulación de recursos utilizados. No se ha considerado razonable ignorar completamente las representaciones mediante maquetas escultóricas, ya que con frecuencia el diseño de los ingenieros y arquitectos renacentistas se basaba tanto en el dibujo como en la construcción de modelos a escala. Las maquetas siempre han gozado de aprecio para transmitir ideas o situaciones a personas con menor capacidad inter-

pretativa de mapas y planos (representantes del poder político o económico), transformándose a veces en objetos simbólicos (por ejemplo, de demostración del poder «poseyendo» maquetas de ciudades) e incluso votivos (símbolo de donaciones).

La exposición se estructura según tres ejes esenciales: el dibujo cartográfico, el de las edificaciones y el de las máquinas. También se apuntarán las vistas corográficas urbanas, entendiéndose que, a diferencia de los paisajes, donde predomina la creatividad del artista y el impacto estético, en las vistas es importante la «exactitud» de los representados, la ausencia de fantasías, que el dibujo sea un «retrato».

El siglo XVI marca la transición hacia una nueva cartografía, menos imaginativa y más científica, quedando la expresión formal del relieve como asignatura pendiente. A lo largo del *Quattrocento* se formalizan los conceptos de la perspectiva lineal, para dotar de impresión tridimensional tanto a las vistas corográficas como a dibujos arquitectónicos y de máquinas. Sin embargo, el empleo de la perspectiva no constituye la contribución más importante para el proyecto arquitectónico, donde la sistematización en el uso de tríadas de proyecciones ortogonales a escala (o con acotaciones), secciones, «vistas fantasmas» o transparencias (en las que, en vez de cortar el objeto, se asume que su envoltura es transparente) suponen un cambio esencial. Las máquinas se representarán en la mayoría de casos mediante un único dibujo de conjunto, llegándose a complementar perspectivas, secciones y «vistas fantasmas» con despieces, vistas «estalladas» y, en menor medida, con proyecciones ortogonales, muy raramente con esquematizaciones geométricas de elementos. En muchos casos aparecerán acotaciones someras en los planos, rara vez sistemáticas.

Los ingenieros militares no pudieron siempre asumir una correcta interpretación de planos «abstractos» por sus superiores. Por ello, a pesar de que con frecuencia los dibujos eran presentados personalmente o por medio de un colaborador, era usual potenciar la legibilidad mediante: (1) el empleo combinado de diversos sistemas de representación; (2) la integración de vistas y detalles diversos en un mismo dibujo (normalmente, a distintas escalas); (3) la coloración con acuarelas, buscando una más fácil percepción de la realidad o transmitiendo información codificada (lo que había que preservar, demoler o construir *ex novo*); (4) la utilización de recortables o solapas que superponían dibujos con secciones a distintos niveles o con las variantes constructivas propuestas, a veces como economía para no repetir un plano; (5) la difuminación selectiva de lo menos relevante; (6) el empleo de reclamos a textos o su inserción *in extenso* en el propio plano. En apoyatura a esa «legibilidad» de lo informado o propuesto, con frecuencia los dibujos se acompañaban de modelos en madera, yeso o barro.

En el ámbito de la expresión gráfica, el Renacimiento sienta unas nuevas bases de las que hoy en día aún se es directamente tributario.

8

La divulgación técnica: características lingüísticas¹

María Jesús Mancho
Universidad de Salamanca

I

EL HUMANISMO CIENTÍFICO

En el siglo XVI, como consecuencia de la renovación de las mentalidades que trajeron consigo el Renacimiento y las corrientes humanistas, comienza el despegue de la técnica moderna. Surge pujante una conciencia de avance social que va a extenderse hasta calar amplias capas de la sociedad por encima y más allá de los límites más o menos rígidos de los claustros universitarios y eclesiásticos. La propia Monarquía española va a fomentar el estudio de disciplinas nuevas, o de otras tradicionales, pero enfocadas desde una perspectiva novedosa, que hacen su aparición impulsadas por auténticas demandas sociales, fuera de la secular planificación universitaria.

Por otro lado, el desarrollo de la imprenta permite que las diversas materias alcancen una mayor difusión y lleguen a destinatarios interesados y curiosos, ávidos de novedades, pero no necesariamente poseedores de una vasta cultura². De esta manera, este tipo de literatura se erige en instrumento decisivo para el desarrollo económico y la modernización de una sociedad expansiva³, como era la del Renacimiento hispano.

¹ Este trabajo se inserta dentro del marco de los proyectos BFF2001-1198, financiado por la DGICYT, y SA 070/002, financiado por la Junta de Castilla y León.

² Acerca de estos aspectos, véase V. INFANTES: «La educación, el libro y la lectura», *Historia de España*, MENÉNDEZ PIDAL, *La cultura del Renacimiento (1480-1580)*, vol. XXI, Madrid, Espasa Calpe, 1999, pp. 4-50.

³ Sobre este concepto, véase J. A. MARAVALL: «La imagen de la sociedad expansiva en la conciencia castellana del siglo XVI», en *Estudios de Historia del pensamiento español, Época del Renacimiento*, Madrid, Instituto de Cooperación Iberoamericana, 1984, pp. 271-315.

La finalidad que se pretende, por tanto, es la divulgación de unos contenidos, considerados de interés prioritario desde el punto de vista social⁴. Si esto puede afirmarse de manera genérica, todavía es más evidente en el campo de las Matemáticas.

II

LAS MATEMÁTICAS COMO MOTOR DE LA RENOVACIÓN TÉCNICA

En efecto, en este período se constata el auge de un tipo de saber, que, como ha señalado C. Flórez, «de alguna manera se encuentra en la base de todos los otros y va a ser la clave en la modernidad», esto es, «el saber matemático en sus dos dimensiones, la aritmética y la geometría»⁵. Por ello, su cultivo es de vital importancia para el desarrollo de la técnica en sus diferentes ramas o especialidades. No es de extrañar, por tanto, que se sugiera a los responsables de la política educativa su inclusión en los programas de enseñanza pública. Como ejemplo ilustrativo, hemos extraído las recomendaciones de un autor de manuales de Matemáticas y Geometría, que pudieran aplicarse con absoluta pertinencia a la situación actual:

*Y porque es muy necesaria a toda qualidad de personas esta admirable disciplina geométrica, me atrevería a aconsejar a los que mandan y gobiernan repúblicas, que entretengan en ellas personas doctas, para que públicamente la lean y enseñen, y a persuadir a los padres, a quien Dios dio hijos y posibilidad para bien doctrinallos, a que, en acabando de saber leer, escribir y contar, los metan en ella. (Joan Alfonso de Molina Cano, *Descubrimientos geométricos*, Anveres, Andrea Baxx, 1598, Pról.).*

Pero, además, esta ciencia tiene una peculiaridad, que es la importancia que adquiere la parte práctica, que se aplica a toda la gama de artes mecánicas. La causa radica en que se trata de un conocimiento «que no versa sobre argumentos, ni sobre comentarios de otros libros, sino de un saber que se dirige a las cosas mismas inten-

⁴ Véase J. M.ª LÓPEZ PIÑERO: *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, Labor, 1979; del mismo, «El renacimiento en las ciencias», especialmente el apartado «Las áreas de la actividad científica», en *Historia de España*, MENÉNDEZ PIDAL, *La cultura del Renacimiento (1480-1580)*, vol. XXI, Madrid, Espasa Calpe, 1999, pp. 324-325. Asimismo, véanse, al respecto, V. NAVARRO BROTONS: «Humanismo y ciencia en el siglo XVI», en C. CODONER y J. A. GONZÁLEZ IGLESIAS (eds.): *Antonio de Nebrija: Edad Media y Renacimiento*, Salamanca, Universidad de Salamanca, 1994, pp. 359-369; M. ESTEBAN PIÑERO: «El pensamiento científico en la época de Isabel la Católica», en J. VALDEÓN BARUQUE (ed.): *Arte y cultura en la época de Isabel La Católica*, Valladolid, Ámbito/Instituto de Historia Simancas, 2003, pp. 181-215.

⁵ C. FLÓREZ: «Otra cara del humanismo», en M.ª J. MANCHO (ed.): *Pórtico a la ciencia y a la técnica del Renacimiento*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 2001, p. 41. Asimismo, C. FLÓREZ, P. GARCÍA CASTILLO y R. ALBARES: *El humanismo científico*, Salamanca, Caja Duero, 1999. Sobre el valor y la función de las matemáticas en este período, véanse M. ESTEBAN PIÑERO y V. SALAVERT FABIANI: «Las Matemáticas», *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, vol. I, Valladolid, Junta de Castilla y León, 2002, pp. 709-788.

Ingeniería y obra pública civil

Fernando Sáenz Ridruejo
Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

A los efectos de esta conferencia, consideramos que el Renacimiento español se extiende desde la subida al trono de los Reyes Católicos hasta la muerte de Felipe II. Analizaremos, por lo tanto, la evolución de las obras públicas en nuestro país durante el último cuarto del siglo xv y la práctica totalidad del siglo xvi. No haremos un estudio específico de la influencia ejercida por la ingeniería renacentista europea, italiana o de otros países, ni nos extenderemos de forma general sobre el estado del arte en este periodo. Tampoco se analizan detalladamente los conocimientos científicos, el origen o la formación de los técnicos que trabajaron en las obras públicas del Renacimiento español, ni los tratados en que se formaron o que ellos mismos escribieron, por ser materias que se abordan en otras sesiones. No obstante, algunos de los técnicos más importantes y de los tratados más representativos irán apareciendo al hilo del análisis de las diversas obras y sectores de actividad.

Los reinados, en conjunción perfecta, de Isabel I de Castilla y de Fernando II de Aragón, marcaron ante todo el triunfo del poder real frente a la nobleza y, aparte de la extensión de los límites territoriales de estos reinos, representaron su fortalecimiento, con anulación de privilegios señoriales y ruptura o permeabilidad de las fronteras, lo que acarreó la consiguiente homogeneización del país, la extensión del comercio y el aumento de la riqueza. En el reinado de Carlos I podemos distinguir dos periodos diferentes, caracterizado el primero de ellos por las revueltas ciudadanas frente a los gobernantes flamencos y el segundo por la implantación del poder imperial, que quedará plasmado en los escudos y lápidas que en las obras públicas se conservan. La atención del emperador estará centrada, en cualquier caso, en sus guerras exteriores. Felipe II es, en contraposición a su padre, un monarca centrado en la Península, preocupado por la minuciosa administración de sus reinos, pero también por la arquitectura, la jardinería y las obras de utilidad pública. De las primeras décadas de su reinado data buena parte de las obras de ingeniería que hemos de encontrar en nuestro rápido recorrido.

El historiador de las obras públicas en España Pablo de Alzola, tan crítico de la labor realizada por los monarcas españoles en esta materia y tan poco dado a las efusiones líricas, se expresa en estos términos al referirse a los Reyes Católicos:

El corazón se ensancha al seguir paso a paso la obra de regeneración que debió España a la más ilustre de sus reinas, secundada por el saber, la sagacidad, la extremada prudencia y la habilidad de Fernando, y debieran servir de grandísima enseñanza a los gobernantes españoles los prodigiosos resultados alcanzados como por ensalmo en la prosperidad nacional mientras la nave del Estado estuvo guiada por manos tan expertas¹.

En matización de las afirmaciones precedentes, y como crítica que más bien se refiere a sus descendientes, considera Alzola que el excesivo dirigismo de los Reyes Católicos era necesario para salir de la anárquica situación anterior; pero que, en un cierto momento, ese dirigismo se convirtió en un dogal que terminó por ahogar cualquier iniciativa. Señala que los ayuntamientos no solo necesitaban autorización para edificar las casas consistoriales, lonjas de peso, hospitales, hospicios, alcantarillas, abrevaderos y puentes, sino para empedrar las calles y dictar ordenanzas o reglas de policía. «La tutela —afirma— que resulta conveniente en la primera juventud llega a ser perniciosa en la madurez». Y termina diciendo: «Por desgracia, fueron cada vez más fuertes las ligaduras y deplorables sus consecuencias, especialmente para el desarrollo de la producción nacional».

Se puede decir, por lo tanto, con todo el riesgo que cualquier simplificación comporta, que el periodo más fecundo para el desarrollo de las obras públicas fue el reinado de los Reyes Católicos, hasta la muerte de Fernando, aunque, paradójicamente, sea la época de menos realizaciones físicas. La época de la que más símbolos quedan, en pilas de puentes o fachadas de edificios, es la de Carlos V y los años en que más se trabajó son los veinte o veinticinco primeros del reinado de Felipe II.

La exposición que sigue se va a circunscribir al examen sectorial de la ingeniería civil del siglo XVI y de los últimos años del XV, distinguiendo las tres ramas clásicas en que luego, a partir del XIX, se dividiría esta materia: vías y obras de comunicación, obras hidráulicas y obras portuarias.

I

CAMINOS Y PUENTES

I.1. *Caminos de los Reyes Católicos*

No puede decirse que, al advenimiento de los Reyes Católicos, hubiese en España una red viaria en el sentido que hoy damos a esa expresión. Existían restos inconexos de la antigua red de calzadas romanas, existían rutas tradicionalmente seguidas por las tropas en los ya cada vez menos frecuentes escauceos militares y existían caminos de herradura, abiertos por trajinantes y peregrinos. La única red de comunicaciones estructurada era la de las vías pecuarias, que quedarán fuera de

¹ P. de ALZOLA, p. 100.

La artillería: aproximación y materiales

Pedro Mora Piris
Ministerio de Defensa

Se considera que fue en el siglo xiv cuando tuvo lugar el descubrimiento de la pólvora y su aplicación a las armas de fuego, lo que trajo consigo el uso generalizado de la artillería en el siglo siguiente y resultados más demoledores y eficaces de sus fuegos sobre las viejas fortificaciones en el siglo xvi. La ciencia y la técnica se aunaron en conseguir una artillería cada vez más efectiva, de mayor movilidad y de usos diferenciados cara a sus objetivos. La artillería estuvo inmersa en procesos de experimentaciones y mejoras técnicas que en la segunda mitad del siglo xvi se concretaron en cambios sustanciales de diseños y eficacia.

A su vez, respondiendo a la creciente eficacia de la artillería, se hizo necesario adaptar primero y crear, más tarde, nuevos conceptos estructurales en las fortificaciones que resistiesen los efectos de los proyectiles de la artillería. En el segundo tercio del siglo los debates y reflexiones entre artilleros, ingenieros-soldados e ingenieros-teóricos desembocaron en dos tendencias: la escuela de Palas, donde se encuadran los militares por excelencia, básicamente de origen español, y la de Minerva, fundamentalmente compuesta por ingenieros militares y civiles de origen italiano.

Mientras, los Estados estaban afanados en elaborar proyectos técnicos que significasen soluciones poliorcéticas en las estructuras fortificadas frente al creciente poder de la artillería. De este modo, a un mayor alcance, precisión y eficacia de la artillería debía darse respuesta oponiendo unas fortificaciones más resistentes, en las que fuera posible emplazar artillería y desde las cuales se pudiesen batir con los fuegos propios tanto el entorno de las fortificaciones como las posiciones enemigas. Se entraba así en una actitud defensiva de mayor dinamismo, oponiendo poderosas estructuras defensivas y contundentes réplicas de fuego, con lo que el arte de la guerra se mostraba como filosofía bélica nacida al amparo del ámbito renovador del humanismo renacentista. *Firmeza, simetría y comodidad* se acuñaron como conceptos de aplicación en unas fortificaciones con estructuras cada vez más complejas, poderosas y resistentes, adaptadas para acoger con amplitud y comodidad la artillería destinada a su defensa. Basadas en fundamentos geométricos y matemáti-

cos, las trazas desarrollan un completo plan de fuegos sin espacios muertos, superando los viejos conceptos sobre expugnación y defensa de plazas fortificadas.

I

APROXIMACIÓN A LA ARTILLERÍA EN LOS SIGLOS XV Y XVI

I.1. *La artillería de los Reyes Católicos*

La conquista de Constantinopla por los turcos en 1453 supuso el inicio de una nueva etapa histórica, en la que la artillería se consagraba como arma decisiva en las batallas, y se abría un frente de conflictos políticos y estratégicos en Europa.

Los Reyes Católicos utilizaron la artillería en la guerra de Sucesión y posteriormente en la de Granada, donde se empleó en quince sitios a ciudades; y si en algunos casos, como en el cerco de Loja, no fue todo lo decisiva que se esperaba, lo fue sin embargo en la toma de Tájara y Alhama, así como en la rendición de Álora y Setenil, donde consiguió el derribo de sus murallas.

Valorando la complejidad que suponía el mando y manejo de la artillería, Isabel y Fernando iniciaron una embrionaria organización de la artillería como cuerpo diferenciado. Estableciendo plantillas, se desterró la costumbre de designar jefe a un noble muchas veces carente de los conocimientos y experiencia necesarios. Los reyes creían más en la eficacia de los asedios o cercos que en la rendición de las plazas, como consecuencia de los todavía imprecisos fuegos de la primitiva artillería. Pero el cronista Hernando del Pulgar anunciaba, ya por entonces, la debilidad de las viejas fortificaciones medievales («muros y torres que se habían fabricado para la sola guerra de lanza y escudo»¹) ante las nuevas máquinas de guerra.

La guerra de Granada abrió el camino a un ejército permanente donde la artillería adquiría un papel cada vez más determinante. Así se acredita con el nombramiento de mosén San Martín, «continuo de la casa del Rey», como «Proveedor y Veedor General de la Artillería». Se daba así un paso al reconocimiento de la artillería como Cuerpo, en documento fechado en Granada el 2 de mayo de 1501, donde se contienen asuntos relativos a doctrina, fabricación de cañones, su empleo, organización, administración y contabilidad. Comenzaba de este modo en la primera década del siglo XVI, con el establecimiento de tres núcleos artilleros, una visión estratégica enfocada a intervenciones en tres probables teatros de operaciones. Mosén San Martín contó con tres Capitanes de la Artillería, uno en Italia a cargo de Diego de Vera, otro en Andalucía con Juan Rejón, y el tercero Ramón López en el Rosellón.

La realidad, luego, descubrió unas carencias debidas al lamentable estado de un material envejecido por el desgaste natural de las campañas habidas, lo que obligó al regente cardenal Cisneros, tras la muerte de Fernando el Católico, a solicitar a

¹ M. LADERO QUESADA: *La Guerra de Granada (1482-1491)*, Diputación de Granada, 2001, p. 29.

Teoría y práctica en los tratados de artillería

Mariano Esteban Piñeiro
Universidad de Valladolid

En los ciento cincuenta años que van desde las últimas décadas del siglo xv hasta las primeras del seiscientos, la artillería pasa de ser casi una anécdota en las confrontaciones bélicas a constituir un elemento esencial en las batallas, tanto desde el punto ofensivo como defensivo, tanto en la lucha en tierra como en el mar.

El inicio del siglo xvi coincide con el final de la artillería de hierro forjado, que había caracterizado al cuatrocientos, con la aparición de la artillería de bronce y con la utilización sistemática de minas explosivas. Estas dos novedades supusieron una auténtica revolución en las artes y técnicas de la guerra, especialmente en la arquitectura militar y en la propia estructura de los ejércitos.

La feliz utilización por el Gran Capitán de la artillería y las minas en la campaña de Nápoles, especialmente en las voladuras de los castillos napolitanos por el ingeniero militar Pedro Navarro en 1503, fue el inicio del prestigio de la artillería española en Europa, prestigio que se mantuvo durante todo el período en estudio y que comenzó su ocaso especialmente con la derrota naval española frente a los holandeses en la llamada batalla de las Dunas (1639), debida en esencia a una menor eficacia de la artillería española y a un deficiente aprovisionamiento de la pólvora necesaria.

La hegemonía militar española se sustentó fundamentalmente, tanto en Italia como en los Países Bajos, en una eficaz utilización de la artillería y en una arquitectura militar innovadora y fuertemente relacionada con el progreso de aquella.

Pero, como idea básica, hay que aclarar que esos avances fueron esencialmente fruto de la experiencia obtenida en tantas batallas como sucedieron en este período. Las mejoras en la fundición de las piezas, en la fabricación de la pólvora y en el transporte y manejo de las piezas no fueron consecuencia de los progresos en los conocimientos teóricos sobre fundición, ni sobre la química de la combustión ni, mucho menos, de los relacionados con el movimiento de los proyectiles. En todos estos campos evidentemente hubo grandes avances teóricos, pero estuvieron siempre muy alejados del quehacer castrense y, en la mayoría de las ocasiones, fueron consecuencia de los intentos de explicar lo que la práctica había enseñado.

Consecuencia lógica de esta creciente presencia de la artillería fue la necesidad de contar con un alto número de «artilleros» y de especialistas en las distintas técnicas relacionadas con la artillería. Y la formación de esos técnicos fue continuo objeto de debate durante todo ese tiempo: por un lado, los que defendían que esa formación debía adquirirse en los propios ejércitos y la experiencia conseguirla en campaña. Otra posición, defendida mayormente por cortesanos, era la de la enseñanza en academias creadas al efecto en determinadas guarniciones, castillos y fundiciones. Como se ha visto en el capítulo 5 de este mismo volumen, «Instituciones para la formación de los técnicos», las academias de artillería tuvieron su mayor actividad en las últimas décadas del siglo XVI, pero sin ser la fuente principal de los artilleros que sirvieron en los ejércitos.

Con el fin principalmente de ayudar a esa formación se elaboraron a lo largo de este período un número relativamente alto de tratados sobre artillería, además de otros más generales sobre arte militar. La mayor parte de aquellos tenían como objeto proporcionar los conocimientos «útiles» al artillero en el desempeño de sus funciones. Por tanto, su enfoque era esencialmente práctico, entrando muy escasamente en cuestiones teóricas. Casi siempre que esto se hacía obedecía más al interés del autor por demostrar conocimientos «matemáticos» que por considerar realmente necesaria esa aportación, actitud que era más frecuente cuando el autor no era estrictamente un «hombre de guerra».

Por este motivo, no debe buscarse en los tratados de artillería de esta época, españoles o del resto de Europa, información sobre el nivel de los conocimientos teóricos de su autor, ni del país al que este pertenezca. Los avances teóricos se encuentran en obras de carácter más general, casi siempre en tratados de geometría, y escritos por personas no estrechamente vinculadas a la milicia.

I

LO QUE DEBE SABER UN ARTILLERO

Con frecuencia, los tratados de artillería de los siglos XVI y XVII dedican las primeras páginas a resumir el contenido, justificándolo con títulos como «Lo que debe saber un artillero», pues una vez aclarado esto, su desarrollo, más o menos amplio, sería el total de la obra.

Como ejemplo ilustrativo, y que servirá de referencia en el resto del trabajo, se recoge lo que aparece en el último de los tratados españoles de artillería publicados antes de concluir nuestro período en estudio, *Plática manual y breve compendio de Artillería* (Madrid, 1626), por Julio César Firrufino, catedrático de Matemáticas y Fortificación¹ del Consejo de Guerra y dedicada al marqués de la Hinojosa, capitán

¹ Sobre esta cátedra ver M. I. VICENTE MAROTO y M. ESTEBAN PIÑEIRO, 2006.

La formulación de los principios de la fortificación abaluartada en el siglo XVI

De la *Apología* de Escrivá (1538) al *Tratado* de Rojas (1598)

Fernando Cobos-Guerra
Arquitecto, Valladolid

El primer tratado de la fortificación moderna, la *Apología en excusación y favor de las fábricas del reino de Nápoles*, que escribe el comendador e ingeniero militar español Pedro Luis Escrivá en 1538, postulaba las bases de su debate epistemológico, fruto de las experiencias previas españolas e italianas del periodo de transición y del genio innovador del propio Escrivá en sus fortalezas de L'Aquila y de San Telmo de Nápoles¹.

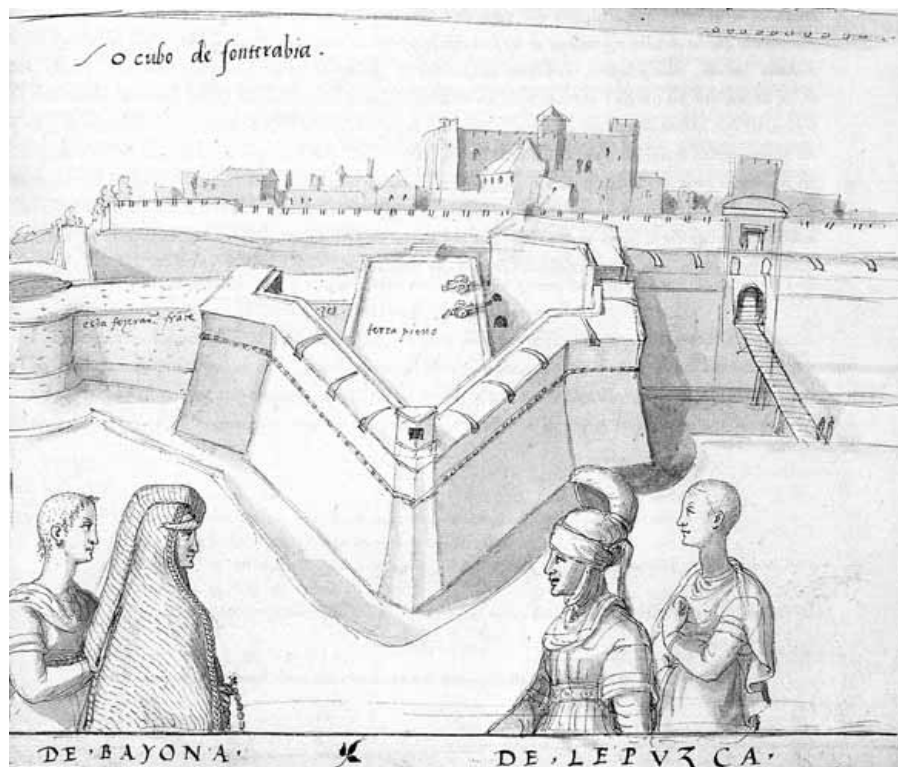
En 1598, el capitán Cristóbal de Rojas publica su tratado *Teórica y Práctica de la fortificación conforme a las medidas y defensas destes tiempos*, que resume las enseñanzas y experiencias de la Academia de Matemáticas que la Monarquía española había fundado en Madrid².

Entre ambos textos se habían formulado distintas soluciones de fortificación a partir de un puñado de tratados, de un conjunto de debates sobre obras y proyectos en Europa, África, América y Asia, y de la experiencia de no pocos asaltos y defensas de plazas contra turcos, franceses, ingleses y holandeses. Sin embargo, los problemas conceptuales básicos del diseño de la fortificación moderna, que habían sido presentados y debatidos en el tratado de Escrivá, seguían siendo los mismos.

El presente texto pretende repasar la evolución de las fortificaciones desde el estudio de las soluciones propuestas en cada momento a los problemas troncales que se planteaba, utilizando para ello las reflexiones de ambos tratados y las expe-

¹ Luis ESCRIVÁ: *Apología en excusación y favor de las fábricas del reino de Nápoles...* Manuscrito de 1538 en la Biblioteca Nacional de Madrid. Edición anotada y comentada en F. COBOS, J. J. de CASTRO y A. SÁNCHEZ-GIJÓN: *Luis Escrivá, su Apología y la fortificación Imperial*, Valencia, 2000.

² Cristóbal de ROJAS: *Teórica y Práctica de la fortificación conforme a las medidas y defensas destes tiempos*, Madrid, 1598. La versión más accesible es la de E. de MARIÁTEGUI: *El capitán Cristóbal de Rojas. Ingeniero militar del siglo XVI*, Madrid, 1985.



12.1. Fuenterrabía, por Francisco de Holanda (1538), en Os Desenhos das Antighalhas, Biblioteca de El Escorial.

riencias y debates producidos en el siglo XVI en torno a las fortificaciones de la Monarquía española³.

I

MODELOS Y PRINCIPIOS DEL ARTE DE LA FORTIFICACIÓN

A menudo se ha pretendido resumir la historia de la fortificación en una serie de modelos que eran copiados sucesivamente y que tendrían su origen en un primer

³ El presente estudio representa la conclusión de diversos trabajos realizados en los últimos cuatro años y contiene algunas reflexiones y figuras ya publicadas en F. COBOS: «Pallas y Minerva, militares e ingenieros en la corona española en el siglo XVI», en *FORTEZZE D'EUROPA. Forme, professioni mestieri dell'architettura difensiva in Europa e nel Mediterraneo spagnolo* (A. MARINO, a cura di), Roma, 2003; F. COBOS y J. J. de CASTRO: «Diseño y desarrollo técnico de las fortificaciones de transición españolas» y «El debate en las fortificaciones del imperio y la monarquía española», en C. HERNANDO (COORD.): *Las fortificaciones de Carlos V*, Madrid, 2000; y F. COBOS, J. J. de CASTRO y A. SÁNCHEZ-GIJÓN: *Luis Escrivá, op. cit.*

13

La minería

Julio Sánchez Gómez
Universidad de Salamanca

El siglo xvi supone el renacimiento de las actividades mineras tras el abandono en que caen las grandes explotaciones romanas en el Bajo Imperio. Es cierto que hubo minas en los dominios islámicos y que los fueros locales castellanos hacen referencia a veces a trabajos mineros, lo que indica que algún trabajo se realizaba. Está bien documentada, desde luego, la extracción de hierro en el País Vasco, en los alrededores de los Pirineos y en otros puntos, sin que se tengan apenas noticias de la continuidad de los trabajos ni de las cantidades que se producían; está constatada también en documentación bajomedieval la elaboración de productos como la galena para alfarería —el llamado «alcohol»—. Pero siempre se trató de trabajos muy simples, puros agujeros que se abandonaban cuando se llegaba a una profundidad que complicaba la explotación. Verdadera minería, en el sentido de labores complejas para extraer productos minerales, no hubo en realidad antes del siglo xvi.

Esa centuria va a ver la constitución por vez primera de un sector minero en manos de la Real Hacienda, que para ello desarrollará un principio legal surgido en la Baja Edad Media —con las Partidas y el Ordenamiento de Alcalá— y no utilizado hasta entonces. Con este sector minero real coexistirá una minería en manos privadas de un extremo raquitismo, si se excluye la producción de hierro vasco y la de alumbre del sureste, ambas tomadas como conjunto.

Será la década central del siglo xvi la de la restauración minera hispana. Coinciden entonces una serie de factores, de los que dos son especialmente destacables. Ambos favorecen el que la Corona fije su atención en el sector minero: por una parte, la difusión por América del procedimiento de amalgamación de plata con mercurio, que hace imprescindible la renovación de Almadén como fuente, entonces única, de producción de este ingrediente; y, por otra, el descubrimiento de la mina de Guadalcanal, un auténtico meteoro productivo que en un tiempo corto produjo una cantidad tan considerable de plata que hizo concebir esperanzas a la administración real de convertirla en una fuente fundamental de ingresos para la Real Hacienda.

La renovación se produjo sobre todo como consecuencia de la acción de técnicos procedentes del área germánica, que fueron contratados por la Corona y que importaron las técnicas avanzadas comunes en la Europa central. La Península Ibérica se convertirá con ello en el puente de transmisión de las innovaciones en minería y metalurgia hacia la actividad minera mucho más importante de América, así como, más tarde, cuando América comience a crear sus propias técnicas minerometalúrgicas, Europa recibirá esas novedades a través de la parte europea del Imperio.

Pero la renovación de la minería se quedará muy corta en los dominios peninsulares. Afectará solo a la efímera mina de Guadalcanal y en menor grado a la de Almadén y a algunas minas menores del entorno de Sierra Morena; toda una serie de factores incidirá en que la técnica renovada no vaya más allá de estas dos empresas: por un lado, el incremento de costes que se produce en el último tercio del siglo hace inviables muchas explotaciones y, por otro, el grado de profundidad a que había llegado la mayoría de las minas conocidas ya en la época romana hacía que su vuelta al trabajo se convirtiera en económicamente inabordable. Sí tuvo, sin embargo, importancia a largo plazo la renovación de mediados de la centuria en el caso americano.

La fluida relación establecida por la minería hispana con la ultrapirenaica se verá interrumpida en los años 70, cuando el temor de la monarquía al contagio protestante del Norte levante barreras infranqueables entre la Península y el mundo germánico afectado por la herejía. A partir de 1575 solo llegarán a España técnicos procedentes de los dominios de Su Majestad Católica, Flandes o Italia sobre todo. Hasta 1750 no volverá a abrirse la minería peninsular a la relación con la Europa del norte, en un intento por volver a colmar el vacío técnico que el aislamiento había producido durante casi dos siglos.

I

LA DEMANDA DE PRODUCTOS EXTRACTIVOS EN EL MUNDO RENACENTISTA

La actividad extractiva y de transformación de bienes del subsuelo dirigía su atención, a fines del siglo xv, a un conjunto de productos mucho menor que el que se conoce hoy. Aparte de los productos extractivos no metálicos —pizarra, caliza, mármol, etc.— usados en construcción y alfarería, eran utilizados desde la Antigüedad el hierro, el cobre, el plomo, el estaño, el oro, la plata y el mercurio entre los metales. Los combustibles minerales, conocidos desde la Baja Edad Media en zonas muy restringidas de la Europa Occidental, empiezan a hacer progresos desde fines del siglo xvi en el norte del continente europeo frente a la madera. Se saca provecho de la aguda crisis forestal de zonas como Inglaterra o los Países Bajos y la ventaja de que, a diferencia de aquella, son de uso directo y no precisan transformación previa.

Ciertos metales no bien conocidos eran utilizados a lo largo de esta centuria, si bien solo más tarde fueron plenamente distinguidos de otros. Es el caso del arsénico, usado en aleaciones por los egipcios, pero que no es descrito como un produc-

El arte de navegar

M.^a Isabel Vicente Maroto
Universidad de Valladolid

A finales del siglo xv la navegación sufre una transformación profunda. Hasta entonces se había realizado una navegación costera, orientándose por la costa visible o cercana. La nueva «navegación de altura» o «navegación astronómica» se inicia en el Atlántico, por los portugueses, en el tercer cuarto del siglo xv, basada en la observación del sol y de la estrella polar. Después del descubrimiento de América y de arribar al Cabo de Buena Esperanza, los científicos y técnicos se afanaron por perfeccionar la navegación, impulsados por el interés de los Estados marítimos de Europa, que veían en su comercio por mar la base más sólida para su engrandecimiento.

Para la Corona española el dominio del mar era uno de los pilares para el mantenimiento de su poder y hegemonía, y una de las actividades más importantes durante el Renacimiento fue por tanto la navegación. La nueva etapa fue posible gracias a la confluencia de la tradición marinera del Mediterráneo con la del Atlántico.

Es conocida la afirmación del almirante Guillén Tato «Europa aprendió a navegar en libros españoles»¹, basada en las numerosas traducciones a las principales lenguas europeas que se realizaron durante el siglo xvi de varios tratados de náutica.

El 14 de febrero de 1503, por cédula de los Reyes Católicos, se crea en Sevilla la Casa de la Contratación —«la primera institución gubernamental para el progreso de la tecnología», en palabras de la historiadora germana Ursula Lamb²— con el fin de regular la navegación a las Indias y mejorar la seguridad. Y eran precisos buenos navíos, capaces de soportar largas travesías, aptos para el transporte de mercancías y capaces de defenderse de los ataques de piratas y corsarios.

Pero la profunda crisis del siglo xvii afectó también a la navegación, e ingleses y holandeses fueron logrando la primacía sobre los ibéricos.

¹ J. GUILLÉN TATO: *Europa aprendió a navegar en libros españoles*, Barcelona, 1943.

² J. M.^º LÓPEZ PIÑERO y otros: *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, 2 vols., Barcelona, 1983, p. 402.

«El arte de navegar es aquella que enseña a los hombres cómo por la mar podrán guiar y endereçar el navío al propuesto puerto». Así comienza Joao Baptista Lavanha, cosmógrafo portugués al servicio de Felipe II, su tratado sobre la materia, leído en la Academia Real Matemática de la corte³. Denominada genéricamente «náutica», es una de las más tempranas disciplinas «aplicadas» y uno de los primeros puentes que acabaron con la separación entre ciencia y técnica propia de la Antigüedad clásica y del mundo medieval⁴, y se desarrolló ante los problemas técnicos que planteaba la nueva navegación de altura. Porque los pilotos habían de guiarse por el cielo, y para conocer su posición debían saber determinar la altura del sol y de la estrella polar mediante los instrumentos más comunes: astrolabio, cuadrante y ballestilla. Además, tenían que manejar la *aguja* (brújula); conocer bien la luna y las mareas; disponer de cartas de navegación correctas, dibujadas por marinos experimentados. Y se precisaban buenos maestros, instrumentos y libros.

I

PILOTOS Y MAESTROS EN EL ARTE DE NAVEGAR

Para una navegación segura eran imprescindibles buenos pilotos que conociesen bien su oficio y buenos maestros que les instruyesen en el «arte». Pero también instituciones que velasen por su formación.

El descubrimiento por Colón de nuevas tierras en Occidente y la consiguiente explotación de sus riquezas impulsaron a los Reyes Católicos a crear, en fechas muy tempranas, la Aduana de Cádiz, con el fin de regular el tráfico de las mercancías que llegaran o que salieran para las Indias. Muy pronto, esta institución se mostró insuficiente, por lo que se estableció en Sevilla, en 1503, la Casa de la Contratación⁵, dotada de una estructura inicial algo más compleja que la Aduana gaditana pero con el mismo objetivo. Se componía de un factor, un tesorero y un escribano que debían atender los aspectos derivados del comercio con América: decidir qué mercancías serían más provechosas para la Corona, nombrar a los capitanes de los buques y darles las instrucciones necesarias para cada viaje y, por supuesto, recibir y guardar las

³ Biblioteca de la Universidad de Salamanca, Ms. 2317. En la primera página del manuscrito figura «Comiencase a leer este trattato del Seor Juan Batta Lavaña Mathemático del Rey Nuestro Señor en la Academia de Madrid a 14 de março de 1588 años».

⁴ J. M.^a LÓPEZ PIÑERO: *El Arte de navegar en la España del Renacimiento*, Barcelona, 1979.

⁵ A José de Veitia y Linaje (Burgos, 1623 – Sevilla, 1688) se debe que se haya conocido muy bien el funcionamiento de la Casa de la Contratación y la colección de leyes relativas a la organización social y jurídica de las actividades científicas de dicha institución. En su obra *Norte de la Contratación de las Indias Occidentales* (1672, traducida al inglés en 1702), en el capítulo segundo, que trata del «Piloto Mayor, los cosmógrafos y pilotos de la carrera de las Indias, y sus derechos y obligaciones», lo explica con detalle.

La construcción naval

M.^a Isabel Vicente Maroto
Universidad de Valladolid

Para el Arte de la navegación, los más necesarios instrumentos son los navíos, sin los cuales no se puede ejecutar este arte.

Fernando Oliveira: *Livro da Fabrica das naus*, h. 1580

La construcción de navíos estuvo siempre en manos de carpinteros de ribera, que aprendían el oficio trabajando al lado de un experto, generalmente transmitido de padres a hijos, guardando siempre el secreto sobre las técnicas practicadas. Pero el descubrimiento del Nuevo Continente creó la necesidad de mejorar las naves para la difícil travesía atlántica, estimulando el perfeccionamiento de la construcción naval. La técnica española, junto a la de los portugueses, llegó a ser la más avanzada de Europa. Desde los Reyes Católicos, la Corona española emprendió una política sistemática de construcción naval, promocionada de una manera rotunda por Felipe II —en palabras de Casado Soto¹— «como instrumento estratégico de primera magnitud, para tratar de sostener un imperio que se expandía por todo el Globo, controlando las rutas oceánicas mediante los más idóneos barcos, dotados de una buena artillería».

Sevilla fue el centro neurálgico de la administración de las Indias y de todos los asuntos marítimos en general; en el momento de su mayor esplendor, a mediados del siglo XVI, la ciudad llegó a tener 140.000 habitantes, población solo superada entonces por París y Londres. Pero el desarrollo de la marina de Castilla se sustentó, en buena parte, en la pericia y artes marineras de los pueblos de la cornisa cantábrica. Durante el primer siglo del descubrimiento de América, la mayor parte de los buques que llegaron a América y al Pacífico fueron barcos españoles construidos en tres provincias del norte peninsular, en los astilleros de Guipúzcoa, Vizcaya y Cantabria, aunque también se estimularon y protegieron por parte de la Corona las actividades marítimas de otras regiones. La protección a los astilleros y puertos vasco-cántabros y su floreciente comercio, industrias férreas y artesanía de jarcias y aparejos, se acentuó durante el

¹ J. L. CASADO SOTO: *Los barcos españoles del siglo XVI y la Gran Armada de 1588*, 1988.

reinado de Carlos I, llegando al extremo de que, a pesar del centralismo de Sevilla, el monarca dispuso en 1534 que no se permitiera ir a las Indias a ningún navío fabricado en las costas de Sevilla, Sanlúcar, Cádiz, Puerto de Santa María, condado de Niebla, marquesado de Gibrleón y Ayamonte, de cuyos lugares solo se permitirían barcos pequeños, pataches, galeras y embarcaciones menores auxiliares, que fueran de aviso; las naos y galeones habían de ser construidas en el norte de España, aunque las protestas de las restantes regiones hicieron que esta disposición fuese escasamente cumplida y durase poco tiempo. Y en Cataluña trabajaron también algunos excelentes constructores, así como en los astilleros de las colonias americanas.

Señala José M.^a Martínez Hidalgo² que el poderío marítimo siguió el rumbo de la civilización, o la civilización el del poderío marítimo, marchando hacia el Oeste, de Fenicia a Cartago y de Grecia a Roma, y que todos esos pueblos declinaron, como Bizancio, en cuanto surgieron otros con flotas más potentes y de superior dominio de la técnica de la construcción naval.

I

LOS NAVÍOS IBÉRICOS

La fábrica tenida en común por mejor, y la que yo por tal estimo, es la que se hace en las provincias de Viscaya, y la que se haze en Portugal, la qual aún quieren sus naturales que sea sin competencia.

Tomé Cano: *Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos*, 1611

Uno de los factores más influyentes en la realización de las grandes navegaciones de la Edad Moderna fue la mejora de las embarcaciones, tanto en lo relacionado con su maniobrabilidad como en la resistencia de sus estructuras.

El océano Atlántico y el mar Mediterráneo constituyen dos áreas marítimas bastante diferentes, sobre todo en lo que se refiere a características geográficas, hidrográficas y meteorológicas. Las peculiaridades de la navegación oceánica, propia de las costas atlánticas, hicieron preferir a los marinos de los puertos de esta vertiente costera de la Península Ibérica el uso de barcos de vela. Por el contrario, en el mar Mediterráneo se utilizaron las galeras y galeazas, barcos tradicionalmente usados en esas aguas y caracterizados por disponer de propulsión a remos.

I.1. *Navíos de vela y de remo*

La tradicional división de los navíos en embarcaciones de vela y de remo es suficientemente operativa cuando se trata de ver cuáles eran las principales diferencias

²J. M. MARTÍNEZ HIDALGO: *Las naves del descubrimiento y sus hombres*, 1992.

Agronomía y geopenia

Jordi Cartaña i Pinén
Universidad de Barcelona

Durante el siglo *xvi* se produjo un importante crecimiento demográfico, que fue general en los países de la Europa occidental. Sirva como ejemplo el aumento de población del Reino de Castilla, que dobló el número de habitantes entre 1530 y 1594, pasando de tres a seis millones¹. Por tanto, una de las características de los inicios de la época moderna en relación con la agricultura fue el gran incremento que experimentó la producción agrícola de primera necesidad como los cereales y la carne.

La mayor demanda de alimentos favoreció al sector agrícola, que incrementó la extensión de las tierras de cultivo mediante nuevas roturaciones y saneamiento de terrenos pantanosos y marjales. Numerosos prados destinados a la alimentación animal se convirtieron en tierras para el cultivo de cereales, y se procedió a la desecación de pantanos y a la construcción de diques para ganar terrenos. Este cambio de usos permitió aumentar notablemente el rendimiento energético, ya que la ganadería necesita diez veces más superficie que el cultivo de cereales para conseguir la misma cantidad de energía. En España esta transformación se realizó a expensas de los terrenos de la Mesta, produciéndose a principios del seiscientos una disminución del 60% de las cabezas de ganado.

El proceso fue de carácter extensivo, sin producirse ninguna mejora destacable en la productividad de los cultivos, que durante toda la Edad Moderna se situó, para España, Francia e Italia, entre 6,2 y 7 granos por cada semilla plantada². Esta baja productividad generaba muy pocos excedentes, calculándose que el superávit acumulado por cada cuatro o cinco familias campesinas servía para alimentar solo a una que viviera en la ciudad.

El incremento de la población, la merma de terrenos dedicados al pastoreo y otras circunstancias menores produjeron una disminución de la ganadería que comportó un encarecimiento de la carne y una reducción del volumen de estiércol nece-

¹ B. H. SLICHER VAN BATH, 1974, p. 289; A. DOMÍNGUEZ, 1976, p. 76.

² P. KRIEDTE, 1982, p. 35; A. Domínguez indica una productividad aún más baja para España de cinco granos por cada uno plantado (A. DOMÍNGUEZ, 1976, p. 158).

sario para abonar los campos de «pan llevar»³. Los campesinos se vieron obligados a comprar en el exterior el estiércol que su finca no podía producir y se estimuló la búsqueda de nuevos abonos para los campos como la marga o la cal.

A pesar de que los tratadistas del Renacimiento ya conocían y fomentaban el monocultivo de determinadas plantas como alimento para el ganado, la descompensación entre el estiércol producido y el necesario se alargó, según Slicher van Bath, hasta mediados del siglo XVIII, en que, ya en los inicios de la revolución agrícola, se produjo un gran aumento del cultivo de plantas forrajeras.

La sustitución de los bueyes por mulas para realizar las tareas del campo fue en general negativo, ya que los surcos fueron menos profundos y se precisó más cantidad de cebada para alimentarlas, mientras que a los bueyes les bastaba con los rastrojos y las dehesas. La única ventaja que se podía atribuir a las mulas era la rapidez de las labores, pues araban el doble de superficie que los bueyes.

En España el cultivo de la viña aumentó notablemente a costa de la superficie cerealística. La producción de uva estaba menos afectada por los cambios climáticos y se requería menos mano de obra. La disminución de carne y la carestía consecuente obligó a las clases más humildes a incorporar el vino a la dieta diaria como fuente de calorías. La extensión del olivar fue más tardía y estuvo motivada posiblemente por cambios en los hábitos alimenticios⁴. A diferencia de Castilla y la zona mediterránea, los territorios del norte de España, Galicia y la cornisa cantábrica, fueron paupérrimos hasta que se generalizó el cultivo del maíz ya en el setecientos.

A mediados del siglo XVII la situación dio un vuelco al producirse la caída de los precios del grano en un 25 o un 30% respecto de su coste anterior. Este cambio, que afectó a toda Europa, estuvo influido por la Guerra de los Treinta Años, finalizada en 1648, y las diferentes pestes y otras epidemias que asolaron el continente. Se frenó la roturación de nuevos terrenos y numerosas tierras de cultivo retornaron a tierras de pastoreo, aumentando la ganadería y el cultivo de plantas forrajeras. En conjunto se produjo en esta época una «renovación escasa de la técnica agrícola y un escaso interés de los problemas de índole agrario»⁵.

En España la despoblación de las zonas rurales alcanzó casi el 25%. Se incrementó la cría de ganado a nivel local, como complemento de la agricultura, continuando la pérdida de influencia de la Mesta y aumentando mucho el cultivo de la vid a expensas de los cereales.

El florecimiento agrícola acaecido en el siglo XVI y primera mitad del XVII favoreció la aparición en Europa de numerosos tratados técnicos relacionados con la agricultura, que ejercieron cierta influencia en los diferentes territorios y que fueron reeditados en numerosas ocasiones hasta bien entrado el siglo XIX.

³ Era el nombre común que recibían los campos dedicados al cultivo de cereales.

⁴ Antonio DOMÍNGUEZ, 1976.

⁵ B. H. SLICHER VAN BATH, 1974, p. 305.

Protoindustria: Una perspectiva desde *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas*

Alexander G. Keller
University of Leicester

Manuel Silva¹
Universidad de Zaragoza

Una parte interesante de la técnica de la proto-industria renacentista se presenta en el voluminoso manuscrito, en cinco tomos, titulado *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas*, conservado en la Biblioteca Nacional de Madrid (signatura mss. 3372-3376)², particularmente en los «libros» xi al xiii. Este manuscrito, el más importante tratado europeo del Renacimiento sobre ingeniería hidráulica, se utiliza como hilo conductor de las ideas básicas que brevemente se exponen³.

En primer lugar se consideran diferentes tipos de molinos, inicialmente para cereales. Por su peculiar principio de funcionamiento, en el siglo xv i español destaca una innovación: los molinos «de regolfo», precedente de las turbinas actuales. Documentados por primera vez en España, están presentes también en otras partes del área mediterránea. En una segunda sección se tratan otras aplicaciones fabriles agroalimentarias (almazaras y trapiches, en particular) y, dentro del ámbito de lo textil, un batán, máquina que golpeando los paños permite desengrasarlos y enfurtilarlos. De las aplicaciones a procesos metálicos, *Los Veintiún Libros* solo presentan una máquina para la limpieza y bruñido de armas. En todos los casos, las fuentes de energía son motores «de sangre» (personas o animales de carga), eólicos o hidráulicos. Las dos primeras clases de motores solo se abordarán de forma tangencial.

¹ Los autores desean reconocer el apoyo de la Fundación Juanelo Turriano (Madrid) al estudio de la técnica en España; en particular al del tratado que sirve aquí como hilo conductor.

² *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas de Juanelo Turriano*, edición facsímil con transcripción del manuscrito, prólogo de P. LAÍN ENTRALGO y reflexiones de J. A. GARCÍA-DIEGO, Aranjuez, 1996; N. GARCÍA TAPIA: *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*, Diputación General de Aragón, Zaragoza, 1997.

³ En el último lustro han aparecido otras dos «versiones» del tratado, una en la Biblioteca Nazionale Centrale de Firenze, otra en la de la familia Torner en Barcelona. Mucho más escueto, el manuscrito en Florencia, redactado en el entorno de don Álvaro de Bazán, Marqués de Santa Cruz, fechable hacia 1585-1590, parece ser el más antiguo de los conocidos (véase un primer análisis en M. SILVA y M. S. MENJÓN, 2001, pp. 113-124). Se ha podido constatar que el Códice Torner es posterior a 1596-98.

Las corrientes de agua fueron una importantísima fuente de energía hasta el siglo XVIII, y aún hoy se cuentan entre las más importantes de las renovables, básicamente generando electricidad en centrales hidroeléctricas. En la tercera sección se considera un cierto número de industrias de proceso que en sentido laxo se podrían denominar proto-químicas, aunque en ellas no se den propiamente reacciones químicas. En primer lugar se menciona la fabricación del almidón o el lavado de la lana en tintorerías, tareas enmarcadas en el ámbito de la industria textil. En otros casos el agua se emplea en el proceso de refinado de la materia prima, como ocurre en la obtención del alumbre, del vitriolo o del salitre. A veces, las descripciones de *Los Veintiún Libros* están ilustradas con planos de edificaciones manufactureras que se encuentran entre los más antiguos conocidos.

Por estar hechos en madera, la mayor parte de los mecanismos que transferían la energía del viento o del agua a los molinos, batanes, sierras, martinets, etc. no ha perdurado; como el historiador y filósofo de la técnica Lewis Mumford observó:

la mayoría de las máquinas fundamentales e inventos empleados posteriormente durante la época industrial fueron desarrollados primero en madera y posteriormente realizados en metal; la madera posibilitó las experiencias preliminares para la nueva industrialización⁴.

Aunque las maquinarias no han sobrevivido, son múltiples los lugares donde se pueden hallar restos de los edificios, a menudo de piedra, que las albergaban. Bajo el epígrafe «Patrimonio recuperado» se recogen en este texto dos molinos reconstruidos (eólico y de cereal en Malanquilla; hidráulico para fabricar pólvora en Villafeliche), así como la recuperación de un batán (Lacort-Fiscal). Adicionalmente, en los archivos se suelen hallar descripciones o, al menos, referencias a la construcción de instalaciones proto-industriales, a sus reparaciones o a los cambios de propiedad.

Otra fuente de información son algunas obras de arte, ya que formando parte de los paisajes de los cuadros, a veces aparecen edificios, ingenios e instrumentos. Pero, sobre todo, existen algunos tratados sobre la técnica de la época; el más importante es el ya mencionado, *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas*, donde se describe con detalle un conjunto significativo de los ingenios que aprovechaban la fuerza del agua en el siglo XVI. Aunque erróneamente atribuido al ingeniero italiano Juanelo (o Giovanni) Turriano, está claro que el autor de esta obra fue un español, probablemente un altoaragonés.

Entre estos libros, el undécimo trata de muy diversos modelos de molinos de agua, mientras que en el duodécimo se presenta una máquina para cernir la harina o «burato», «que así se llaman en Italia, donde se ha inventado esta invención». Aunque la invención fuera italiana, el dibujo que aparece en el tratado se considera el primero que ilustra el cernedor automático, al menos de una forma tan clara y con tanto detalle. En el décimo tercer libro, el autor describe otras máquinas «industriales» que emplean el agua como fuente de energía o como disolvente.

⁴ L. MUMFORD: *Technics and Civilisation*, Londres, 1934, p. 120 (*Técnica y Civilización*, p. 138).

Privilegios de invención

Nicolás García Tapia
Universidad de Valladolid

Uno de los factores más influyentes en el desarrollo de la tecnología es la capacidad de los inventores para crear nuevos utensilios y máquinas para mejorar el proceso de fabricación de objetos técnicos. Desde el Renacimiento, se ha reconocido a los inventores la propiedad intelectual y el derecho en exclusiva para explotar las mejoras técnicas en la industria, lo que fue el origen de las actuales patentes. Los reyes de la monarquía hispánica concedían privilegios de invención desde 1478, algunos de ellos de una sorprendente anticipación e interés para la historia de la tecnología.

I

INVENTAR Y DESCUBRIR

La invención supone un acto de creación mental distinto del descubrimiento. Por este último se da a conocer algo que ya existía, pero que permanecía oculto; por ejemplo, ciertas leyes de la Naturaleza, una nueva especie de plantas o un nuevo continente. Por la invención se crea algo que no existía previamente, lo que requiere un mayor esfuerzo de imaginación. Además, en la invención técnica, a diferencia del descubrimiento científico que no tiene por qué tener una aplicación inmediata, es preciso que el objeto inventado sea útil y práctico. El descubrimiento satisface la curiosidad humana y la invención cubre una determinada necesidad. Todas estas condiciones confieren a la invención unas características que se diferencian netamente del hecho de descubrir, y al inventor una personalidad distinta del descubridor. Sin embargo, invención y descubrimiento tienen en común el ser actos creativos y que amplían las perspectivas humanas. Ambas actividades se necesitan y se complementan mutuamente.

La invención y el descubrimiento han recibido diferentes grados de aprecio en la historia, según la época y las circunstancias en que se produjeron. Uno de los periodos históricos más pujantes, tanto en invenciones como en descubrimientos, fue el Renacimiento.

En un libro sobre los nuevos descubrimientos de la Humanidad escrito en 1580, Johannes Stradanus celebra los nueve grandes descubrimientos e invenciones que según él habían caracterizado la época del Renacimiento. Estos eran, en primer lugar, el descubrimiento de América; después venían la brújula, la pólvora, la imprenta, el reloj, el guaiaco, utilizado para curar la sífilis, la destilación, la seda y, finalmente, las espuelas que permitían el combate a caballo.

Aunque nuestra percepción de la historia haya cambiado desde entonces y se podría hacer en la actualidad alguna variación en el orden de importancia de los hechos o introducir alguna invención realizada entonces y que hoy valoramos su interés, se puede estar básicamente de acuerdo con esta visión de Stradanus, que también era la de un buen número de humanistas del Renacimiento. Resaltaremos la importancia que se da al descubrimiento de América, colocado en primer lugar, y el indiscutible valor de invenciones como la brújula y la pólvora, colocadas incluso antes que la imprenta. Señalaremos además el origen oriental, chino más concretamente, de estas invenciones, algunas de las cuales ya se conocían en la Edad Media, lo que sitúa a la invención y al descubrimiento en un marco universal.

II

LA TÉCNICA ESPAÑOLA EN EL RENACIMIENTO

El Renacimiento representó para España una brillante etapa cultural, siguiendo las pautas de lo que había acontecido en Italia durante el siglo xv. En los terrenos literario y artístico, la renovación humanista que siguió al redescubrimiento de las obras de la Antigüedad clásica produjo una esplendorosa eclosión de artistas que plasmaron su pensamiento estético en obras que hoy admiramos.

En el terreno científico, el descubrimiento de América supuso la ampliación del horizonte natural y la necesidad de estudios cosmográficos acordes con las nuevas dimensiones de lo conocido. La ciencia de los instrumentos y de la navegación se vio, en consecuencia, sensiblemente mejorada. Aquí los descubrimientos y la invención encontraron un punto de unión. Los ingenieros aprendieron de los cosmógrafos y estos necesitaron de los técnicos¹.

El mantenimiento del amplio imperio formado a raíz de la unión de los reinos españoles en una sola corona y del descubrimiento de un nuevo mundo, necesitó del concurso de la ciencia de los ingenieros. Era preciso abrir rutas por mar, por tierra y hacer navegables los ríos. Construir acueductos, canales de navegación y riego para fertilizar las nuevas tierras cultivables.

¹ N. GARCÍA TAPIA: «Ingeniería y Cosmografía en el Siglo de Oro español», en *Congreso Internacional sobre la Ciencia y el Descubrimiento de América*, Madrid, 1991. Publicado con el título «Los ingenieros y la cosmografía en España en los siglos XVI y XVII», en *Mundialización de la ciencia y cultura nacional*, A. LAFUENTE, A. ELENA y M. L. ORTEGA (eds.), Aranjuez (Madrid), 1993, pp. 97-103.