

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

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.

En las nuevas ciudades, o en aquellas que habían crecido como consecuencia del comercio y de las mayores actividades industriales, era preciso desarrollar abastecimientos de aguas y saneamientos urbanos. Para ello se instalaron nuevas redes de tuberías, canales y acueductos, así como presas donde embalsar el agua. Y es que la industria surgida en la Edad Media también se había ampliado: molinos, batanes, telares, herrerías, etc., emergían para atender una creciente demanda.

El protagonista de esta eclosión técnica fue el ingeniero, cuya función en el Renacimiento empezaba a ser definida, aunque a veces bajo el epígrafe de «arquitecto» o de «maestro de obras», con los que a menudo se confundía. En efecto, lo que hoy entendemos por ingeniería era ejecutado generalmente en el Renacimiento por arquitectos y maestros de obras. A estos se les valoran actualmente sus obras de arquitectura en catedrales, iglesias y palacios, pero menos sus obras de ingeniería. Así, al famoso Juan de Herrera se le conoce más por ser arquitecto del monasterio de El Escorial (que, por cierto, también es una gran obra de ingeniería) que por haber resuelto el problema de abastecimiento de agua a ciudades como Valladolid o por haber inventado máquinas para cortar el hierro, por ejemplo².

En consecuencia, se necesitaban hombres que atendiesen esta demanda tecnológica, y los municipios, la Iglesia o los grandes señores contrataron sus servicios. Pero fueron sobre todo los grandes monarcas de los nuevos reinos surgidos de las luchas territoriales medievales, los que en mayor medida demandaron en sus cortes la presencia de estos ingenieros. Como no podía ser menos, fueron los monarcas más poderosos de la tierra, los de los reinos hispánicos de la casa de Austria, los que más ingenieros ocuparon. En el Renacimiento, los más apreciados eran los italianos, y estos son los que llegaron en mayor número a España. El caso de Juanelo Turriano, que es el más conocido, no fue el único. Una abundante nómina de ingenieros se puede rastrear en las cuentas de pago de los archivos: Calvi, Tercio, Sitoni, Paccioto, Leoni, Spanocchi, Locadello, Fratin, Antonelli, por solo citar unos pocos, actuaron con mayor o menor fortuna en campos diversos de la ingeniería en España, generosamente pagados por los monarcas españoles.

Si el número de los ingenieros extranjeros fue abundante, el de los españoles no estuvo a la zaga, sobre todo después de la segunda mitad del siglo XVI en que se incorporaron al servicio de la corona los que habían tenido su aprendizaje en Italia, añadidos de otros que formaron una escuela española. Podemos citar los nombres de Girava, Lastanosa, Esquivel, Morales, Rojas, Montalbán, Lobato y Ayanz, entre otros muchos hasta ahora casi desconocidos, pero que merecerían ser recordados entre las grandes personalidades de la historia española, desgraciadamente más atenta hacia los hombres de la política y de la guerra que a los genios de la ciencia y de la técnica.

² Ídem, *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento Español*, Universidad de Valladolid, 1990, pp. 319-365.

Las obras de estos hombres se plasmaron en escritos de diversa índole, entre los que no faltaron los dedicados a las máquinas y a la ingeniería. Solo citaremos uno que se había atribuido hasta ahora a Juanelo Turriano: *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas*, que podemos atribuir, según hemos deducido a través de una abundante documentación, al ingeniero aragonés Pedro Juan de Lastanosa³. El original fue escrito entre 1564 y 1575 y de él se sacaron varias copias, la más completa conocida es la de la Biblioteca Nacional de Madrid⁴. Aunque hay pocos libros impresos del Renacimiento que traten exclusivamente de la técnica, los textos de arquitectura solían dedicar algunos capítulos a las máquinas y a las obras de ingeniería, porque no había una frontera nítida entre la arquitectura y la tecnología.

Los ingenieros prácticos plasmaron las ideas de los libros en obras útiles y, a la inversa, las invenciones se reflejaron en los textos: nuevos tipos de molinos, ferre-rías, batanes, telares, bombas de elevación de agua, canales, presas, acueductos, puentes y otras obras de ingeniería causaron la admiración en su época. Todo ello fue el caldo de cultivo que propició la imaginación de los inventores.

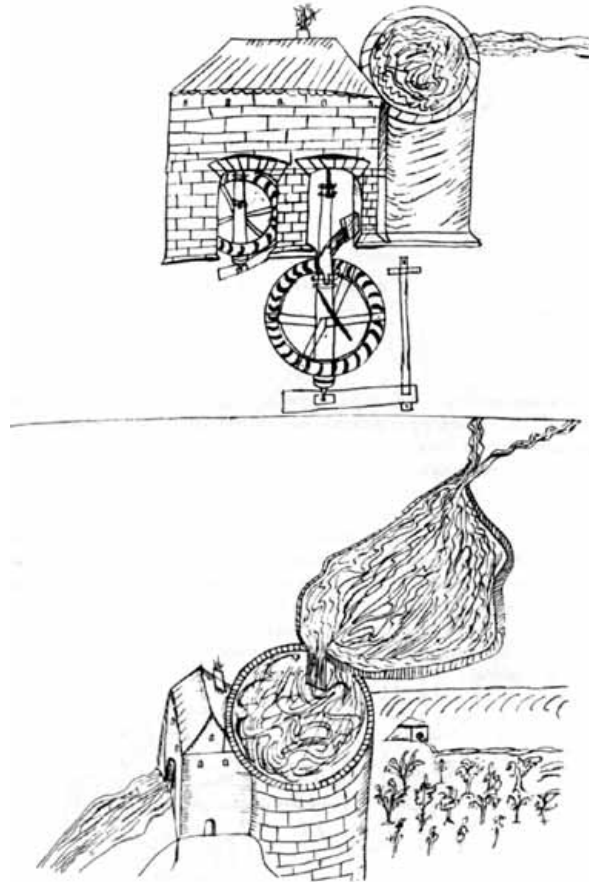
III

ORIGEN DE LAS PATENTES

Las sociedades occidentales han creado, a partir del Renacimiento, una serie de incentivos para desarrollar la tecnología, bien sea a través de instituciones para fomentar la investigación, por medio de recompensas a los que conseguían inventar un instrumento útil para la comunidad, o promulgando leyes para defender a los inventores. Esta última opción ha sido la más eficaz para estimular la invención, independientemente de la institución de premios destinados a promover, en unas circunstancias concretas, la resolución de un problema que acuciaba a la nación. Tal fue, por ejemplo, el caso de la medida de la longitud para conocer la posición de un navío en alta mar, que fue objeto de un concurso promovido por Felipe III, al que se

³ Ídem, *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*. Zaragoza, 1997. Aunque hay algunos que niegan tajantemente la autoría de Lastanosa, no solo no hay ninguna prueba, sino que todos los documentos que hemos examinado parecen indicar que Lastanosa fue quien escribió el original. Tampoco se ha encontrado ningún autor alternativo, a pesar de saberse que era aragonés de una época muy concreta y de haberse realizado una búsqueda profunda del mismo por varios investigadores. Como es difícil pensar que alguien que escribió una obra tan completa no haya dejado ningún otro rastro, mantendremos la atribución a favor de Pedro Juan de Lastanosa, puesto que es el único que del que existen pruebas sobre la autoría.

⁴ Recientemente se ha estudiado una posible copia parcial de *Los veintiún libros...* titulada *Trattato dell'acque*, en la Biblioteca Nacional de Florencia. Véase Manuel SILVA y M.^ª Sancho MENJÓN: *Ingenios, máquinas y navegación en el Renacimiento*. Zaragoza, 2001. A nuestro parecer, este «tratado» puede ser una de las copias que se hicieron del original para uso de los especialistas de la Corte, como habíamos anunciado en nuestro trabajo anteriormente citado.



18.1. Molinos hidráulicos del siglo XVI, con eje vertical, cubo y saetino (el inferior, también con balsa), según el manuscrito de Francisco Lobato (fol. 16).

presentaron grandes inventores y científicos, incluido el propio Galileo. Por otra parte, las academias e instituciones similares tenían una finalidad más científica y de estímulo para sus miembros⁵.

La idea de que el medio más eficaz para proteger a los inventores es el derecho exclusivo de explotar su invento, es un concepto de la cultura occidental renacentista. Anteriormente este monopolio se otorgaba para la repoblación y cultivo de un nuevo territorio, la explotación de una mina o el disfrute de los derechos de control de venta de un determinado producto. Esto se hacía mediante cédulas de privilegio expedidas por la corona. La ampliación de los beneficios a los inventores produjo lo que ahora consideramos como patentes.

⁵ I. VICENTE MAROTO y M. ESTEBAN PIÑEIRO: *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, Valladolid, 1991.

La primera patente conocida fue otorgada en la República de Florencia en 1421. En 1474 Venecia promulgó la primera ley general protegiendo a los inventores⁶. Desde entonces, el uso de patentes de invención se difundió a toda Europa, siendo las principales monarquías occidentales, Inglaterra, Francia y España, las que más usaron de este sistema.

En un principio, las patentes o privilegios por invención se concedían por el rey, asesorado por un Consejo Real en el que intervenían personas relevantes de la Corte que tuviesen cargos de carácter científico o técnico para poder opinar sobre la invención. Las patentes se otorgaban generalmente en función de intereses de la monarquía y con el criterio de una minoría influyente y restrictiva. Esto fue así a lo largo de los siglos XVI y XVII y durante la época del despotismo ilustrado del siglo XVIII. Las nuevas ideas enciclopedistas en Francia y el pragmatismo burgués en Inglaterra hicieron cambiar las cosas, pasando el poder de refrendar las patentes del rey a las Oficinas de Patentes.

Se dispone de estadísticas de invenciones de algunos países, referidas a las primeras patentes. Robert K. Merton⁷ ha estudiado, desde el punto de vista económico, las invenciones inglesas de mediados del siglo XVI. Las conclusiones que se deducen del estudio de las patentes españolas en el mismo periodo muestran que estas tienen un nivel similar e incluso superior a las inglesas. Mostraremos esto con más detalle.

IV

PRIVILEGIOS DE INVENCION EN ESPAÑA

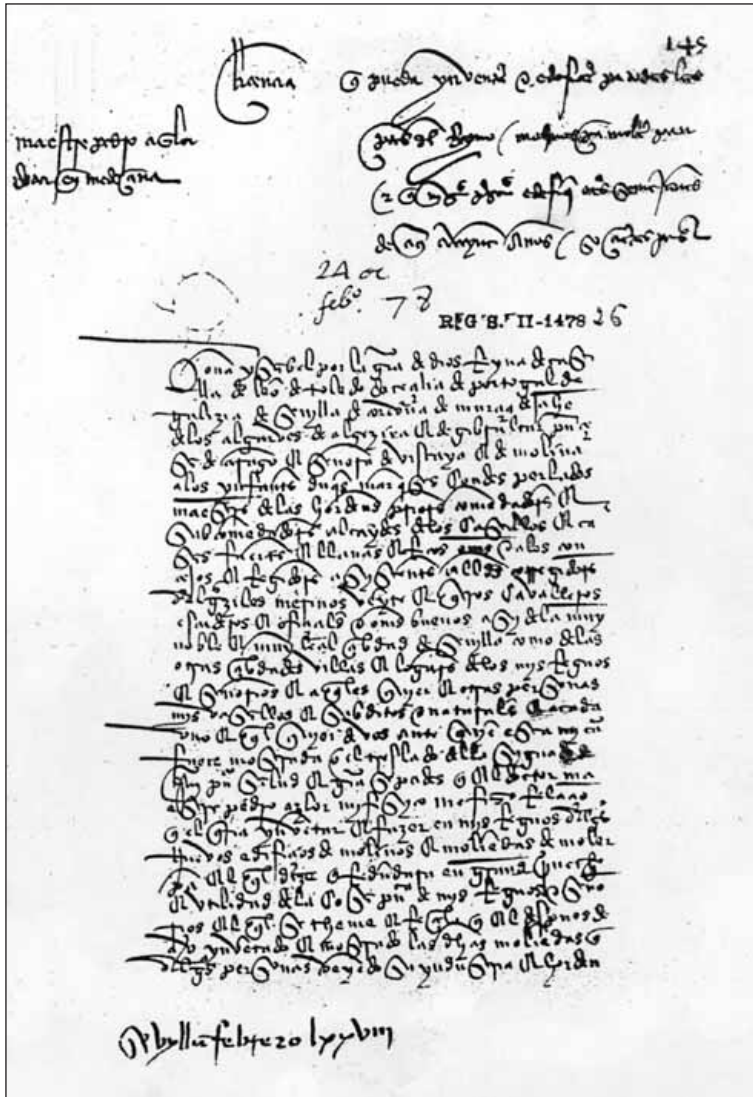
Poco después de la aparición las primeras patentes italianas comenzaron a otorgarse también en Castilla privilegios de invención que amparaban al beneficiario en un marco territorial mucho más amplio que el limitado de las ciudades italianas.

Solo cuatro años después de la primera ley general de privilegios por invención concedida en la ciudad de Venecia, a la que antes aludíamos, la reina Isabel la Católica firmó en Sevilla, el 24 de febrero de 1478, una patente de invención⁸ que es la primera que conocemos en España y una de las primeras del mundo. Está destinada al médico de la reina Pedro Azlor y contiene las cláusulas que serán en lo sucesivo características de las patentes modernas: los motivos de la concesión de privilegio, el tiempo por el que se conceden y las penas a los que contravengan la invención.

⁶ J. B. RAE: «El invento de la invención», en *Historia de la tecnología*, M. KRANZBERG y C. W. PURSELL (eds.), Barcelona, 1981, vol. II, cap. 19.

⁷ B. K. MERTON: *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Madrid, 1984, p. 69.

⁸ N. GARCÍA TAPIA: «Pedro Azlor, médico de Isabel la Católica, y su patente de invención», *Asclepio*, vol. XLIX, fasc. 1, 1997, pp. 161-169.



18.2. Página inicial del privilegio por invención de un sistema de molienda, concedido por Isabel la Católica a Pedro Azlor en 1478. Es el primero de este tipo conocido en España y uno de los primeros del mundo. Transcribimos la parte del documento en que se basa la concesión del privilegio:

«Sepades que el doctor maestro Pedro Azlor, my fisico, me hizo relación que el queria ynventar y fazer en mis Reynos y Señorios nuevos edificios de molinos e moliendas de molar pan, el qual dize que redundara en grand prouecho e utilidad de la cosa publica de mys reynos e señoríos, e que el se theme e regela que el, despues de aver ynventado e mostrado las dichas moliendas, que algunas personas veyendo su yndustria e horden que el en ello tiene, quieran fazer en ello otro tanto de la forma que el lo había fecho, siendo el primero que en estos mys reynos lo aya traydo e creado [...]».

(Archivo General de Simancas).

En los primeros privilegios, sin embargo, todavía no se explicaba con detalle en qué consistía la invención, seguramente ante la falta de confianza en el sistema. En la patente de Pedro Azlor solo sabemos que se trataba de un nuevo sistema de molienda aplicable a todo tipo de artificios movidos a mano, por animales, por el agua o por el viento. Para los que se aprovecharan de la invención sin permiso del autor, se imponía una sanción de 50.000 maravedís: 20.000 para el inventor y 30.000 para la Cámara Real, aparte de la destrucción de los aparatos que hubieran sido copiados por otras personas. La validez del privilegio en exclusiva era de 20 años, a partir de los cuales el invento pasaba a dominio público.

La cuantía de las multas y el tiempo de explotación en exclusiva variaron en los privilegios que se concedieron después. La fórmula jurídica de lo que iban a constituir en los siglos siguientes los privilegios de invención, hasta la institución en España del actual sistema de patentes en el siglo XIX, estaba ya establecida en el siglo XV bajo el reinado de los Reyes Católicos.

La petición la formulaba el inventor al rey, debiendo presentar la máquina que se deseaba patentar, o al menos una maqueta o modelo de la misma. Todo esto era examinado por el Consejo Real o la Cámara del Reino, que a su vez podía solicitar un informe elaborado por expertos en la materia. Los inventos destinados a América se tramitaban a través del Consejo de Indias.

En la época del reinado de Felipe II era frecuente que el propio rey expusiera su parecer al margen del documento, pues el monarca era muy aficionado a la tecnología y además examinó algunas invenciones con una extrema meticulosidad. Si el dictamen de los científicos (o del propio rey) era favorable, el monarca otorgaba el privilegio y lo garantizaba con su firma. Se expedían tres copias: un ejemplar era para el inventor, otro para la administración y el tercero se archivaba. Gracias a esta circunstancia hemos podido analizar más de doscientos documentos que contienen invenciones, algunas de las cuales cambian la visión que se tiene aún del estado de la tecnología española en los siglos XVI y XVII⁹.

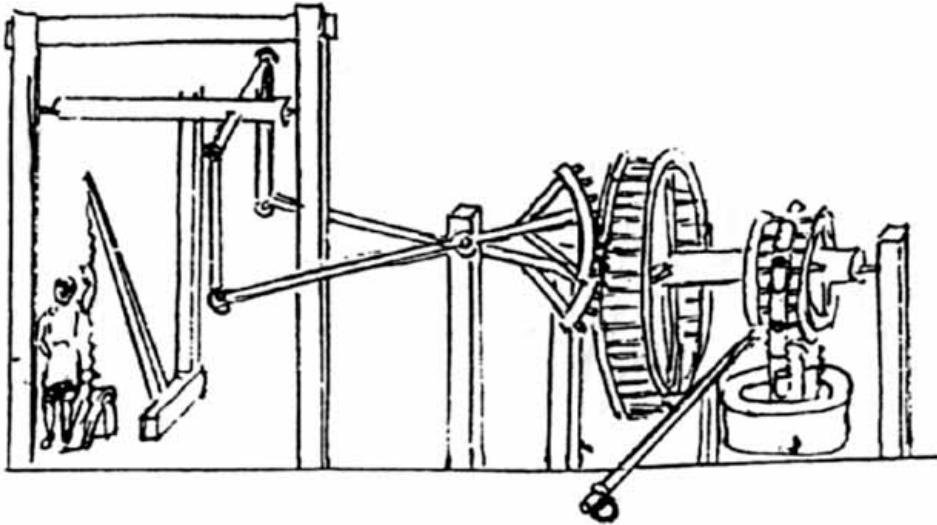
V

TIPOLOGÍA DE LAS INVENCIONES

En el periodo que estamos estudiando, desde 1478 hasta principios del siglo XVII, existe una considerable dispersión de las características de los privilegios de invención, lo que dificulta su clasificación.

Teniendo en cuenta el número de invenciones, se sitúan en primer lugar las dedicadas a la minería, un total de 61, de las que 54 obtuvieron el correspondiente privilegio real; entre ellas se encuentran procedimientos metalúrgicos para la obtención de ciertos metales, las técnicas de extracción, las de desague y las manipulacio-

⁹ Ídem, *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, Madrid, 1990.



18.3. Máquina de vaivén de Jerónimo de Ayanz, con su balanza para determinar el rendimiento (Archivo General de Simancas).

nes del mineral: trituración, clasificación, lavado... Es preciso decir que muchas de estas invenciones mineras se aplicaron en la América española.

En segundo lugar aparecen las invenciones destinadas a la molinería (45 invenciones, 33 de ellas con privilegio concedido), entre las que se encuentran numerosos tipos de estas máquinas. No es de extrañar esta elevada cifra, teniendo en cuenta que los molinos eran muy numerosos en el siglo xvi y tenían una gran importancia para la confección de productos industriales y alimentarios. Se incluyen en este apartado los batanes, ferrerías, almazaras, fabricación de pólvora, de papel y de otros productos obtenidos utilizando la energía hidráulica.

En el apartado de maquinaria se incluye una variada gama de invenciones de ingenios y mecanismos para facilitar el trabajo manual. También son muy representativas las patentes destinadas a mejorar los sistemas existentes de elevación de agua.

La importancia de la técnica náutica y de los instrumentos para navegar tuvo su reflejo en el número de invenciones que se dedicaron en España a este apartado. Se encuentran entre estas los nuevos diseños de barcos y de bombas de achique, que examinaremos después. En contraste, resultaron estériles los intentos para realizar barcos movidos por ruedas de paletas. La realización de equipos de buceo que resoliesen el problema de la permanencia bajo el agua tentó a muchos inventores, pero solo Jerónimo de Ayanz logró en esta época una solución eficaz, como veremos.

La aprobación invenciones en el campo militar seguía otra vía distinta; el secreto con que se llevaban estos asuntos en el Consejo de Guerra hace difícil averiguar cuántas se llevaron realmente a cabo. Sí sabemos, en cambio, que fueron rechazados varios ingenios relacionados con la artillería, porque se trataba de pura fantasía.

El secreto en que se mantenían estas máquinas de guerra impidió que se concediesen más privilegios de invención en este apartado, por el riesgo de que fuesen espionados por el enemigo.

Hemos contabilizado nueve propuestas en los campos de aparatos para la destilación y otros procesos alquímicos. Los instrumentos destilatorios aprobados estaban casi todos ellos destinados a obtener agua destilada, potabilizar el agua del mar o para producir medicamentos curativos. Fueron, en cambio, drásticamente rechazados aquellos alquimistas que pretendían alcanzar cosas imposibles, como convertir el plomo en oro. La razón de esto estriba en que para obtener un privilegio de invención se exigía previamente la prueba de su funcionamiento, lo que, obviamente, no pudo hacerse en ninguno de los casos de estas pretensiones engañosas.

Hay varias invenciones no clasificables en ninguno de los apartados anteriores: sistemas que mejoraban la iluminación de los candiles, velas de cera de altura inusitada que tardaban mucho tiempo en consumirse, procedimientos para combatir las plagas, métodos para que los correos no pudieran ser interceptados, mecanismos de movimiento perpetuo... Pocas de estas invenciones llegaron a ser patentadas, pero la prueba más importante del rigor con que se expedían los privilegios es que ninguno que fuese imposible de realizar fue concedido, y esto a pesar de los muchos falsos inventores que en esta época intentaron engañar con sus fantásticos artilugios a los desconfiados consejeros y científicos reales¹⁰.

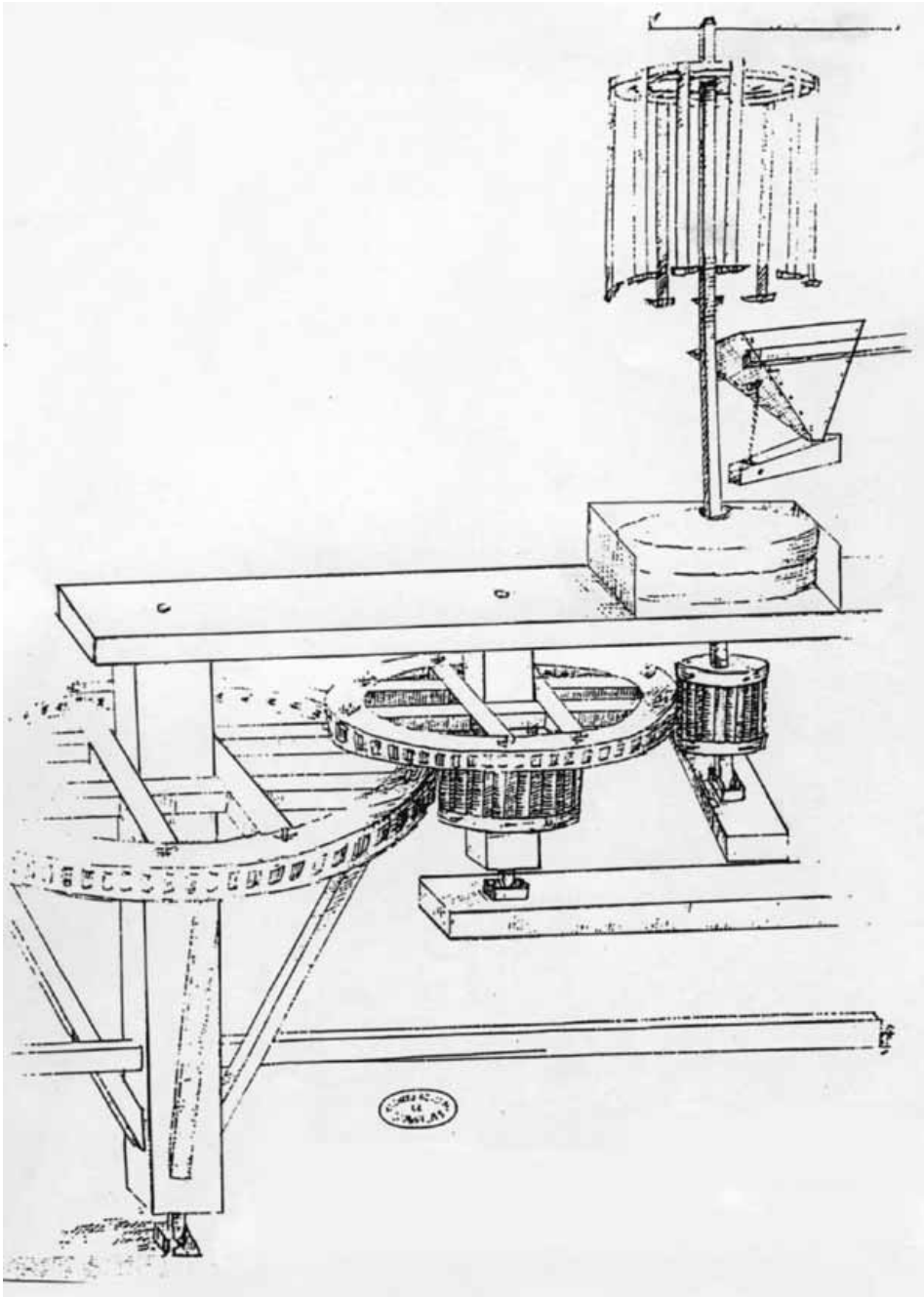
VI

ORIGEN SOCIAL DE LOS INVENTORES

La procedencia de los inventores es muy variada: en unos casos se trata de nobles de alta cuna, como Álvaro de Bazán y Jerónimo de Ayanz, cuyo rango social no les impidió destinar sus esfuerzos a invenciones «mecánicas», que constituyen la excepción a la imagen de la nobleza ociosa que desprecia la tecnología. En algunos casos se trata de hidalgos, como Blasco de Garay, que intentaban superar su condición de pobreza a través de la obtención de premios y beneficios por la explotación de sus inventos.

Los inventores ocasionales, que tienen una ocupación diferente, constituyen una categoría aparte cuyas motivaciones para inventar son de índole diversa. El caso de los militares inventores es frecuente dentro de los artilugios de guerra o navales, aunque en algún caso su experiencia les sirvió para realizar máquinas para la vida cotidiana, como el caso del general Zubiaurre y su bomba para elevar el agua. Caso

¹⁰ Ídem, «Los orígenes de las patentes de invención», en *Historia de la tecnología en España*, F. J. AYALA CARCEDO (dir.), pp. 89-97.



18.4. Sistema inercial aplicable a molinos, consistente en unos mazos que se levantan al girar las muelas de un molino, regulando por el efecto de la fuerza centrífuga la velocidad de las mismas. Figura en el privilegio de invención obtenido en 1580 por un siciliano naturalizado en España con el nombre de José Bono (Archivo General de Simancas).

aparte es el de los clérigos regulares y seculares, más numerosos de lo que cabría esperar en personajes dedicados a la religión. Pero, curiosamente, en esta misma dedicación encontraron a veces motivos para inventar máquinas que podían «matar a los enemigos de la fe». El altruista fin de ayudar al género humano en los trabajos penosos está en el otro punto de mira de estos religiosos-inventores.

Los ingenieros, como es natural, forman un grupo numeroso de inventores, lo que se justifica en la mejora de la propia práctica profesional. Hay también especialistas y artesanos que se dedicaron a crear nuevos instrumentos que facilitasen su oficio, aunque no en todos los casos estuvieron dispuestos a arriesgarse a darlos en conocer a posibles competidores.

Finalmente, existe un numeroso grupo de inventores de los que no conocemos su origen ni su oficio. En general, toda persona ingeniosa podía aspirar a recibir un privilegio de invención si demostraba que su máquina funcionaba. Hay incluso inventores que no sabían firmar¹¹. El examen de las patentes conservadas en este periodo demuestra que el demandante de privilegios de invención no estaba sujeto a un perfil rígido, sino que su actuación como tal obedecía a múltiples circunstancias y el resultado era producto no solo de su ingenio sino, sobre todo, de su propio esfuerzo: «Un diez por ciento de inspiración y un noventa por ciento de transpiración», citando la frase de Edison, que puede aplicarse muy bien a esta época del siglo XVI español. Veamos algunos ejemplos.

VII

INVENCIONES EN LA TÉCNICA NAVAL

En las invenciones referidas al campo de la navegación podemos distinguir las del arte de navegar, como las cartas náuticas e instrumentos de navegación, de las referidas a invenciones relativas a la propia embarcación y sus máquinas auxiliares. Se sale de nuestros límites el estudio de los instrumentos de navegación y las numerosas invenciones que se derivaron de ellos. Limitándonos a los aspectos tecnológicos de las embarcaciones, estudiaremos dos cuestiones que obsesionaron a los inventores náuticos: el achique del agua por medio de bombas eficaces y el conseguir un barco que navegase sin el auxilio de velas.

En lo que se refiere a las bombas de achique para instalar en los barcos, hay que mencionar al conocido cosmógrafo portugués Diego Ribeiro¹², que presentó a Car-

¹¹ «Cédulas de privilegio y patentes de invención», *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla*, L. GARCÍA BALLESTER, J. M. LÓPEZ PIÑERO y J. L. PESET (dirs.), Valladolid, 2002, vol. III, pp. 83-91.

¹² M. FERNÁNDEZ NAVARRETE: *Disertación sobre la historia de la náutica*. Madrid, 1846, pp. 360-365. A. F. CORTESAO: *Cartografía e Cartografos Portugueses dos seculos XV e XVI*, 2 vols., Lisboa, 1935. A. VIGUERAS: «The Cartographer Diego Ribeiro», *Imago Mundi*, 16 (1953), pp. 76-83. J. M. LÓPEZ PIÑERO

los I un invento de bombas metálicas de desagüe destinadas a ser utilizadas en los buques españoles. El emperador otorgó a Ribeiro por esta invención una real cédula de privilegio fechada en Granada el 9 de noviembre de 1526, concediéndole, además de su salario de 30.000 maravedís al año, una pensión de otros 60.000. El 13 de octubre de 1531 se nombraron unos expertos para que examinasen la invención y el 4 de noviembre del mismo año se ordenó hacer una prueba en la nave Santa María del Espinar, efectuada el 25 de noviembre con resultado satisfactorio. También fue favorable la prueba realizada en la nave Mar Alta en un viaje hasta Nueva España, que el 24 de abril de 1533 ya estaba de vuelta, declarando los marineros que habían sido salvados de naufragar gracias a este nuevo tipo de bombas. En 1531 se concedió un privilegio para que Ribeiro pudiese surtir con ellas en exclusiva por doce años a todos los buques de guerra y mercantes españoles.

Las bombas de Ribeiro funcionaron en los buques españoles que iban a América hasta 1545, ya extinguida la patente, año en que fueron reemplazadas por otras inventadas por Vicente Barroso¹³. Finalmente, Jerónimo de Ayanz, de quien nos ocuparemos posteriormente, consiguió una patente en 1606, con unas bombas de achique por balancín que se adelantaron a las que se usarían en los siglos siguientes.

Otro problema era la navegación en tiempo de calma. La primera patente de invención de este tipo que hemos localizado¹⁴ fue la de un ingenio del catalán Guillén Cabier, fechada el 18 de agosto de 1522, sin que se especifique qué tipo de instrumento se pensaba utilizar, pero que podría consistir en unas ruedas de paletas movidas por hombres o por animales, de las que hay algunas noticias de que se intentaron utilizar en la Antigüedad. En efecto, la invención del barco de ruedas de paletas posiblemente se remonte al año 370 d. C., quizás por el anónimo autor de la obra *De rebus bellicis*. En este barco, tres pares de bueyes hacían girar, por medio de una transmisión, unas ruedas de paletas. Esta invención precede en varios siglos a los barcos de paletas movidos por hombres que los chinos utilizaron en una batalla naval del siglo XII. La exclusiva de explotación del barco de Cabier es de por vida, condicionada a la realización del ingenio, del que no tenemos noticias de que llegara a funcionar con eficacia.

Años después, en 1531, el griego Jano Lascari propuso al embajador español en Roma un «ingenio para navegar en tiempo de calma». El embajador decía que este invento «era cosa difícil, pero en fin, más cosas son posibles en el mundo y en espe-

y otros: *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona, 1983, p. 211. N. GARCÍA TAPIA: *Patentes de invención...*, *op. cit.*, p. 14.

¹³ J. M. LÓPEZ PIÑERO: *Ciencia y técnica en la sociedad española en los siglos XVI y XVII*, Barcelona, 1979, p. 211. N. GARCÍA TAPIA: *Patentes de invención...*, p. 21.

¹⁴ Archivo General de Simancas (AGS), Cámara de Castilla (CC), Libros de Cédulas (LC), n.º 49, fols. 336v y 337r.

cial a los griegos, de donde es el que siempre fueron inventores de grandes cosas y novedades»¹⁵.

El primer barco de paletas que llegó a funcionar fue el del hidalgo toledano Blasco de Garay, autor de numerosas invenciones de molinos, buzos y aparatos de destilación, lo que sin embargo no le daba de comer, según un dramático memorial que dirigió el 6 de julio de 1539 al secretario de Carlos I y en el que llegó a decir que «porque sin comer no se puede hacer cosa, escribo a Su Merced la necesidad que tengo [de] que me provean de algo para gustar, porque juro a Nuestro Señor que es la mayor que tuve ni sentí desde que nací, tanto que hoy doy la espada a vender para comer [...] la necesidad es ya tanta, que me quita el entendimiento de lo que hago el pensamiento del comer, que es el más triste pensamiento que yo probé jamás»¹⁶.

El barco para navegar sin velas ni remos ha sido el invento de Garay que más ha acaparado la atención, debido a que el historiador Martín Fernández Navarrete publicó en el siglo XIX que Blasco de Garay había inventado la aplicación del vapor a la navegación, basándose en una nota que le había remitido el archivero de Simancas, Tomás González. Esto desató una fuerte polémica sobre el origen del aprovechamiento de la energía del vapor, hasta que Modesto Lafuente, estudiando detenidamente los documentos del Archivo de Simancas, dedujo que no se había aplicado la energía del vapor sino la humana para mover las ruedas de paletas¹⁷. Nosotros pensamos que esta confusión proviene de otra invención de Garay de una caldera para hervir el agua del mar y hacerla potable, que iría en el mismo barco y que se interpretó como la caldera de una supuesta máquina de vapor.

Blasco de Garay hizo varias pruebas con este barco. La primera en Málaga el 4 de octubre de 1539 y otra el 20 de julio de 1540. Estas pruebas se repitieron en Barcelona en 1542 y 1543 y en Nápoles en 1543 ante Carlos I y su hijo, el futuro Felipe II, que ya entonces mostraba un gran interés por todo tipo de invenciones.

Si bien Blasco de Garay consiguió salir de los apuros económicos que le habían hecho pasar hambre, no vio cumplida en vida su aspiración de ver aplicarse a las naves españolas su ingenio de ruedas de paletas. Su hijo, también llamado Blasco de Garay, continuó porfiando en el intento, pues conocía el «secreto» de su padre, sin que, al parecer, consiguiese tampoco el objetivo deseado¹⁸.

Otros inventores siguieron intentando, a lo largo del siglo XVI, hacer realidad el sueño de hacer navegar un barco sin necesidad de velas, sobre todo después del fracaso de la Armada Invencible. Algunos de ellos eran clérigos, como Fray Domingo de

¹⁵ AGS, Estado (E), leg. 853, fol. 82.

¹⁶ F. PICATOSTE RODRÍGUEZ: *Apuntes para una biblioteca científica española del siglo XVI*, Madrid, 1981, p. 115.

¹⁷ M. LAFUENTE: *Historia de España*, tomo XV, lib. II, cap. XII.

¹⁸ N. GARCÍA TAPIA: *Patentes de invención...*, *op. cit.*, pp. 16-19.

Floriana, un padre de la orden de predicadores natural de Artá (Mallorca). Después de conseguir, tras muchas súplicas, que le dejaran probar sus barcos en Málaga el año de 1590, los testigos presenciales dijeron que no solo no conseguía avanzar el barco, sino que si soplabla viento contrario iba hacia atrás. El bueno de fray Domingo no se desanimó y siguió proponiendo sus invenciones al rey Felipe II¹⁹.

El que sí se desanimó al ver fracasar su invento de barco de paletas fue el jesuita Martín Rico, quien, según declaró un compañero suyo, llegó a «morir de pena» por los inconvenientes y continuos fracasos de su barco de paletas, que fue ensayado en El Ferrol en 1589, y reformado una y otra vez sin que pudiese nunca navegar²⁰. Este problema de los barcos de paletas no se llegaría a resolver hasta la aplicación de una energía más potente, como la de vapor, que no surgiría hasta varios siglos después.

Sin embargo, en el campo de la construcción de embarcaciones se hicieron en España notables progresos gracias a las invenciones de hombres como don Álvaro de Bazán, del que se conservan algunas patentes en este sentido, aunque, posiblemente debido a ser un secreto militar, no especifican en qué consistían²¹. Pero la Armada española tenía otros defectos de tipo organizativo y económico, que no es el momento de analizar aquí, que impidieron la creación de una gran fuerza naval.

VIII

MÁQUINAS PARA ELEVAR EL AGUA

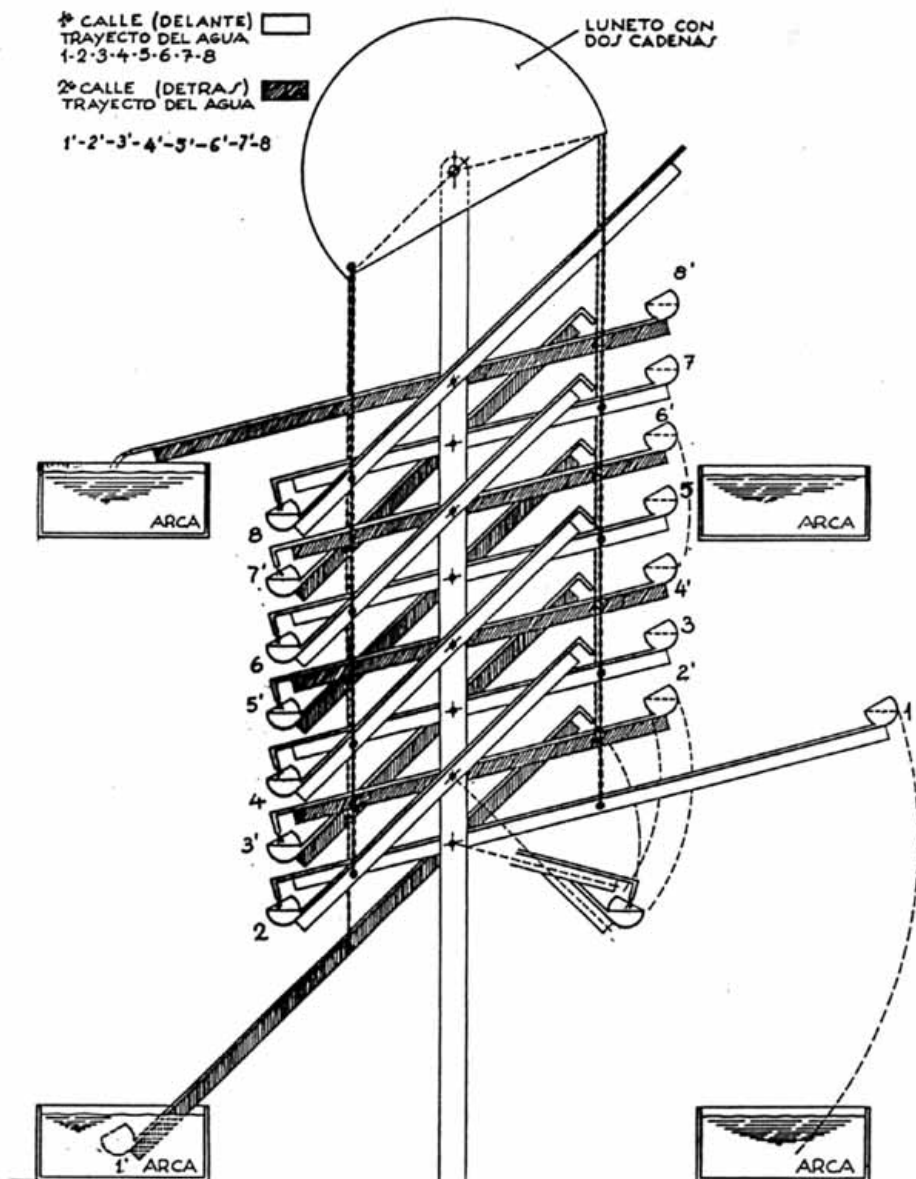
Una de las invenciones más famosas del siglo XVI fue la conocida como el ingenio o «artificio de Juanelo», que causó tal admiración en Toledo, donde estuvo funcionando hasta 1639, que los forasteros que acudían a visitar esta bella ciudad lo primero que iban a ver era esta máquina, e incluso pagaban por ello. Juanelo Turriano, el inventor, era un relojero de origen italiano que vino a España a servir a Carlos I, quedándose luego en Toledo sirviendo a Felipe II. Ya era famoso por su habilidad como relojero cuando el rey Felipe II, ante los fracasos de diversos intentos de bombas hidráulicas, le ordenó construir una máquina que elevase el agua desde el río Tajo al Alcázar y a la propia ciudad de Toledo, que sería pagada entre el municipio y la corona.

Juanelo hizo dos ingenios, uno terminado en 1569 y el otro en 1581, que funcionaron satisfactoriamente. El rey tomó toda el agua para el Alcázar, y la ciudad, al no tener el abastecimiento convenido, no pagó a Juanelo el dinero que este había adelantado. El relojero murió en 1585 en la pobreza más absoluta, a pesar de la fama

¹⁹ AGS, Guerra Antigua (GA), leg. 264, fols. 293-296, leg. 307, fol. 110, leg. 312, fol. 153.

²⁰ AGS, GA, leg. 254, fols. 122, 123 y 291; leg. 366, fol. 213.

²¹ Ídem, CC, LC, n.º 114, fols. 340-342.



18.5. Reconstrucción de una de las torres elevadoras de agua del ingenio de Juanelo Turriano para impulsar el agua desde el Tajo hasta el Alcázar de Toledo. Consistía en una serie de brazos con tuberías terminadas en cazos por un extremo, que se pasaban el agua de uno a otro al oscilar, movidos por unos lunetos que, a su vez, eran accionados por bielas. La energía la proporcionaban unas ruedas hidráulicas movidas por la corriente del río. Aunque Juanelo no lo patentó, existe un privilegio anterior concedido a Antón Ruiz Canalejo para la misma finalidad que tenía el nombre de «balanza de cajas», lo que sugiere un mecanismo similar. (Dibujo de Juan Ramos basado en la reconstrucción de Nicolás García Tapia.)

de sus invenciones²². En Hispanoamérica se conserva el dicho «el huevo de Juanelo» que equivale a la expresión «el huevo de Colón» en España.

La fama de Juanelo estaba justificada. Una preocupación constante de los inventores españoles fue la de las máquinas para elevar el agua. Las norias, las espirales de Arquímedes, los tímpanos y otros instrumentos conocidos desde época romana, eran impotentes cuando había que elevar el agua a mayor altura de unos treinta metros, que era lo máximo que podía conseguirse a mediados del siglo xvi con los ingenios conocidos, incluidos los más perfeccionados, que eran las «tisibicas» o bombas de émbolo que aparecen en los tratados de máquinas de la época, como *Los veintiún libros de los ingenios*.

En los archivos se conservan varias patentes de máquinas elevadoras de agua, a lo largo de todo el siglo xvi, sin que conozcamos su tecnología, guardada celosamente por sus inventores.

Entre las máquinas más curiosas, destacaremos unas patentadas en 1550 por Antón Ruiz Canalejo, vecino de Córdoba. Los nombres que puso a sus ingenios eran de lo más sugestivo: uno se llamaba «supleviento», que servía para «correr mucho el agua sin corriente ninguna, y pasarla por cima de peñas y montes sin romperlos»; otro era de «prudentes mañas», lo que sugiere ingeniosos artificios; otro tenía el nombre de «alentador de aguas muertas», pues movía el agua estancada y, finalmente, había una misteriosa «balanza de cajas» que elevaba el agua a alturas sin límites. Lo curioso es que, a pesar de la aparente fantasía que encerraban dichas máquinas, obtuvo su patente por 15 años después de ser los consejeros reales «informados de la calidad de dichos ingenios», y se le concedió una prórroga de 25 años para sus invenciones²³.

La «balanza de cajas» de Ruiz Canalejo podría consistir en un mecanismo similar a una balanza (de ahí su nombre) con dos recipientes o cajas en sus extremos que, al oscilar, van pasándose el agua de un extremo al otro y luego, por etapas sucesivas, a otras balanzas situadas más arriba. Si esto era así, podría ser un precedente del ingenio de Juanelo, que consistía precisamente en una serie de torres de balancines con cazos en sus extremos que, por oscilaciones sucesivas, se iban pasando el agua de unas a otras. Toda la máquina se movía por la corriente del Tajo por medio de unas grandes ruedas hidráulicas.

Un mecanismo de relojería acompañaba los movimientos de todos los balancines que se asimilaban, según los testimonios de los contemporáneos, a hombres pisando racimos de uvas o a una «máquina que baila». En el siglo xvii, un entremés bailable de Luis Quiñones de Benavente reproducía los rítmicos movimientos del

²² N. GARCÍA TAPIA: *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento español*, Valladolid, 1990, cap. 7; y N. GARCÍA TAPIA y J. CARRILLO: *Tecnología e Imperio. Ingenios y leyendas en el Siglo de Oro. Juanelo, Lastanosa, Herrera y Ayanz*, Madrid, 2002.

²³ N. GARCÍA TAPIA: *Patentes de invención...*, *op. cit.*, pp. 42 y 43.

artificio toledano. Es posible que la leyenda del «Hombre de Palo», un fantástico autómatas de madera hecho por Juanelo, tenga su origen en el ingenio para elevar el agua en Toledo, que tenía forma humana y del que no han quedado más que unas noticias y un inventario de piezas, que nos ha permitido reconstruirlo de forma casi completa.

El ingenio de Pedro de Zubiaurre que se instaló en Valladolid en 1603 es otro ejemplo de máquina que sirvió para elevar el agua a un palacio real, aunque en un principio iba destinada para alimentar las fuentes de la ciudad. Hasta tiempos relativamente recientes, el lugar que ocupó la máquina se denominó «artificio de Juanelo», confundiénolo con el famoso ingenio toledano. Fue producto del «espionaje industrial» que el general Zubiaurre efectuó sobre las bombas hidráulicas instaladas en el Támesis para surtir de agua a la ciudad de Londres.

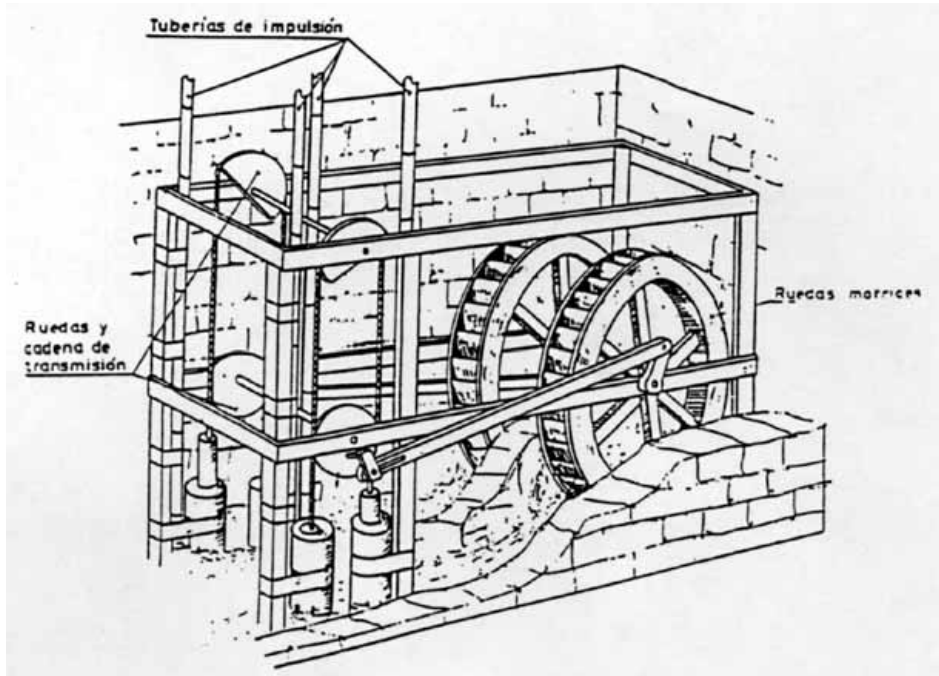
La historia de este ingenio es muy curiosa. Una vez efectuada la misión de Zubiaurre en Londres, donde consiguió hacerse con las máquinas que estaban bajo patente del alemán Peter Morris, el general español fue hecho prisionero por los ingleses y encerrado en la Torre de Londres. Sin embargo, tuvo tiempo de hacer un modelo de las bombas hidráulicas y entregárselo a su criado para que pudiesen construirse en España bajo patente de Zubiaurre.

Pero el criado traicionó a su amo, vendiendo como suyos a unos particulares los modelos de las bombas que traía y pretendió también entregarlos al rey, a cambio de ciertos favores, para instalarlos en el Alcázar de Madrid. Incluso intentó reemplazar con estas bombas los complejos mecanismos del artificio de Juanelo en Toledo, que ya tenía problemas de funcionamiento. Enterado de la conducta indigna de su criado, Zubiaurre, una vez libre de su prisión, emprendió viaje a España, donde mandó encarcelar a quien había abusado así de su confianza. Para mayor seguridad consiguió en 1603 una patente de las bombas y logró que se instalaran en el río Pisuerga de Valladolid, donde sirvieron para alimentar con agua de este río las fuentes y los jardines del palacio de verano del rey.

Hay que decir que Zubiaurre había conseguido el privilegio de fabricar estas bombas espiando las ya patentadas por Peter Morris, aunque puede aducirse en su disculpa que la patente de las bombas hidráulicas londinenses solo alcanzaba el territorio inglés.

El ingenio de Zubiaurre era diferente al de Juanelo, pues la elevación de agua se conseguía por la presión de cuatro bombas de émbolo movidas por unas ruedas hidráulicas situadas en el Pisuerga. Funcionó hasta mediados del siglo XVIII, aunque con algunas averías por defectos de mantenimiento, ya que el palacio y sus jardines habían quedado sin uso cuando Valladolid dejó de ser la sede de la Corte²⁴.

²⁴ Ídem, *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*, Salamanca, 1989, pp. 172-191. (2.ª ed., 2003).



18.6. Reconstrucción del ingenio patentado por Zubiaurre en 1603, e instalado en el mismo año en Valladolid para elevar el agua del Pisuerga. Fue fruto de un espionaje realizado por Zubiaurre en Londres, explotado indebidamente por su criado. Consistía en dos ruedas movidas por la corriente del agua, que, a través de un sistema de bielas, ruedas oscilantes y cadenas, moviesen los émbolos de unas bombas o «tisibicas». (Dibujo y reconstrucción del autor.)

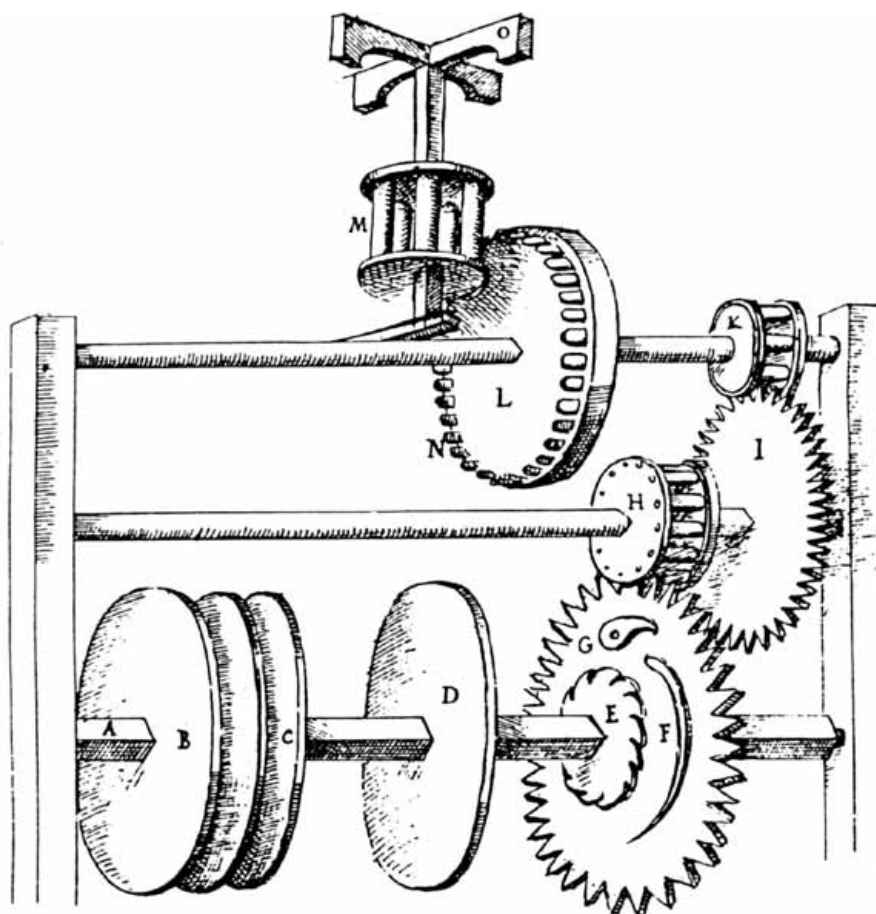
IX

INVENCIONES EN MOLINOS

Los molinos, en sus diversas modalidades, fueron objeto en numerosas solicitudes de privilegio de invención. Ya hemos dicho que la primera patente conocida en España, datada en 1478, fue para mejorar el sistema de molturación de cereales y fue concedida por Isabel la Católica a su médico Pedro Azlor.

En otros casos se trataba de mejorar la producción de los molinos, como la que fue concedida a Pedro Ortiz de la Sobera, natural de Guipúzcoa, cuyo rendimiento resultó ser de cincuenta fanegas de trigo día y noche. El documento de concesión de patente fue firmado por el príncipe, el futuro rey Felipe II, en Madrid, el 20 de febrero de 1552.

Los molinos portátiles eran también objeto de preocupación por los inventores, por su posible aplicación en el ejército para alimentar a las tropas en sus desplazamientos.



18.7. Molino de contrapesos de Los veintín libros... dibujado con errores y falta de piezas esenciales para su funcionamiento. Su explicación en el manuscrito es muy escueta, contrastando con la minuciosidad del resto de las descripciones. La causa de esto podría encontrarse en el pleito a que estaba sometida entonces (1570) una invención de molino de contrapesos de Pedro Juan de Lastanosa, a quien atribuimos el original del manuscrito, pues es comprensible que no deseara mostrar un mecanismo que aún estaba en litigio.

A Juanelo se le adjudica la invención de un pequeño molino «que cabía en una manga», pero existen testimonios de privilegios concedidos por molinos transportables más verosímiles. Así, el 24 de septiembre de 1568, se concedió a un miembro de la guardia alemana, cuyo nombre se españolizó como Holipernes Esnoque, la patente por diez años de un molino de mano que permitía alimentar con su harina a cien personas al día²⁵.

²⁵ Ídem, *Patentes de invención...*, op. cit.

Pedro Juan de Lastanosa obtuvo el 29 de julio de 1569 un privilegio de invención por un molino de contrapesos que fue recurrido legalmente por un vecino de Nueva España que pretendía haber realizado la misma invención. El largo proceso que siguió demostró que fue Lastanosa el verdadero inventor, pues tal como lo había concebido el demandante no tenía posibilidad de moler, mientras sí funcionaba con el perfeccionamiento de los mecanismos que hizo el aragonés, por lo que recibió un privilegio en exclusiva para 40 años.

En *Los veintiún libros* aparece un curioso molino de contrapesos con algunas piezas que faltan y otras notoriamente alteradas. El autor, en contra de las detalladísimas explicaciones que hace de las otras máquinas del manuscrito, realiza solo una somera descripción, añadiendo que «esto basta para el molino de contrapesos». Si, como creemos haber demostrado por otras vías, Lastanosa fue el autor del manuscrito, no cabe duda de que tenía razones más que suficientes para ocultar lo que estaba bajo secreto del sumario.

A propósito de la autoría, uno de los testigos, el ermitaño e ingeniero fray Ambrosio Mariano Azaro, dice que el rey había encargado a Lastanosa «examinar las máquinas y entender sobre ingenios»²⁶.

Relativo a las máquinas auxiliares a la molienda, se conserva una patente de Jaime Zamora, vecino y natural de Valencia, quien obtuvo, el 31 de mayo de 1572, licencia por 30 años bajo pena de 30.000 maravedís a los contraventores, de una máquina para cerner harina, que él denominó «cedazo sordo», que facilitaba esta operación separando la harina del salvado.

Un italiano conocido en España con el nombre de José Bono patentó, a fines del siglo XVI, un sistema de pesas oscilantes que se levantaban al girar el molino, precedente de los actuales reguladores centrífugos de velocidad, aunque ya había sido diseñado por Taccola, sin patentarlo, un sistema de bolas de inercia para la misma finalidad.

Varias invenciones se concedieron para otros tipos de molino de mano, de animales o de viento. Lo común a todas ellas es el deseo de aprovechar mejor la energía y conseguir una mayor producción de grano²⁷.

Una vez más, hay que decir que el inventor Jerónimo de Ayanz las superó todas, al inventar y patentar en 1606 los molinos de rodillos metálicos para triturar el grano, precedente de las que actualmente se usan en las fábricas de harinas. También diseñó nuevos mecanismos que mejoraban la producción de harina²⁸.

²⁶ Ídem, *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*, Zaragoza, 1997.

²⁷ Ídem, *Patentes de invención...*, *op. cit.*

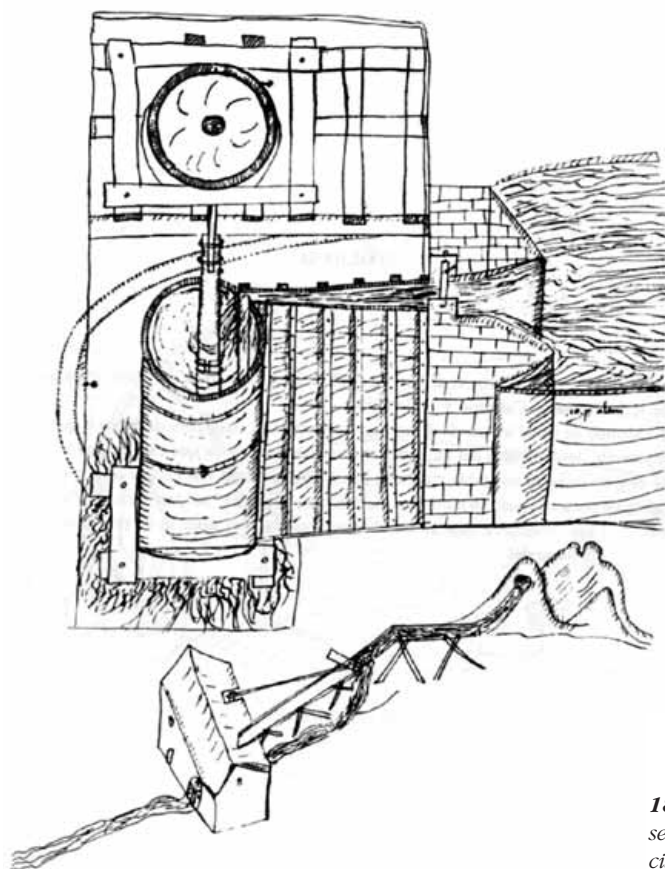
²⁸ Ídem, *Un inventor navarro. Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613)*, Pamplona, 2001.

X

PRECEDENTES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Las turbinas que equipan las centrales hidroeléctricas actuales tienen su precedente en las ruedas hidráulicas de los antiguos molinos. En España era muy corriente el molino de *rodezno* o de rueda hidráulica horizontal, debido a las especiales características hidrológicas de los ríos españoles, que son generalmente de un caudal escaso y con grandes variaciones.

Del molino de *rodezno* derivó el de *regolfo*, consistente en una rueda hidráulica horizontal a la que se rodea de un cilindro llamado *cubete*, que sirve para producir un intenso giro al agua que mueve así el *rodezno* con mucha mayor energía. El aprovechamiento de esta fuerza centrífuga es la base de las modernas turbinas, por lo que este molino de *regolfo*, inventado en España a mediados del siglo XVI, es un primer precedente de las turbinas. Este tipo de molino es mencionado en los documentos españoles y descrito con detalle en *Los veintitún libros*.



18.8. Molino «de regolfo», según el manuscrito de Francisco Lobato (fol. 14).

Un innovador del molino de regolfo fue el medinense Francisco Lobato, quien en unas notas manuscritas²⁹, explicó y dibujó un molino de regolfo inventado por él, consistente en un rodezno metálico con álabes curvados hacia atrás para aprovechar la reacción del agua a la salida, lo que constituía un paso más hacia las modernas turbinas de reacción. Su invención es de 1576 y, aunque no la patentó, consta que se fabricaron molinos de este tipo, primero en zonas próximas a Medina del Campo y luego se extendieron a toda España, llegando al sur de Francia en los siglos siguientes. De estos molinos *à cuve* franceses sacó Fourneyron, en 1826, la idea para fabricar su turbina de reacción, de la que se le considera inventor, pero que vemos que hunde sus raíces en los molinos de regolfo españoles del siglo XVI³⁰.

La diferencia esencial entre un molino de regolfo y una turbina es que esta última se encuentra completamente cerrada, con lo que se aprovecha también la presión del agua. Pues bien, en 1580, un clérigo español, Alonso Sánchez Cerrudo, capellán de la Casa de Campo de Madrid, patentó ante el Consejo de Indias un molino de regolfo completamente cerrado y del que salía el agua por medio de un sifón, como el difusor de las modernas turbinas a reacción³¹. Desconocemos si este molino llegó a construirse, aunque sabemos que esta invención también se patentó en América. Esta máquina representa, con tres siglos de adelanto, la precursora de las de las turbinas Francis que se emplean actualmente en las centrales hidroeléctricas.

Alonso Sánchez Cerrudo tenía experiencia como inventor, ya que había patentado un nuevo tipo de batán, y como constructor de molinos, porque fue quien hizo la maquinaria de los que se instalaron en el monasterio de El Escorial, cuyo edificio había proyectado Francisco de Mora, así como la de varias aceñas en Valladolid³².

XI

LAS INVENCIONES DE JERÓNIMO DE AYANZ

El más importante de los inventores españoles de los siglos XVI y XVII fue Jerónimo de Ayanz. De familia noble, que destacó por sus servicios a la Corona y por sus hechos de armas, el origen y la formación de Jerónimo de Ayanz no hacían presagiar su dedicación a la invención técnica.

Jerónimo de Ayanz nació en el año 1553 en Guendulaín, señorío de la familia, cerca de Pamplona. Entró desde muy pequeño al servicio de Felipe II como paje y

²⁹ N. GARCÍA TAPIA y J. A. GARCÍA-DIEGO: *Vida y técnica en el Renacimiento. Manuscrito de Francisco Lobato*, Valladolid, 1997.

³⁰ N. GARCÍA TAPIA y C. CARRICAJÓ CARBAJO: *Molinos de la provincia de Valladolid*, Valladolid, 1990.

³¹ N. GARCÍA TAPIA: *Del dios del fuego a la máquina de vapor. La introducción de la técnica en Hispanoamérica*, Valladolid, 1992.

³² Ídem, *Ingeniería y arquitectura...*, *op. cit.*, pp. 227-231.

luego se dedicó a la milicia, tomando parte en el socorro de la Goleta, en las guerras de Flandes y en las de la isla Terceira. Destacó por su extraordinaria fuerza física y su valor, por lo que Lope de Vega, amigo y admirador suyo, le hizo aparecer en una de sus comedias y le dedicó un soneto a su muerte, llamándole el «Hércules español». En una ocasión salvó al rey Felipe II de un atentado, lo que le valió cargos y honores, como el de la Encomienda de Ballesteros de la Orden de Calatrava y otras prebendas importantes. Estuvo al servicio del rey en La Coruña, en Cartagena y en Murcia, donde casó y fue regidor perpetuo, siendo luego nombrado gobernador de Martos. En relación con la ingeniería militar, intervino en el proyecto de construcción de dos torres defensivas, La Horadada y Estacio, en la costa murciana, y fue el principal impulsor del puerto de Cartagena, al conseguir que invernasen allí los barcos de la Armada española.

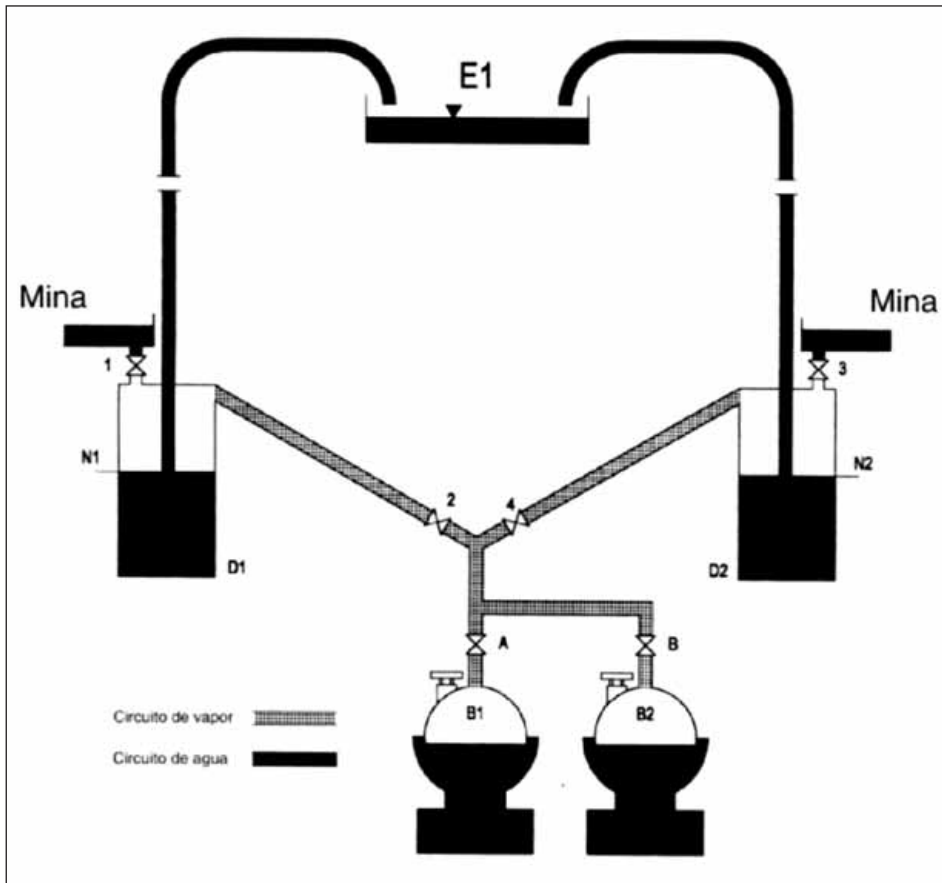
Entre otras actividades destacó en la música, componiendo canciones y cantando con una impresionante voz de bajo. En la pintura fue considerado un buen autor de cuadros por Pacheco, el suegro de Velázquez. Incluso intentó crear una especie de Museo y Academia de Bellas Artes, para conservar las colecciones artísticas reales y enseñar la pintura y la escultura, examinando a los artistas.

En 1597 fue nombrado administrador general de las minas del reino, por lo que inspeccionó más de 550 minas haciendo ensayos de los minerales que se extraían de ellas. En una de estas inspecciones, pereció uno de sus ayudantes y el propio Ayanz estuvo a punto de perder la vida debido a la inhalación de los gases tóxicos desprendidos de uno de los hornos. Este accidente influyó en su dedicación a la invención de nuevos tipos de hornos y a la investigación de sistemas para renovar el aire nocivo y poder respirar sin riesgo en ambientes tóxicos.

Como consecuencia de esta inspección de las minas españolas, Jerónimo de Ayanz elaboró una *Respuesta* en la que expuso varias soluciones para los problemas de la explotación de las minas y en la que se refiere a varias de sus invenciones, que habían sido probadas con éxito ante el rey Felipe III y sus consejeros.

En 1606 Ayanz obtuvo la patente para la explotación de más de cincuenta invenciones, cuyo documento hemos descubierto recientemente en el Archivo General de Simancas. En 1608 dejó su cargo de administrador general de las minas para dedicarse, junto con otros socios, a explotar las ricas minas de plata de Guadalcanal empleando alguna de sus invenciones, aunque la sociedad se disolvió al considerarse Ayanz engañado por sus socios.

En 1610 intervino en el problema, aún no resuelto, de la determinación de la longitud en alta mar, con la invención de unos instrumentos para ello, y también en una polémica sobre la declinación de las agujas magnéticas, demostrando científicamente la falsedad de los que afirmaban que podían hacerse agujas fijas que no declinaran. Murió en Madrid en el año 1613. Sus herederos, dedicados a la vida cortesana, abandonaron la explotación de las invenciones de Jerónimo de Ayanz, aunque los derechos de las mismas aún estaban vigentes.



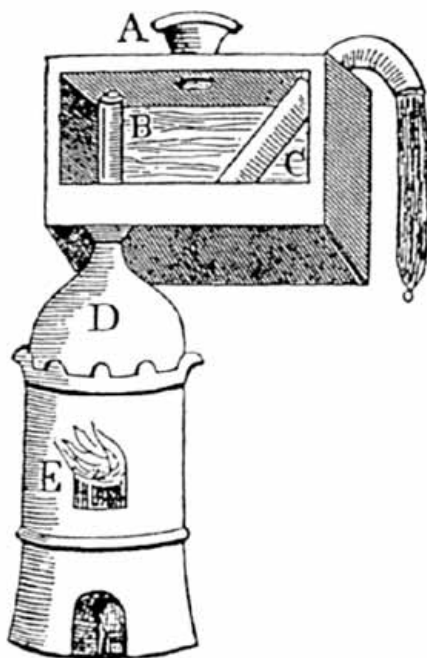
18.9. Reconstrucción del ingenio de vapor de Jerónimo de Ayanz, patentado en 1606, consistente en dos calderas (B1 y B2) que conducen el vapor alternativamente a dos depósitos (D1 y D2), a través de dos válvulas (1 y 2). La presión del vapor permite elevar el agua procedente de una mina hasta un depósito (E1) situado en la parte alta. Un sistema similar fue patentado casi un siglo después por Thomas Savery. Esta máquina, que denominó «el amigo del minero», representó el inicio de la era del vapor en la revolución industrial inglesa. (Dibujo de Diego Moñux basado en la reconstrucción de Nicolás García Tapia.)

Muchos son los campos en los que intervino este genial inventor, que no se limitó a los hornos y a los instrumentos de la industria minera y metalúrgica. Por ejemplo, inventó varios sistemas para el aprovechamiento de la fuerza del hombre, accionando máquinas de forma más eficaz. Para medir el rendimiento de la fuerza ejercida sobre una máquina, ideó un sistema medidor de potencia basado en la balanza, con lo que se adelantó a los aparatos de medida de Prony y Smeaton, dos siglos posteriores. Enunció para las máquinas el concepto de «fatiga», por semejanza con la del cuerpo humano.

Como muchos inventores de su época, Ayanz se ocupó también de los molinos. Aparte de los que ya hemos descrito, diseñó varios tipos de aspas para molinos de viento y ruedas para los de agua. Entre los molinos de animales, hay uno muy curioso consistente en una gran rueda de andar, movida por bueyes que son estimulados por la comida de un pesebre que tienen delante y por un palo que les golpea por detrás cuando se paran.

Ayanz se ocupó también de la ingeniería hidráulica. En España se estaban construyendo grandes presas empleando novedosos sistemas constructivos como el contrafuerte y el arco, que se utilizaron respectivamente en la presa de Ontígola, cerca de Aranjuez, y en la de Tibi, en la provincia de Alicante. Utilizando el principio del arco, Ayanz diseñó una presa formada por una estructura de cajas de madera rellenas de mampostería, cuyos empujes se transmiten a unos grandes contrafuertes laterales.

La posibilidad de estar un tiempo prolongado bajo el agua era uno de los problemas que más había preocupado a los inventores renacentistas, incluido al propio Leonardo da Vinci. Los equipos de buceo de la época, basados en el principio de la campana neumática, solo permitían estar bajo el agua un tiempo muy limitado, debido al deficiente sistema de renovación del aire. Jerónimo de Ayanz resolvió el problema al incorporar dos conductos diferentes: uno para la aspiración del aire y otro para la expulsión, que se acomodaban a la respiración humana por medio de unas válvulas. Esto le permitió acoplar este mecanismo a diferentes equipos de



18.10. Experimento de Juan de Escrivá con vapor de agua, utilizable para subir agua (1606).

bucear, como campanas, trajes de buzo e incluso a unas barcas cerradas que podían descender y ascender dentro del agua como unos submarinos. Diseñó también equipos de bucear autónomos que podían acoplarse al pecho o a la espalda de los buceadores, lo que les permitía trabajar bajo el agua. La finalidad de estos aparatos era la de rescatar tesoros de los barcos hundidos en el mar y la de extraer las perlas de los ostrales que eran muy abundantes en algunos puntos de América. Esta labor era realizada, sin ningún instrumento, por negros buceadores que estaban expuestos a múltiples accidentes.

El propio Ayanz propuso dotar de sus equipos de buceo a los negros esclavos de la isla Margarita. Para mostrar la eficacia de sus aparatos, Ayanz hizo una demostración en agosto de 1602 en el río Pisuerga de Valladolid, entonces sede de la corte, a la que asistió el rey Felipe III y numerosos espectadores que contemplaron con admiración cómo se sumergían unos buzos con los nuevos equipos de Ayanz y cómo salían al cabo de más de una hora, sin que tuviesen la menor molestia³³.

XII

MÁQUINAS DE VAPOR PARA EL DRENAJE DE MINAS

Uno de los más graves problemas que se presentaban en las minas era la inundación de las galerías por el agua que se infiltraba. Cuando no existía la posibilidad de practicar un túnel que evacuase en agua por gravedad, había que recurrir a ingenios más o menos complejos para drenar las minas. Desde época romana se conocían estos ingenios, que en el Renacimiento no habían variado prácticamente.

En el famoso libro sobre minas *De re metallica*, del alemán Agricola, publicado en 1556, se describen los aparatos entonces conocidos para elevar el agua. Cuando no se disponía de una corriente de agua próxima para mover los ingenios de desagüe, había que recurrir a la fuerza humana o de los animales.

De esta forma, las bombas eran accionadas por animales sujetos a una noria o bien por hombres andando dentro de una rueda o moviendo los tornos en que subían lentamente los recipientes de desagüe. El trabajo era penoso y poco eficaz, por lo que se habían abandonado algunas ricas minas por estar inundadas, como ocurrió a las de plata de Guadalcanal.

Se necesitaba una energía nueva que reemplazase las conocidas hasta entonces, y esta sería la del vapor de agua, siendo Jerónimo de Ayanz el primero que pensó y logró utilizar la energía del vapor para un fin industrial, fabricando y patentando máquinas apropiadas para ello. Antes de entrar en la descripción de estas invenciones, conviene dar un rápido repaso a la historia del vapor, tal como se conocía antes del descubrimiento de la patente de Ayanz.

³³ Ídem, *Un inventor navarro...*, op. cit., cap. 10, pp. 157-179.

Los primeros artificios que utilizaron el vapor de agua para fines de curiosidad y entretenimiento fueron las *eolipilas*, unas esferas huecas que, al introducirse vapor de agua en su interior, se ponían a girar o producían efectos «mágicos». La más antigua conocida fue la descrita por Herón de Alejandría en el siglo I, propuesta para hacer girar un asador. Las *eolipilas* constituyeron un entretenimiento entre los científicos de las épocas medieval y renacentista. Al darles forma de cabeza humana, el vapor que salía por la boca producía ruidos y efectos que servían para entretener en los gabinetes científicos de las cortes europeas a los príncipes y a los curiosos cortesanos.

En *Los veintiún libros de los ingenios* se propone la utilización del vapor para encontrar y hacer elevar el agua subterránea y para insuflar un horno. El valenciano Juan de Escrivá, en 1606, año en que se aprobaron las patentes de Ayanz, decía que poseía máquinas para elevar el agua utilizando el vapor, aunque solo describe unos instrumentos para medir la cantidad de vapor que podía extraerse por evaporación del agua. Esto se encuentra en un capítulo añadido por Escrivá en su traducción al italiano de un libro de Giovanni Battista della Porta³⁴.

Este año de 1606 sería precisamente el de la primera patente de una máquina de vapor industrialmente utilizable, presentada por Ayanz. Lamentablemente, como luego tendremos ocasión de comprobar, esto permaneció en el olvido hasta nuestros días, y a lo largo del siglo XVII continuaron en otros países las especulaciones sobre el vapor de agua sin llegar a nada práctico.

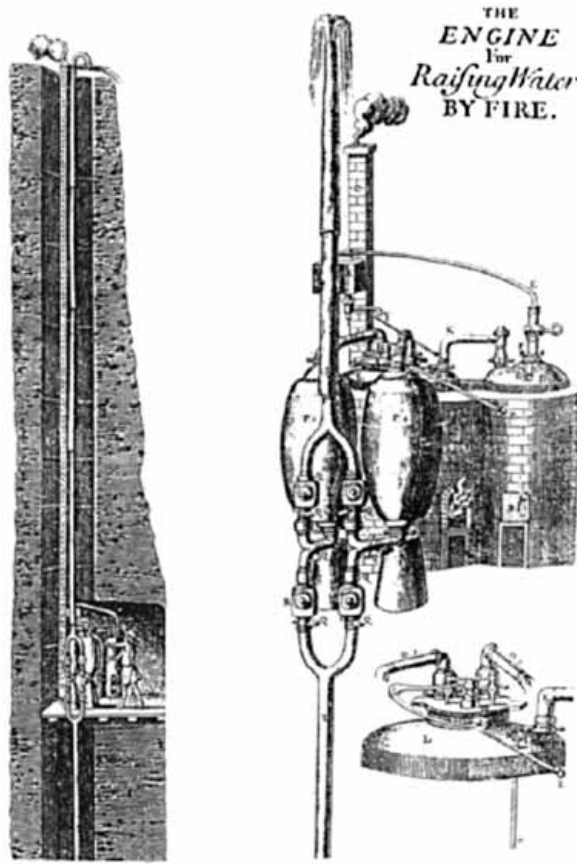
El francés Salomon de Caus, en su libro *Les raisons des forces mouvantes* (1615), describió un instrumento consistente en una esfera hueca de cobre que se llena de agua y se calienta para producir un chorro de vapor que es expulsado por un tubo vertical. Esto no es muy diferente de las clásicas *eolipilas*.

Es muy curiosa la turbina de Giovanni Branca, dibujada en el libro *Le macchine* (1629), que pretende utilizar el chorro de vapor producido por una singular caldera de forma humana para mover de forma fantástica unos mazos trituradores.

El inglés Edward Somerset, marqués de Worcester, publicó en Londres en 1663 un libro titulado *A Century of the Names and Scantlings of such Inventions*, que recoge, aunque sin ningún dibujo aclaratorio, cierto número de pretendidas invenciones suyas, entre las que puede reconocerse una idea para un ingenio de vapor para elevar el agua. Algunos historiadores consideran que la máquina del marqués de Worcester fue montada en el castillo de Ranglan, basándose simplemente en la forma de los huecos de un muro del castillo. Sin embargo, en este libro no hay ninguna explicación técnica que permita la construcción efectiva de tal máquina.

El científico francés Denis Papin, tomando la idea primordial de su colaborador, el físico Huyghens, diseñó a finales del siglo XVII un aparato que utilizaba la fuerza de succión producida al condensarse el vapor, por medio de un pistón desplazándose

³⁴ *I tre libri di spiritali di Giovambattista della Porta, napolitano. Cioè d'inalzar acque per forza dell'aria*, Nápoles, 1606.



18.11. Máquina de vapor de Thomas Savery (1702), denominada «El amigo del minero».

en un cilindro. Papin abandonó la idea al no considerarla práctica, pero su instrumento sería la base de la máquina de vapor atmosférica de Newcomen de 1712.

Hasta el año 1698 no se llegaría a realizar algo parecido a lo que constituyó la primera patente de Ayanz de 1606. Thomas Savery, un prolífico inventor con un fuerte espíritu industrial, patentó al fin una máquina industrial realizable. Después de varios ensayos, consiguió perfeccionarla hasta alcanzar la forma con la que se popularizó en el libro *El amigo del minero*, de 1702, y cuyo funcionamiento coincide básicamente con la que había patentado Ayanz casi un siglo antes.

En 1712, Thomas Newcomen ideó su máquina de vapor con un cilindro, asociándose con Savery para poder desarrollarla industrialmente, pues la patente de este, aún vigente entonces, era tan amplia que no permitía a Newcomen la puesta en aplicación de su modelo. Ya en la segunda mitad del siglo XVIII, el inglés James Watt desarrolló la máquina de vapor con condensador independiente, bajo cuya forma se comercializó el ingenio que dio origen a la Revolución Industrial inglesa.

Técnicamente las máquinas de Ayanz y de Savery derivan del principio de las *eolípilas*. Ayanz hizo de esta caldera, que él denominaba «bola de fuego», derivar una serie de tuberías con válvulas que permitían dirigir el vapor de agua hacia unos depósitos cerrados donde se producía la expansión y el consiguiente impulso de elevación del agua.

Ayanz patentó tres tipos de ingenios: en el primero de ellos se conseguía impulsar el aire por una tubería por efecto del vapor. Es lo que constituye ahora el principio de los «eyectores de vapor» tan utilizados industrialmente. Ayanz se proponía con ellos renovar el aire de las minas y de las habitaciones. Incluso se anticipó a lo que hoy es el aire acondicionado. En su segunda máquina de vapor, una caldera comunicaba por tuberías y válvulas con un depósito de presión para elevar el agua. En un tercer aparato, Ayanz colocó dos depósitos de presión que funcionaban alternativamente, con lo que se anticipó al «amigo del minero» de Savery³⁵.

Ayanz no se limitó a patentar sus aparatos. Con un gran espíritu industrial, intentó utilizar sus bombas de vapor para desaguar las minas de plata de Guadalcanal, formando una compañía con otros socios. Llegaron a desaguar las minas, lo que prueba que llegó a funcionar eficazmente la máquina de vapor de Ayanz. Desgraciadamente, el abandono de la empresa por sus socios y la muerte del inventor el 23 de marzo de 1613 en Madrid, impidieron que continuara en España el desarrollo de la primera aplicación de la energía del vapor a un proceso minero, origen, un siglo después, de la revolución industrial inglesa.

XIII

EL PRIVILEGIO DE INVENTAR

Estas invenciones de Ayanz y de otros contemporáneos suyos, en una época de fuerte declive político del reino de España, nos obligan a revisar algo que hasta ahora no se había puesto en cuestión. Junto a una época de grandes descubridores, hubo en España una de grandes inventores. Pero la invención, al contrario que el descubrimiento, precisa algo más que audacia y aventura para que fructifique. Se necesita un caldo de cultivo económico, social y político adecuado, para que lo que está en la mente de un inventor se convierta en una realidad industrial. Sin embargo, el primer eslabón imprescindible, el de la invención, se desarrolló plenamente en la España del siglo XVI, gracias a la eficacia de las primeras patentes concedidas por la monarquía hispánica.

³⁵ Sobre las máquinas de vapor de Ayanz y su repercusión, véase N. GARCÍA TAPIA: *Un inventor navarro...*, *op. cit.*, cap. 12, pp. 209-226.

BIBLIOGRAFÍA

- GARCÍA-DIEGO, José Antonio: *Los relojes y autómatas de Juanelo Turriano*, Madrid-Valencia, 1992.
- y NICOLÁS GARCÍA TAPIA: *Vida y técnica en el Renacimiento. El manuscrito de Francisco Lobato, vecino de Medina del Campo*. Valladolid, 1987 (2.ª ed. 1990).
- GARCÍA TAPIA, Nicolás: *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*, Salamanca, 1989 (2.ª ed. 2003).
- *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento español*, Valladolid, 1990.
- *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, Madrid, 1990.
- *Del dios del fuego a la máquina de vapor. La introducción de la técnica en Hispanoamérica*, Valladolid, 1992.
- *Los veintitún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*, Zaragoza, 1997.
- «Nuevos datos sobre el artificio de Juanelo», *Anales Toledanos*, 1987, vol. xxiv, pp. 141-159.
- «Some designs of Jerónimo de Ayanz. Related to Mining, Metallurgy and Steam Pumps», *History of Technology*, 14, 1992, pp. 135-150.
- «Les premières applications de la vapeur: le cas de Jerónimo de Ayanz», *Relations Science-Technique*, San Francisco, 1993, pp. 279-285.
- *Un inventor navarro. Jerónimo de Ayanz y Beaumont (1553-1613)*, Pamplona, 2001.
- LÓPEZ PIÑERO, José María: *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, 1979.
- y otros: *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona, 1983.
- RETI, Ladislao: «El artificio de Juanelo en Toledo: su historia y su técnica», *Provincia*, Toledo, 1967, pp. 3-46.
- VICENTE MAROTO, M.ª Isabel, y MARIANO ESTEBAN PIÑEIRO: *Aspectos de la ciencia aplicada en España en el Siglo de Oro*, Salamanca, 1991 (reed. 2006).
- VV. AA.: *Historia de la Técnica en España*, Madrid, 2001.
- VV. AA.: *Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Corona de Castilla*, Junta de Castilla y León, Valladolid, 2002.

