

Ciencia y técnica en la España de los Austrias. Una visión desde la perspectiva de las investigaciones actuales

NICOLÁS GARCÍA TAPIA

La polémica de la ciencia española

Sin entrar en los contenidos de la llamada «polémica de la ciencia española», profusamente analizada por diversos autores y cuyos textos más importantes han sido seleccionados en una compilación reciente por Ernesto y Enrique García Camarero ¹, vamos a utilizar esta visión sobre la ciencia española como introducción para tratar sobre algunas investigaciones y discusiones actuales referentes al estado de la ciencia y de la técnica españolas de los siglos XVI y XVII.

Salvo algunos precedentes de los «novatores» de finales del siglo XVII y de algunos «ilustrados» del XVIII, la polémica sobre la ciencia española tuvo su verdadero origen en los últimos años del reinado de Carlos III con un artículo sobre «España» aparecido en la sección de «Geografía Moderna» de la *Enciclopedia Metódica* (1782), firmado por Masson de Morvilliers, en el que se exponía el atraso de la ciencia española como consecuencia de unas estructuras monárquicas feudales, que, en el ambiente anterior a la revolución de la Francia de los ochenta, eran, según él, las responsables de los males de la nación vecina. Este escrito desató una intensa polémica, en artículos que defendían la propia monarquía española o bien el estado de la ciencia en España, como hizo Cavanilles, botánico español residente en París, en sus *Observaciones al artículo «España»*.

Pronto el debate adquirió tintes políticos, al encargar Floridablanca a Forner el trabajo de defender la monarquía y la ciencia española. En sentido contrario, Cañuelo, en su diario *El Censor*, utilizó la polémica para avivar sus ataques a las instituciones feudales españolas. A la discusión que siguió entre Forner y Cañuelo se sumaron personajes conocidos de la época como Iriarte, Samaniego y Nifo, entre otros, en la que ya no se discutía tanto la existencia de una ciencia española, como la utilidad o no de la misma para el progreso del bienestar de país.

¹ Ernesto y Enrique García Camarero, *La polémica de la ciencia española (Introducción y selección de textos)*, Madrid, 1970.

Después de un período de relativo silencio sobre el estado de la ciencia española, la polémica se vuelve a abrir, con nuevas perspectivas, en el discurso de Echegaray para su ingreso en la Academia, leído el 11 de marzo de 1866 y titulado «Historia de las matemáticas puras en nuestra España», en el que denuncia la ausencia de España en la teoría matemática y, en general, de todas las ciencias, aunque con la esperanza de poder salvar el retraso en el futuro. En el discurso de Núñez de Arce, leído el 21 de mayo de 1876, «Causa de la precipitada decadencia y total ruina de la literatura nacional bajo los últimos reinados de la Casa de Austria», aparte de lo que claramente indica el título, se vuelve a insistir en el fracaso de la ciencia española. Fue contestado por Manuel de la Revilla y por el entonces joven Menéndez Pelayo, lo que trajo una apasionada controversia entre éstos y otros estudiosos sobre si hubo o no ciencia en España.

A partir de aquí se empieza a percibir la necesidad de hacer una revisión histórica sistemática sobre la ciencia española, para no caer en intuiciones y polémicas estériles. El mismo Menéndez Pelayo, Fernández Vallín, Picatoste, Carracido y otros, comenzaron a hacer estudios sobre los conocimientos científicos de los españoles, que fueron válidos, a pesar de estar aún teñidos por cierta dosis de nacionalismo. En la primera mitad de nuestro siglo, tan meritorio trabajo es realizado por personajes como Rey Pastor, Sánchez Pérez, Vera y Millás Vallicrosa, lo que culminó en 1934 con la fundación de la Asociación Española de Historiadores de la Ciencia Española. En la posguerra, Lain Entralgo institucionalizó los estudios de la Historia de la Medicina.

En la actualidad, después de los trabajos en historia de la ciencia española de Vernet y su grupo de Barcelona, López Piñero y sus discípulos de Valencia, los equipos de trabajo del Departamento de Historia de la Ciencia del CSIC de Madrid y, más recientemente, el grupo de Valladolid, se ha superado la polémica sobre la ciencia española, entrando esta materia dentro de los cauces normales de la investigación histórica, y las conclusiones sobre el estado de la ciencia española se basan ahora en estudios sobre los libros científicos editados en España y sobre los manuscritos y documentos de archivo que tratan sobre la ciencia.

De esta forma, después de los trabajos de López Piñero, sobre todo en su excelente libro *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, se da una nueva visión de la ciencia de España en la época que nos ocupa, destacando los avances científicos y técnicos españoles, dentro de las condiciones sociales en que se produjeron, así como las dificultades que impidieron que España se incorporase plenamente a la revolución científica del siglo xvii. Por nuestra parte, gracias al estudio de manuscritos y documentos de archivo, hemos podido continuar en esta línea el estudio de la ciencia y de la técnica española en los siglos xvi y xvii. Las investigaciones de Isabel Vicente y Mariano Esteban, plasmadas principalmente en el libro *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, revelaron nuevos aspectos sobre la instrumentación científica española, la introducción en España de la teoría copernicana y sobre la famosa, pero mal conocida, «Academia de Ma-

temáticas» fundada por Felipe II, que se relacionaba con los estudios de Cosmografía, dando una nueva visión de la ciencia que se practicaba en el entorno de los Austrias. Estos y otros trabajos desmontan el tópico del aislamiento científico español, aún mantenido por algunos sectores.

A pesar de estos esfuerzos, quedan muchas cosas por resolver en lo referente a la ciencia y a la técnica española. En lo que respecta a la tecnología de los siglos XVI y XVII en España, hasta hace poco ni siquiera se sospechaba la existencia de un amplio número de invenciones, que estaban protegidas por un sistema de patentes concedidas por privilegio real, algunas de una importancia capital, como las relativas a la máquina de vapor. Están aún por investigar o, lo que es peor, mal estudiados, una serie de importantes manuscritos sobre la técnica española.

En este panorama no es de extrañar que todavía se mantengan ciertos tópicos sobre la inventiva española, de acuerdo con la manida frase de Unamuno «que inventen ellos». Tampoco sorprende demasiado que se manejen ideas preconcebidas para tratar de anular estudios basados en documentos. Todo ello es quizá la consecuencia de la falta de institucionalización de la historia de la técnica española, que todavía no ha podido encontrar un hueco en los estudios universitarios, estando aún a merced de la mejor o peor voluntad de algunas personas. Vamos a ilustrar lo que decimos con algunos ejemplos, referidos siempre a estudios sobre la ciencia aplicada y la técnica española de los siglos XVI y XVII.

Una polémica sobre el origen de la máquina de vapor

La polémica sobre la ciencia de finales del siglo XIX y principios del XX no fue exclusiva de España, sobrepasando a veces las fronteras al calor de los nacionalismos imperantes, realizada generalmente en tono apasionado y, en ocasiones, con escaso rigor histórico.

Uno de los temas que más polémica suscitó fue el del origen de la máquina de vapor, que fue reivindicado por varias naciones, entre ellas España, donde Martín Fernández Navarrete reclamó para su país la prioridad de un supuesto barco de vapor movido por ruedas de paletas que habría sido inventado por el español Blasco de Garay en el siglo XVI, basándose en documentos encontrados en el Archivo de Simancas por Tomás González². Con toda razón esta vez, se discutió por el francés Arago la posibilidad técnica de la realización en la época de un tal barco de vapor. En efecto, se puede comprobar con un análisis atento de los documentos del Archivo de Simancas que se trataba de unos barcos de paletas, ciertamente muy meritorios, pero movidos por fuerza humana³. La confusión llegó probablemente al mezclar

² Martín Fernández Navarrete, *Biblioteca marítima española*, 2 vols., Madrid, 1851.

³ Nicolás García Tapia, *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, Madrid, 1990, p. 17.

estas ruedas de paletas con una caldera inventada también por Garay, pero cuyo destino real era la destilación del agua del mar para hacer agua potable para la tripulación.

Al calor de la disputa se originó una polémica sobre qué nación había sido la que había inventado la primera máquina de vapor. Los ingleses señalaron como precursor al marqués de Worcester, que en 1663 había escrito un libro sobre las invenciones probadas por él, entre las que hay una confusa descripción de lo que parece una máquina de vapor para elevar el agua ⁴. Algunos historiadores ingleses señalaron que los huecos existentes en los muros del castillo de Rangan correspondían a la instalación de tal máquina de vapor. En la enciclopedia inglesa del doctor Rees podía leerse: «La máquina de vapor fue inventada por un corto número de individuos todos ingleses».

El erudito francés Arago se sintió ofendido por tan excluyente afirmación, destacando la labor de Denis Papin en la invención de la máquina de vapor, aunque, aparte del considerable mérito de unos experimentos con la máquina de pistón movida por vapor, realizados a finales del siglo xvii, no llegó a un modelo efectivo. Como precursor anterior a todos señaló la figura del francés Salomon de Caus, quien en 1615 había publicado, en un libro suyo, un experimento con una esfera hueca rellena de agua de la que salía vapor al calentarla ⁵.

Fue el ingeniero inglés Ainger el encargado de replicar a Arago sacando a relucir la *eolípila* o esfera que gira al calentarla y salir el vapor por unos conductos. Según Ainger, fue inventada por Heron de Alejandría (siglo i) y aparecía en una traducción del libro de Heron realizado a principios del siglo xvii por el napolitano Juan Bautista Porta.

De nuevo Arago interviene para señalar que, en realidad, el verdadero precedente de la máquina de vapor aparece en una traducción al italiano del libro de Porta, realizado por un español, Juan Escrivá, en 1606. Allí el traductor añadió un capítulo donde se indicaba la posibilidad de expulsar el agua de un recipiente por la acción del vapor ⁶. Esta constatación fue aprovechada por José Rodríguez Carracido para reivindicar de nuevo para España el origen de la máquina de vapor ⁷.

Sin entrar en esta discusión, resulta curioso comprobar que ésta tuvo lugar mientras permanecían archivados y olvidados los documentos que podrían haber dado alguna luz sobre las verdaderas primeras patentes de las má-

Un estudio de la documentación de Simancas relativo a Blasco de Garay y su barco de paletas en: Modesto Lafuente, *Historia de España*, tomo xviii lib. II, cap. xiii.

⁴ Edward Somerset, marqués de Worcester, *A Century of the Names and Scantlings of such Inventions*, London, 1663.

⁵ Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, Paris, 1615.

⁶ *I tre libri de spiritali di Giovambattista della Porta napolitano. Cioè d'inalzar acque per forza dell'aria*, Napoli, 1606.

⁷ José R. Carracido, «Juan Escrivano», *Estudios histórico-críticos de la ciencia española*, Madrid, 1917, pp. 221-231. Hay una edición reciente con introducción de Antonio Moreno González y Jaime Josa Llorca, Madrid, 1988.

quinas de vapor. La revisión de la Sección de Cámara de Castilla del Archivo de Simancas, así como de otros, como el de Indias y del Histórico Nacional, nos ha permitido descubrir la existencia de numerosos privilegios por invención, verdaderas patentes, que demuestran que, al menos en lo que respecta a la inventiva, España no estuvo ausente del impulso técnico del siglo XVI y parte del XVII.

En el caso particular de la máquina de vapor, que tanta polémica había suscitado, resultó que las primeras patentes hasta ahora conocidas de unos ingenios de vapor habían sido concedidas en 1606 por Felipe III a un español de nombre Jerónimo de Ayanz, caballero de la Orden de Calatrava, al servicio del rey. Aunque casi nada se sabía de este inventor, investigaciones recientes sobre sus numerosas contribuciones a la ciencia y a la tecnología nos permiten considerarle como uno de los más notables inventores de su tiempo. Sus ingenios de vapor, destinados a la minería y a la elevación de aguas, eran similares a los que un siglo después patentaría el inglés Savery con el nombre de «el amigo del minero» y que hasta ahora se habían considerado como las primeras patentes de máquinas de vapor ⁸.

Este ejemplo nos sirve para ilustrar la necesidad de una revisión documental de nuestros archivos en lo que se refiere a la técnica, labor que no resulta sencilla, y que ha dado lugar a algunas polémicas que se hubieran evitado con un mejor conocimiento de nuestros documentos técnicos del pasado.

Una «polémica» por el autor de un manuscrito sobre la técnica

En la Biblioteca Nacional de Madrid se conserva un extenso manuscrito, bellamente ilustrado, en cuya portada aparece como título de la obra el de «Los Veinte y Un Libros de los Yngenios, Y Máquinas de Juanelo...» ⁹ En ésta y en las portadas de los cinco tomos en que está dividido el manuscrito se indica que el libro fue realizado por orden de Felipe II y que posteriormente, en el siglo siguiente, fue consagrado por Juan Gómez de Mora a Felipe IV y dedicado a don Juan José de Austria, su hijo natural.

Tradicionalmente estos manuscritos se han atribuido a Juanelo Turriano, relojero de Carlos V y luego de su hijo Felipe II. Sin embargo, es evidente que las portadas se añadieron en el siglo XVII, en la época en que coincidieron el reinado de Felipe IV, el reconocimiento de don Juan José de Austria y la actividad del arquitecto Juan Gómez de Mora en la Corte. Este período corresponde a los años cuarenta de la centuria.

El contenido del manuscrito original corresponde a la época de Felipe II y hemos podido concretar las fechas de su confección, entre 1564, año de edición del último libro citado, y 1575, muerte de Hernando de Aragón, ar-

⁸ Nicolás García Tapia, *Patentes...*, *op. cit.*, y «Some Designs of Jerónimo de Ayanz (1553-1613) relating to Mining, Metallurgy and Steam Pumps», *History of Technology* (ed. Graham Hollister-Short y Frank A. J. L. James), vol. 14, London, 1992, pp. 135-150.

⁹ Mss. 3372-3376.

zobispo de Zaragoza, a quien se alude en el texto como personaje vivo. Esto aparte de otras referencias históricas que permiten confirmar estas fechas límites.

Hasta 1983 no se ha editado el manuscrito, cuyo título se ha transcrito por *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*¹⁰, añadiendo un «de las» que creemos cambia el sentido del título de la portada, puesto que «máquinas de Juanelo» equivalía a «máquinas artificiosas», en honor al mítico relojero. En el prólogo a esta edición, José Antonio García-Diego dice correctamente que la obra no puede ser de Juanelo Turriano, sino que «lo escribió un aragonés, gran técnico y científico aún desconocido, pero que es seguro llegará a ser identificado». García-Diego me animó personalmente a descubrirlo, estudiando los «grandes técnicos y científicos aragoneses» de la época para tratar de dilucidar su autor entre ellos.

El resultado fue que el único conocido que correspondía a los datos personales del texto era Pedro Juan de Lastanosa, quien presentaba una serie de características que le convertían en el posible autor del manuscrito¹¹. El hallazgo simultáneo e independiente del inventario de sus libros por los historiadores Alvar y Bouza confirmaba que tenía una amplia biblioteca en la que se encontraban los numerosos textos citados en «Los veintiún libros...», y entre sus papeles personales tenía un manuscrito de ingenios en su escritorio¹².

En el curso de esta investigación fui sorprendido por la categórica negación de la autoría de Lastanosa por parte de García-Diego¹³. Sus razones fundamentales eran que Lastanosa era un autor «demasiado culto» para un libro que ahora ya no era obra de un «gran técnico y científico», sino la de un practicion inculco e ignorante de las cuestiones más elementales de las matemáticas y de las ciencias. Esta postura fue avalada en una serie de artículos por un grupo de personas, que hasta entonces no se habían ocupado para nada de «Los veintiún libros...», quienes llegaron a afirmar que el autor era un vulgar «plumífero plagiarlo», intentando desprestigiar así uno de los textos más importantes de la historia de la técnica española. Sorprendentemente, la descalificación se extendía a los que defendíamos la autoría de Lastanosa y en particular hacia mi persona, a pesar de haber actuado en todo momento con el mayor respeto hacia los discrepantes¹⁴.

Naturalmente, no he querido continuar con una «polémica» planteada en

¹⁰ Pseudo- Juanelo Turriano, *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*, Madrid, 1983.

¹¹ Nicolás García Tapia, «Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas. Su atribución», *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, Universidad de Valladolid, 1984.

¹² Alfredo Alvar Ezquerro/Fernando Bouza Alvarez, «La librería de don Pedro Juan de Lastanosa en Madrid (1576)», *Archivo de Filología Aragonesa*, XXXII-XXXIII, Institución Fernando el Católico, Zaragoza, pp. 101-175.

¹³ Juan A. Frago Gracia/José A. García-Diego, *Un autor aragonés para «Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas»*, Zaragoza, 1988. Cuando estaba ya redactado y enviado para su publicación este artículo tuve conocimiento de la muerte del investigador José Antonio García-Diego. Manteniendo lo que aquí se dice, quiero añadir que, por muchas razones García-Diego ha sido un gran impulsor de los estudios de la historia de la técnica española, por lo que merece nuestro respeto y homenaje.

¹⁴ AA.VV., Comentarios de la *Revista de Obras Públicas*, años 1989 a 1991.

términos tan apasionados. Lo que sí he hecho, sobre todo para aclarar de una vez este asunto de la autoría de «Los veintiún libros...» (que en realidad no merecía tanto ruido), es comprobar si el texto que ahora se conserva en la Biblioteca Nacional provenía directa o indirectamente del manuscrito «de ingenios» de la «librería» de Pedro Juan de Lastanosa. Después de una laboriosa búsqueda, pude al fin enlazar ambos cabos de la madeja, documentando el recorrido y los avatares del manuscrito, desde que Lastanosa lo dejó en su escritorio, sin firmar e incompleto, pasando por la copia que de él se hizo, su ordenación en cinco tomos con la inclusión de las portadas originarias de la confusión, hasta que se depositó en la Biblioteca Nacional ¹⁵.

Lo interesante de este trabajo, más que la comprobación de una autoría que era evidente por otras causas, fue el conocer los personajes que poseyeron y utilizaron el manuscrito, entre los que están Francisco de Mora, Juan Gómez de Mora, Teodoro Ardemans y los Domingo García (padre e hijo). En todo momento hombres con responsabilidad en trabajos de ingeniería y arquitectura, estrechamente ligados a los contenidos técnicos de «Los veintiún libros...». Maestros mayores o fontaneros reales que utilizaron las enseñanzas del texto del que eran depositarios en razón de su cargo, para realizar su cometido. Esta influencia está reconocida por los propios poseedores del manuscrito, en comentarios escritos en las márgenes del texto o en libros que escribieron, como en el caso de Ardemans, que consideró al autor de «Los veintiún libros...» (ya entonces confundido con el mítico Turriano) como un autor a la altura de Vitruvio y Alberti.

Si se compara esta alta consideración de un libro sobre la técnica española, hecha por hombres que en su época utilizaron el texto, con la que resulta después de la «polémica» de nuestros días, puede comprobarse la pobre valoración que ahora se tiene de nuestra historia de la técnica, al menos por un cierto grupo de personas. Esto enlaza de nuevo con la polémica de la ciencia española que creíamos ya olvidada. En el fondo, lo que está latiendo bajo ciertas afirmaciones gratuitas de descrédito hacia una obra sobre la técnica española del siglo xvi, es el tópico del aislamiento y del atraso científico y técnico español en esta centuria, nacido, como hemos visto, en la polémica sobre la ciencia del siglo xix y todavía mantenido en ciertos círculos, sin molestarse a comprobar siquiera si esto fue así.

Si para algo puede servir esta polémica es para poner de manifiesto la necesidad de una revisión de nuestros fondos documentales, desde el punto de vista de la historia de la tecnología, lo que sólo puede hacerse con un apoyo institucional adecuado. Esta necesidad queda aún más clara con este otro ejemplo de discusión sobre la eficiencia energética de los antiguos molinos hidráulicos, planteada actualmente entre varios investigadores, aunque, esta vez, con unas formas correctas y con una base mucho más científica.

¹⁵ Nicolás García Tapia, *Pedro Juan de Lastanosa. El autor aragonés de «Los veintiún libros de los ingenios»*, Huesca, 1990; *id.*, «Y sin embargo es Lastanosa», *Técnica Industrial*, núm. 203, 1991, pp. 54-61.

**Ruedas hidráulicas verticales y horizontales:
una clasificación no representativa de los molinos**

Cuando en la historia de la tecnología se alude a los molinos hidráulicos, lo habitual es atender al sistema de su movimiento por el agua, distinguiendo si éste se produce por medio de una rueda cuyo eje es horizontal (es decir, el giro de la rueda se efectúa en un plano vertical), o bien el eje es vertical, con lo que la rueda gira en el plano horizontal. En el primer caso se denomina *molino de rueda vertical* y en el segundo, *molino de rueda horizontal*. Al primer tipo de molino se le suele denominar «vitruviano», pues se describe por primera vez en el libro de *Arquitectura* del famoso arquitecto romano Vitruvio, aunque no es de su invención, por lo que no parece muy adecuada su denominación. Los molinos de rueda horizontal se conocen a veces como «griegos» y otras como «nórdicos», aludiendo a su presunto origen geográfico, lo cual resulta aún más inapropiado. En ocasiones se identifica a los molinos de rueda vertical con las «aceñas», debido a que solían aparecer con este nombre en los documentos españoles. Esta denominación, sin embargo, no puede extenderse automáticamente a todos los molinos de rueda vertical, por lo que es también insuficiente.

La rueda horizontal permite transmitir el movimiento directamente a las muelas a través de su eje vertical, sin necesidad de engranajes, por lo que es un mecanismo más sencillo y algunos historiadores lo consideran más «primitivo». La transmisión directa sólo se produce cuando se trata de moler grano entre dos muelas situadas horizontalmente. La molturación de aceitunas, caña de azúcar y otros productos, necesita que una de las piedras de moler gire alrededor de un eje vertical, por lo que haría falta también una transmisión de engranajes entre el eje vertical de la rueda y el horizontal de la piedra de moler. Una observación similar cabe hacer cuando lo que se trata de producir es un movimiento oscilante, como ocurre en martinetes y en batanes. Por otra parte, en el caso de una rueda horizontal que aproveche la corriente de un río, se necesita desviar éste a través de un canal o «caz» y conducir el agua de tal modo que incida tangencialmente sobre las paletas o «álabes» de la rueda. Determinadas ruedas verticales (las llamadas «de corriente») no necesitan tal estructura hidráulica, porque se mueven simplemente con la corriente del agua. Por consiguiente, no es evidente que las ruedas horizontales para los molinos sean las más sencillas tecnológicamente, por lo que no deben considerarse, sin más, las más «rústicas» y «primitivas». Está claro que la clasificación entre ruedas horizontales y verticales, aunque tiene la ventaja de que permite la identificación del molino a simple vista, es insuficiente, pero además inadecuada, por lo que vamos a ver a continuación.

Dentro de las ruedas verticales, el agua puede circular por la parte inferior de la rueda o puede elevarse por medio de un canal para ser vertida por la parte superior y, otras veces, puede incidir sobre uno de los costados de la rueda. En el primer caso, la rueda gira debido al arrastre de la corriente del agua, por lo que se suele denominar «de corriente» o «de impulso inferior»,

atendiendo a que es movida desde abajo. Cuando el agua cae sobre la parte superior de la rueda, ésta gira por el peso del agua al llenar los volúmenes entre las paletas o «cangilones» de la rueda. En este caso, la rueda gira por la acción de la gravedad y se denomina por este motivo «gravitatoria» o «de cangilones». La acción del agua se limita a la que ejerce su propio peso, por lo que es impropio llamarla «de impulso superior», puesto que no influyen ni la presión ni la velocidad del agua, por lo que no existe, en realidad, tal «impulso». Es decir, en términos de Mecánica de Fluidos, a la rueda gravitatoria no podría considerársela siquiera como «máquina fluidica», puesto que no funciona por los principios de la dinámica de fluidos, ya que el agua se comporta simplemente como un cuerpo pesado. En definitiva, hay mucha mayor diferencia entre los tipos de rueda verticales gravitatoria y de corriente que entre esta última y una rueda horizontal, ya que este grupo de ruedas (sean verticales u horizontales) pertenecen al rango de «máquinas de fluidos», al contrario de la rueda vertical gravitatoria.

Vemos, pues, que la clasificación entre ruedas verticales y ruedas horizontales sólo se presta a confusión y no tiene sentido el intentar hacer comparaciones entre ellas, ni basarse en esta distinción para entablar discusiones de carácter técnico.

Sin embargo, hay varios sistemas que permiten aprovechar la energía de la velocidad del agua, bien sea por el impulso directo o «acción» de un chorro de agua sobre las paletas de las turbinas, o por «reacción», es decir, por la fuerza que ejerce el agua al salir a una cierta velocidad. También cabe una combinación en mayor o menor proporción de ambos efectos. Hay que decir que, mientras en las turbinas de acción la rueda puede ir colocada en posición vertical u horizontal, en las de reacción la colocación más apropiada es la horizontal.

En la actualidad han desaparecido casi por completo las ruedas verticales gravitatorias, empleándose como fuente de energía hidráulica las turbinas, sean de acción, como las llamadas Pelton, sean de reacción o mixtas, como las turbinas Francis, Hélice, Kaplan y Bulbo. En cuanto al sistema de colocación de la rueda o «rodete», suele ser casi siempre horizontal o en algunos casos axial. Es decir, la evolución de las máquinas hidráulicas ha hecho desaparecer casi por completo las «ruedas verticales», conservándose en cambio las «horizontales», que se han convertido en las modernas turbinas. Irónicamente, la rueda horizontal, que algunos historiadores de la técnica consideran tópicamente como una rueda hidráulica «rústica» y «primitiva», es la que ha dado lugar a la moderna turbina, mientras que la considerada como la más «eficiente», la rueda vertical, se ha extinguido prácticamente. Esto no quiere decir que, antes de la aparición de las turbinas y en unas determinadas condiciones, las ruedas hidráulicas verticales no fuesen las más adecuadas.

Las ruedas verticales «de corriente» o «aceñas» se adaptan mejor a ríos de gran caudal, ya que su potencia es proporcional al cubo de la velocidad de la corriente del agua y puede llegar a ser muy alta. Su limitación es que el máximo rendimiento se obtiene cuando la rueda gira al tercio de la velocidad del

agua, con lo que resulta lenta y necesita de una multiplicación de velocidad para adaptarla a un molino. Los rendimientos que se la han adjudicado se obtuvieron en ensayos de laboratorio en condiciones ideales, pero en su funcionamiento real tiene grandes pérdidas por la incidencia de las paletas sobre el agua y por los engranajes de transformación de la velocidad. En el siglo XIX, Poncelet diseñó un tipo de rueda de corriente de álabes curvos, que eliminaba parte de las pérdidas de energía del agua. La rueda Poncelet fue muy utilizada hasta que fue sustituida en el siglo actual por turbinas más eficaces.

La rueda vertical gravitatoria tiene un rendimiento óptimo para una gama determinada de diámetros, entre 3 y 6 metros, y unos caudales más pequeños que la de corriente. Es potente, pero lenta, por lo que necesita también engranajes para adaptarla a los usos de la molienda. Su rendimiento decae espectacularmente cuando no se adapta a las condiciones de caudal y salto adecuados, y esta poca flexibilidad ha hecho que sea también sustituida por las modernas turbinas.

Las ruedas verticales, en sus dos modalidades, son idóneas en aquellas condiciones en que el caudal y el salto se mantengan dentro de ciertos límites. Por este motivo se ha empleado la rueda de corriente para los grandes ríos que tengan un nivel constante en todas las estaciones, y la rueda gravitatoria para corrientes de tipo medio sin grandes crecidas ni estiajes, que presenten un cierto salto para poder derivar un canal elevado. Estas condiciones hidrológicas se dan en el norte y en el centro de Europa, por lo que en estos lugares ha predominado la rueda vertical en ambas modalidades, sustituyendo a las horizontales. Dado que en Inglaterra, Alemania y gran parte del territorio francés se ha dedicado mayor atención al estudio de estas ruedas verticales, se conoce mucho mejor su funcionamiento, por otra parte, más sencillo desde el punto de vista hidráulico que el de las ruedas horizontales.

Para las condiciones hidrológicas extremas del sur de Europa es más adecuada la rueda horizontal. La variedad de éstas es aún mayor que la de las verticales, puesto que admite un gran número de posibilidades en función de la instalación hidráulica. Normalmente se requiere, aparte de la presa o azud correspondiente, un canal de derivación o «caz», un pequeño embalse de acumulación de agua o «balsa», que a veces se complementa con un depósito cilíndrico, el «cubo». El agua se dirige a la rueda horizontal, «rodezo», por medio de un tubo convergente, el «saetín», y sale al exterior desde el «cárcavo» por un canal de salida o «socaz». La simple enumeración de las partes de que se compone un molino de rueda horizontal nos hace comprender que su instalación hidráulica no es tan simple como pudiera parecer a primera vista. Por consiguiente, al hablar del rendimiento y compararlo con los de rueda vertical hay que tener en cuenta todos estos factores.

Este molino de rueda horizontal es el origen de la moderna turbina. El primer paso consistió en acoplar al rodezo un cilindro o «cubete», en el que gira el agua antes de impulsar el rodete, aprovechando la fuerza centrífuga

del agua: es el molino de «regolfo». El segundo paso fue el «curvar los álabes hacia atrás para que su fuerza sea hacia adelante»¹⁶, como decía el medinense Lobato en el siglo XVI, según el principio de reacción de las actuales turbinas. El tercer paso lo dio el español Alonso Sánchez Cerrudo, con su invento, patentado en la segunda mitad del siglo XVI, de cerrar todo el cubete y hacer salir el agua en sifón, para que funcione a presión¹⁷. Estas innovaciones españolas pasaron al sur de Francia, y sirvieron a Fourneyron, en la primera mitad del siglo XIX, para inventar su famosa turbina¹⁸.

Todo lo que hemos dicho hasta ahora son unas ideas muy resumidas de lo que hay que tener presente antes de estudiar los molinos de cualquier región. Muchas de las discusiones que se hagan sobre esta tecnología de los molinos, como la que actualmente está planteada entre varios historiadores con los molinos de la huerta valenciana¹⁹, debieran tener en cuenta estas mínimas observaciones técnicas.

Como ejemplo, en nuestro estudio de los molinos de la actual provincia de Valladolid²⁰ hemos podido comprobar la coexistencia de una gran variedad de tipos de molinos, justificada siempre en función de las necesidades técnicas y de las condiciones del medio, que son los que imponían un tipo u otro de molino. No podemos hablar de molino feudal, señorial o de otra clase, asociado a un tipo de ruedas verticales u horizontales, porque el mismo dueño tenía al tiempo variedades de molinos tecnológicamente muy distintos entre sí. Esto es lógico, porque las técnicas de los molinos no eran excluyentes sino complementarias. Además, hemos podido comprobarlo documentalmente.

Por ejemplo, analizaremos el caso del caballero del hábito de Santiago don Diego López de Mendoza, vecino de Valladolid, que, en el año 1602, tomó posesión de un mayorazgo en Arroyo, cerca de Valladolid, y solicitó el hacer allí un molino de rueda horizontal, con el que pensaba aumentar su renta en 600 ducados al año y producir 400 fanegas de trigo, lo que, para un arroyo de pequeño caudal, era un buen rendimiento. Justificaba esta petición en que tenía unas aceñas en el río Duero, pero que, a pesar de su mayor caudal de agua, las ruedas verticales movidas por la corriente no podían funcionar en las avenidas. En efecto, este tipo de rueda hidráulica se adapta muy mal a los cambios de nivel de los ríos, tan frecuentes en España, en comparación con las versátiles ruedas de «rodezo», mucho más adaptables. Así, en

¹⁶ José A. García-Diego/Nicolás García Tapia, *Vida y técnica en el Renacimiento. El manuscrito de Francisco Lobato*, Valladolid, 1987, f. 34, p. 40.

¹⁷ Nicolás García Tapia, *Del dios del fuego a la máquina de vapor. Introducción de la técnica en Hispanoamérica*, Valladolid, 1992, pp. 304 y 305.

¹⁸ Nicolás García Tapia, «The "Regolfo" Mills of Francisco Lobato», *Transactions of the International Molinological Society*, Gante, 1985; *id.*, «Sobre el origen de las turbinas hidráulicas», *Técnica Industrial*, núm. 179 (1985), pp. 68-72.

¹⁹ Sobre esta polémica pueden consultarse los artículos de varios autores del número 15, año 1993, de la revista *Afers*, dedicada a los molinos de agua.

²⁰ Nicolás García Tapia/Carlos Carricajo Carbajo, *Molinos de la provincia de Valladolid*, Valladolid, 1990.

las temporadas en que las aceñas de corriente no podían moler, funcionaban los molinos de ruedas horizontales. Don Diego López de Mendoza lo dice muy claramente: «Molino y aceñas se arrendarán juntos con muchas ventajas»²¹.

No había, por consiguiente, conflicto entre molinos de rueda vertical y de rueda horizontal, sino que ambos se complementaban. Esto explica la variedad de los tipos de molinos que existían en España y el porqué no sólo se mantuvo, sino que se desarrolló el sencillo molino de rodezno hasta convertirse en el precedente de las actuales turbinas. Mientras en otros países, como Inglaterra y el norte de Europa, se cambiaban los molinos de rueda horizontal por otros de rueda vertical, en el sur se adaptaban los rodeznos a las necesidades de la cambiante hidrología²².

Con esta larga pero necesaria introducción técnica hemos tratado de explicar la presencia de unos tipos de molinos de rodezno en España que, desde luego, no se debe a ningún tipo de «atraso tecnológico» ni a condicionantes políticos o sociales de ningún tipo. Es el resultado de una compleja red hidrográfica y de una adaptación al medio, por supuesto, difícil y conflictiva, pero que fue llevada a cabo gracias a la inventiva de los constructores de molinos españoles, como se pone de manifiesto en las numerosas patentes sobre molinos que hemos encontrado para el siglo xvi²³. Creemos que esto pueda servir al menos para arrojar alguna luz en la discusión abierta sobre los molinos medievales de la huerta valenciana o de cualquier otra parte de la geografía peninsular.

Conclusión

A pesar de haber realizado nuestra exposición a través de varias disputas, más o menos afortunadas, sobre Historia de la Técnica, pensamos que algo positivo puede deducirse de ello. Antes de polemizar sobre algunos temas hay que estudiarlos con más profundidad.

La discusión sobre el origen de la máquina de vapor pone de manifiesto nuestro desconocimiento sobre los inventores españoles, especialmente en la época más brillante de nuestro Siglo de Oro, así denominado por la literatura

²¹ Archivo General de Simancas, Cámara de Castilla, leg. 844, f. 153.

²² Estamos realizando, dentro del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica de la Universidad de Valladolid, un trabajo sobre el origen, evolución y desarrollo de las turbinas hidráulicas, donde intentamos analizar, a la luz de nuestros conocimientos actuales de Mecánica de Fluidos, el paso de las ruedas hidráulicas a las turbinas, y estudiar la posibilidad de adaptar las instalaciones hidráulicas de los antiguos molinos para su aprovechamiento en minicentrales eléctricas. Es un ejemplo para mostrar que los estudios en historia de la técnica pueden ser útiles para la tecnología actual.

²³ Las patentes sobre molinos llegaron a suponer, aproximadamente, la cuarta parte del total de las invenciones a las que se concedió este privilegio en España en el período comprendido entre los años de 1520 y 1620. Véase: Nicolás García Tapia, «Historia de las patentes anteriores a la Revolución Industrial», *Torre de los Lujanes*, núm. 19, 1992, pp. 123-133.

o por el arte, pero que sería también aplicable a la técnica. La «polémica» sobre quién fue el autor de «Los veintiún libros...» encubre el desconocimiento, cuando no el menosprecio, de nuestros escritos técnicos y científicos del siglo xvi, cuyo análisis, sin apasionamiento, daría una nueva luz sobre los conocimientos de los técnicos españoles. Finalmente, la discusión sobre la tecnología de las ruedas hidráulicas de los molinos muestra lo mucho que nos queda por saber sobre unas máquinas consideradas hasta ahora de escaso interés. Es el origen y el desarrollo de la energía, tan importante en nuestras vidas, lo que en realidad esconde el análisis de los aparentemente sencillos molinos de épocas pasadas. Esto no fue así en una época como la del siglo xvi español, en la que los monarcas, sobre todo Felipe II, impulsaron los privilegios por invención en los molinos.

Evidentemente, estos no son los únicos temas pendientes en la Historia de la Técnica, disciplina a la que consideramos hay que dar una mayor importancia dentro de los estudios históricos.

Finalmente, habría que terminar señalando algo esperanzador. La Historia de la Técnica es una materia joven, iniciada a fines del siglo pasado en algunos países europeos y que en España está empezando a ser reconocida en algunos ambientes ligados sobre todo a la Historia de las Ciencias, desde algunas Universidades o desde el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Pero la técnica no es sólo ciencia aplicada y requiere un tratamiento independiente. Tampoco se puede desligar de las condiciones históricas, sociales, políticas y económicas de la época en que se desenvuelve. La presencia y la aportación de historiadores de varias especialidades se hace necesaria para el desarrollo pleno de una materia que tiene tantas implicaciones. Pero esta aportación debe ser de cooperación, no de polémica y de crítica. Esperemos que pueda ser así en el futuro.