



8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA

Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007

EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DE LA INGENIERÍA MECÁNICA A TRAVÉS DE LAS GRANDES ÁREAS CULTURALES

**Bautista Paz E., Muñoz Sanz J. L., Ceccarelli M., Echávarri Otero J.,
Leal Wiña P., Bernardos Rodríguez R.**

División de Ingeniería de máquinas, Universidad Politécnica de Madrid
C/ José Abascal N°2, Madrid
e-mail: ebautista@etsii.upm.es

RESUMEN

El siguiente artículo trata de visualizar la “Historia de la Humanidad” a través del desarrollo de la Ingeniería Mecánica a lo largo de los siglos. Esta “Historia” se puede abarcar desde muchas perspectivas pero contemplarla a partir de la evolución mecánica en las grandes áreas culturales que se han ido sucediendo permite obtener una imagen clara a pesar de la existencia de solapamientos temporales.

Los desarrollos mecánicos anónimos surgidos en la Prehistoria abren camino a las primeras civilizaciones, marcadas quizá en gran medida por la cultura grecorromana en Europa y por la china en Asia.

Tras ellos, es el mundo Islámico el que, en la Edad Media, activa la búsqueda de nuevos ingenios mecánicos y pone los cimientos que dan lugar al Renacimiento. En él, se debe mencionar la expansión de la mentalidad creativa e innovadora italiana con sus “Teatros de máquinas”. Coincidiendo con esa época, durante el Imperio Ibérico destaca la publicación de “Los Veintiún libros de los Ingenios y las Máquinas” atribuidos a Juanelo Turriano.

Es la Revolución Industrial la que sirve de punto culminante a todo el desarrollo anterior y crea una nueva sociedad que pone la máquina al servicio del trabajador y no a la inversa. Tras ella, la evolución mecánica es vertiginosa y resulta más interesante, desde el punto de vista histórico, realizar el estudio a nivel de desarrollo teórico y reflexionar como han evolucionado los “Tratados de Mecánica” desde la Antigüedad hasta el s.XIX.

PALABRAS CLAVE: Historia, Máquina, Tratado, Civilización

INTRODUCCIÓN

La división de la “Historia” en períodos de tiempo para su estudio siempre ha resultado ser un trabajo arduo por la dificultad de nombrar gran cantidad de hechos, fuentes y lugares donde ésta se ha llevado a cabo. Por ello, tomar como delimitadores las grandes civilizaciones o culturas que desde la Prehistoria se han ido sucediendo, más por motivos políticos o bélicos que por auge y decadencia natural, es una buena forma de dar una visión lo suficientemente amplia como para poder entender de modo general el desarrollo y la evolución.

En el caso de las máquinas, es lógico pensar que allí donde reside el poder y la hegemonía es donde también reside la técnica y la maquinaria más avanzada. A lo largo de los siguientes capítulos, desarrollados en mayor medida en el libro “Breve historia ilustrada de las máquinas” [1], se visualiza esta evolución en la que se muestra como esta suposición es cierta en la mayor parte de los casos.

DESARROLLOS ANÓNIMOS

Hay un número significativo de máquinas y mecanismos que, por mucho que nos alejemos en el tiempo, son ya patrimonio cultural común. Estos desarrollos ancestrales tienen dos vertientes básicas: la Arqueología y la Biología.

La Arqueología ha permitido descubrir mecanismos usados desde la Prehistoria, a través de la interpretación de restos de yacimientos. Estos “restos” pueden dar lugar a multitud de interpretaciones según quien los estudie y, en ocasiones, es labor más de la imaginación que de realidad.

En cuanto a la vertiente biológica, es evidente el gran trabajo realizado por la naturaleza para dotar tanto a plantas como a animales de mecanismos sumamente complejos y evolucionados (fig 1.a) que ofrezcan el mayor provecho a quienes los poseen. La variedad de los mismos es también una prueba fehaciente de diseño mecánico que obliga a incluir estos “mecanismos biológicos” dentro de la “Historia de las Máquinas”.

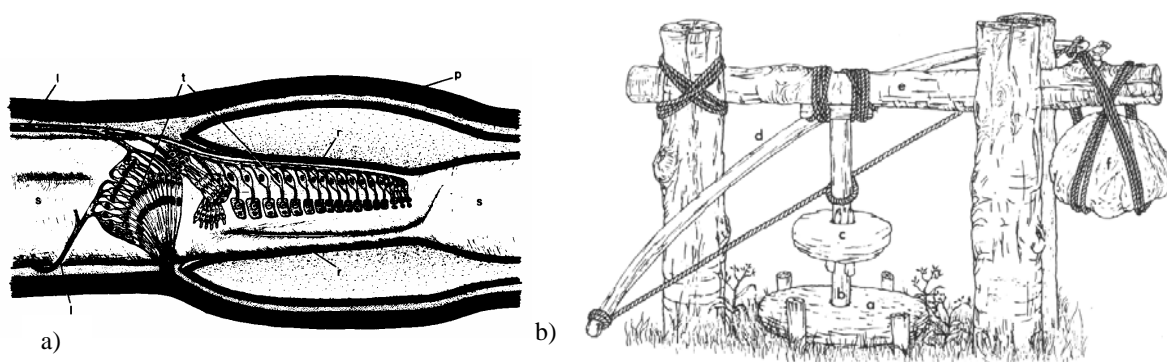


Fig 1: a) Oído en la pata delantera de un saltamontes, de “Del pez al hombre” de H. Hass, 1979.[2]. b) Máquina prehistórica taladradora de arco. Reconstrucción de “Máquinas, una historia ilustrada” de S. Strandh, 1988.[3].

MÁQUINAS E INVENTOS CHINOS

Es la escritura ideográfica y la preocupación por la caligrafía las que han conseguido que la tecnología china haya llegado hasta nosotros como evolución sorprendente y, en muchas ocasiones, superior a la existente en Europa hasta el siglo XV. Ya en documentos sumamente antiguos, como el “Kao Gong Ji” (“Libro de las diversas artes”, 770-221 a.C), se evidencia la preocupación por el desarrollo de las ciencias en todas sus facetas: Astronomía, Biología, Matemáticas, Física o Ingeniería.

Tras él, las muestras escritas son numerosas: compendios de máquinas de guerra, máquinas agrícolas e hidráulicas, máquinas textiles o relojes y autómatas se suceden en innumerables páginas de esquemas y explicaciones.

Dos buenos ejemplos de estos avances tecnológicos son tanto el “carro que apunta al sur” (fig 2.a) que data del 2600-1100 a.C como el reloj astronómico de Su Song (fig 2.b) construido en el 1089 y que, con sus más de cuatrocientas piezas, es sin duda una maravilla tecnológica.

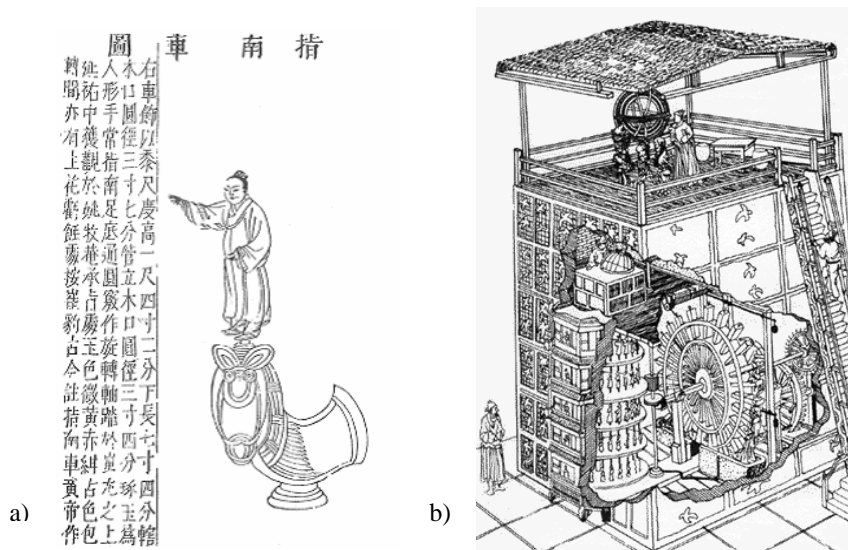


Fig. 2: a) Dibujo del “carro que apunta al sur” de “San Tshai Thu Hui” de Wang Chhi, 1609. [4]. b) Reloj astronómico de Su Song de “Historia de la dinastía Sung” de Shen Yueh, 500 d.C. [5].

INGENIERÍA MECÁNICA EN LA ANTIGÜEDAD

El hecho es que no se han conservado la mayor parte de los mecanismos automáticos de la Antigüedad, pero su legado puede encontrarse en algunos documentos, representaciones artísticas, e incluso literatura humanística.

El mundo grecorromano recoge buena parte de la tecnología desarrollada por las culturas anteriores como la egipcia.

Grecia alcanza un gran nivel en los campos técnicos siendo un ejemplo emblemático la Escuela de Alejandría (a partir del s. III a.C) donde se forman personalidades como Arquímedes, Euclides, Filón (fig 3.a) o Herón. Éste último está considerado por algunos historiadores como el primer ingeniero gracias a sus figuras y explicaciones detalladas y precisas. En su obra “Pneumatics” [6] reúne un conjunto de máquinas automáticas estudiadas no sólo en su tiempo sino redescubiertas y empleadas en el Renacimiento.

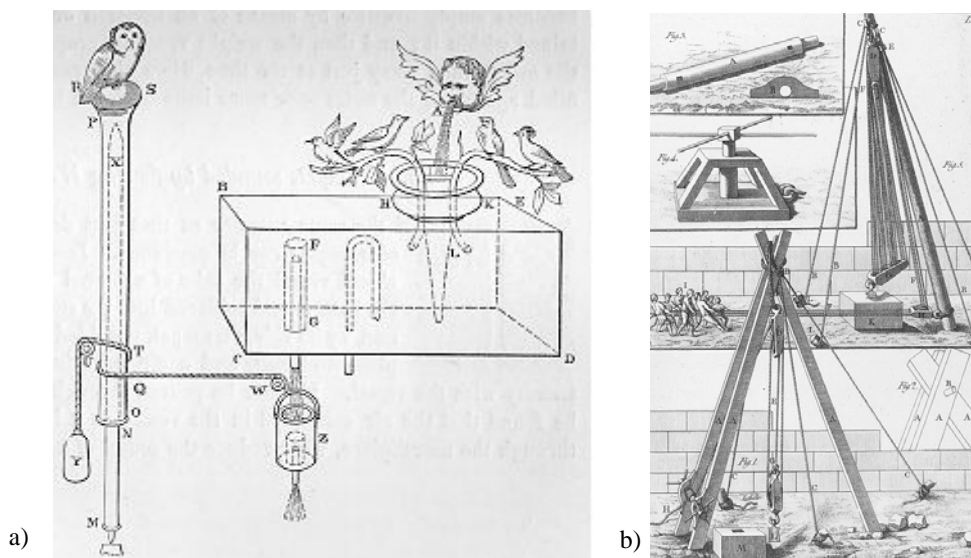


Fig 3: a) “Pájaros cantores” de Herón, de la traducción de la obra “Pneumatics” por B. Woodcroft, 1851 [6]. b) Reconstrucción de máquina para elevación de cargas de “Tratado sobre máquinas de Vitruvio” de J. Ortiz y Sanz, 1787 [7].

La evolución de la cultura griega determina la tecnología romana. Su técnica se vuelve más profunda y amplia, estudiando campos diversos como las obras civiles o las aplicaciones militares. El nombre más destacado de esta época es, sin duda, el de Vitruvio (80 o 70 a.C. – 25 a.C.), con su “De Architectura” [8] (fig 3.b), obra en la que recoge sus conocimientos en arquitectura, incluyendo explicaciones y dibujos de las máquinas utilizadas para este arte.

MÁQUINAS Y MECANISMOS MEDIEVALES

El Islam se extiende hasta los confines del mundo conocido durante la Edad Media y el árabe sirve de vehículo de la cultura en su área de influencia.

Los trabajos de sus autores parten del estudio de las obras griegas y romanas, buscando mayor profundidad y creatividad.

De la “Casa de la Sabiduría” creada en Bagdad (s. IX), surge el primer libro “Mecanismos ingeniosos” [9] debido a los tres hermanos Banu Musa en cuyas páginas se encuentran esquematizadas 100 máquinas y mecanismos. Algunas de ellas son copias de las creadas por Herón o Filón pero muchas otras son evoluciones de las mismas o nuevos modelos.

Tras sus pasos se encuentra el nombre más relevante en cuanto a tecnología islámica: Al-Jazari (1136-1206). Su “Tratado del conocimiento sobre mecanismos” [10],[11] muestra fuentes, relojes, norias o autómatas con una precisión tanto en el dibujo como en la explicaciones no conocidas hasta entonces. Sus máquinas muestran una complejidad creciente y un resultado no sólo útil sino también vistoso como en el caso del reloj elefante (fig 4) que aúna ingeniería mecánica y diseño a partes iguales.

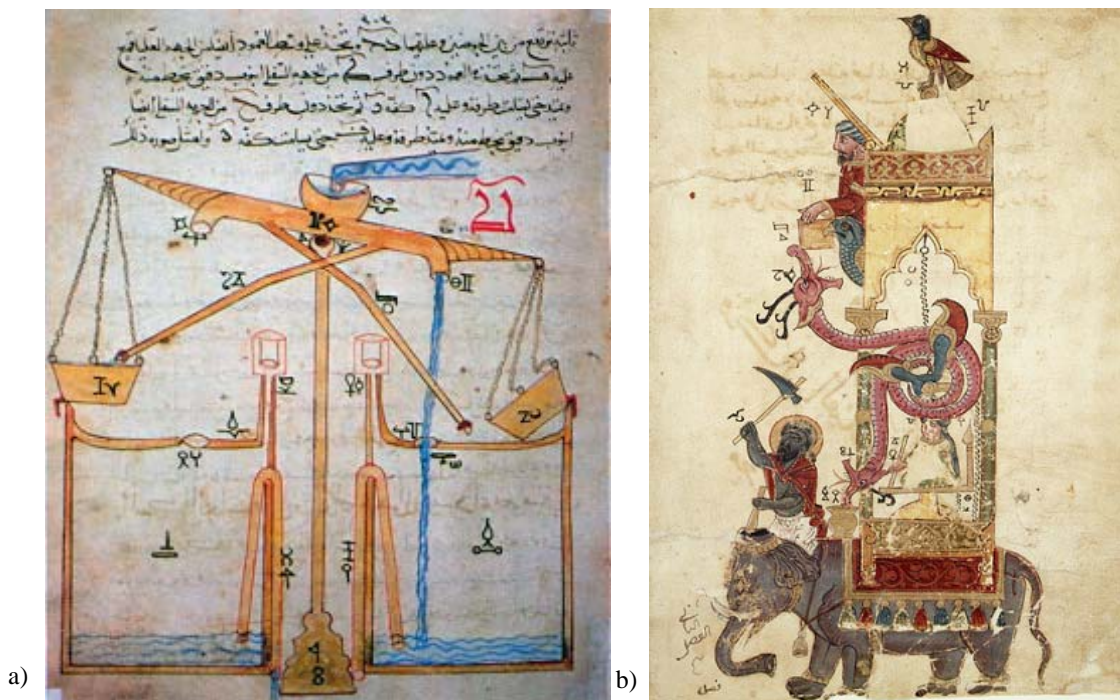


Fig 4: a) Fuente. b) Reloj elefante. Ambos de “Tratado sobre el conocimiento de mecanismos” [10] de Al-Jazari, 1206.

Aunque sea el mundo islámico el que más divulgue sus conocimientos, Europa avanza lentamente encaminándose al Renacimiento. En este camino se encuentra la figura de Villard de Honnecourt quien, en el s. XIII, deja un cuaderno [12] en el que recoge máquinas y mecanismos vistos en sus viajes, como catapultas, sierras o mecanismos elevadores.

EL RENACIMIENTO DE LAS MÁQUINAS

El Renacimiento de la Europa Occidental, durante los siglos XIV, XV y XVI, marca una etapa de reactivación y revitalización tanto a nivel de las artes como de las ciencias y las letras, buscando dejar atrás el estancamiento de la Edad Media. A diferencia de lo que sucede en el Medievo, la apertura de la sociedad del Renacimiento favorece la difusión de las máquinas.

El momento de más éxito en el desarrollo de las máquinas puede considerarse el siglo XV, con personalidades centrales como Leonardo da Vinci [13][14] y Francesco di Giorgio [15], éxito debido en parte a un entorno abierto a su creatividad y receptivo a sus nuevas ideas. En paralelo, el interés por los aspectos teóricos de las máquinas hace recuperar el conocimiento de la Antigüedad estudiando a autores ya nombrados de la cultura griega y romana.

La publicación del conocimiento en forma de tratados se inicia al final del siglo XV. Una primera línea de actividad son los estudios de mecánica de las máquinas como aplicación de la física, por personalidades como Guidobaldo del Monte [16][17] y Galileo Galilei [18]. La segunda línea consiste en un desarrollo hacia una disciplina en forma de colección racional de máquinas, destacando las colecciones de máquinas del mencionado Francesco di Giorgio y de Agostino Ramelli.

El Renacimiento de las Máquinas, desde Italia, se extiende por Europa Occidental a partir de la segunda mitad del siglo XV con obras destacadas como por ejemplo “De re Metallica” [19] de Georgius Agricola y al “Kunstliche Abris allerhand Wasser” [20] de Jacobus Strada.



Fig 5: Portadas de algunos “Teatros de Máquinas”. [21][21][23]

La imprenta ha sido un factor importante en la difusión de estos tratados. No sólo el texto sino también las láminas que lo acompañan alcanzan una calidad hasta entonces desconocida en los libros de máquinas copiados pacientemente por amanuenses. Aunque algunos tratados significativos han llegado hasta la actualidad en forma de manuscritos, la mayor parte de los autores publican libros impresos, cuyos lectores ya no tienen que pertenecer a una clase privilegiada. El conocimiento de las máquinas se populariza y se extiende a una escala cualitativamente distinta de las de los periodos anteriores.

LAS MÁQUINAS EN LOS PRIMEROS IMPERIOS COLONIALES

Por diversas razones históricas conocidas, en la Edad Moderna se inicia en Europa un proceso de expansión de su influencia política y cultural a grandes zonas geográficas, creándose imperios coloniales europeos que se han mantenido hasta nuestros días. Castilla y Portugal se adelantan ya desde fines del siglo XV en este sentido, al resto de las naciones europeas, por lo que los primeros imperios coloniales son fundamentalmente ibéricos.

Dar la vuelta al mundo es una hazaña que necesita de la ingeniería mecánica, pero mantener las nuevas rutas comerciales de las especias le da permanencia en el tiempo. Los recursos minerales de ultramar necesitan de nueva maquinaria para su explotación. Todo esto provoca que se creen centros específicos para el estudio de la ciencia y la tecnología que facilitan dicha expansión geográfica mundial.

El interés estratégico de la ingeniería mecánica queda patente también con la publicación denominada “Los Veinte Y Un libros de los Ingenios, y Máquinas de Juanelo” [24], que manda escribir “el Chatolico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Hespañas y Nuevo Mundo”, en torno al año 1570. Se recogen, entre otros conocimientos, un gran número de máquinas de la época, ordenadas por su función, destacando su contenido en bombas, molinos, grúas y otras máquinas, principalmente con accionamiento hidráulico, eólico, gravitatorio o tracción animal.

Esta enciclopedia de las máquinas, como algunos historiadores consideran a esta obra, es de autoría desconocida. Debido a su fama en el momento, se atribuye inicialmente a Juanelo Turriano, inventor de un célebre ingenio en Toledo denominado “la máquina que baila” (fig 6.a) para elevación de agua. No obstante, estudios posteriores parecen indicar que puede deberse a Pedro Juan de Lastanosa [25].

Otros personajes destacados son Jerónimo de Ayanz y Beaumont [26], a quien en 1606 le es otorgado un privilegio de invención por más de cincuenta ingenios y Francisco Lobato [27], vecino de Medina del Campo, que en menos de cuarenta páginas, recoge apuntes de tecnología desde 1547 hasta 1585.

Como ejemplo, se expone a continuación la figura 6.b correspondiente a una de las máquinas más comunes y utilizadas de la época: el molino. Éste sufre continuas evoluciones y desarrollos en busca de la mayor eficiencia.

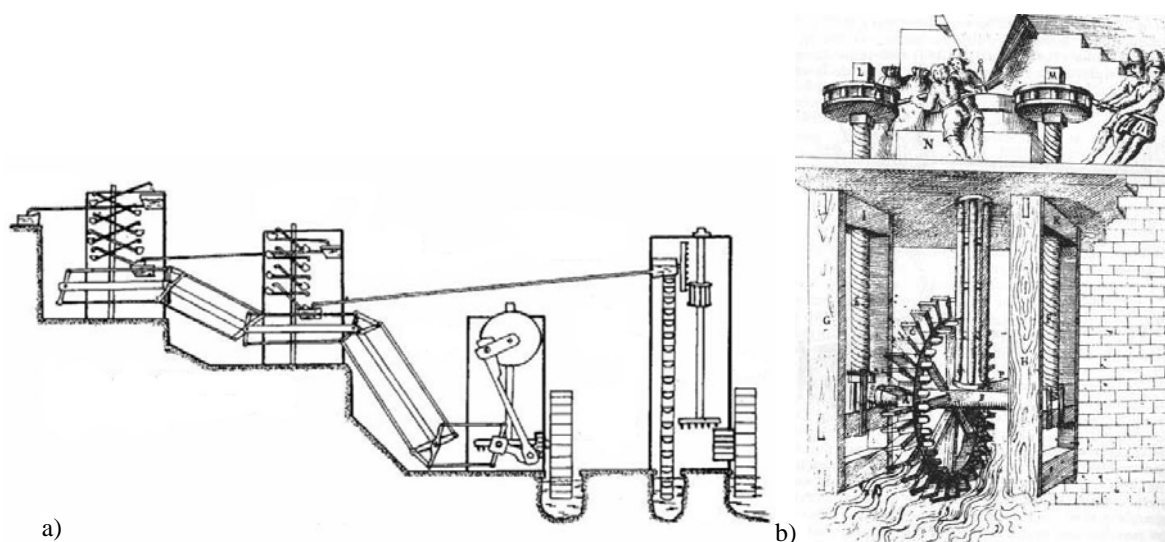


Fig 6: a) Esquema del Ingenio de Juanelo en Toledo: “La máquina que baila”. Reconstrucción de L. Reti.
b) Molinos, de “Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas”, atribuido a Juanelo Turriano, 1570.[24]

LA MAQUINARIA DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Este período de nuestra historia surge tras la acumulación de conocimientos en las épocas precedentes y por coincidencia de una serie de factores que desembocan en un período de continuo avance y progreso que lleva a un cambio de enfoque tanto social como ingenieril.

La construcción de la máquina de vapor por J. Watt (1736-1819) es el punto de inflexión, pero quizá sea más importante a nivel mecánico que se estableciera el siguiente concepto: “No se necesita al hombre para trabajar, se tiene a la máquina”. Esta frase simplifica muy bien la búsqueda de la automatización en todos los campos, bien sea en agricultura, minería o en la industria textil donde las máquinas comienzan a suplantar a las personas gracias a las nuevas tecnologías que se van descubriendo.

Una buena muestra de este progreso generalizado se produce en el ámbito de la ingeniería textil, donde surgen desarrollos en todos los campos (hilado, tejido y cosido), gracias a nombres como Arkwright, Hargreaves o Crompton con una continúa evolución que en muy pocos años provoca el obsolescencia de aquellas industrias que no son capaces de avanzar a la vez que la técnica.

También es destacable el hecho de que la revolución industrial no se difunde y genera con la misma rapidez en todas las zonas. Así, por ejemplo, mientras que Inglaterra es la pionera en la implantación de industrias mecanizadas y automáticas, su vecina Francia se ve inmersa en un conflicto social que la hizo aislarse de este tipo de avances.

LA REFLEXIÓN SOBRE LAS MÁQUINAS

Se ha observado a lo largo de los anteriores apartados como la evolución de las máquinas ha ido acorde con la evolución cultural, social y, en muchos casos, política. A partir de la Revolución Industrial hablar de desarrollo mecánico es dar pie a una infinidad de materias.

Aún así, a partir de la Revolución Industrial, sí surge o más bien, resurge, una nueva “Historia de las Máquinas”: aquella compuesta por los tratados teóricos comenzados en el Renacimiento y que se ven relevados por los escritos de la Ilustración francesa que encaminan una serie de ensayos y tratados sobre composición de mecanismos y máquinas o estudios teóricos de modelos mecánicos.

Uno de los primeros es el español Agustín de Betancourt, quien se traslada a Francia a estudiar y que en su “Ensayo sobre la composición de las máquinas” [28] (junto a José María de Lanz) expone una división de los movimientos que aún hoy es válida. Tras sus pasos, son otros muchos ingenieros los que se suceden: M. Hachette [29], J. Weisbach [30], Labouyale [31], F. Redtenbacher [32] o F. Reulaux [33][34], se valieron no sólo de los libros de su época sino también de los de sus predecesores más antiguos como G. del Monte [16][17] o G. Galilei [18] que se encargaron, ya en el Renacimiento, de condensar la Mecánica como asignatura teórica de estudio.

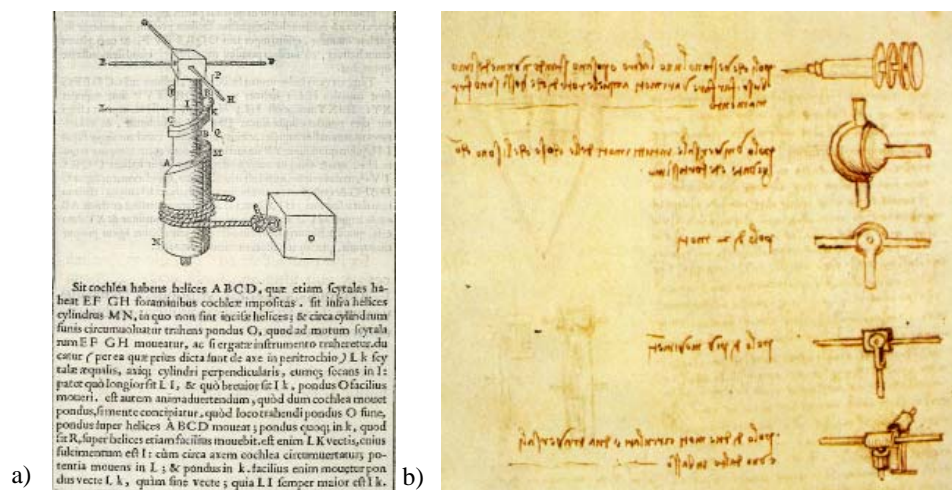


Fig 7: a) Página de “Le Mechaniche” de G. Del Monte, 1581 [16]. b) Clasificación de máquinas del “Código Madrid” de L. da Vinci, 1493 [14].

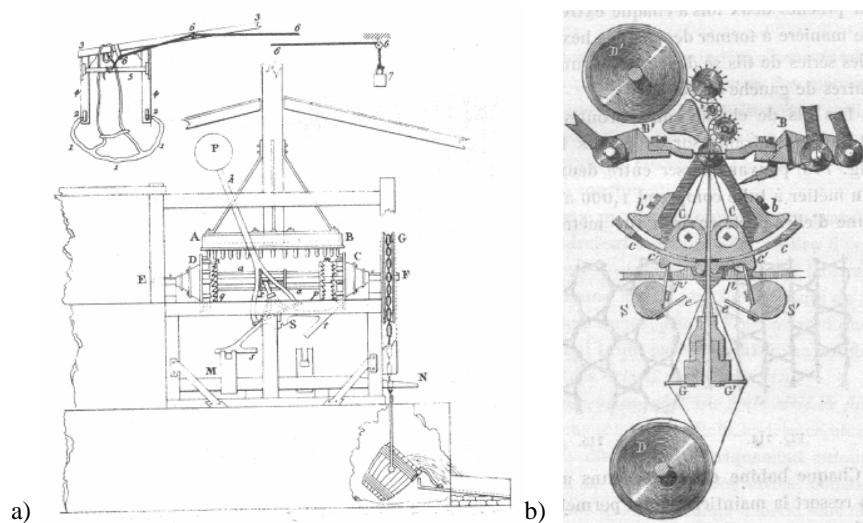


Fig 8: a) Figura de “Ensayo sobre la composición de las máquinas” de A. de Betancourt y J.M. de Lanz [28], 1808. b) Mecanismo de “Traité de cinématique” de Labouyale, 1861 [31].

CONCLUSIONES

Lo visto hasta ahora ha sido una muestra clara de que la evolución del ser humano tanto a nivel cultural como económico o social, ha sido también, causa del desarrollo de la tecnología.

La comparación de la “Historia de la Humanidad” con la “Historia de las Máquinas” es válida en base a esta evolución paralela, que hace que la hegemonía política y económica recaiga en la cultura más desarrollada a nivel tecnológico.

Los avances técnicos han llevado al hombre a usar su imaginación e ingenio no sólo en busca de su propio beneficio sino también como forma de ayuda en tareas o trabajos que requerían operarios cualificados. Estos trabajos se han realizado siempre en comunidad y con gran influencia del entorno científico y político de la época. El ejemplo más propio de este tipo de desarrollo quizá sea la Revolución Industrial que, como se ha visto, da paso a las industrias automatizadas y a la sustitución del hombre por la máquina.

Una “Historia de las Máquinas” nunca llegará a estar completa pero este ligero repaso ayuda a la comprensión y el entendimiento de cómo las mentes de los “ingenieros mecánicos” han ido evolucionando y cambiando, adaptándose a su época y pensando en un “más allá” que les lleva a encontrar tanto máquinas como mecanismos mejorados o novedosos y de cómo estos son un nuevo escalón de una escalera interminable.

BIBLIOGRAFÍA

1. E.Bautista, M. Ceccarelli, V.Diaz. Breve historia ilustrada de las máquinas. 2007.
2. H. Hass. Del pez al hombre. Salvat. 1979.
3. S. Strandh. Máquinas: Una historia ilustrada. Raíces. 1988.
4. W. Chhi. San Tshai Thu Hui.1609.
5. S. Yueh. Historia de la dinastía Sung. 500.
6. B. Woodcroft. Pneumatics. 1851.
7. J. Ortiz y Sanz . Tratado sobre máquinas de Vitruvio. 1787.
8. P. M. Vitruvius. De architectura. Editado por Fra Giocondo, Verona, (reimpreso en 1513, 1522 y 1523). 1511.
9. Banu Musa. The book of ingenious devices: Kitab Al-Hiyal. S. X.
10. Al-Yazari, B. Al-Zaman, D. Hill. The book of knowledge of ingenious devices. D. Reidel Publishing Co. 1974.
11. D. Hill. Studies in medieval Islamic technology: from Philo to al-Jazari: from Alexandria to Diyar Bakr. Variorum Reprints. 1998.
12. V. de Honnecourt. Cuaderno. Siglo XIII. Akal. 1991.
13. L. da Vinci. Códice Atlántico. S. XV
14. L. da Vinci. Códice Madrid. 1493.
15. F. di Giorgio. Trattato di architettura e machine. S.XV.
16. G. del Monte. Mechanicorum Liber. 1577.
17. G. del Monte. Le Mechanique. 1581.
18. G. Galilei. Les Mechaniques Reeditado por F. Brunetti, Torino, 1964. 1634.
19. G. Agrícola. De re metallica. Reimpreso en 1950 por la editorial Dover. 1556.
20. J. Strada. Kunstliche Abrís allerhand Wasser – Wind Rosz- und Handt Muhlen. Getruckt durch Paulum Iacobi in Verlegung Octavii de Strada. 1617.
21. G. Branca. Le machine. 1629.
22. G. Böckler. Theatrum Machinarum Novum. In Verlegung Paulus Fürsten, Gedruckt bey Christoff Gerhard. 1661.
23. V. Zonca. Novo teatro di machine et edificii per uarie et sicure operationi. Appresso F. Bertelli. 1607.
24. Anónimo. Los 21 libros de los ingenios y de las máquinas. (Publicados en 1997 en español y en inglés, en una edición de 7 volúmenes). Fundación Juanelo Turriano. 1570.
25. N. García Tapia. Pedro Juan de Lastanosa y Pseudo Juanelo Turriano. 1988.
26. N. García Tapia. Un inventor navarro. Jerónimo de Ayanz y Beaumont. Departamento de Educación y Cultura de Pamplona. 2001.
27. N. García Tapia y J. A. García Diego. Vida y Técnica en el Renacimiento: Manuscrito de Francisco Lobato, de Medina del Campo, en el siglo XVI. Valladolid : Secretariado de Publicaciones, Universidad , D.L. 1990.
28. J. de Lanz, A. de Betancourt. Ensayo sobre la composición de las máquinas. Editorial Castalia. Colegio de Caminos, Canales y Puertos. 1808.

29. M. Hachette. *Traite Élémentaire des Machines*. Corby. 1811.
30. J. Weisbach. *Principles of the mechanics of machinery and engineering*. Lea and Blanchard. 1848.
31. Labouyale. *Traité de cinématique ou Théorie des mécanismes*. E. Lacroix. 1861.
32. F. Redtenbacher. *Die Bewegungs-Mechanismen*. Heidelberg. 1866.
33. F. Reuleaux. *Kinematics of Machinery*. F. Savy. 1875.
34. F. Reuleaux. *Lehrbuch der Kinematik, V.1 Theoretische Kinematik*. F. Savy. 1876.
35. J. Bessonius. *Theatrum Instrumentum et Machinarum*. 1578.
36. F.A. Borgnis. *Traité complet de mécanique appliquée aux arts*. Bachelier, Paris, 9 Vols. 1818.
37. J. A. García-Diego. *Los relojes y autómatas de Juanelo Turriano*. Albatros. 1982.
38. N. García Tapia. *Técnica y poder en Castilla durante los siglos XVI y XVII*. Consejería de Cultura y Bienestar Social. 1989.
39. D. Hill, A. al-Hassan. *Islamic technology: an illustrated history*. Cambridge University Press. 1986.
40. M. di Jacopo "Il Taccola". *De Ingensis*. Reeditado por L. Reichert en 1984. 1433.
41. I. de Lamadrid, A. de Corral. *Cinemática y Dinámica de Máquinas*. E.T.S.I. Industriales. 1963.
42. J. Leupold. *Theatrum Machinarum Generale*. Druckts Christoph Zunkel. 1724.
43. J. Needham. *Science and civilisation in China*. Cambridge University Press. 1975.
44. A. Ramelli. *Le Diverse et Artificiose Machine*. 1588.
45. A. Ramelli. *Theatrum Machinarum*. 1588.
46. G. Schott. *Mechanica hidráulico-pneumatica*. Henricus Pigrin. 1657.
47. J. Schröder. *Catalog of Reuleaux Models*. Polytechnisches Arbeits-Institut. 1899.
48. S. Strand. *Historia de la máquina*. Raíces_1984.
49. Varios autores. *Crónica de la técnica*. Plaza y Janés. 1993.
50. F. A. Voight. *Kinematische Modelle nach Prof Reuleaux*. Staatsmedaille hygiene_austellung. 1907.
51. R. Willis. *Principles of Mechanism*. 1870- 2nd Ed., London. 1841.
52. H. Zeising. *Theatri machinarum erster*. 1611.