

María Isabel del Val Valdivieso
Juan Antonio Bonachía Hernando
(Coord.)

Agua y sociedad en la Edad Media hispana

eug

M.^a ISABEL DEL VAL VALDIVIESO
JUAN ANTONIO BONACHÍA HERNANDO
(coords.)

AGUA Y SOCIEDAD
EN LA EDAD MEDIA HISPANA

GRANADA
2012

La presente edición ha contado con una ayuda de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León y con la colaboración del Proyecto de Investigación *Consenso y conflictos en torno al agua en la Castilla bajomedieval*, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, Plan Nacional de I+D 2008 (HAR2008-01441/Hist), en cuya actividad investigadora se inscribe.

© LOS AUTORES.

© UNIVERSIDAD DE GRANADA.

AGUA Y SOCIEDAD EN LA EDAD MEDIA HISPANA

ISBN: 978-84-338-5463-6. Depósito legal Gr. 3.396-2012

Edita: Editorial Universidad de Granada, Campus Universitario
de Cartuja. Granada.

Preimpresión: Taller de Diseño Gráfico y Publicaciones, S.L. Granada

Portada: José María Medina Alvea.

Imprime: Imprenta Comercial. Motril. Granada.

Printed in Spain

Impreso en España

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos –www.cedro.org–), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

TIEMPO, AGUA Y VIDA ARTIFICIAL: CLEPSIDRAS Y AUTÓMATAS DE TRADICIÓN HELENÍSTICA EN LA EDAD MEDIA¹

Víctor Pérez Álvarez

Universidad de Valladolid

0. INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria el sol ha sido la referencia indiscutible para la humanidad a la hora de medir el tiempo, ya que sus ciclos condicionan y marcan los ritmos biológicos, tanto los de los humanos como los de los animales y los vegetales. Como bien sabemos, estos dos ciclos se generan por los dos movimientos de giro de la tierra, el de rotación, sobre su eje y el de traslación, alrededor del sol. El primero de ellos da lugar al ciclo del día, que incluye una noche y cuyo tiempo se mide actualmente mediante relojes. El segundo, el de traslación, da lugar al año y al calendario, que contiene trescientos sesenta y cinco días y cuarto aproximadamente. El año se divide en cuatro estaciones debido a la oblicuidad del eje de rotación de la tierra con respecto al plano de traslación. Esto tiene una doble consecuencia; por un lado el ángulo de incidencia de los rayos de sol sobre la tierra varía a lo largo del año,

1. Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación HAR2008-01441 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

ángulo que es más agudo en invierno por lo que el calor transmitido a la tierra es también menor que en verano. Por otro lado la proporción entre el día y la noche es diferente cada día del año; volviendo al invierno, el sol está menos tiempo sobre el horizonte, por lo que los días son más cortos que las noches, todo lo contrario de lo que sucede en verano. De esta forma se generan dos periodos extremos, el verano y el invierno, y otros dos de equilibrio, la primavera y el otoño. Los solsticios son los dos días del año de mayor desigualdad entre la noche y el día, mientras que los equinoccios son los dos únicos días del año en que el día y la noche duran exactamente lo mismo. A medida que nos acercamos a los polos terrestres las diferencias entre las estaciones se van haciendo más notables, en cambio si nos acercamos al ecuador se van atenuando hasta prácticamente desaparecer en las regiones tropicales.

La luna también juega un papel importante en el calendario. Su ciclo dura veintinueve días y medio aproximadamente, lo que se llama un mes sinódico. Doce meses alternos de veintinueve y treinta días forman un año lunar de trescientos cincuenta y cuatro días. Si hacemos los meses de treinta días el año se puede redondear a trescientos sesenta, una cifra redonda en el sistema sexagesimal que se utilizaba en Mesopotamia desde época Sumeria.

El ciclo día es el más fácil e inmediato de percibir y se puede medir con suma facilidad en días soleados observando el giro de la sombra de cualquier objeto natural que actúe de gnomon. Se puede decir que así aparecieron los primeros relojes de sol y los primeros instrumentos de observación astronómica de la humanidad. El siguiente paso muy bien pudo consistir en clavar en el suelo un palo recto especialmente elegido para tal efecto y realizar marcas en el recorrido de la sombra en el suelo. El ciclo del año es algo más lento y también se puede observar con el gnomon, concretamente con la longitud de su sombra, que será más larga en invierno que en verano. El ciclo de las cuatro estaciones no es tan inmediato de captar, pero debió de ser bien conocido al menos desde el neolítico, puesto que es fundamental para la supervivencia de las sociedades agrarias. De hecho las civilizaciones que florecieron a lo largo de los grandes ríos, tanto en el Creciente Fértil como en Egipto, acumularon siglos de observaciones astronómicas sistemáticas. Todas estas colecciones de datos sirvieron para desarrollar los calendarios y

sistemas de cómputo del tiempo que han tenido vigencia durante milenios. Desaparecidas estas civilizaciones, dichos datos siguieron sirviendo para el desarrollo posterior de la ciencia. Gracias a este legado grandes científicos griegos como Ptolomeo pusieron las bases del conocimiento de la ciencia matemática y astronómica que estuvieron vigentes durante toda la Edad Media hasta bien entrado el Renacimiento.

El cómputo matemático del tiempo se basa en dos sistemas de cómputo de la Antigüedad. Por un lado el sistema sexagesimal originario de Mesopotamia². A nuestros ojos podemos pensar que la base diez es la más simple de utilizar, sin embargo la base sesenta tiene muchos más divisores, lo que facilita las operaciones de división y multiplicación. La base sesenta es además la utilizada para la división del círculo en trescientos sesenta grados³. Egipto, la otra de las grandes civilizaciones fluviales de la Antigüedad, aportó la división del ciclo del día en veinticuatro horas, división que se extendió por el mundo clásico de Grecia y Roma y que se ha venido utilizando hasta la actualidad⁴. Sin embargo hay que hacer notar que dicha división puede hacerse de dos formas, la primera de ellas consiste en dividir en doce partes el día y la noche por separado, de modo que se obtienen horas llamadas solares o desiguales. La otra forma es dividir el bloque noche-día en veinticuatro partes independientemente de las proporciones entre ambos, con lo que se obtienen horas iguales o también llamadas equinocciales, puesto que los días de los equinoccios coinciden con las solares. El segundo sistema se asemeja más al que utilizamos en la actualidad y por ello nos puede parecer el más preciso y serio. Sin embargo esto no ha sido así prácticamente hasta la Edad Moderna, con la implantación del reloj mecánico. Hasta ese momento el ritmo de la vida está más ligado al sol, por lo que lo más fácil ha sido segmentar el día en doce horas desiguales dividiendo en tantas otras partes el recorrido de la sombra del gnomon.

A esta división del día en doce horas se superpuso a otra ya existente y derivada de la práctica cotidiana. Del conjunto día-noche la parte que ha tenido más interés al menos desde la Antigüedad ha sido el día, el

2. LLEDÓ, J., *Calendarios y medidas del tiempo*, Fuenlabrada (Madrid), Acento Editorial, 1999, p. 13.

3. BOYER, C. B., *Historia de la matemática*, Madrid, Alianza, 1996, pp. 50-51.

4. LLEDÓ, *Calendarios*, pp. 21-23.

periodo iluminado, porque durante él se desarrolla casi siempre toda la actividad humana. El día tiene tres momentos importantes directamente ligados a los ritmos biológicos, que son el amanecer, el anochecer y el medio día. Este último se produce cuando el sol se alinea exactamente con el sur, alcanza su máxima altura y emite más calor, por lo que tradicionalmente ha sido el momento que se ha aprovechado para comer. El día queda de éste modo dividido en la mañana y la tarde, que a su vez, son partidos en mitades dando lugar a una división cuadripartita del día. Estos cuatro momentos eran convenientemente señalados en el foro de Roma mediante señales acústicas⁵.

En párrafos anteriores ya hemos dicho que el gnomon, el reloj de sol, es el instrumento más fácil de construir y de utilizar para medir el tiempo. Fundamentalmente marca las horas solares, aunque con un poco más de conocimiento astronómico también puede mostrar con facilidad los solsticios y los equinoccios. Sin embargo no hemos mencionado hasta ahora la clepsidra, el verdadero protagonista del presente trabajo y que representa un paso tecnológico más con respecto al gnomon en la medición del tiempo. Para ello vamos a trasladarnos al antiguo Egipto, una de las grandes civilizaciones de la antigüedad que floreció a lo largo del Nilo durante más de tres milenios. Todo este tiempo permitió el desarrollo de un complejo sistema de cómputo calendárico y la creación de algunos instrumentos de medición sencillos pero eficaces para las necesidades que debían cubrir. Entre ellos están las clepsidras egipcias, caracterizadas por su simplicidad, ya que no eran más que un recipiente con escalas graduadas en su pared interior que iba perdiendo o recogiendo agua. Las más antiguas y conocidas son las llamadas de flujo exterior, es decir, las que iban evacuando el agua por un orificio practicado en el fondo. La evidencia más antigua de su existencia es un documento epigráfico datado a finales del siglo XVI a. C. de la tumba de Amenemhat. Se trata de una inscripción de gran interés puesto que, a pesar de las lagunas con que ha llegado a nuestros días, contiene valiosa información. En ella se dice que Amenemhat, después de leer escritos sobre la materia,

5. DOHRN VAN ROSSUM, G., *History of the hour. Clocks and modern temporal orders*, Chicago, The University of Chicago Press, 1996, p. 19.

6. LULL, J., *La astronomía en el antiguo Egipto*, Valencia, Universitat de València, 2004, pp. 134-136.

construyó por primera vez un instrumento para la medición del tiempo al que llama *mrhyt* y que tiene un orificio a través del cual fluye el agua. Esta inscripción también deja constancia de que se conocía la diferente duración de la noche y del día a lo largo del año⁶. Se conservan restos de algunas de estas clepsidras, algunas de ellas casi completas, como la que se custodiada en El Cairo desde que fue hallada en el templo de Karnak y que data del reinado de Amenhetep III, del siglo XIV a. C. Lo más interesante de ella es que tiene las paredes en forma de tronco de cono invertido para compensar la pérdida de presión a medida que el nivel de líquido va bajando. Esta clepsidra tiene doce escalas con cada uno de los nombres de los doce meses del año, lo que muestra que el patrón para la medición del tiempo seguía siendo el curso del sol. Las escalas de los meses de los solsticios son la más larga y la más corta, pero en los años en que se construyó este reloj de agua los solsticios no coinciden con los meses indicados en el instrumento, por lo que, según José Llull, hay que retrotraer sus plantillas a principios del siglo XVI a. C., a la época de Amenemhat⁷.

De las clepsidras de flujo interno se sabe bastante poco. Su origen está muy discutido, hay quien lo sitúa en reinado de Amenhetep III al igual que la clepsidra de Karnak basándose en un relieve cuya interpretación ofrece serias dudas. Sólo nos queda un ejemplar de este tipo de clepsidra que fue hallado en Edfu y es de época muy tardía, de hacia 100 d. C. Consiste en un recipiente que se va llenando por goteo y con marcas en el interior para señalar las horas a lo largo del año⁸. La ventaja de los relojes de flujo interior es que si se mantiene constante el nivel del depósito de agua, el ritmo del goteo no varía y la precisión es mayor.

Además de las clepsidras existían otros instrumentos para la medición del tiempo. Se utilizaban tres tipos de relojes de sol, el más antiguo que se conoce estaba construido con un listón de madera largo dividido en seis horas. Otro listón perpendicular y un poco más elevado proyectaba su sombra sobre él. Cuando llegaba medio día había que dar

7. Id., *ibid.*, p. 142.

8. Id., *ibid.*, p. 143.

9. WHITROW, G. J., *El tiempo en la historia: la evolución de nuestro sentido del tiempo y de la perspectiva temporal*. Barcelona, Crítica, 1990. Pág. 44.

10. LULL, J., *La astronomía...* p.151.

media vuelta al reloj para que la sombra recorriese el listón de nuevo pero en sentido inverso⁹. Se conserva un ejemplar del siglo XV a. C. en el *Ägyptisches Museum* de Berlín¹⁰. El segundo tipo era similar pero la sombra se proyectaba sobre un plano inclinado. El tercero de ellos era más parecido a los que se utilizaron en Grecia y Roma, era de tipo vertical y tenía doce líneas que convergen radialmente en el gnomon¹¹.

Por la noche, cuando los relojes de sol carecen de utilidad, además de con las clepsidras, el tiempo se determinaba mediante la observación de las posiciones de las estrellas fijas. Para ello se estableció un sistema de diez *decanos*, cada uno de los cuales era una estrella o un grupo de estrellas cuya culminación servía de referencia para calcular las horas durante la noche. Para medir la posición de los decanos se utilizaban dos hilos con plomadas alineados con el sur, de tal modo que la culminación del decano pertinente se verificaba cuando se alineaba con los dos. La precisión de este sistema no era demasiada, puesto que los hilos eran sostenidos por personas¹².

Además de en Egipto, en Babilonia encontramos algunos datos muy antiguos sobre la utilización de clepsidras. El primero de ellos se retrotrae al periodo antiguo (1800-1500 a. C.) y nos habla de unas determinadas cantidades de agua para diferentes épocas del año¹³. Para comprender este texto hay que saltar en el tiempo hasta el siglo VII a. C., cuando la literatura astronómica se comienza a generalizar. En este momento aparece el *Mul.apin*, un texto sobre astronomía del que se han conservado numerosas copias incluso en el ámbito helénico. Entre otras cosas, dicha obra contiene una tabla con los ortos helíacos de una serie de constelaciones a lo largo de todo el año. Se trata de un calendario astronómico heredado más tarde por Grecia que permite averiguar la época del año mediante la observación del cielo. El *Mul.apin* también contiene datos sobre la variación de la longitud del día y de la sombra del gnomon a lo largo del año. La duración del día se dividía en tres partes, más tarde cada una de ellas se fragmentó en otras cuatro para dar lugar a las doce horas. Las tres partes primigenias, además de con

relojes de sol, se medían con clepsidras pero, a nuestros ojos, de una forma muy peculiar. Buena parte de los datos calendáricos del *Mul.apin* se representan dentro de una circunferencia dividida en doce sectores correspondientes a cada uno de los doce meses del año. En cada uno de ellos consta la constelación de referencia además de un número quebrado o entero en base sesenta. Dicho número indica la cantidad de agua en minas¹⁴ con que ha de cargarse la clepsidra cada día durante ese mes. La máxima cantidad aparece en el tercer mes, son cuatro minas y corresponde al mes en que se produce el solsticio de verano, la mínima es de dos durante el noveno mes, cuando se produce el solsticio de invierno¹⁵. Hoy por hoy no tenemos claro cómo eran estas clepsidras, puesto que entre el patrimonio arqueológico babilonio ninguna pieza ha sido identificada con seguridad como tal. Sólo tenemos hipótesis, como la de Fermor y Steele, que hablan de un instrumento compuesto de un gran depósito que desagua sobre un recipiente con capacidad de una mina, que cada vez que se llenaba, el agua sería retornada al depósito principal¹⁶.

El saber acumulado de siglos de observaciones astronómicas y de experiencias científicas de las antiguas civilizaciones de los grandes ríos fue transmitido a Grecia. Aquí en un principio las clepsidras eran simples cuencos con escalas graduadas como las que hemos visto en Egipto. Sin embargo la utilización de instrumentos de medición del tiempo regulados por agua se extendió y en el ágora de algunas ciudades como Atenas se construyeron los primeros relojes públicos de los que tenemos noticia. No obstante, la mayor aportación griega al desarrollo de la construcción de mecanismos hidráulicos se produjo durante el periodo helenístico, de los siglos III al I a. C. En la ciudad de Alejandría en el Museo fundado por Ptolomeo I con su biblioteca, la más famosa

14. La mina es una unidad de medida de peso.

15. NEEDHAM, J., LING, W., DE Solla PRICE, D. J., *Heavenly clockwork. The great astronomical clocks of medieval China*, New York, Cambridge University Press, 1986, p. 203. EVANS, J., *The history and practice of ancient astronomy*, New York-Oxford, Oxford University Press, 1998, pp. 10-11.

16. FERMOR, J., STEELE, J. M., «The Design of Babylonian Water Clocks: Astronomical and Experimental Evidence», en *Centaurus: International Magazine of the History of Science and Medicine*, 42, 2000, p. 213.

11. LULL, J., *La astronomía...* p. 155, 156.

12. LULL, J., *La astronomía...* p. 110, 111.

13. MICHEL-NOZIÈRES, C., «Second Millennium Babylonian Water Clocks: a physical study», en *Centaurus*, vol. 42, nº 3, 2000, pp. 180-209.

y mítica de toda la Antigüedad, desarrollaron su actividad muchos de los más grandes estudiosos del momento. Tres son los que nos interesan para el tema que nos ocupa: Ctesibio, Filón de Bizancio y Heron de Alejandría. Los tres trabajaron en una nueva parcela del saber llamada entonces *pneumatica*, la ciencia dedicada a estudiar el comportamiento y la composición de los fluidos. Dicha ciencia no se consolidó hasta el siglo XVIII, pero los experimentos que se llevaron a cabo y los artilugios que se construyeron sirvieron para comprobar que el aire es materia en contraposición con el vacío. También sirvieron para apoyar la teoría de que los fluidos están compuestos por pequeñas partículas, idea relacionada con el atomismo de Demócrito.

Ctesibios vivió en el siglo III a. C. Su obra se ha perdido por completo pero conocemos algo de su contenido gracias a tratadistas romanos, fundamentalmente a Vitrubio, que lo considera padre de la neumática y le atribuye una serie de inventos nuevos y de mejoras en artefactos ya existentes. Según Vitrubio, construyó una clepsidra más compleja que las que se habían venido haciendo hasta entonces. Constaba de un depósito que iba recibiendo un goteo constante de agua. En él se alojaba un flotador con una varilla vertical en cuyo extremo había una figura. Al irse llenando el recipiente el flotador iba ascendiendo con la figura, que a su vez señalaba con su mano un cilindro con las líneas horarias. Puesto que las horas que interesaba conocer eran solares y que éstas son diferentes para cada día, el cilindro debía dar una vuelta completa al año, operación que no se especifica si era automática o si había de ser realizada a mano. Como hemos explicado antes, a medida que un recipiente de agua se vacía la presión del líquido va disminuyendo y con ella el ritmo de desagüe. Ctesibio solucionó este problema con ingenio. Para ello empleó un depósito intermedio con dos orificios, uno pequeño en el fondo para el goteo del reloj y otro grueso en la parte alta de un lateral que daba salida al exceso de agua que recibía desde el depósito principal. De este modo el nivel se mantenía siempre a la altura del agujero grande de desagüe, lo cual garantizaba una presión constante del agua y por consiguiente un ritmo invariable en el goteo. Hasta donde sabemos, es la primera clepsidra de flujo constante de que tenemos noticia en la historia.

Vitrubio atribuye otros descubrimientos a Ctesibio que le llevaron a construir el primer *hydraulis*. Etimológicamente significa flauta de agua

y era un órgano de tubos en los que se generaba el sonido al pasar el aire por ellos procedente de una cámara subacuática.

En Alejandría en la misma época que Ctesibio, en el siglo III a.C., vivió Filón. Es muy poco lo que se conoce de su vida, salvo que trabajó con el propio Ctesibio en problemas de *pneumatica*. Se conservan algunos fragmentos de los nueve libros que componían su obra *Sintaxis mecánica*, en la que describe máquinas de guerra de época de Alejandro Magno. Su principal aportación a la historia de la ciencia ha sido la mecánica, y se le considera inventor del muelle y la cadena. Su trabajo no estuvo directamente relacionado con los relojes, sin embargo lo reseñamos por que contribuyó al desarrollo de la mecánica, la base para construir los autómatas movidos por clepsidras¹⁷.

Si de los dos ingenieros alejandrinos citados se sabe poco, menos y más confuso es aún lo que conocemos de Herón de Alejandría, nombre por el que se conoce a varios personajes. Sin embargo el que aquí nos interesa se cree que vivió en el siglo I a. C. A él se le atribuye la famosa *aeolipile*, un juguete con una caldera de agua que al ser calentada hacía girar una bola. También se conserva una descripción de un sistema para abrir las puertas de un templo, aunque no sabemos si se llegó a poner en práctica¹⁸.

Todo lo anterior lo podemos enmarcar dentro del campo de la producción científica. Sin embargo no podemos hablar de clepsidras griegas dejando de lado la Torre de los Vientos de Atenas, una construcción única en su género. Se trata de un edificio construido a mediados del siglo I a. C. cerca del ágora romana de la ciudad. Es de mármol del Pentélico, tiene planta octogonal y es uno de los escasísimos edificios de la antigüedad que han conservado su estructura íntegra con cubierta incluida hasta nuestros días. Dicha torre, que ya fue descrita por Vitrubio y mencionada por otros escritores de la Antigüedad, debe su nombre a los ocho dioses de los vientos representados en cada una de sus ocho caras, en las que también se hallan grabados una serie de relojes de sol de gran calidad. Lo que más nos interesa es su interior, ya que en él

17. ORDÓÑEZ, J., NAVARRO, V., SÁNCHEZ RON, J. M., *Historia de la ciencia*, Madrid, Espasa Calpe, 2008, pp. 143-148.

18. HIERO OF ALEXANDRIA, WOODCROFT, B. (ed.), *The pneumatics of Hiero of Alexandria*, London, Taylor Walton and Maberly, 1851. pp. 57-59.

albergaba una clepsidra que hoy se ha perdido. No sabemos cómo era su mecanismo, pero hace ya cuatro décadas Noble y De Solla Price con la clepsidra de Ctesibio en la mente, hicieron una propuesta de reconstrucción basándose en los vestigios del interior del edificio. Para estos autores la torre estaría interiormente dividida en dos pisos, en el más alto se localizaría un gran depósito de agua alimentado por tuberías que traerían el agua desde un manantial elevado y que remontaría la torre por tuberías en el interior de sus paredes hasta dicho depósito. En el piso bajo se localizaría otro recipiente con un flotador que al ir elevándose movería el indicador pertinente. Este último probablemente se llenara cada veinticuatro horas, por lo que habría de ser vaciado sobre un orificio que se sigue conservando en la torre. Si bien para la reconstrucción del mecanismo se dispone de las pistas que dan los vestigios conservados en el interior de la torre, saber qué indicador utilizaría la clepsidra es prácticamente imposible. Quizá se tratara de un reloj anafórico, es decir, de una representación del cielo con las constelaciones del zodíaco y algunas estrellas grabadas sobre un disco de bronce que girase una vuelta al día. Se conocen los restos de dos de estos discos de época romana¹⁹, sin embargo no tenemos ninguna prueba de su presencia en el edificio que nos ocupa.

En cualquier caso quizá uno de los aspectos más reseñables de la torre de los vientos es su carácter público, el estar en uno de los espacios más frecuentados por las gentes de Atenas. Se trataría de algo más que un mero instrumento de medición con fines astronómicos o de otro tipo. Era más bien un adorno de lujo, un elemento de prestigio que realzaría la grandeza de la ciudad en el que los extranjeros y visitantes pondrían sus ojos con admiración.

Uno de los usos más frecuentes de las clepsidras durante la Antigüedad clásica era el de limitar el tiempo de los discursos en reuniones de órganos colegiados y en juicios. Dicho uso se comienza a documentar en Grecia a principios del siglo V a. C., cuando a los hablantes se les concede una cantidad determinada de agua. No es hasta más tarde, al menos hasta época de Cicerón, cuando las clepsidras miden tiempo

19. NOBLE, J. V., DE SOLLA PRICE, D. J., «The water clock in the Tower of the Winds», en *American Journal of Archaeology*, n.º. 72-4, octubre 1968, pp. 350-351.

en lugar de una cantidad de agua²⁰. Esto significa un paso más hacia la abstracción, hacia la concepción del tiempo como una realidad independiente. Las clepsidras en la Antigüedad se utilizan también con fines militares para establecer las vigilancias nocturnas. En este sentido resulta interesante el comentario que hace Cesar en su *De Bello Gallico*, en que indica que ha descubierto que las noches en Inglaterra son más cortas gracias a medidas de agua²¹.

Hacia finales del siglo III a. C., después de una larga guerra civil de cinco décadas, el Imperio Romano se encuentra en fase de declive. Por otro lado la fisura entre oriente y occidente se va acrecentando cada vez más hasta que se hace efectiva en el campo de lo político a la muerte del emperador Teodosio a finales del siglo IV d. C. Son dos mundos completamente diferentes, en el imperio de occidente se habla latín y su capital, Roma, va menguando en extensión, en número de habitantes y en peso político hasta que finalmente cae en manos de los godos a finales del siglo V. Sin embargo el Imperio de Oriente resiste y acabará convirtiéndose en el Imperio Bizantino, que sobrevivirá durante toda la Edad Media. En sus grandes centros de saber como Alejandría o la propia Bizancio, se mantiene todo el conocimiento de la Antigüedad, incluida esa ciencia helenística de la que hemos hablado en párrafos anteriores. En el Imperio Bizantino se siguen construyendo clepsidras y autómatas, como la de Gaza, que nos describe Procopio en el siglo VI. Estaba situada en un templete en una plaza de la ciudad donde se organizaban los mercados. Tenía doce puertas lisas para indicar las horas de la noche y otras doce decoradas para las del día y sobre todas ellas el dios sol se desplazaba a lo largo de la jornada. Encima, en el tímpano del templete, había una medusa que movía los ojos. A cada hora se abría una de las puertas y mostraba uno de los doce trabajos de Hércules; las puertas nocturnas estaban iluminadas desde el interior. Otra figura de Hércules tañía las horas.²² Este reloj que nos describe Procopio como un elemento notable de la ciudad de Gaza, a pesar de que contenía indicadores muy diferentes, nos recuerda en cierto modo a la Torre de

20. DOHRN VAN ROSSUM, *History*, pp. 23-24.

21. ID., *Ibid.*, p. 24.

22. USHER, A. P., *A history of mechanical inventions*, Cambridge, Harvard University, 1962, p. 189.

los Vientos de Atenas por su carácter público y monumental. Sin embargo está más en consonancia con algunas de las clepsidras islámicas que se describen en algunos tratados árabes que vamos a ver enseguida.

En el palacio imperial de la Magnaura, en Bizancio, existían autómatas en la sala del trono de los que varios embajadores extranjeros han dejado constancia por escrito. Quizá el más conocido de ellos es Liutprando de Cremona, enviado del Papa, que estuvo en allí en dos ocasiones a mediados del siglo X. Liutprando dice que junto al trono había un árbol de bronce dorado con pájaros diferentes en las ramas y que cada uno cantaba conforme a su especie. El trono además, se elevaba y estaba custodiado por dos leones dorados que golpeaban el suelo con sus colas a la vez que emitían estruendosos ruidos²³.

Algo similar existía en Bagdad algunas décadas antes, donde, según nos cuenta un cronista árabe en el año 917, los embajadores bizantinos ante el califa quedaban estupefactos al ver un árbol de plata que pesaba quinientos dirham y que agitaba sus ramas. Al igual que en el de Bizancio también había pájaros posados sobre ellas que cantaban de diferentes formas²⁴. En estos momentos ambas ciudades son capitales de dos grandes imperios entre los que existía una rivalidad. Por ello es muy significativa la competencia entre el emperador y el califa por ofrecer una imagen de grandeza superior a su oponente, por rodearse de la parafernalia más complicada posible como muestra de magnificencia para deslumbrar a los extranjeros.

1. EL ISLAM

El mundo islámico fue precisamente la otra de las grandes civilizaciones que heredó todo el vasto bagaje de conocimientos de la Antigüedad. El Islam nació en Arabia en el año 622 de nuestra era cuando Muhammad emigró a Medina. Después de su muerte un miembro de la familia Omeya le sucedió en el liderazgo de la comunidad de creyentes que

comenzó una fulgurante expansión territorial. De este modo, a mediados del siglo VII, los ejércitos ya habían conquistado Siria, Egipto e Iraq. A finales del siglo los califas Omeyas controlaban además el norte de África y hacia mediados de la siguiente centuria ya habían formado un vastísimo estado que iba desde la península ibérica hasta el norte de la India. Dicho Imperio aglutinaba una gran diversidad de territorios, cada uno de ellos con su propio sustrato histórico, lo que confería una gran riqueza cultural al conjunto. Sin embargo esto mismo hacía que el territorio fuera imposible de gobernar desde una sola capital, más aún teniendo en cuenta la eficacia y la velocidad de las comunicaciones y de los movimientos de personas en aquella época. En el año 750 la dinastía Abbasí se hace con el poder y traslada la capitalidad desde Damasco a Bagdad. Si bajo el califato Omeya el islam se expandió, el hecho político más significativo acaecido en el periodo Abbasí fue su fragmentación. Sin embargo, a pesar de los frecuentes enfrentamientos entre los diversos estados, se había creado un amplio espacio con una lengua y una religión comunes que facilitó la circulación de personas y la difusión de ideas. De este modo en todo el mundo islámico se generó una conciencia de pertenencia a una misma comunidad.

Uno de los preceptos del Islam es la oración diaria que los fieles han de realizar. Para que nadie olvide ninguna de estas cinco oraciones, en las ciudades y pequeñas poblaciones de todo el mundo islámico, los almuédanos suben a lo alto de los minaretes de las mezquitas y las anuncian públicamente con su voz. Hoy día sigue siendo uno de los sonidos característicos de los países árabes, incluso en sus ciudades más modernas. La división del día en veinticuatro horas se conoce y se emplea en el mundo islámico, sin embargo está más ligada al ámbito de la ciencia. En cambio en la vida cotidiana la oración juega un papel fundamental para articular la jornada. Cumplir con este precepto suele implicar el abandono momentáneo de la actividad, por lo que las cinco oraciones son las principales referencias temporales que se utilizan. Los momentos de las llamadas de la oración se llevan a cabo conforme a una serie de reglas bien definidas por métodos astronómicos. Prueba de la creciente importancia de ello es la aparición en oriente durante el siglo XIII de una disciplina científica propia, el miqat, cuya función es la de establecer los momentos de las llamadas. El muwaqqit era el profesional de esta disciplina, que habitualmente trabajaba para una mezquita cuya

23. KIECKHEFER, R., *Magic in Middle Ages*, Cambridge, New York, Cambridge University Press, 1989, p. 101.

24. MAGUIRE, H., *Byzantine court culture from 829 to 1204*, Washington, Cambridge, Harvard University Press, 1997, p. 32.

función era la de indicar al almuédano cuándo debía subir al minarete. Poco a poco la figura del muwaqqit se fue extendiendo por las mezquitas tanto de oriente como de occidente²⁵. También se fueron dotando de la infraestructura adecuada para calcular los momentos de las oraciones, y en algunas como la de Santa Sofía de Estambul, se construyeron edificios y espacios propios para este fin. Como consecuencia de este interés además se escribieron numerosos tratados sobre la materia hasta el siglo XV en la península Ibérica y hasta el XVIII en el resto del mundo islámico. Para realizar su labor, el muwaqqit se valía de instrumentos de observación astronómica, los más habituales eran los cuadrantes solares y los astrolabios, pero también diversos tipos de relojes de agua. De los primeros se han conservado numerosos ejemplares desde la Edad Media, sin embargo sólo quedan dos clepsidras originales en Fez, en Marruecos. Ambas han perdido la mayor parte de los elementos, sin embargo son de incalculable valor por la escasez de restos materiales de este tipo. Una de ellas está en una cámara alta del minarete de la mezquita de al-Qarawiyyin y es la tercera de las que allí se instalaron desde el siglo XIII. La otra es más conocida, puesto que se encuentra frente a la madrasa de Bou Inaniyya y data de mediados del siglo XIV. De ella sólo se conserva la fachada que daba al exterior, todo su mecanismo ha desaparecido. Desde la calle se ven doce ventanas y otros doce cuencos sobre ménsulas de madera. A cada hora se abriría una de las ventanas para mostrar una figura y a la vez caía una bola sobre el cuenco correspondiente para emitir la señal acústica. No es casualidad que dicho reloj de agua se encuentre instalado en la Talaa kabira, la principal calle de la Medina de Fez y muy cerca de una de las entradas. A diferencia de la del Qarawiyyin, todo indica que la clepsidra de Bou Inaniyya está pensada para ser mostrada al público.

Sin embargo prácticamente todo lo que conocemos sobre relojes de agua en el mundo islámico procede de fuentes escritas. Además de crónicas y relatos donde se mencionan y se describe un buen número de ellas, disponemos también de tratados técnicos sobre su construcción, algunos de ellos con un elevado nivel de detalle. Uno de los primeros textos

25. RIUS PINIES, M., «Mesurar el temps al Magrib: la determinació de les hores d'oració», en *Actes d'història de la ciència i de la tècnica*, nº. 1, vol. 1, 2008, p. 263.

de este tipo es el llamado pseudo-Arquímedes. Si algo le caracteriza es la heterogeneidad en muchos aspectos, por ejemplo en el de la lengua, ya que unas secciones están escritas en un árabe muy coloquial, como si hubieran sido redactadas por un artesano araboparlante. En otras en cambio, se utiliza un árabe mucho más culto que hace pensar que son traducciones del griego hechas por gente letrada y seguramente poco familiarizada con el manejo de estos mecanismos. Los historiadores de la ciencia creen que se trata de una compilación de textos griegos, sassánidas, bizantinos y árabes²⁶. Esta obra es bien conocida entre algunos de los tratadistas árabes que vamos a reseñar en los próximos párrafos, que además reconocen su deuda con ella. Para ellos Arquímedes es un personaje de referencia, casi mítico, al que le atribuyen la invención de los elementos básicos de las máquinas hidráulicas²⁷. Todo esto muestra sin duda la conciencia del propio mundo islámico de la herencia recibida de la Antigüedad.

Ridwan es autor de un libro terminado en 1203 sobre la gran clepsidra pública instalada junto a una de las puertas de la gran mezquita omeya de Damasco. En el primer capítulo habla de Arquímedes como precursor de las máquinas hidráulicas y hace una reseña de la historia reciente del reloj de Damasco. Según Ridwan, hacia 1168 había dejado de funcionar, pero su padre, conocido como *el relojero* lo reparó y lo mantuvo en buen estado hasta su muerte. Con la ausencia de su cuidador volvió a averiarse, y los intentos por repararlo por parte de personas inexpertas terminaron por inutilizarlo del todo. Ridwan no es un buen conocedor del árabe clásico, incurre incluso en errores gramaticales, sin embargo demuestra ser un artesano experimentado, ya que ofrece muchos detalles técnicos sobre la construcción de la clepsidra que un tratadista teórico hubiera omitido. Este reloj de agua de Damasco debió de ser conocido en su época, puesto que se conservan varios testimonios de viajeros, alguno de los cuales describe su exterior con bastante detalle. La descripción más completa es la de Ibn Jubayr, que pasó por la ciudad de Damasco en 1184, cuando aún el padre de Ridwan estaba a su

26. HILL, D. R., *Arabic water clocks*, Aleppo, University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1982, p. 30.

27. AL-HASSAN, A. Y., HILL, D. R., *Islamic technology. An illustrated history*, Cambridge, Cambridge University Press, UNESCO, 1994, p. 56.

cargo. Ibn Jubayr habla de elementos que ya nos son familiares por que los hemos visto en otras clepsidras públicas. Atestigua la existencia de puertas que se cierran según van pasando las horas así como la caída de bolas sobre recipientes metálicos para las señales acústicas. Por la noche en vez de puertas, el paso de las horas se indica mediante doce vidrios y una luz que se va moviendo por detrás de ellos. Jubayr también deja constancia de la existencia de una persona encargada del mantenimiento de la compleja máquina²⁸.

El más importante de todos los tratadistas del mundo islámico es sin duda alguna al-Jazari. Sabemos muy poco de su vida, que trabajó a finales del siglo XII y principios del XIII en la corte artuqida en la ciudad de Diyarbakir, al igual que su padre, otro artífice constructor de máquinas. Es autor del tratado sobre máquinas hidráulicas más relevante y más influyente en el mundo islámico medieval, titulado el *Libro del saber de los artefactos mecánicos ingeniosos*. Donald R. Hill, historiador de la ciencia imprescindible para cualquier estudio sobre clepsidras islámicas, lo califica como "el documento más importante sobre máquinas desde tiempos antiguos hasta el Renacimiento de cualquier área cultural"²⁹. Del tratado de al-Jazari se han conservado numerosas copias, la mayor parte en Estambul, aunque también hay otras en Europa, como la de la Bodleian Library de Oxford o las de la Bibliothèque Nationale de París³⁰. No sólo la gran difusión de la obra y la prolijidad de ilustraciones de los manuscritos lo hacen relevante, sino también el hecho de que los contenidos se presenten organizados en una estructura muy clara. Otra característica que lo hace único es el elevado grado de precisión con que se describen los componentes de cada máquina, algo que ha permitido realizar fácilmente reconstrucciones reales que funcionan tal como se describe.

Una de las clepsidras más reproducidas en los libros de historia de la tecnología es el castillo del reloj de agua. En su frente muestra los seis signos del zodiaco visibles en cada momento, marca la posición del sol con la hora mediante portezuelas y bolas que golpean platos

28. HILL, *Arabic*, pp. 71-72.

29. AL-HASSAN y HILL, *Islamic technology*, p. 56.

30. HILL, *Arabic*, pp. 89-90.

metálicos. A las horas novena y duodécima, es decir, a media tarde y al anochecer, un grupo de músicos tañe sus instrumentos. Cuando se pone el sol el reloj ha de ser ajustado para la noche. Para este periodo la sonería de bolas queda anulada, no así los músicos de la base, que tocan a media noche y al amanecer. Por la noche la clepsidra muestra la fase en que se encuentra la luna, pero no su posición en el zodiaco. Es una máquina de gran complejidad por la cantidad de indicadores que posee, sin embargo el movimiento de todos sus órganos procede de un sistema muy similar al de Ctesibios. Es un recipiente que se va vaciando de agua a través de un regulador, lo que hace que el flotador de su interior vaya bajando y tire de una cuerda que da movimiento a todo un sistema de poleas. Para que la clepsidra funcione correctamente requiere la atención diaria de una persona responsable, no sólo en los momentos de paso de la noche al día, sino también para el ajuste diario del regulador para adaptar el reloj al tiempo del sol de cada día³¹. El libro de al-Jazari contiene las instrucciones para la construcción y utilización de otras cinco clepsidras además de relojes de candela, fuentes y otros artificios hidráulicos y mecánicos.

Hasta aquí hemos hecho una breve reseña de los escritos y los especialistas dedicados a la construcción de clepsidras en el oriente islámico. Sin embargo sabemos mucho menos de lo que ocurre en el Magreb y en al-Andalus debido a la escasez de fuentes que nos han quedado para ello. No fue hasta los años setenta cuando apareció en la Biblioteca Medicea Laurenciana de Florencia el único texto técnico sobre clepsidras en el occidente islámico que nos ha quedado. Lo encontró de pura casualidad la española M^a Victoria Villuendas en 1973 cuando consultaba otra obra que se halla copiada en el mismo volumen³². Desde un principio la comunidad científica tuvo claro que se trataba de un texto andalusí pero hubo dudas sobre su autoría hasta que a finales de los años setenta se concluyó que había sido escrito por Ibn Jalaf al-Murâdî a mediados del siglo XI. También se dijo que el manuscrito había sido copiado por

31. AL-HASSANI, S. T. S., «Al-Jazari's castle water clock: Analysis of its components and functioning», en <http://muslimheritage.com>, 26 de octubre de 2010. En esta página web se pueden ver reconstrucciones virtuales y animaciones de varias máquinas de al-Jazari.

32. VERNET, J., «Un texto árabe de la corte de Alfonso X El Sabio», en *Al-Andalus*, vol. XLIII, nº2, 1978, p. 405.

Rabiçag en la corte de Toledo de Alfonso X, basándose en una nota autógrafa del mismo³³. Sin embargo para Julio Samsó, dicha nota no se refiere a ese tratado, sino a otro de los varios contenidos en el mismo volumen³⁴. El manuscrito se encuentra en muy mal estado y ha perdido parte del texto. Seguramente por esta razón, no ha sido editado hasta fechas muy recientes, gracias al patrocinio del emir de Qatar. La magnífica edición contiene una reproducción fotográfica de alta definición de todo el manuscrito, una transcripción, traducciones al italiano, al francés y al inglés y un DVD con la reconstrucción virtual de todas las máquinas³⁵. El *Libro de los secretos de los resultados de los pensamientos*, que así se titula, explica el modo de construir una serie de máquinas, todas ellas relacionadas con el agua -excepto el ariete para el derribo de fortalezas- y casi todas son clepsidras o teatros de autómatas. Hill reconoce que la interpretación y la reconstrucción de todas estas máquinas es complicada debido a diferentes motivos. En primer lugar al mal estado del manuscrito, que debido a las mutilaciones y a la humedad ha perdido aproximadamente la tercera parte del texto. Por otro lado, las explicaciones no son tan detalladas y extensas como las que da Ridwan o al-Jazari. A esto además hay que añadir que los diseños no están demasiado cuidados, a veces no muestran con claridad elementos clave para su comprensión y además en algunos de ellos las letras identificativas de las piezas faltan o están equivocadas. Esto último se puede atribuir al copista, no a autor³⁶. El texto andalusí de al-Muradi pertenece a una tradición diferente de la oriental. Sus máquinas se caracterizan por su robustez, por su mayor escala con respecto a las orientales. Se utilizan cuerdas y sogas en lugar de hilos, se emplean pesos y ruedas de mayor envergadura y en ellas no aparecen los sutiles controles hidráulicos que

³³ VILLUENDAS, M. V., «A further note on a mechanical treatise contained in Codex Medicea Laurenciana Or. 152», en *Journal for the history of the arabic science*, vol. 2, nº 1, 1978, p. 395.

³⁴ SAMSÓ, J., *Las ciencias de los antiguos en al-Andalus*, Madrid, MAPFRE, 1992, pp. 252-253.

³⁵ IBN JALAF AL-MURÂDÎ, A., LISA, M., TADDEI, M., ZANON, E., *Il libro dei segreti*, Milano, Leonardo3, 2008. Además se puede ver una presentación del proyecto en la siguiente página web: http://www.leonardo3.net/leonardo/qma/libro_eng.html, a 27 de septiembre de 2010.

³⁶ HILL, *Arabic*, p. 38.

sí utiliza al-Jazari³⁷. Según Samsó, representa el primer testimonio de una tradición mecánica islámica occidental que más tarde se desarrollaría en el norte de África y en Europa³⁸.

2. EL OCCIDENTE EUROPEO

Como hemos visto hasta aquí, el mundo islámico heredó la ciencia y el saber helenístico, lo cultivó y lo difundió para la posteridad. Pero, ¿qué ocurre en Europa después de la caída de Roma? Decíamos al principio que el peso del Imperio había ido basculando hacia oriente, donde, por otro lado, se concentraban los grandes centros de saber. El griego era la lengua que hablaba la ciencia y la cultura, pero su conocimiento en occidente había ido decayendo y con ello el acceso a lo que se escribía en el área bizantina. Boecio, que vivió en el siglo V, se puede considerar el último de los pensadores de formación romana³⁹. Desde este momento, durante los primeros siglos de la Edad Media, Europa vive tiempos de escasa creación cultural. De forma aislada aparecen figuras como Isidoro de Sevilla y florecen algunos focos de saber como los monasterios irlandeses, donde el problema del cálculo de la pascua estimuló el estudio del calendario. Tampoco ha de desdeñarse el renacimiento carolingio, alimentado en buena parte por intelectuales irlandeses. A pesar de todo esto la situación era mucho más pobre que en oriente, especialmente en comparación con el mundo islámico y más concretamente con la época Abbasí. Un ejemplo ilustrativo de la superioridad tecnológica oriental es la clepsidra que en el año 807 Harun al-Rashid, el califa de las Mil y Una Noches, envió a Carlomagno como regalo diplomático. El instrumento debió de causar sensación en la corte carolina, puesto que Eginardo, el cronista oficial, lo describe con admiración⁴⁰. El occidente europeo comenzó a levantarse de su postración cuando comenzaron a

³⁷ Id., *ibid.*, p. 46.

³⁸ SAMSÓ, *Las ciencias*, p. 257.

³⁹ LINDBERG, D. C., *Los inicios de la ciencia occidental*, Barcelona, Paidós, 2002, pp. 196-197.

⁴⁰ LANDES, D. S., *Revolution in time. Clocks and the Making of the Modern World*, Cambridge, Massachusetts, London, The Belknap press of Harvard University Press, 1983, p. 23.

realizarse transferencias de conocimiento desde el mundo islámico mediante traducciones. Los primeros acercamientos se producen durante el siglo XI, Gerberto de Aurillac, el que después se convirtió en el papa Silvestre II, fue una de las primeras figuras en descubrir el saber oriental. Antes de llegar a Roma había pasado un tiempo en el monasterio de Ripoll, que a su vez sabemos que mantuvo relaciones con la Córdoba califal. A finales de la Edad Media, la imagen de Gerberto se rodeó de mito y de leyendas y se llegó a decir que había firmado un pacto con el diablo para llegar a obtener sus conocimientos. Se le atribuyó la invención de un reloj que probablemente se tratase de un nocturlabio⁴¹. Esta transferencia de conocimientos de la que Gerberto de Aurillac fue pionero alcanzó sus momentos más brillantes en el siglo XIII.

3. LA CLEPSIDRA DE ALFONSO X⁴²

Fue en esta época cuando se compuso en la corte castellana del rey Alfonso X El Sabio la monumental obra de los *Libros del saber de astronomía*, un tratado de carácter enciclopédico en el que se describen una serie de instrumentos y de técnicas para medir el tiempo y calcular la posición de los astros con fines astrológicos sobretodo. Formando parte de la compilación está el *Libro de los relojos*, que describe varios tipos de relojes, dos de sol, uno de candela, uno de agua y otro de mercurio. Los dos últimos pueden ser considerados clepsidras ya que su principio de funcionamiento no deja de basarse en el movimiento de un fluido, sin embargo vamos a centrar nuestra atención en el de agua.

De la obra que nos ocupa se han conservado varios manuscritos. El más antiguo y conocido de ellos se encuentra en la Universidad Complutense de Madrid y forma parte de su biblioteca desde su fundación por el Cardenal Cisneros⁴³. La calidad de su letra librería así como la delicada ejecución de las ilustraciones y los diseños lo datan en época

41. RICHE, P., *Gerberto de Aurillac, el papa del año mil*, Madrid, Nerea, 1990, p. 8.

42. Durante la corrección de las pruebas de este artículo tuvimos noticia de que Juan David Morales Pazos está realizando una tesis doctoral dirigida por el profesor Julio Samsó Moya sobre el "Libro de los relojos" de Alfonso X.

43. Universidad Complutense de Madrid, BH MSS 156.

del propio rey Alfonso X y hacen probable su relación con la corte. Por eso también es conocido como el "códice regio". Este manuscrito ha sufrido daños y ha perdido bastantes de sus folios, sin embargo, sus lagunas pueden ser rellenadas con otras copias que se conservan en otras instituciones europeas. Cronológicamente el siguiente ejemplar es el que se custodia en la Biblioteca Vaticana⁴⁴, una traducción al toscano del código regio hecha en 1341 por Gueruccio y en la que se copian también las ilustraciones del código anterior. Aunque tampoco éste ejemplar está íntegro sí permite la reconstrucción completa del primero. En la Biblioteca Nacional de Madrid se conserva un ejemplar del siglo XV con los tratados de los relojes completos⁴⁵. Además de los reseñados existe otra copia parcial del siglo XV en la biblioteca Bodleian de Oxford y otros manuscritos más de los siglos XVI al XVIII que no vamos a reseñar aquí⁴⁶.

A pesar del interés que esta monumental obra suscitó durante los siglos posteriores a su compilación, tenemos que esperar hasta finales del siglo XIX para ver la primera edición impresa, llevada a cabo por Manuel Rico Sinobas. Dicha edición consta de cinco volúmenes de gran calidad en los que transcribe íntegramente toda la compilación alfonsí y se reproducen los diseños de sus códigos⁴⁷. Fue este autor quien le dio el título de *Libros del saber de astronomía* por el que se conoce hasta la actualidad. Sin embargo este título no pareció convencer a Cárdenas, que prefirió hablar de "astrología" en 1974, cuando fue realizada y publicada su edición crítica que por desgracia no ha tenido la suficiente difusión⁴⁸. Por ello hoy día la obra de Rico Sinobas sigue siendo la referencia fundamental para cualquier estudio sobre los *Libros del saber de astronomía*

44. Biblioteca Vaticana, ms. Vat. lat. 8174.

45. Biblioteca Nacional de España, Mss. 3306.

46. Para más información sobre otros códigos consúltese TALLEGREN, O. J., «Observations sur les manuscrits de l'Astronomie d'Alphonse X le sage, roi de Castille», en SEZGUIN, F. (Ed.), *Islamic mathematics and Astronomy*, vol. 99, Frankfurt am Main, Institute for the history of Arabic-Islamic Science at the Johan Wolfgang Goethe University, 1998, pp. 1-5.

47. ALFONSO X, *Libros del saber de astronomía del rey Alfonso X de Castilla* (RICO SINOBAS, M., ed.), 5 vols., Madrid, Tipografía de Don Eusebio Aguado, 1863-1867.

48. CARDENAS, A. J., *A study and edition of the Royal Scriptorium manuscript of El libro del saber de astrologia by Alfonso X, el Sabio*, Michigan, Ann Arbor, 1992.

y es la que hemos utilizado para la elaboración del presente estudio. En 2004 fueron publicados de nuevo en dos volúmenes en otra edición de gran formato, alta calidad y con los ejemplares numerados. El primero de los volúmenes simplemente reproduce la antigua edición de Rico Sinobas, lo cual lo consolida como autor de referencia insoslayable. El segundo de ellos publica tres estudios preliminares sobre la obra alfonsí que nos ocupa⁴⁹.

4. EL RELOGIO DEL AGUA

Este instrumento se encuentra ampliamente descrito en dos capítulos. En el primero de ellos se explica detalladamente cómo construirlo mientras que el segundo, más breve, está dedicado a su utilización y mantenimiento⁵⁰.

Para una mejor comprensión de las diferentes piezas de este reloj así como de su funcionamiento hemos realizado una reconstrucción virtual del mismo mediante Solidworks de la que ofrecemos algunas imágenes. Como se puede ver en la figura 1, la clepsidra se compone de dos grandes bloques situados a distinta altura. El primero de ellos es un depósito cilíndrico de metal que en el tratado recibe el nombre de *tinaia* y sirve de reservorio del agua. Las dimensiones de este depósito dependen del volumen de líquido que ha de albergar, dato que hay que conocer previamente. Para calcularlo se utiliza una caldera cuyo fondo se perfora con una aguja lo suficientemente fina como para que el flujo de agua sea lo más sutil posible y lo suficientemente gruesa como para que el orificio no se obstruya con facilidad. El recipiente se llena de agua que se deja escurrir por el agujero durante una hora bien medida con un astrolabio. Así, la cantidad de agua recogida equivale a una hora, por lo que si se desea hacer un reloj que dure un día completo se multiplica ese volumen por veinticuatro. De este modo se calculan las dimensiones de la *tinaia*, que se aconseja que sea el doble de alta que

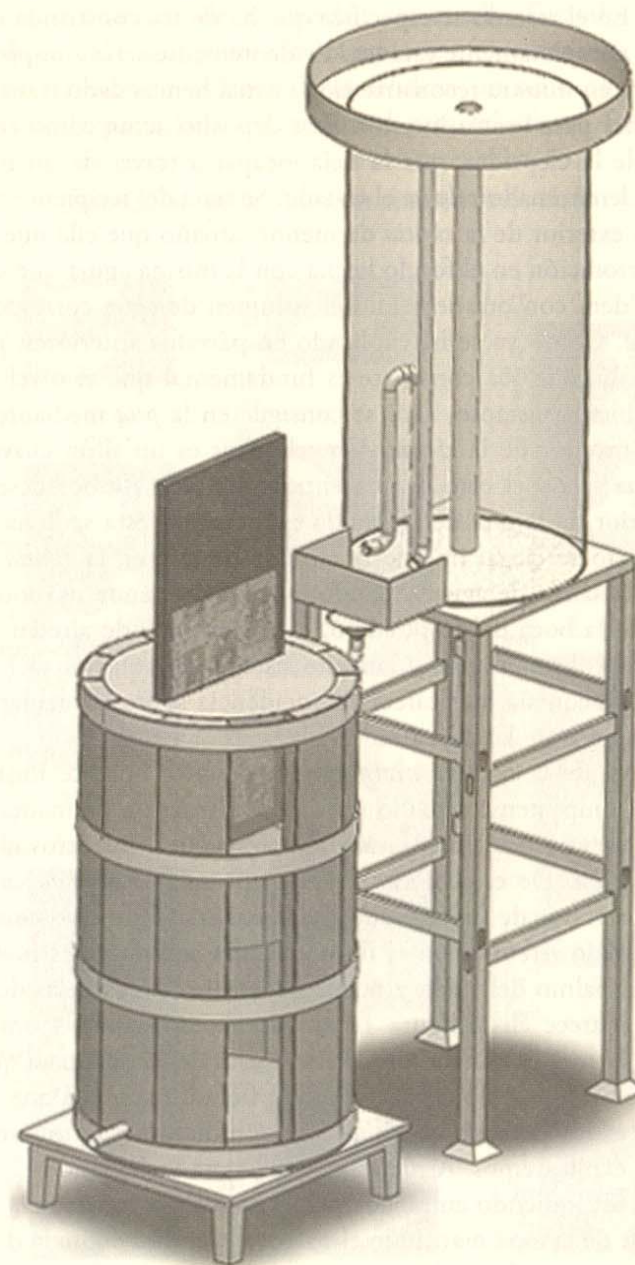


Fig. 1: Reconstrucción virtual del *reloj del agua* con Solidworks 2008. (El autor).

49. ALFONSO X, *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso X de Castilla* (SÁNCHEZ MARIANA, M., DOMÍNGUEZ, A., SAMSÓ, J., eds.), 2 Vols., Barcelona, Planeta Agostini, 2004.

50. ALFONSO X, *Libro...* (RICO SINOBAS, M., ed.), 1866, vol. 4, pp. 24-64.

de ancha. En el tratado se especifica que ha de ser construida de metal y debe ser completamente estanca. Evidentemente sería completamente opaca, pero en nuestra reconstrucción virtual hemos dado transparencia a las paredes para ver su interior. Este depósito actúa como reservorio del agua de la clepsidra, que la deja escapar a través de un ingenioso regulador denominado *pila* en el tratado. Se trata del recipiente cuadrado soldado al exterior de la *tinaia* de menor tamaño que ella que dispone de una perforación en el fondo hecha con la misma aguja que se utilizó para la caldera con que se midió el volumen de agua correspondiente a una hora. Como ya se ha explicado en párrafos anteriores, para que el flujo de líquido sea constante es fundamental que el nivel se mantenga también constante. Esto se consigue en la *pila* mediante los dos tubos del interior de la *tinaia*. Uno de ellos es un sifón curvo por el que el agua sale y el otro es una entrada de aire. Ambos desembocan en el interior de la *pila* de tal modo que cuando ésta se llena de agua el respiradero se ciega, impide la entrada de aire en la *tinaia* y se interrumpe la salida de agua. Cuando el nivel desciende un poco asoma ligeramente la boca del respiradero, entra un poco de aire en la *tinaia* y se vuelve a llenar la *pila*. Con este sistema la variación del nivel de agua es tan pequeña que carece de incidencia sobre la regularidad del funcionamiento de la clepsidra.

El bloque de la *tinaia* anteriormente descrito aparece ilustrado en el códice Complutense armado sobre una estructura de madera que lo mantiene en una posición elevada con respecto a los otros elementos de la clepsidra. De este modo el agua que sale de la *pila* cae a otro recipiente a través de un embudo y una tubería. Este otro contenedor, que es llamado *receuidor* en el libro, se sitúa sobre una estructura que lo eleva un palmo del suelo y puede construirse con duelas de madera tal como aparece en la figura 1, ya que no es estanco. Como puede observarse hemos eliminado una de las duelas de madera para que se vea el interior. En este recipiente se aloja un flotador sobre el que se apoya una tabla vertical llamada *semeiante* con los indicadores astronómicos que enseguida explicaremos. A medida que el agua va llenando el *receuidor* la tabla va ascendiendo empujada por el flotador a través de la abertura rectangular de la tapa marcando el paso del tiempo. Sobre la dicha tapa hay una estructura de madera con unas guías para que la *semeiante* suba rectamente y no se atasque, aunque en nuestra reconstrucción la hemos

suprimido en beneficio de la claridad del diseño. Cuando el reloj ha terminado su ciclo completo toda el agua se encuentra en el *receuidor*, que ha de ser vaciado a través de la *salidera*, un tubo que le ha sido insertado en la parte baja de un lateral para tal efecto. En un tercer

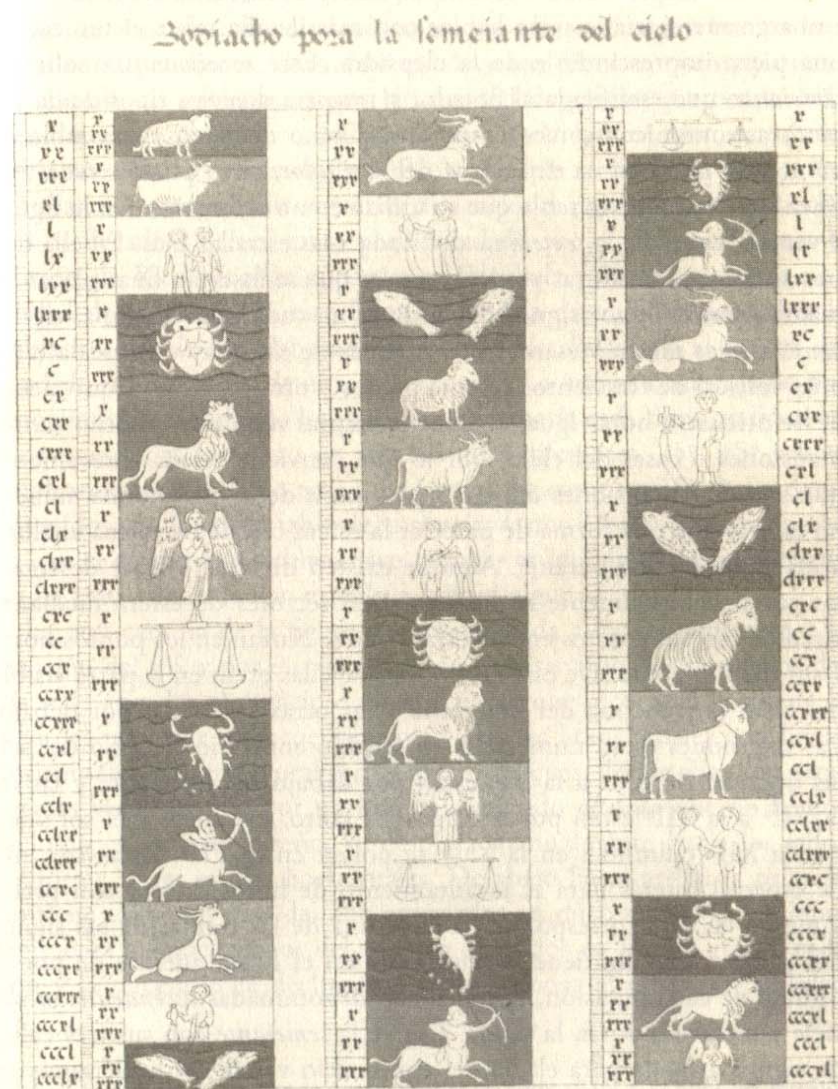


Fig. 2: Cara de las estrellas de la *semeiante* (ALFONSO X, *Libro...* (RICO SINOBAS. M., ed.), 1866, vol. 4, p. 45).

nivel, directamente sobre el suelo, se pone un recipiente para recuperar el agua y devolverla a la *tinaia*.

Hasta aquí hemos ofrecido una descripción de los diferentes elementos de este instrumento así como de sus principios de funcionamiento. Sin embargo merecería la pena hablar con más detalle sobre el indicador, una pieza imprescindible de la clepsidra. Éste se encuentra sobre la *semeiante*, que está fijada al flotador y muestra diversos tipos de datos, tanto astronómicos como temporales. Como decíamos, esta tabla va asomando por encima de la tapa del *receuidor*, cuyo plano señala una línea horizontal en la tabla que se utiliza como referencia. En la figura 2 vemos la cara de la *semeiante* dedicada a las estrellas fijas. En ella hay tres anchas acanaladuras verticales en las que se insertan finas placas de madera con los doce signos del zodiaco en cada una y algunas de las estrellas fijas más representativas. Además de ellas hay una escala también vertical de trescientos sesenta grados y otra paralela y equivalente de veinticuatro horas iguales. Las tres franjas responden a otras tantas mansiones o casas del cielo, por lo que conviene reseñar brevemente qué son. Las mansiones del cielo provienen de la astronomía árabe y no es más que una forma de parcelar la esfera celeste de forma análoga a los gajos de una naranja. Aunque existen diversas formas de trazar las casas, habitualmente se forman doce sectores de esfera mediante círculos con sus centros en la tierra y que se cruzan en los puntos norte y sur del horizonte. De este modo, seis de ellas están en la parte visible del cielo por encima del horizonte y las otras seis están por debajo. Las mansiones están numeradas en sentido contrario al curso del sol, las que van de la I^a a la VI^a están por debajo del horizonte y las de la VII^a a la XII^a están por encima. Por tanto, los astros y el sol salen por la XII^a culminan en la X^a y se ponen en la VII^a. Estas tres son de especial interés para el levantamiento de horóscopos y son precisamente las que corresponden a cada una de las franjas de los signos del zodiaco que contiene la *semeiante*. En el libro, además de por el ordinal de cada mansión, también son denominadas *ascendente*, *medio cielo* y *descendente*. En la figura 2 se ve la *semeiante* con sus tres calles de signos armada para el día del equinoccio vernal. Si pusiéramos en marcha la clepsidra nos indicaría que durante la primera hora del día, aries, representado en la parte alta de la calle izquierda, se encuentra

saliendo por el éste, capricornio, en la calle central, está exactamente hacia el sur culminando, y libra está poniéndose en la calle derecha.

Puesto que los signos y las estrellas que se ven en cada época del año son diferentes porque se van adelantando aproximadamente un grado al día con respecto al sol, la posición de los signos en la tabla ha de ser ajustada cada día otro tanto, por ello cada signo está en una tablilla independiente. Otro dato que hay que tener en cuenta y que el tratado alfonsí advierte, es que la cantidad de grados que ocupa cada signo en cada mansión es diferente para cada latitud, por tanto una *semeiante* sólo sirve para la latitud para la que se ha construido y las tablillas de los signos tienen unas dimensiones específicas. Este hecho nos ha llevado a pensar en la posibilidad de que la tabla que ilustra la edición de Rico Sinobas pueda estar calculada para la latitud de una ciudad determinada. Si esto fuera así podría darnos indicios sobre la población donde fue elaborado el *Libro de los Relogios* o al menos del lugar de la adaptación de una de las copias. Lo hemos comprobado por aproximación calculando los grados que ocuparía cada signo zodiacal en cada una de las tres casas en tres latitudes diferentes, 25°, 45° y 65°, empleando un astrolabio para cada latitud. La comparación de los datos obtenidos con los de la tabla de la *semeiante* nos llevado a la conclusión de que el diseño que publica Rico Sinobas es una mera ilustración que no ha sido calculada con arreglo a latitud alguna.

La otra cara, la de la figura 3, está dedicada a los movimientos y la posición del sol, y por eso en ella están representados los dos ciclos del día y de año. En el espacio de la *semeiante* que recorre el borde de la tapa del *receuidor* se encuentran marcadas las horas iguales con líneas horizontales y las temporales con líneas oblicuas. Todas ellas son atravesadas verticalmente por un hilo denominado *alidada* que no hemos incluido en nuestro diseño, se desplaza manualmente hacia los lados conforme a tres escalas horizontales. De abajo hacia arriba la primera contiene todos los días del año agrupados en doce meses, la siguiente representa los doce signos del zodiaco divididos en treinta grados cada uno y la tercera es la declinación solar⁵¹. Todas ellas son en realidad

51. La declinación solar es la distancia angular entre el sol y la línea del ecuador celeste. En verano es positiva y el día del solsticio alcanza los 23°, en el solsticio de invierno alcanza los -23°, y en los equinoccios es de 0°.

equivalentes, puesto que representan el ciclo anual del sol, o lo que es lo mismo: el calendario. Antes de poner en marcha la clepsidra hay que situar la *alidada* sobre el día correspondiente, así la hora temporal que marque será aquella que corte el hilo y que a la vez coincida con el borde de la tapa. Las horas temporales, como sabemos, varían de longitud absoluta a lo largo del año, variación que depende de la latitud del lugar dónde se midan, por lo que esta cara de la *semeiante* también ha de estar calculada para la latitud del lugar donde la clepsidra haya de prestar servicio. Por ello también hemos pensado en la posibilidad de que el diseño que publica Rico Sinobas sea real y corresponda a un lugar concreto. La latitud en este caso es muy fácil de calcular teniendo en cuenta la duración en horas iguales del día del solsticio de verano. En la clepsidra de Alfonso X es de dieciséis horas, lo que le hace corresponder aproximadamente a una latitud de $47^{\circ} 30'$ norte, es decir, al paralelo que pasa por el centro de Francia aproximadamente a la altura de Orleans, el norte de Suiza por Zürich y Salzburgo⁵². Esta latitud no parece verosímil, por lo que podemos concluir que también esta cara de la *semeiante*, que representa las horas, está dibujada de modo ilustrativo y no está calculada para ningún lugar en concreto.

Por último, una vez expuestas todas las instrucciones para la construcción de la clepsidra, hay dos capítulos cortos en que se dan algunos consejos prácticos sobre el uso del instrumento. Tal como está diseñada presenta un problema al abrir el tirador del agua para ponerse en funcionamiento, ya que el agua sale con fuerza y por su inercia puede salir más cantidad de la que pueda albergar la pila y derramarse fuera. La solución que se propone para evitarlo es la construcción de un tubo en la parte alta de la pila para que desagüe el excedente al *vertedor*. Este elemento no nos queda claro qué puede ser, ya que no aparece representado en las ilustraciones y el pasaje en que se explica es ciertamente algo oscuro. Es posible que se refiera al *vaciador*, el recipiente que recoge el agua una vez utilizado el reloj. Sí que resulta interesante la explicación que se ofrece del fenómeno basándose en la filosofía aristotélica. Se dice que el agua no está asentada sobre el fondo de la *tinaia*, sino colgada del

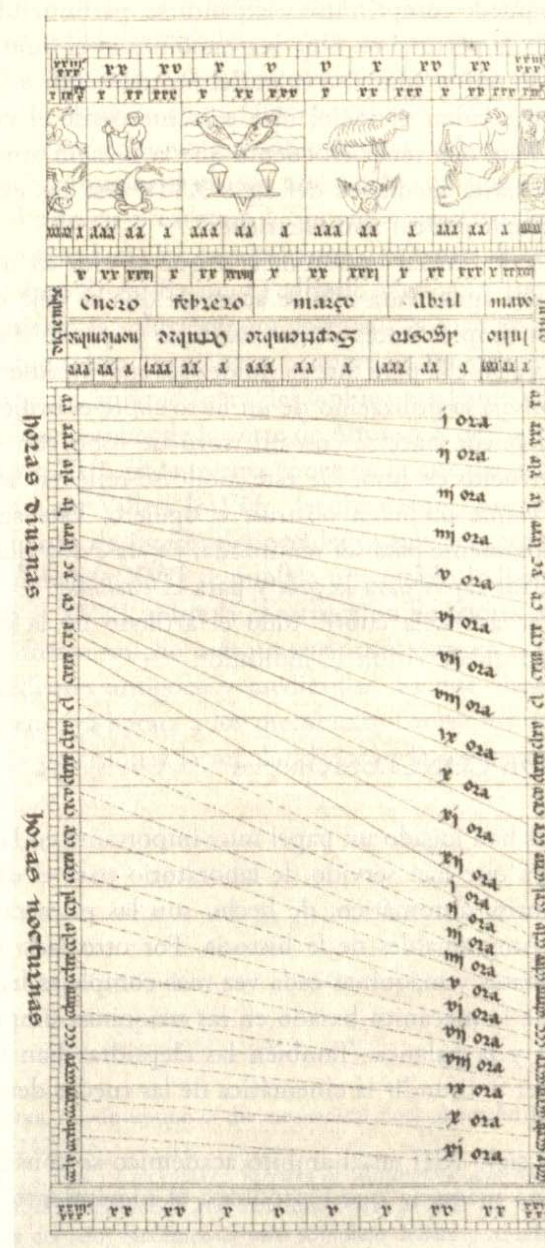


Fig. 3: Cara de las horas de la *semeiante* (ALFONSO X, *Libro...* (RICO SINOBAS. M., ed.), 1866, vol. 4, p.53)

52. Los cálculos han sido efectuados a través del sitio web <http://www.calsky.com>, el 1 de octubre de 2010.

aire, y que éste puede comprimirse y expandirse, permitiendo que salga más o menos de la pertinente. Una vez estabilizado el flujo si no sigue saliendo agua sin entrar más aire es por el horror vacui, o la tendencia de la naturaleza a evitar el vacío, idea presente desde el pensamiento de Aristóteles. Hay que tener en cuenta que la presión atmosférica no fue descubierta hasta mediados del siglo XVII, con los experimentos de Pascal, Torricelli y Otto von Guericke⁵³.

Otro aspecto de crucial importancia y que se cita en otros pasajes es la limpieza del agua. Para ello se aconseja que se deje decantar en recipientes bien limpios antes de ser utilizada y que se disuelvan seis onzas de alumbre en ella para que su fluidez sea mayor. Además de esto, también se aconseja la utilización de un filtro sobre el orificio de salida de la *pila*, que puede hacerse con un trozo de tubo con sus paredes perforadas y envuelto en lino. De este modo se retienen las partículas que quedaren y que pudieren obstruir el agujero. Este agua se debe guardar cuidadosamente para ser reutilizada, y para evitar que se ensucie conviene construir tapas para la *pila* y para el *vaciador*.

Por último se aconseja cubrir todo el artificio de la clepsidra de manera que sólo quede visible el indicador.

5. A MODO DE CONCLUSIÓN

Las clepsidras han jugado un papel muy importante en la historia de la tecnología, ya que han servido de laboratorio para el desarrollo de sistemas de control automático, de hecho son las primeras máquinas automáticas y programables de la historia. Por otro lado el deseo de construir autómatas y máquinas cada vez más complejas ha impulsado un desarrollo de la mecánica basado en las máquinas simples como el torno, la polea y la palanca. También las clepsidras han contribuido para comprender y difundir la cinemática de las ruedas dentadas desde la Antigüedad.

A finales del siglo XIII en el ámbito académico se constata el deseo de construir una máquina que reproduzca el movimiento del univer-

53. PAPP, D., *Breve historia de las ciencias*, Buenos Aires, Claridad, 1991, p. 141.

so. La clepsidra ya podía utilizarse para esto, pero no debía de gustar demasiado en las Universidades, puesto que se averiaban con bastante frecuencia, funcionaban con demasiada irregularidad y tenían poca autonomía. Roberto Anglico, en un famoso texto de 1271, dice que se estaba buscando la forma de construir una máquina de movimiento perpetuo para este fin, y propone el uso de una rueda con una cuerda enrollada y un peso colgado en el extremo⁵⁴. Sin embargo esto, sin un escape, no serviría para reproducir los movimientos uniformes del universo. Otros pensadores como Roger Bacon y Pedro de Maricourt trataron de buscar en el magnetismo la solución para construir la máquina celeste⁵⁵. Poco después de todo esto comienzan a aparecer las primeras noticias de relojes mecánicos, aunque fuera del ámbito académico⁵⁶.

El *libro de los rrelogios* de la corte de Alfonso X de Castilla se escribe a finales del siglo XIII, en la misma época de la que datan los testimonios de la clepsidra de Villers le Ville, la última de Europa⁵⁷. Ambos son la última muestra de interés del occidente europeo por las clepsidras.

A finales del siglo XVII se publica un tratado italiano, traducido al castellano en el XVIII, sobre la construcción de relojes de agua. Pero se conciben de forma mucho más pragmática y carecen de la complejidad de sus precedentes antiguos y medievales, ya que ahora simplemente son una alternativa barata a los mecánicos, contra los que perdieron la batalla por la precisión y la regularidad con la invención del péndulo.

54. THORNDIKE, L., «Invention of the mechanical clock about Ad 1271», en *Speculum*, 26, 1941, pp. 242-243.

55. NORTH, J., *God's Clockmaker. Richard of Wallingford and the invention of time*, London-New York, Hambledon and London, 2005, p. 158.

56. El origen del reloj mecánico es otro complejo debate y su relación con el deseo de construir un instrumento que reprodujera el universo es sólo una hipótesis.

57. DOHRN VAN ROSSUM, *History*, p. 67.