

JUAN VERNET GINES (*)

Un par de notas sobre la ciencia y la técnica de la España musulmana

En el momento de la islamización de España no puede decirse que el nivel científico existente fuera sumamente elevado ni entre los conquistados ni entre los conquistadores. Sobre el de los primeros puede juzgarse leyendo la obra de San Isidoro y, en cuanto a los segundos, bastará recordar que aún no habían iniciado la traducción de los textos griegos que les habían de servir, ya en el siglo IX, para desarrollar una cultura autóctona que superase el creces, poco después, cuanto había hecho la Antigüedad Clásica en el campo de las ciencias exactas, físicas y naturales. Es sólo a fines del siglo VIII cuando los textos históricos nos permiten comprobar la existencia en Oriente de una gran corriente de traducciones de todas las lenguas cultas de aquel entonces —griego, siríaco, sánscrito, pahlévi— al árabe y de otro mucho más tímido, de menor envergadura, en la Península Ibérica. Igualmente, noticias incidentales nos permiten saber que a lo más tardar es en el reinado de Abd al-Rahmán II y sus inmediatos sucesores cuando muchas de las obras traducidas en Oriente llegan a España y se realizan en ésta algunos redescubrimientos técnicos— talla del cristal de roca y algunos hallazgos científicos, mientras no se demuestre lo contrario, como el de la brújula. Deseo advertir ya desde ahora qué en lo que sigue no voy a hacer una historia sistemática del desarrollo de la ciencia y de la técnica en al-Andalus que por otro lado puede verse en mi libro *La cultura hispano-árabe en Oriente y Occidente*— sino que me voy a entretener en el desarrollo de un par de puntos de las mismas que no pude recoger en él por no haberlos estudiado aún en el momento de la redacción.

(*) Catedrático de Lengua Árabe de la Universidad de Barcelona, y Miembro de la Real Academia de la Historia.

Hace ya muchos años --más de un siglo-- Dozy, al publicar el *Bayán al-Mugrib*, encontró en unos versos fechados en el 854 una alusión al uso de la calamita en el mar. Pero esta cita no ha pasado a los manuales de Historia de la Ciencia debido a ser única y anterior a las referencias más claras que se hallan en textos chinos que, según como se interpreten, explican el origen del uso de la brújula en el Indico bien por los árabes, bien por los propios chinos. Sin embargo hoy creo que así como la carta cuadrada plana tiene su origen en la China del siglo XIII no ocurre lo mismo con la brújula, que debió ser un invento andalusí, tal como apuntan los versos del *Bayán al-Mugrib*.

En efecto: la brújula está íntimamente relacionada con el derrotero y la carta náutica. Para evitar confusiones en lo sucesivo entenderemos por periplo la descripción hidrográfica de la cuenca de un mar en la que se anotan las distancias pero no los rumbos y, si éstos se indican alguna vez es sólo de modo esporádico; por derrotero, un periplo en el que se indican sistemáticamente los rumbos y de la carta náutica, a veces indebidamente llamada portulano, prescindiremos aquí, ya que no existe carta náutica sin derrotero previo y éste esperamos demostrar que se estaba redactando en el Mediterráneo occidental en el siglo X.

Los periplos son muy conocidos desde la Antigüedad. Los derroteros, sin embargo, por lo que hasta ahora sabíamos, inician su aparición tímidamente en Occidente cristiano a mediados del siglo XI. Tal, por ejemplo, el fragmento en que Adam de Bremen (fl. 1.069) describe la derrota que desde Flandes lleva a Tierra Santa. Es la primera vez en que rumbo y tiempo (en su texto tiempo equivale a distancia, a jornadas de navegación) aparecen asociados sistemáticamente. La lectura del texto permite comprobar que los marinos del Atlántico no vacilaban en perder de vista la costa en aguas del Cantábrico, como veremos hará también un siglo después la flota de Ricardo Corazón de León desde el Canal de la Mancha hasta su llegada a Lisboa y aún más allá, doblando el Cabo de San Vicente. Es este tipo de navegación el que se desarrolla de modo extraordinario en el Mediterráneo a mediados del siglo XI como consecuencia de la ocupación de Túnez por las tribus beduinas de los Banu Hilal que cerraron el paso, por vía terrestre, a peregrinos y comerciantes que se dirigían de Oriente a Occidente o de Occidente a Oriente.

Paralelamente, y por esas mismas fechas, dos autores hispano-musulmanes, al-Udrí y al-Bakrí, ambos andaluces, describían muy detalladamente la Geografía de al-Andalus. Desgraciadamente las obras que de ambos nos inte-

resan han llegado a nosotros mutiladas. Al primero se debe una Geografía en uno de cuyos fragmentos conservados se nos describe la pesca de la ballena en aguas de Irlanda con lo cual viene a confirmar el relato recogido en los *Monuments de l'Histoire des abbayes de Saint Philibert* (m. 684) (*Noimontier, Grandie, Tournus*) cuyo libro segundo de milagros, redactado alrededor del 862, nos indica que las naves árabes llegaban hasta la isla de Yeu. ¿Qué naves eran éstas? Pues muy probablemente la flota de guerra mandada construir por Abd al-Rahmán II, con base en Sevilla, y que patrullaba por aguas del Atlántico para descubrir cuanto antes y lo más lejos posible de las costas de al-Andalus, a los buques normandos —que tan malos ratos habían hecho pasar al Emir en el 844— y cortarles el camino hacia el Sur.

Al segundo autor, al-Bakrí, se le debe una Geografía general, el *Kitab al-masalik wa-l-mamalik*, perdida en gran parte, pero de la que se nos conservan unos mínimos fragmentos referentes a Europa y la descripción del Africa septentrional que fue editada y traducida al francés por de Slane (1858-59). Pues bien: en esta obra, terminada en 1068, se encuentra intercalada una descripción de la costa meridional del Mediterráneo que es un simple periplo muy detallado. Pero al describir las costas marroquíes nos habla de una serie de puertos de Africa que están *enfrente* de otros tantos españoles. En las veintiuna correspondencias establecidas por Bakrí éste emplea dieciséis veces la palabra *yuhadi*; tres, *yuwazi*; una, *yuhadi* y una, *bi-izai*. Todas ellas significan lo mismo: “estar una cosa enfrente de otra”. Ahora bien: dado que en la mayoría de los casos los marineros en medio del mar no veían a la vez los puertos de origen y de destino durante la travesía, esas correspondencias sólo podían establecerlas: 1) por accidentes topográficos de la costa fácilmente visibles, simultáneamente, desde el centro del trayecto; 2) mediante la utilización de la polar o de observaciones astronómicas y 3) mediante el uso de la brújula.

Veamos las posibilidades de utilización de cada uno de estos procedimientos:

1) La utilización de los accidentes topográficos no explica las correspondencias establecidas más allá de la recta ideal que une el Mulhacén y el Filhausen. Por tanto este procedimiento, si se empleó, no lo fue de modo exclusivo ni mucho menos.

2) El procedimiento astronómico nos daría los puertos alineados en el sentido de los meridianos, lo cual no parece poder admitirse viendo las diferencias de longitudes, pues todas tienen el mismo sentido. De haber sido es-

establecidas las correspondencias con la Polar los errores serían a ambos sentidos, es decir, que los puertos de la Península se encontrarían unas veces al Este y otras al Oeste del correspondiente africano.

3) Pero ¿qué habría ocurrido de haberse empleado una brújula de cebo? Podemos intentar averiguarlo, ya que cabe suponer que la correspondencia entre los puertos de las dos orillas vendría afectada por la declinación magnética de la época. Como disponemos de series de topónimos bien localizados con sus correspondientes coordenadas, podemos resolver los triángulos esféricos necesarios. Los valores encontrados demuestran que sistemáticamente los puertos de la costa española se encuentran siempre al oeste de los correspondientes de Africa con unas diferencias que van desde un mínimo de 6° a un máximo de $46^\circ 57'$ con una media de $28^\circ 139'$. Este error sistemático en cuanto al sentido parece demostrar que esas correspondencias fueron establecidas con ayuda de la brújula y, de ser así, hay que admitir que ésta existía ya en el 854, fecha de los versos recogidos por el *Bayán al-Mugrib*.

Si se agrupan los puertos separados por menos y más de trescientas millas se observa que el promedio de la declinación en los primeros es de $15^\circ 03'$ y los últimos de $36^\circ 50'$. O sea, que al ser mayor la derrota, fueron mayores los errores cometidos en la navegación con la brújula.

Es imposible obtener mejores datos de otros autores musulmanes y, en especial, de Idrisi, cuyo periplo de la zona que nos interesa, a pesar de ser un siglo posterior al de Bakrí, es muy inferior al de éste.

Todo lo expuesto permite ver la inseguridad de estas antiguas navegaciones y, por otra parte, nos da idea del valor de algunas isógonas antes de la aparición de las cartas náuticas, extendiendo así, de manera insospechada hasta ahora, el campo de la prospección geomagnética en la Alta Edad Media. En efecto: C. Gaibar-Puertas reproduce en la página 178 de su obra *Variación secular del campo geomagnético* (Tarragona, 1953) las ágoras obtenidas por extrapolación por Fritsche para las épocas 1000-1500. Pues bien: las isógonas calculadas por Fritsche por procedimiento distinto e independiente del nuestro, se corresponden casi exactamente con las que hemos obtenido a partir de las indicaciones del Bakrí para el Mediterráneo Occidental. Esta coincidencia permite sostener la interpretación científica de los versos antes aludidos y que, con perdón, dicen

Cierto día Qasim lanzó
Un pedo en la calamita (brújula)

Qué causó la muerte de todos los peces
Que hay en el Océano.

Si desde el siglo IX se usaba con más o menos regularidad la brújula, desde aquellas mismas fechas debe haber empezado el levantamiento hidrográfico de algunas zonas del Mediterráneo. Los periplos del Bakrí e Idrísí así lo prueban. Si se comparan, por ejemplo, las distancias expresadas en millas que nos facilita el último autor con las del *Compasso da navigare* se ve, en lo que a las costas de España y Africa se refiere, que frecuentemente coinciden y, si hay discrepancias éstas son de poca cuantía y explicables muchas veces por el prurito de redondearlas ambos autores en cifras terminadas en cinco o cero.

Otra de las materias en que sobresalieron los árabes andaluces, ya en el siglo XI, fue en la construcción de instrumentos científicos y a ellos parece deberles la humanidad algunos de nueva concepción, tanto astronómicos como de otras especies. En cuanto a los primeros, dejando de lado los astrolabios esféricos y planos, las azafeas, etc. desearía referirme a aquellos en los cuales intervenían los engranajes y autocorregirme respecto de mis apreciaciones sobre el tema de hace unos cuantos años.

Los engranajes más antiguos conservados se encuentran en los fragmentos de la máquina griega de Anticitera (c. 80 a.C.) que debió ser un antiguo astrolabio mecánico o ecuadorio destinado a mostrar la marcha de los planetas. Por tanto constituye una prueba fehaciente de que puede ser cierta la afirmación de que Arquímedes había construido un dispositivo mecánico que mostraba la marcha de las estrellas y de los planetas al que Cicerón había visto funcionar. Es difícil saber si el reloj construido por Vitrubio tenía engranajes pero cuando menos estaba en la línea de los ecuadorios, puesto que marcaba el cambio cielo a medida que se realizaba, de manera parecida a como se describe en el *Libro del reloj de mercurio* escrito por Rabiçag y del cual aportaremos más adelante noticias prácticamente inéditas.

En el mundo islámico la mención de los engranajes aparece en un dibujo que figura en una obra de Biruní en el que el tren de ruedas es de 40-10 + 7-59 + 19-59 + 20-48. La rueda de 48 dientes efectúa 19 rotaciones anuales mientras que la de 19 + 59 marca 118 dobles lunas de 29 + 30 días. La rueda de 40 efectúa una rotación lunar en 28 días y la alidada relacionada con los piñones 7 + 10 da exactamente una vuelta por semana. Pero aquí se trata de la idea de un teórico, no de un artesano; aquél no debía conocer

bien la construcción *real* de una rueda de cualquier número de dientes, par o impar; éste sí. Las ideas de Biruní debieron inspirar a Muhammad b. abi Bakr de Isfahán la construcción del astrolabio que, fechado en 1221, se conserva en el Museo de Historia de la Ciencia de Oxford y en el cual el tren de ruedas es de 48-13 + 8-64 + 64-64 + 10-60.

Estos aparatos tienden a mostrar didácticamente el mecanismo del movimiento de los astros. Pero, simultáneamente a Biruní, en al-Andalus se intentaba obtener con los mismos, para evitar el cálculo, la posición *exacta* de los planetas. Y así nace el ecuatorio, del cual tenemos pocas descripciones escritas y menos ejemplares. Y este descubrimiento o esta aplicación, llámesele como se quiera, y mientras lo contrario no se pruebe, es un invento español realizado en el siglo XI o antes. Ocurre algo similar con lo sucedido con la introducción del cursor en los cuadrantes astronómicos. En efecto: todos los ecuatorios conocidos —excepto el de Kasí (1416)— son occidentales y los tres más antiguos son de autor español: Ibn al-Samh (fl. 1025), Azarquiel (m. 1100) y Abu Salt (c. 1110). Los dos primeros se encuentran descritos en los *Libros del saber de astronomía* bajo el título de *Libro de las láminas de los siete planetas* (3 (1863), 241-271 y 272-284). Se expone primero el sistema de Ibn al-Samh (una lámina para cada planeta) y luego el de Azarquiel (una lámina para todos los planetas).

Otro tipo de aparatos que experimentaron modificaciones, retoques e incluso *alguno* de ellos pudo ser inventado en al-Andalus, es el de los relojes, desde los cuadrantes solares orientados o no, vulgarmente llamados relojes de sol, hasta los de candela, anafóricos, mecánicos, etc.

Una de las citas más antiguas de los mismos es la del construido por Abbás b. Firnás (m. 887), poeta e ingeniero de los emires Abd al-Rahmán II y Muhammad I. Teníamos referencia del reloj construido por éste desde hace muchos años, pero los detalles eran muy escasos hasta que en 1973 Mahmud Alí Makkí publicó un tomo inédito del *Muqtabis* de Ibn Hayyán consagrado al reinado de aquellos soberanos. El texto que nos interesa está mutilado, pero creemos que pueden reconstruirse los fragmentos que faltan con bastante seguridad. Por lo que leemos nos enteramos que nuestro hombre, Ibn Firnás, quería utilizar unas tablas astronómicas que se encontraban en la biblioteca de Palacio y que solicita, sin éxito, pero en verso, del Emir

No descuides —dice a éste— las tablas astronómicas fi-
dedignas que
Alcanzan hasta el fin de los tiempos
Pues espero alcanzar el secreto de su ciencia. . .

El *Muqtabis* añade además “Abbás b. Firnás construyó el instrumento llamado *minqana* para conocer el transcurso del tiempo; lo perfeccionó, se lo ofreció al emir Muhammad y esculpió en él los versos siguientes:

¿Acaso no soy, para la religión, el mejor instrumento?
 Si desconocéis el momento de la oración
 Si no véis lucir el Sol durante el día ni brillar
 Las estrellas en la noche de negras tinieblas, pues
 Mirad la buena estrella del emir de los musulmanes, Muhammad
 Que da a conocer el momento de cada oración”.

“Con anterioridad a esta *minqana* (máquina) Abbás b. Firnás había construido con el mismo fin unas armillas dedicadas al emir Abd al-Rahmán. Al-Hasán b. Muhammad b. Mufarrich refiere: Este Abbás b. Firnás era un sabio, un poeta que no paraba en sus invenciones científicas: ideó objetos regios y aparatos admirables que tenían hermoso aspecto y movimientos prodigiosos que llenaban (?) y vaciaban las albercas y otros lugares. Le auxilió en la construcción de sus autómatas y en la disposición de la maquinaria Asbag alarife de los carpinteros de Palacio a quien enseñó su funcionamiento... (a partir de aquí el texto se encuentra muy mutilado)... Cuando estuvo concluído y lo vio el emir Muhammad quedó maravillado y se alegró... Abbás su inventor y le recompensó por eso... (y dijo:—Dad) a Asbag tal cantidad y regalos y a Ibn Firnás se le dará el doble por habernos descuidado de él”.

El texto en definitiva muestra que primero fue recompensado Asbag y sólo más tarde se salvó la omisión dando al inventor el doble de lo pagado a su ayudante.

Así pues, Ibn Firnás construyó dos tipos de relojes: el primero dedicado a Abd al-Rahmán II, con antecedentes clásicos, sólo podía ser utilizado con cielo despejado. No conocemos ejemplares antiguos del mismo, pero sí, en cambio, y a partir del siglo X, conservamos cuadrantes solares, el más simple de los cuales es el descrito por Maimónides como “una piedra de mármol empotrada en el suelo. En ella se trazan líneas rectas y se indican los nombres de las horas. Es un círculo en cuyo centro se halla un clavo recto y rectangular (gnomón). Siempre que la sombra de este clavo llega a una de estas líneas, se ve cuantas horas del día han pasado. Los astrónomos acostumbran a llamar a este instrumento *al-ballata*”.

Es decir, la definición de Maimónides se corresponde con la del círculo

indio o reloj de sol horizontal y no con la *ballata* (con *imela*, *bileta*, *pileta*) que por su propio nombre requería la existencia de recipientes para contener el líquido que debía accionar su mecanismo conforme se desprende de un texto contenido en el *Nafh al-tib* de al-Maqqarí al descubrirnos el reloj anafórico construido por Azarquiel (m. 1100) sobre el Tajo, junto a la Puerta de los Tintoreros, en Toledo y al cual Mosé b. Ezra dedicó un poema hebreo que empezaba

Mármol, obra de Azarquiel. . .

Si hemos de creer a al-Zuhrí (fl. 1137) quien se remite a al-Masudí la idea de este tipo de reloj procede de la India. Azarquiel habría oído decir que en la ciudad de Arín, se encontraba un aparato que señalaba la hora por medio de aspas desde que salía el sol hasta que se ponía. Deseoso de construir uno similar, hizo dos grandes estanques a orillas del Tajo, cerca de Toledo, que indicaban la edad, las fases de la Luna y las horas del día y de la noche, y funcionaban, según nos refieren los textos, sin posibilidad de error, ya que los embalses mantenían su nivel de acuerdo con un ciclo inalterable cualquiera que fuera el régimen de lluvias o las maniobras bien o mal intencionadas que se hicieran para vaciarlos. Ambos estuvieron en uso hasta el año 1133 en que Alfonso VII autorizó al mago y astrónomo judío Hamir b. Zabara a que desmontara uno de ellos para ver cómo funcionaba y éste ni supo averiguarlo ni reconstruirlo.

Este tipo de relojes anafóricos, ya conocido por Vitrubio, tuvo un éxito notable del cual son testimonios —en el Occidente islámico— los relojes de Fez y Tlemecén.

Pero ¿a qué tipo de reloj se refiere Ibn Firnás con la palabra *máquina*? Podemos pensar en el reloj enviado por Harún al-Rasid a Carlomagno, el cual, según la descripción de Einhard (c. 770-840) consistía “en un artístico y valioso reloj de bronce que se movía a lo largo de doce horas mediante una clepsidra; contenía muchas bolas de bronce que iban cayendo en el transcurso de las horas y hacían sonar un címbalo horizontal; tenía, además, doce caballeros que al final de cada una de las horas salían por doce ventanas a las que abrían al ponerse en movimiento; este reloj contenía tantas cosas que sería pesado detallarlas ahora”.

Sabíamos, desde hace muchos años, que aparatos de este tipo se sabían construir en Oriente desde mediados del siglo IX como mínimo. Lo que no teníamos es ningún documento —salvo esa alusión de Ibn Firnás— de que

también se construyesen en Córdoba. Pero hace pocos años el estudio del manuscrito misceláneo Or: 152 de la Biblioteca Medicea-Laurenziana, analizado inicialmente por la doctora Villuendas en su tesis de doctorado y cuyo primer tratado sobre relojes esperamos publicar en un próximo futuro, viene a aclarar, creemos, las palabras de Ibn Firnás.

No cabe duda sobre la filiación toledana y alfonsí del mismo puesto que en él figura una nota en árabe dialectal hispánico escrito con letra rabinica, es decir, un texto aljamiado que nos explica: "Dice Isaac ben al-Sid- el célebre colaborador de Alfonso X—: He descrito aquellos aparatos que se mueven por sí mismos, aparatos que sabemos que existen por propia experiencia. He utilizado en este tratado las instrucciones atribuidas a Seth y he comprobado que son exactas. Sólo existía un manuscrito original, pero, a partir de ahora, nada impedirá construir todos estos aparatos, excepto aquellos que me ha sido imposible rehacer por no estar el original completo o existir en algún caso discrepancia insalvables. No se ha realizado ningún modelo cuya construcción no estuviera claramente expuesta; pero sí he construido otros cuyos errores he conseguido salvar, describiéndolos aquí de modo claro. Entiéndelo".

Dejando de lado este texto aljamiado, todo el resto del manuscrito es una copia en árabe clásico de otro texto anterior escrito por un autor español y musulmán. Este último extremo queda disimulado en la copia alfonsí pues su autor, judío, debió modificar las eulogias iniciales en las que siempre se menta al Dios único y a Mahoma, mediante la omisión del nombre de este último.

Que las máquinas descritas fueran construídas en la Toledo alfonsí y conocidas en la España musulmana desde el siglo X-XI, nos explica muchos pasajes de la literatura medieval que hasta ahora se consideraban de pura fantasía o como procedentes de la lectura de *Las mil y una noches*. Por otra parte, detrás del nombre de Seth se esconden una serie de autores clásicos cuya obra original se ha perdido en buena parte pero se nos ha conservado en árabe. Tal, por ejemplo, Filón de Bizancio (m.c. 250 a.C.) al que no hay que confundir con su homónimo el filósofo alejandrino. Su obra sólo se nos ha conservado en árabe y fue editada y traducida al francés por Carra de Vaux. A este autor se debe la introducción de las ruedas hidráulicas, molinos y numerosos movimientos articulados (*hiyal*). El libro consta de 65 capítulos, de los cuales sólo se conservan en latín —pero traducidos *del* árabe— 16. La versión árabe no cita el nombre del traductor, lo cual hace pensar que debe ser antigua y en el capítulo 56 se describe un tintero octogonal con ocho

agujeros y del que se podía sacar tinta de cualquiera de dichos agujeros dado que el recipiente estaba suspendido de balancines. Probablemente se debe a Filón la invención de lo que hoy llamamos suspensión cardán.

Otro autor del mismo género es Ctesibio (300-230) al cual sólo conocemos a través de citas indirectas. Parece ser que hay que atribuirle la primera descripción de las tres partes que forman la bomba impelente: el cilindro, el émbolo y la válvula, y el descubrimiento de que la "velocidad de salida del agua de una clepsidra está en función de la altura de la misma sobre el orificio" siendo necesario además que éste se halle constituido por una materia lo suficientemente dura para evitar el desgaste y, en consecuencia, el aumento de caudal. No parece que los árabes hayan conocido a Vitrubio más que de forma indirecta y fragmentaria a través de las obras de sus continuadores; pero, en cambio, sí, y lo explotaron a fondo, a Herón (fl. entre 62 y 150 d.C.) cuya obra se nos conserva en parte a través de unas versiones árabes de Qusta b. Luqa. También conocemos a un pseudo-Herón. Del primero sabemos que se ocupó de los *hyal*. Algunas de sus obras han sido dadas a conocer, editadas o traducidas, por Carra de Vaux.

Estos autores fueron utilizados, sin duda, por los mecánicos árabes, cuya historia trazó en una serie de artículos desperdigados E. Wiedemann, el cual se preocupó además de establecer la biografía de estos técnicos a base de fuentes árabes que van desde los Banu Musa hasta Hachchí Jalifa pasando por al-Chazarí, Ridwán e Ibn al-Afkaní y entre los cuales no faltan los pseudo-epígrafos griegos como Arquímedes ni nuestro Ibn al-Awwam al tratar de las ruedas hidráulicas. Sus esfuerzos se centraron, sin embargo, en la obra de los Banu Musa (fl. c. 854) que, junto con otras fuentes, le permitieron componer, en colaboración con F. Hauser, un buen repertorio de los relojes usados por los árabes: *Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur* (1915) completado en trabajos posteriores. Se preocupó también en establecer la terminología técnica que no figura en los diccionarios pero que afortunadamente para Oriente —no para Occidente, donde a veces cambia— se encuentra expuesta de modo bastante detallado en las *Masfatih al-ulum* de al-Jwarizmí. Wiedemann explotó igualmente las fuentes que dan noticias de relojes medievales. Pero en todos estos trabajos falta la obra copiada por Ibn al-Sid.

Ignoramos aún exactamente quién fue el autor del manuscrito original, aunque sí conocemos a bastantes miembros de su familia o de su clan. Se llamaba Ahmad o Muhammad al-Muradí y esta *nisba* aparece con frecuencia en el *Muqtabis* y otros libros hispánicos de los siglos X y XI en los cuales debió vivir ya que su obra, casualmente, forma un todo con los de otros auto-

res de esa época si más no con las de Ibn Muad e Ibn al-Saffar. El título de la misma aparece en el colofón. Es el de *Kitab al-asrar fi nataich al-afkar*. Los autómatas que nos describe son puestos en marcha por corrientes de agua y mercurio. Cabe suponer que en la época de redacción del manuscrito se conocían en Occidente también el flujo de granos de arena o cereales como motor puesto que ambas según algunos autores, fueron utilizadas con ese fin en la antigüedad, cosa discutible para la primera. Estas sustancias caen sobre los platillos de balanzas o balancines —pueden ser varios según las máquinas— y en un momento dado, en el de sonar las horas, disparan el mecanismo correspondiente. Algunos elementos de estos primitivos relojes mecánicos son de inspiración clásica y se basan en el *Physiologus* de Aeliano, en el cual se afirma que las grullas duermen por turnos sujetando con una pata la piedra que deben soltar para señalar las horas del cambio de guardia. En los textos árabes que hemos manejado no se nos habla de grullas pero sí de halcones, esclavos, etc. y en el de al-Muradí de artilugios bastante complicados.

¿Se refería a uno de estos tipos de reloj la “máquina” de Ibn Firnás? Es posible que sí. Por ejemplo, el modelo número 10 consiste en dos figuras. Una sostiene en la mano un astrolabio; la otra es una muchacha que se encuentra en el interior de un pabellón. Al ser la hora en punto, el astrólogo se vuelve, mira hacia el pabellón en el cual se encuentra la muchacha, ésta entonces sale, le ve y deja caer de su boca una bola que al chocar con la base del aparato da la hora. A continuación el astrólogo vuelve a su posición inicial hasta la hora siguiente. Evidentemente a este mecanismo —y a la mayoría de los restantes que describe al-Muradí— pueden aplicarse los versos antes citados de Ibn Firnás.

Los distintos autómatas se presentan asociados por afinidades y los astrólogos son la pieza esencial de varios capítulos. Así al 10 le sigue el 11 en que nos presenta a una figura sentada en una silla que sostiene en la mano un astrolabio con el cual está observando. A la izquierda hay un hombre de pie que le mira y en la puerta del pabellón se halla una muchacha de pie que ciñe su cabeza con una diadema. Al ser la hora en punto el astrólogo mira al hombre que tiene a su izquierda; éste, a su vez, se dirige a la puerta del pabellón; al llegar a la puerta llama, deja caer una bola en la mano de la muchacha y vuelve a su sitio. La muchacha tira la bola en un tazón y el astrólogo vuelve a observar hasta la hora siguiente.

Hay mecanismos mucho más complicados: en el capítulo 8 se trata de doce muchachas; en el 29 de doce velas delante de otras tantas puertas; cada una de las mismas tiene encendido el pabilo. Al ser la hora en punto se apa-

ga una vela y se esconde detrás de una puerta, y así sucesivamente hasta que sale el sol; el capítulo 6 describe veinticuatro puertas dispuestas en dos filas; ante cada una de ellas hay una muchacha que va recorriéndolas todas desde el orto del Sol hasta el ocaso; entonces se encierra detrás de la última. Ante la segunda fila hay dos estatuas que dejan caer una bola cada hora de la noche. Al ser de día, hacen lo mismo.

Estos grupos de doce o veinticuatro figuras deben de ser los más arcaicos pues a ellos puede adscribirse el reloj regalado por Harún al-Rasid a Carlomagno. Cabe señalar también que algunos de estos aparatos funcionan de acuerdo con las horas iguales (un día y una noche tienen veinticuatro horas) y otros con las desiguales (el día tiene doce horas y la noche otras tantas). La mayoría de estos modelos son independientes de sus congéneres orientales aunque en algunos casos encontremos concomitancias. El número 18, por ejemplo, nos presenta a un cazador que tiene en su mano un halcón. Al ser la hora en punto éste mira al hombre quien suelta la bola que tiene en la mano y por consiguiente puede emparentarse con el descrito por Chazarí (capítulo 7,1). El número 1, que nos presenta un texto muy mutilado—como la mayor parte del tratado que nos ocupa— es bastante complicado: sobre una base octogonal representan su papel ocho muchachas, cuatro gacelas, tres serpientes y un negro. Esas muchachas se encuentran en sus pabellones y salen en el momento en que las gacelas estiran el cuello; pero inmediatamente del centro de la caja surge un negro con su espada, que sólo se oculta cuando se presentan las serpientes. Esta máquina parece estar emparentada con la del capítulo 12 en el que intervienen dos muchachas que aparecen al abrirse la puerta del pabellón y se dan la mano. Inmediatamente interviene un negro con un cuchillo ante el cual huyen a encerrarse en el pabellón y el negro les lanza con la boca una bola. Después vuelve a la situación primitiva hasta la hora siguiente. Pues bien, el número 1 parece depender de Filón. La figura octogonal recuerda la pileta de mercurio existente en Medina Azara la cual debía tener ocho "puertas" de acceso que permitirían, según la disposición de las mismas, penetrar los rayos del Sol por una u otra indicando así, de modo aproximado, la hora, aparte de servir para usos más placenteros que conocemos a través de las crónicas árabes.

Igualmente alguno de estos modelos presenta concomitancias con los relojes de candela que, dada su complicación, nada tienen que ver con los del rey Alfredo de Inglaterra.

Ignoramos la fecha en que los cristianos consiguieron esos manuscritos y fueron capaces de construir los mecanismos en ellos descritos. Sin embargo

parece poder establecerse sin dudas que la transmisión de la ciencia y técnica árabes llegó a Europa en tres etapas claramente diferenciadas. En la primera, que correspondería a los siglos X y XI, fueron los monjes mozárabes quienes, al abandonar al-Andalus para instalarse en la España cristiana, por ejemplo en Ripoll, llevaron consigo los manuscritos de los que luego hicieron traducciones resumidas; a fines del XI esos manuscritos eran ya comprados por los cristianos nortños puesto que por esa época el alfaquí Ibn Abdún prohíbe su venta para que no los traduzcan y los hagan pasar por obra de sus obispos y, en una tercera y última etapa que va desde Alfonso VII hasta la época del Rey Sabio en que fueron adquiridos como botín de guerra y, a veces con ellos los técnicos y científicos musulmanes eran hechos prisioneros y quedaban como esclavos en manos de los obispos que no los cedían, por fuerte que fuera el rescate que se les ofreciera, en tanto en cuanto no hubieran sacado de ellos todo el provecho que podían dar. Algo parecido, en fin, a lo ocurrido con los científicos alemanes al fin de la última Guerra mundial.

Todo ello nos lleva a tratar del origen del reloj moderno que empieza a difundirse por las torres de las catedrales europeas a partir del siglo XIV. Parecen ciertos, por el momento, los siguientes hechos: 1) que el carillón, o sea, el concierto obtenido mediante órganos hidráulicos conocidos ya desde la Antigüedad, fue sustituido por otro de bolas de bronce y luego de campanas en fecha incierta, pero que estamos seguros ocurrió antes del siglo XIV; 2) Que determinados mecanismos se habían ideado alrededor del siglo XIII: regulador del reloj de mercurio de Alfonso X; verga (del latín *virga*, caña o vara); rueda de escape y foliot. La rotación uniforme del reloj de Alfonso X era de notoria exactitud, desde el momento en que el reloj en sí lo constituía un astrolabio que recuerda su equivalente de Vitrubio 9,8; pero éste era muy inferior al de aquél por el empleo del agua en vez de mercurio, cuya mayor viscosidad y peso específico contribuían a regular mejor el movimiento y 3) Que en un momento dado del siglo XIII se reunieron a veces el carillón, el escape y las figuras de autómatas en un solo aparato, naciendo así esos relojes que aún hoy admiramos en las torres de las catedrales y edificios públicos y cuyos especímenes más antiguos conservados son los de Salisbury (1386) por su carillón; el de Estrasburgo (1354) que introdujo las figuras móviles o autómatas y el de Munich. En España las fechas son más o menos las mismas que para el resto de Europa. En 1356 había ya un reloj mecánico en Perpiñán, mientras que en Barcelona no se consiguió hasta 1390 y el carillón correspondiente sólo se instaló tres años después.

Todo ello constituye un avance decisivo en el desarrollo de estos aparatos pues hasta entonces los únicos relojes utilizados habían sido los anafóri-

cos, como parece que lo fue el que Saladino regaló en 1232 al emperador Federico II. Era, según testimonios, "una máquina de construcción admirable que vale más de cinco mil ducados. Efectivamente, parecía por el interior un globo celeste, en el cual las figuras del Sol, de la Luna y de los demás planetas, reproducidas con la mayor habilidad, se movían accionados por pesas y ruedas de modo que, efectuando su recorrido a intervalos determinados, indicaba la hora tanto de noche como de día con infalible precisión; y los doce signos del zodiaco con ciertas características apropiadas, que se movían con el firmamento, contenían en ellos la marcha de los planetas".