

REAL ACADEMIA  
DE  
CÓRDOBA

COLECCIÓN  
RAFAEL CABANÁS  
PAREJA

I

**LAS CIENCIAS EN LA CÓRDOBA  
ANDALUSÍ**

J. ROLDÁN CAÑAS  
M.F. MORENO PÉREZ  
COORDINADORES



2019

# LAS CIENCIAS EN LA CÓRDOBA ANDALUSÍ



COORDINADORES

**JOSÉ ROLDÁN CAÑAS  
MARÍA FÁTIMA MORENO PÉREZ**

**REAL ACADEMIA  
DE CIENCIAS, BELLAS LETRAS Y NOBLES ARTES DE  
CÓRDOBA**

2019

**JOSÉ ROLDÁN CAÑAS**  
**MARÍA FÁTIMA MORENO PÉREZ**  
COORDINADORES

**LAS CIENCIAS EN LA CÓRDOBA  
ANDALUSÍ**

REAL ACADEMIA  
DE CIENCIAS, BELLAS LETRAS Y NOBLES ARTES DE  
CÓRDOBA

2019

## LAS CIENCIAS EN LA CÓRDOBA ANDALUSÍ

Colección *Rafael Cabanás Pareja, I*

Coordinador científico:

José Roldán Cañas, académico numerario

Coordinadora editorial:

María Fátima Moreno Pérez, académica correspondiente

Portada:

Azafea de Azarquiel que se exhibe en el Museo de la Calahorra de Córdoba y es una reproducción de la existente en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona

Con permiso de la Biblioteca Viva de al-Andalus

Fotografía de Manuel Sáez

© Real Academia de Córdoba

© Los Autores

ISBN: 978-84-120698-6-0

Dep. Legal: CO 1635-2019

Impreso en Litopress. edicioneslitopress.com – Córdoba

---

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del Servicio de Publicaciones de la Real Academia de Córdoba.

# *La astronomía y la aeronáutica*

---

**Manuel Sáez Cano**

Académico Correspondiente

Universidad de Córdoba

---

## **Resumen**

A comienzos del siglo VIII la Península Ibérica cae bajo el poder político de los árabes que ya dominan todo el norte de África. En el siglo siguiente los Omeyyas establecen el Emirato Independiente y empieza un desarrollo autónomo de lo que políticamente denominamos al-Andalus. Desde el punto de vista cultural se va apagando la influencia visigoda de los primeros tiempos y va siendo sustituida por las corrientes que proceden del oriente islámico, que en definitiva beben de la Grecia Clásica y Alejandrina. Tras el establecimiento del Califato Independiente, en el siglo X la ciencia andalusí va alcanzando cotas cada vez más altas y alcanza su apogeo, su Edad de Oro, durante el siglo XI, ya en época de los reinos de taifas. En este momento incluso se revierte, en ciertos casos, el flujo del conocimiento porque comienza a viajar de occidente a oriente. No hemos de olvidar el papel que juega al-Andalus en la transmisión de la ciencia y la cultura hacia el occidente cristiano, primero a través de la Marca Hispánica y más tarde por el trabajo realizado en la Escuela de Traductores de Toledo.

## **Palabras clave**

al-Andalus, Ibn Firnās, Maslama de Madrid, Astrolabio, Azarquel, Azafea, Lámina Universal, Alpetragio

## **Summary**

At the beginning of the 8th century the Iberian Peninsula comes under the political power of the Arabs that, at the time, dominates the North of Africa. In the following century the Umayyad dynasty established the Independent Emirate and an autonomous development begins in what is called al-Andalus by the muslims. From the cultural point of view the early visigothic influence is going to be substituted by the ideas coming from the Islamic orient, whose intellectuals' roots reached the Classical and Alexandrine Greece. After de rise of Umayyad Caliphate in Cordoba, during the 10th century the Science

done in al-Andalus becomes more and more sophisticated, coming to a Golden Age in the 11th century in the middle of the Taifas Kingdoms epoch. At this moment the usual flow of knowledge is reversed, some ideas now travel from the west to the east of the Muslim world. It has to be pointed out that al-Andalus had a central role in the transmission of science and culture to the Christian countries in Europe, first through the Marca Hispánica and later by the work done at the Toledo School of Translators.

### **Keywords**

al-Andalus, Ibn Firnās, Maslama al-Maʿrītī, Astrolabe, al-Zarqālī, Saphaea, universal plate, Alpetragius.

\*\*\*

## **1. La Antigüedad Clásica y el Islam**

Se podría pasar sin solución de continuidad del museo y la biblioteca de Alejandría, donde los griegos atesoraron su conocimiento científico y literario, fundada en el siglo III a .C por Ptolomeo I Sóter, heredero de Alejandro Magno, a *la Casa de la Sabiduría* de Bagdad fundada por al-Mamún en el siglo IX, el hijo de Harúm al- Rashid (Solís y Sellés, 2005). Esta afirmación es un poco exagerada por los doce siglos que median entre ambas instituciones y porque el museo de Alejandría fue cerrado en el año 391 por orden del emperador Teófilo. Lo que queremos establecer con esta afirmación es la continuidad entre los saberes que se desarrollaron en ambas instituciones, no sin importantes matices diferenciales. Nos vamos a ocupar solo de aquellas contribuciones que cobraron importancia en la historia de al-Andalus, nos vamos a referir a los estudios de Hidráulica, Neumática y Astronomía.

### **1.1. Hidráulica y Neumática**

Los griegos alejandrinos fueron muy hábiles en la construcción de mecanismos que hacían uso de la fuerza hidráulica tales como jeringas, bombas aspirantes e impelentes que podían hacer ascender el agua y que incluso llegaron a usarse en antiguos carruajes para bomberos. En el siglo III a.C. destacan Filón de Bizancio y Ctesibio.

El máximo exponente de esta escuela fue Herón de Alejandría en el siglo I d.C. que nos dejó los primeros ejemplos del uso de la fuerza del vapor tanto en la *eolipila*, que era una esfera que al expulsar vapor por dos conductos opuestos era capaz de girar a gran velocidad, como en

---

su aplicación para abrir las puertas de un templo al quemar las ofrendas en el altar situado en el exterior. También fabricó diversos autómatas en los que el uso combinado del agua y el aire podían hacer sonar un órgano con una melodía preprogramada o imitar los trinos y los movimientos de los pájaros. Esta afición por los autómatas se recoge rápidamente por los primeros sabios árabes tan pronto como en el 805 los hermanos Banu Musa publican su libro de mecanismos ingeniosos donde aparecen ingenios que se podrían calificar incluso de cibernéticos porque se ajustan a la finalidad que se les propone, por ejemplo, una lámpara capaz de regular automáticamente el nivel de aceite. El punto álgido se alcanza en el siglo XIII con al-Jazari que construye relojes mecánicos muy ingeniosos capaces de dar la hora en cualquier momento del día o de la noche, algunos de considerable tamaño como un famoso Reloj Elefante.

Todo este desarrollo intelectual vino por la necesidad de disponer de personas cultas para organizar el gobierno que se inicia con los Omeyas en Damasco y continúa con los Abasidas en Bagdad, para lo cual se hacen ayudar por los cristianos nestorianos que tras el Tercer concilio de Éfeso (431) abandonan Bizancio y se desplazan hacia el este a los actuales Siria e Irak, son valorados por sus conocimientos médicos que les acerca a la corte y puesto que dominan tanto el griego como el siríaco se inicia así una labor de traducción de textos griegos clásicos al árabe .

Aquí cabría entablar una discusión sobre la aceptación de las ciencias foráneas por parte del Islam. Los historiadores se dividen entre “la tesis de la marginalidad”, según la cual estas ciencias nunca se integraron profundamente en la cultura islámica llegando, incluso, a ser consideradas inútiles y peligrosas, y “la tesis de la apropiación”, según la cual gozaron de una recepción “razonablemente hospitalaria” llegando a estudiarse y cultivarse. Eso sí, aceptando actuar como siervas de las disciplinas tradicionales, algo no muy distinto de lo que ocurría en el mundo cristiano, donde la Filosofía Natural era considerada sierva de la Teología (Lindberg, 2002). De todos modos, no es posible dar una respuesta simple válida para cualquier tiempo y lugar. Baste recordar el gran adelanto que supuso para la Óptica el trabajo innovador de Alhacén (Ibn al-Haytam, Basora ca.965- El Cairo ca. 1040) que establece de forma definitiva que la luz procede de los objetos y es captada y enfocada por los ojos (“teoría de la intromisión”) frente a la entonces popular “teoría de la proyección”

fundada en la autoridad de Euclides según la cual era la emanación de un cono visual procedente del ojo un requisito previo para la visión.

Es obvio que las primeras obras en traducirse fueron las que el Islam puede utilizar como refuerzo de su Teología como la Lógica y la Metafísica de Aristóteles, luego están las que tienen un destacado valor práctico como las obras médicas y por supuesto las obras astronómicas que permiten fijar las horas de los rezos. Posteriormente, se traducen obras de química, física y alquimia donde los sabios árabes contribuyen de manera muy notable.

## 1.2. Astronomía Antigua

En la antigüedad se impone la idea de un Cosmos ordenado según esferas concéntricas con la Tierra en el centro partiendo de las ideas de Platón y que acabarían configurando el sistema Aristotélico-Ptolemaico. Conceptualmente el sistema es muy simple como podemos ver en la figura 1 que no procede de un tratado astronómico si no de un tratado místico de Ibn Arabi (1165-1240), *Las revelaciones de la Meca o al Fotubal al Makkiyyah*, donde se aprecia cómo las cuatro primeras esferas corresponden a los cuatro elementos de Empédocles: Tierra, Agua, Aire y Fuego al que Arabi denomina Éter que se correspondería más bien con la Quintaesencia de Aristóteles, y que marca la separación entre el mundo corruptible o sublunar y el mundo incorruptible o supralunar, a partir de ahí aparecen los cielos de los distintos planetas de la Luna, de Mercurio, de Venus, del Sol, de Marte, de Júpiter y de Saturno, por encima de éste último está el cielo de las estrellas fijas o de las estaciones contenido dentro del Cielo de las Torres Zodiacales para dar paso al Cielo Empíreo constituido por la Esfera del Pedestal Divino y la Esfera del Trono Divino. Este esquema podría colmar las aspiraciones místicas o religiosas, pero es difícil de ajustar a las observaciones astronómicas. Salvo la Luna y el Sol que casi se acomodan a una órbita circular alrededor de la Tierra los demás planetas tienen movimientos más complicados bien porque a veces se mueven de forma más rápida o más lenta e incluso en algunos momentos retroceden en su movimiento. Eudoxo de Cnido, discípulo de Platón, propuso un primer sistema de esferas homocéntricas que giraban según distintos ejes y distinta velocidad para ajustarse a las observaciones, de este modelo nos ocuparemos más adelante cuando hablemos de al-Bitruyi . En realidad, el modelo que se impone es el que propone Ptolomeo en el siglo II d. C en su obra *Mathematiké*

*sintaxis* que acabaría siendo conocido con el nombre que le asignarían los árabes: *El Almagesto*. En este libro se recoge toda la tradición astronómica griega en la que se van encontrando diversas soluciones para los problemas que vamos comentando, la primera para explicar las distintas velocidades de un planeta respecto a la Tierra es suponer que recorre una trayectoria circular con velocidad uniforme lo que para los griegos es un movimiento perfecto pero la Tierra no ocuparía el centro de esa circunferencia sino una posición excéntrica (ver figura 2), de este modo cuando el planeta pasa cerca de la Tierra su velocidad parece mayor. Pero para resolver el problema de las retrogradaciones, es decir de esos cambios periódicos del movimiento del planeta respecto a las estrellas fijas emplea un método muy ingenioso. Este consiste en que el planeta se mueve en un pequeño círculo llamado epiciclo cuyo centro gira con movimiento uniforme respecto al centro de la trayectoria que estaría ocupada por la Tierra es lo que se llama un modelo de epiciclo sobre deferente (ver figura 3). Este modelo basado en la composición de dos movimientos circulares y uniformes, aunque mantiene a la Tierra en el centro del círculo mayor el deferente, puede explicar tanto las variaciones de velocidad del planeta visto desde la Tierra como las retrogradaciones (ver figura 4). En efecto, cuando el planeta en su epiciclo está fuera del deferente su distancia a la Tierra es mayor porque es la suma de los radios del deferente y el epiciclo, por el contrario, cuando el planeta está por el interior del deferente la distancia es más pequeña porque es la diferencia de los radios del deferente y el epiciclo. Las dos situaciones descritas también se corresponden con el punto de mayor velocidad del planeta, cuando está por fuera, y con el punto de retrogradación. Siendo este sistema de una sofisticación apreciable era incapaz de dar cuenta fielmente de los movimientos observados en el cielo. Un último refinamiento (ver figura 5) consistió en abandonar la idea de un movimiento uniforme del centro del epiciclo con relación al centro del deferente y situar de nuevo a la Tierra en una posición excéntrica, de modo que ahora el movimiento uniforme del centro del epiciclo se produce desde un punto llamado ecuante que se sitúa en un punto simétrico respecto al ocupado por la Tierra, la distancia ecuante-centro y centro-Tierra son iguales. Este artificio era capaz de explicar las posiciones de los planetas con la precisión con la que podían medirse en la época y a la vez restituía el movimiento circular uniforme (aunque se apartaba de la idea platónica de perfección absoluta), no obstante, el sistema fue aceptado durante toda la Edad Media aunque

como veremos sufrió modificaciones, propuestas muchas de ellas por los sabios islámicos, porque el modelo permitía “salvar las apariencias”, es decir, obtener una explicación útil a efectos prácticos aunque pudiera ser rechazada desde la base de argumentos filosóficos sobre la perfección del Cosmos. En la figura 6 mostramos un esquema muy simplificado de las cinco primeras esferas.

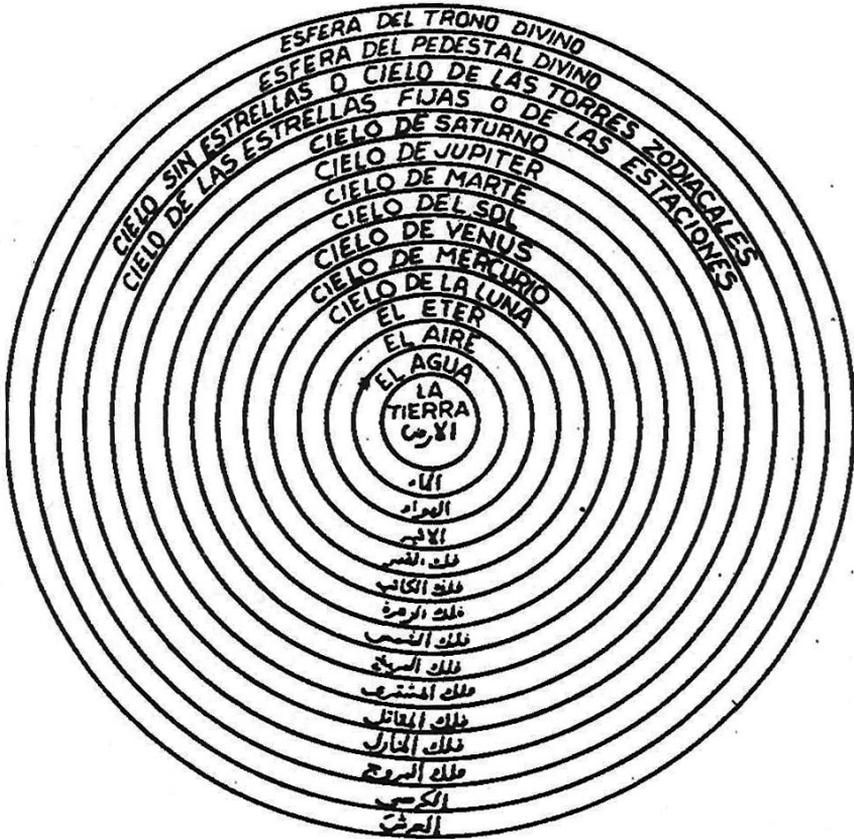


Figura 1. Representación del Cosmos de Ibn Arabi.  
(Tomado de Pérez Peinado, 2015)

Al final de este trabajo haremos algunos comentarios sobre la gran perspicacia que supone la idea del ecuante que acabaría recogida en la segunda ley de Kepler del movimiento planetario.

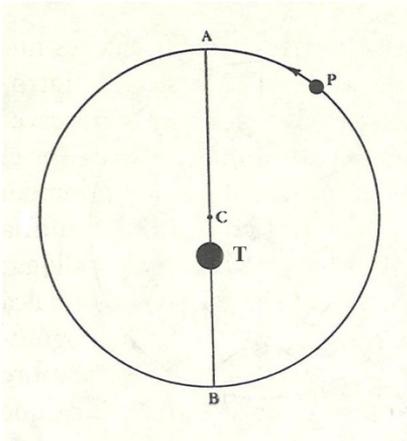


Figura 2. P: planeta, C: centro del epiciclo, T: Tierra

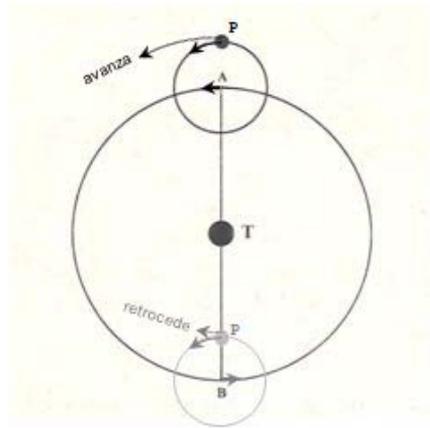


Figura 3. Modelo de epiciclo sobre deferente con la Tierra en el centro. El planeta avanza en A y retrocede en B, cuando está más cerca

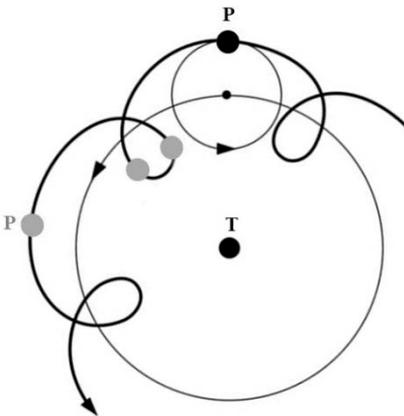


Figura 4. Mecanismo de las retrogradaciones

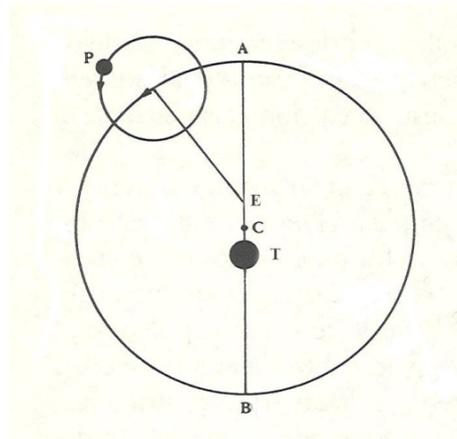


Figura 5. El ecuate (E) ocupa la posición simétrica a la Tierra (T) respecto al centro (C) del deferente

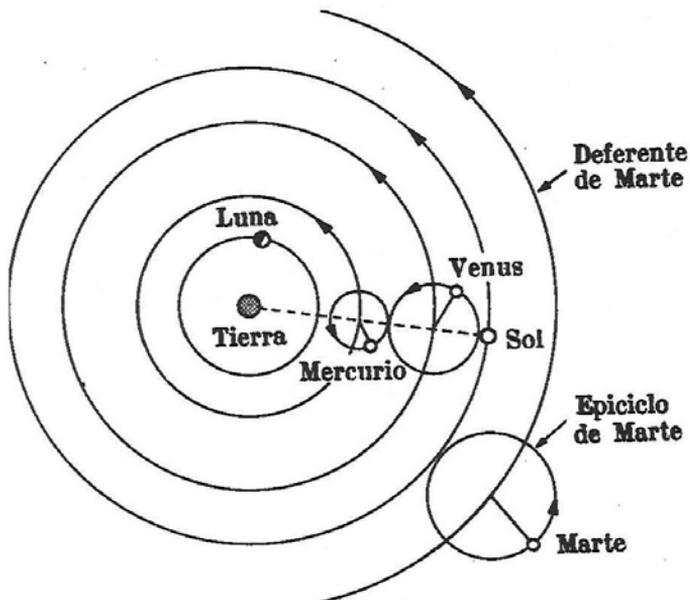


Figura 6. Esquema simplificado del sistema ptolemaico.  
(Tomado de Pérez Peinado, 2015)

## 2. El Emirato independiente (756-929)

Durante los primeros años posteriores a la conquista el interés por la ciencia no es representativo y la única ciencia conocida por los conquistadores fue la ciencia latina de los visigodos que seguramente extendió su influencia durante varios siglos, se suele citar en apoyo de esta idea que al-Bakri (1014-1094) en su magna obra sobre geografía, y dado que ha viajado poco fuera de Andalucía, utiliza al hablar de las islas Canarias la descripción que de ellas hace San Isidoro de Sevilla (Vernet, 1986).

Durante el reinado de Abd al-Rahman I (756-788) se iniciaron las traducciones del latín al árabe. Posteriormente se complementarían con las traducciones ya llevadas a cabo en Oriente. El astrólogo de al-Hakam I (796-822) Abd al-Wahid ben Ishaq al-Dabí tradujo del latín *El Libro de las Cruces* que propone un sistema de adivinación astrológica basado en la división del cielo en cuatro sectores por las líneas norte-sur y este-oeste, alcanzó una gran fama en su tiempo llegando a ser considerado el “Ptolomeo” de su época especialmente por su predicción del corto reinado de Hisam I.

Las primeras influencias científicas orientales llegan durante el reinado de Abd al-Rahman II (822-852). De este modo, se empiezan a conocer en al-Andalus el *Almagesto* de Ptolomeo o el *Sindhind* de al-Juwārizmī, en sus traducciones árabes, lo que eleva el nivel de los conocimientos astronómicos hasta las más altas cotas del momento. Además, a la corte de Abd al-Rahman II llegan algunos influyentes personajes procedentes de Bagdad como Yahya al-Gazal, Ziriyab, o Abbas ibn Firnās.

Nos detendremos un poco en la figura de Abu l-Qāsim Abbās ibn Firnās (Ronda, 810 - Córdoba 887). Llegó a Córdoba durante el reinado de Abd al-Rahman II, Pero alcanzó su esplendor durante el reinado de su sucesor Muhamad I (852-856). Desarrolló una técnica para tallar el cristal de roca, que fue muy bien acogida porque hasta entonces este trabajo solo se hacía en Egipto de modo que Córdoba entró en competencia con este tipo de artesanía. Entre sus inventos cabe destacar una clepsidra o reloj de agua llamada *al-Maqata Maqata*, en la mejor tradición alejandrina. Poseía también grandes conocimientos astronómicos siendo el primero en utilizar en occidente las tablas astronómicas del *Sindhind*. Construyó una gran esfera armilar para ayudarse en sus cálculos astronómicos, porque es un instrumento que permite resolver de modo analógico problemas en los que intervienen triángulos esféricos, como los necesarios para pasar de las coordenadas ecuatoriales de las tablas a las coordenadas horizontales definidas para un lugar de observación concreto. Instaló en su casa un planetario gigante que permitía hacer demostraciones de los movimientos de la esfera celeste y de los planetas (Vernet, 1970-1980).

El logro más conocido de Ibn Firnās fue el vuelo humano. En el 852 decidió lanzarse desde una torre de Córdoba con una enorme lona para amortiguar su caída, lo que le convierte en un precursor del paracaidismo. Algunas fuentes señalan que Ibn Firnās fue simplemente un espectador de este salto, que le inspirarían sus hazañas posteriores, aunque parece fuera de toda duda que el salto lo hizo él mismo. Años más tarde, en el 875, cuando ya contaba 65 años de edad, se hizo construir un armazón de madera que recubrió con seda para conformar unas alas que posibilitaran el vuelo y adornó el conjunto con unas plumas de rapaces. (Es esta una de las primeras noticias del uso de la seda en al-Andalus). Con este artilugio consiguió mantenerse en el aire durante unos diez segundos, lo que le permitió considerar ese intento como un éxito. No obstante, no había previsto la necesidad de usar una cola como timón, a semejanza de las aves, lo

que provocó que su aterrizaje fuese bastante brusco, provocándole fracturas en ambas piernas. Pero no salió muy mal parado porque aún vivió 12 años más. Un poeta menor, rival suyo en la corte; Mu'min ibn Said, le dedicó estos versos satíricos, que en realidad han servido para inmortalizar su hazaña:

«¡Quiso aventajar al grifo en su vuelo,  
y sólo llevaba en su cuerpo  
las plumas de un buitre viejo!».

Como afirma Philip Hitti en su *Historia de los árabes*: “Ibn Firnās fue el primer hombre en la historia de los árabes que realizó intentos científicos de volar” (Hitti, 1939). Pero tenemos que señalar que no solo fue el primer hombre en volar en la historia de los árabes sino en la historia de la humanidad, superando incluso a los griegos de Alejandría con su logro.

Hay que esperar hasta el siglo XI para encontrar un intento de vuelo humano en el occidente cristiano. Lo llevó a cabo un monje benedictino, Eilmer de Malmesbury, que, habiendo estudiado matemáticas y astronomía en la abadía inglesa de Malmesbury, y espoleado por sus lecturas de las leyendas de Dédalo e Ícaro, se construyó una primitiva "ala delta" con la que consiguió mantenerse unos segundos en el aire y recorrer unos doscientos metros tras lanzarse desde una torre de la abadía, aterrizando de forma bastante brusca pero sin consecuencias demasiado graves.

Cabría comentar un par de intentos posteriores. En primer lugar, el protagonizado por el turco Hezarfen Ahmet Celebi. Inspirado por las ideas de Leonardo da Vinci, se lanzó en 1638, desde la torre Gálata de Estambul logrando recorrer por el aire unos trescientos metros antes de aterrizar suavemente en el suelo. En segundo lugar, resulta interesante el vuelo protagonizado el 15 de mayo 1793 por Don Diego Marín Aguilera, vecino de Coruña del Conde, un pueblo cercano a Aranda de Duero. Tras una metódica y concienzuda investigación sobre el vuelo de las aves, construyó una máquina con la que se lanzó desde la colina en la que se asienta el castillo de la localidad volando unos trescientos metros y aterrizando sano y salvo. No pudo cumplir su sueño de utilizar aquel artilugio para visitar a sus parientes que vivían en localidades cercanas porque sus vecinos, movidos por la superstición, decidieron quemar aquella "máquina del diablo".

### 3. La ciencia durante el Califato

Los últimos años del siglo IX y los primeros del siglo X fueron una época convulsa poco favorable para el cultivo de la ciencia. Una larga guerra civil extendida por todas las provincias y especialmente por Andalucía estuvieron a punto de acabar con el emirato omeya. El ascenso al trono de Abd al-Rahman III en el 912 consigue revertir la situación y da comienzo una época de paz y prosperidad nunca vistas en al-Andalus. Finalmente, en el 929 se proclama Califa, con el nombre de *al-Nāṣir li-dīn Allah* (el que hace triunfar la religión de Alá), alejándose de la influencia de las dinastías orientales abasí y fatimí (Vernet, 1986)

El documento astronómico andalusí más antiguo del que tenemos noticia surge en torno al año 961, se trata del *Calendario de Córdoba* cuyos autores son el médico e historiador Arib Sā'id y el obispo mozárabe Rabī ibn Zayd, en él se recoge la astronomía necesaria para el culto islámico (el *miqāt*). Nos encontramos en pleno periodo de orientalización de la ciencia andalusí. En este mismo siglo X, Qāsim ibn Mutarrif al-Qattān publica el *Kitāb al-hay'a* el texto astronómico andalusí más antiguo en el que se da cuenta de un conocimiento muy preciso del sistema ptolemaico (Puig, 1992)

El gran impulsor de las ciencias y las letras en al-Andalus fue al-Hakam II, hijo del primer califa y que reinó entre el 961 y el 976. Él mismo fue gran humanista e impulsó los planes de estudios más avanzados de la época que comprendían materias tan variadas como la lógica, la filosofía, la medicina, la aritmética, la geometría, la astronomía, la música, la mecánica y la alquimia. (Nótese el parecido de algunas de las materias con las que luego configurarían el *trivium* y el *quadrivium* en el medievo cristiano). Con al-Hakam II se inicia la transferencia del saber árabe hacia el occidente cristiano. En torno al 940 el futuro obispo de Gerona, Gomar II, acude a Córdoba como representante del Conde de Barcelona, y es el que introduce los conocimientos astronómicos árabes en el mundo cristiano. Las posteriores migraciones de monjes mozárabes a la Marca Hispánica son otra vía de intercambio cultural, como se describe en el manuscrito 225 del monasterio de Ripoll estudiado por Millás (Vernet 1986).

La *fitna*, guerra civil que comenzó con la destitución de Hisham II en el 1009 y que se prolongó durante 22 años, periodo en el que se sucedieron hasta diez califas, puso fin al califato de Córdoba. Quedo

éste dividido en casi cuarenta taifas. El último califa en ser depuesto fue Hisham III en el año 1031, proclamándose la taifa de Córdoba que dura hasta 1070, fecha en la que es conquistada por el rey al-Mu'tamid de Sevilla.

No obstante, esta época de las taifas no supone un retroceso cultural, pues suelen rivalizar para atraer a los mejores intelectuales a sus cortes. Algunos reyes de taifas, como el ya citado al-Mu'tamid de Sevilla, son grandes mecenas de las artes y de las ciencias. Es de destacar el rey al-Muqtadir de Zaragoza que fue un buen matemático, dejándonos el *Kitab al-iskimal o Libro de la perfección*, del que José Diz se ocupa en otro capítulo de este libro.

### 3.1. Maslama de Madrid

Âbû-l-Qâsim Maslama ibn Âhmad al-Faradi al-Hasib al-Qurtubî al-Maÿrîti o simplemente Maslama de Madrid (Madrid, c. 950-Córdoba, c. 1007) fue uno de los intelectuales de mayor reputación del Califato de Córdoba.

Maslama se trasladó muy joven a Córdoba donde siguió estudios de matemáticas y astronomía en los que rápidamente destacó. Maslama consiguió crear escuela rodeándose de numerosos discípulos aventajados. Citemos que por estas mismas fechas Albucasis se encontraba en Córdoba estudiando medicina llegando a ser uno de los más destacados médicos andalusíes, como se describe en otro capítulo de este libro.

Lo primero que escribió fue un tratado de aritmética comercial, que no se conserva, *Kitâb al mu'âmalât*, donde además de las operaciones elementales se tratan las raíces cuadradas y problemas de herencias y repartos y, tal vez, algo de álgebra.

En lo que aquí más nos interesa hemos de señalar que realizó numerosas observaciones astronómicas propias lo que le permitió hacer una revisión de las tablas del *Sindhind* de al-Juwarizmi adaptándolas al calendario musulmán de 354 o 355 días en detrimento del persa de 365. desplazó la fecha rādix de las tablas al momento de la Hégira (14/07/622). También modificó el meridiano de referencia usado por al-Juwarizmi, el de Arín, por un meridiano situado al oeste de las Islas Canarias, conocido como "meridiano del agua", que fue de uso común entre los astrónomos magrebíes y andalusíes (Dorce, 2008)

Modificó las tablas de conjunciones y oposiciones de la Luna y el Sol, que permiten conocer las fases lunares y las posibles fechas de los

eclipses, adaptándolas al calendario musulmán y a la longitud geográfica de Córdoba.

Finalmente señalemos otra de sus contribuciones más importantes, su *Comentario al Planisferio de Ptolomeo*. En este tratado se estudia la proyección estereográfica, que es un método que permite proyectar, o traspasar, puntos o figuras dibujados sobre una esfera a un plano. Esta técnica es fundamental para obtener representaciones planas de la esfera celeste, es decir, para construir cartas astronómicas y, como veremos más adelante, astrolabios.

Lo que consiguió Maslama fue simplificar muchos de los cálculos necesarios para obtener la proyección estereográfica. Introdujo tres nuevos procedimientos para dividir la proyección de la eclíptica sobre el plano, que se añadían a los dos propuestos por Ptolomeo; otros tres para la proyección del horizonte. Calcula las posiciones de las estrellas fijas haciendo uso de las coordenadas ecuatoriales, eclípticas y horizontales. Utiliza el teorema de Menelao para resolver triángulos esféricos rectángulos, que se necesitan para declinaciones, ascensiones rectas y el acimut de ortos y ocasos estelares (Dorce, 2008). Las innovaciones que introduce simplifican en gran medida el diseño de astrolabios, unos instrumentos de observación y cálculo, que, aunque fueron concebidos originalmente en Alejandría, encuentran un gran desarrollo con las contribuciones de los astrónomos islámicos y andalusíes en particular. Dedicaremos el próximo apartado a una descripción de tan singular instrumento.

### 3.2. El astrolabio

El astrolabio es un instrumento de cálculo y observación construido generalmente en latón. La palabra astrolabio deriva del griego *ἀστρολάβιον*, compuesta por *ἀστρο* (astro) y *λάβιον* del verbo *λαμβάνειν* (tomar), es pues un instrumento que sirve para tomar (la altura angular) de las estrellas: un buscador de estrellas. En árabe se denomina *al-Asturlāb*.

Podríamos utilizar representaciones del cielo sobre una esfera, pero esto hace que el instrumento sea poco práctico y difícil de transportar. Es preferible usar una representación plana del cielo. Lo primero que se necesita es un método geométrico para trasladar de una forma lo más realista posible los puntos situados sobre una esfera a un plano, lo que se consigue mediante la proyección estereográfica (ver figura 7). Se trata de llevar los puntos situados sobre la esfera al plano del ecuador trazando una recta desde el punto en cuestión hasta el polo

Sur celeste. El punto en el que esta recta corta al plano del ecuador es su proyección estereográfica. De este modo el polo Norte celeste se proyecta en el centro del círculo del ecuador; cualquier punto situado en el hemisferio Norte acabará proyectándose dentro del círculo ecuatorial; los puntos del hemisferio Sur lo hacen por fuera de este círculo. En la práctica no se proyectan puntos que estén más al sur que el trópico de Capricornio ( $23,5^\circ$  de latitud sur), que constituye la circunferencia exterior del astrolabio.

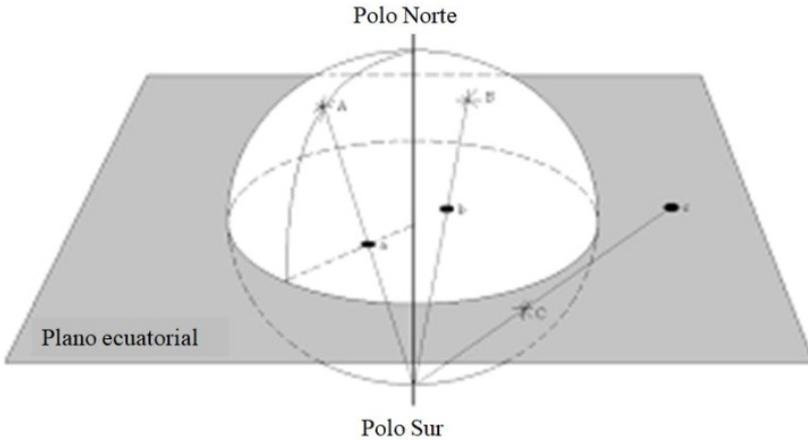


Figura 7. Proyección estereográfica

Una propiedad interesante es que en una proyección estereográfica los círculos dibujados sobre la esfera se transforman en círculos sobre el ecuador. En el caso de los paralelos celestes son concéntricos con el ecuador. Otro punto de interés es la proyección del cénit del observador sobre el plano del ecuador. Alrededor de este punto se van dibujando las líneas de altura constante, los almucantaraces, que sobre la esfera celeste son círculos similares a los paralelos, pero construidos alrededor del cénit, que son circunferencias, aunque ahora no son concéntricas; la última que se dibuja es el horizonte del lugar. Finalmente, otra circunferencia importante es la proyección de la eclíptica, se extiende entre las proyecciones de los trópicos de Cáncer y Capricornio (ver figura 8).

Todas estas líneas, salvo la eclíptica, se dibujan sobre la llamada *lámmina* del astrolabio, normalmente de 5 en 5 grados. Como incluye la posición del cénit, cuya altura sobre el horizonte es precisamente la latitud del lugar, hay que grabar una lámina para cada latitud en la que

se quiera utilizar el astrolabio. Por esta razón los astrolabios solían venir acompañados por varias láminas.

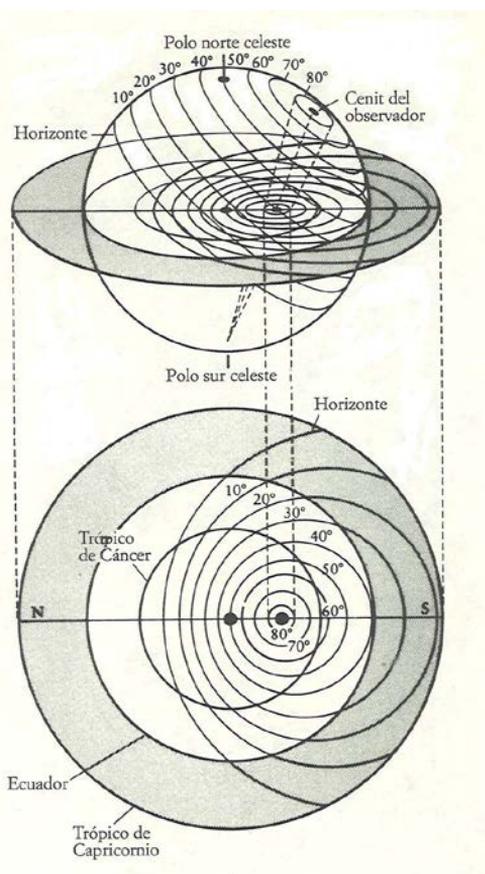


Figura 8. Proyección estereográfica de paralelos celestes y almucantaraces (Tomado de Lindberg, 2002)

Las distintas partes del astrolabio se pueden ver en la figura 9. Son las siguientes:

- *La madre*. Es la base sobre la que se construye el astrolabio. Tiene un reborde llamado *corona* que permite alojar en su interior las *láminas* y la *araña*. El borde de la *corona* lleva grabada una escala de 360°. El interior de la *madre* puede estar en blanco o llevar *marcas* similares a las de una lámina. En la parte superior hay una anilla o colgadero que sirve para suspender verticalmente el instrumento, la anilla se une a la madre mediante una pieza llamada *trono* de forma aproximadamente triangular y ricamente decorada.

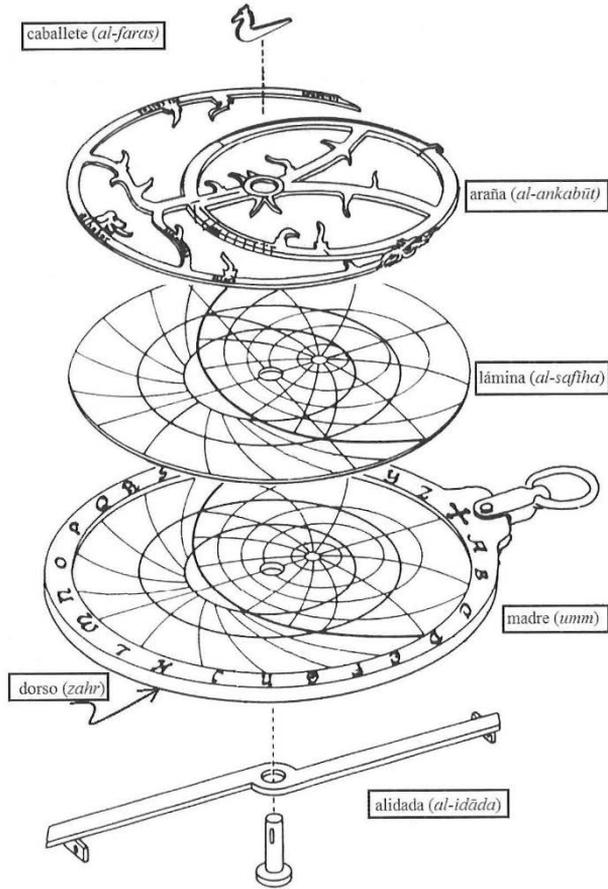


Figura 9. Partes de astrolabio (Tomado de Hernández Pérez, 2015)

- *La araña.* Es la pieza más característica y más artística de un astrolabio. Se sitúa sobre la *lámina* y puede girar alrededor de su centro, que es la proyección del polo celeste. Es un mapa celeste en el que unos punteros de formas diversas, normalmente como pequeñas flámulas, marcan la posición de una veintena de estrellas brillantes. Su círculo exterior es el Trópico de Capricornio. El *anillo de la eclíptica* es tangente al círculo de Capricornio, está dividido en 12 partes correspondientes a los signos zodiacales.
- *El dorso.* Es la parte trasera de la *madre*. En su parte exterior llevan una escala de grados sexagesimales de 5° en 5° que van de 0° en el diámetro horizontal a 90° en el vertical, que se repite en el lado izquierdo y en la parte inferior. Se pueden hacer así medidas de la altura del Sol, de las estrellas o de accidentes topográficos,

con la ayuda de la *alidada* de pínulas situada en la parte trasera. En la mitad inferior se encuentra el *cuadrado de sombras*, donde puede leerse la *umbra recta* y la *umbra versa* (lo que hoy llamaríamos tangentes y cotangentes) y que se utilizan en medidas topográficas. La *umbra recta* es la relación entre la longitud de un poste clavado verticalmente en el suelo y la longitud de su sombra para una altura dada del Sol, y la *umbra versa* lo mismo para una varilla clavada a una pared. Los astrolabios andalusíes incorporan un *calendario zodiacal* que da la longitud del Sol para cada fecha del año, para lo que también se usa la *alidada*.

El astrolabio tenía una serie de usos muy variados:

- Determinación de la hora tanto de día como de noche, para lo que hay que medir la altura del Sol o de una estrella y luego haciendo uso de la araña llevar el astro en cuestión a la altura medida.
- Establecimiento de la hora del orto y ocaso de las estrellas o de las salidas y puestas del Sol.
- Cálculos calendáricos: altura del Sol o de las estrellas que aparecen en la araña, establecimiento de las solsticios y equinoccios.
- Medidas geográficas como la determinación de la latitud, midiendo la altura del polo Norte celeste usando las estrellas circumpolares.
- Altimetría y Planimetría: medida de la altura de un edificio, de la profundidad de un pozo, de la anchura de un río, de desniveles del terreno, de la pendiente de los *qanats*... (ver figura 10)

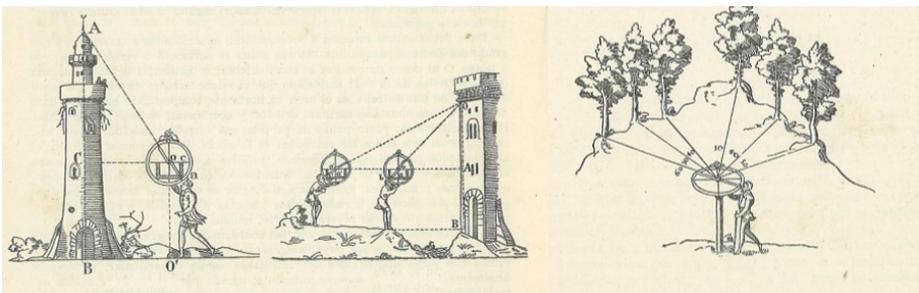


Figura 10. Uso topográfico del Astrolabio  
(Tomada de García Franco, 1945)

El astrolabio andalusí más antiguo que se conserva en España es el construido por *Ibrāhīm ibn Saīd al-Sfalī* en Toledo en el año 1067. Incorpora un calendario perpetuo en el *dorso* según el Tratado del

Astrolabio de *ibn al-Şaffār*. Está expuesto en el Museo Arqueológico Nacional (ver figura 11).



Figura 11. Astrolabio andalusí conservado en el Museo Arqueológico Nacional (Fotografía M. Sáez)

### 3.3. Azarquiel

Abū Ishāq Ibrāhīm ibn Yaḥyā al-Naqqāsh al-Qurtubī al-Zarqālluh (Toledo, c. 1029 - Córdoba, 1100), conocido habitualmente como Azarquiel, puede ser calificado como el más grande de los astrónomos hispanos de todos los tiempos (Claret, 2003). Su nombre ya nos da información sobre el personaje. Su *kunya* nos informa de que su hijo

mayor se llamaba Ishāq y de que su nombre de pila es Ibrāhīm (Abraham); su padre Yaḥyā era cincelador o grabador de instrumentos astronómicos (al-Naqqāsh) y era natural de Córdoba (al-Qurtubī); Finalmente su *laqab* o apodo nos indica que él o su padre tenían los ojos azules (al-Zarqālluh). (Dorce, 2008). Por lo tanto, a Azarquiel lo conocemos por su apodo. En cuanto a su lugar de nacimiento se duda entre Córdoba, como su padre, o Toledo como lugar más probable (Calvo, 2011), de hecho, es posible que su padre, dada su profesión, se trasladara a Toledo y allí naciera su hijo.

El judío toledano Ishaq Israelí nos ofrece la mejor semblanza biográfica de Azarquiel: "Al principio no era más que un hábil artista o forjador en hierro o metal y que trabajaba en la confección de los instrumentos astronómicos que le encomendaban los sabios musulmanes y judíos de la ciudad de Toledo, a la cabeza de los cuales estaba Ibn Saʿīd, verdadero mecenas por su generosidad protectora. Nuestro Azarquiel sorprendió a aquellos sabios -a las órdenes de los cuales trabajaba- por su gran destreza e ingenio en la construcción de los instrumentos que le encargaban, y más por deberlo solo a sus dotes naturales, pues no tenía una preparación científica. Visto lo cual se le facilitaron a Azarquiel las obras de los antiguos autores, las que con gran facilidad asimiló, de modo que ya en adelante no solo pudo construir muy exactamente los instrumentos que se le encomendaban, sino que aún hizo otros que a aquellos primeros sabios no se les hubiera ocurrido, De esta manera Azarquiel se convirtió casi en un maestro en aquella sociedad de sabios de Toledo, con los cuales durante muchos años siguió observando los movimientos astronómicos" (Millás, 1993)

Por su parte el cadí Saʿīd de Toledo, al que ya nos hemos referido, nos dice de él que era: "el más sabio de todos en la ciencia del movimiento de los astros y de la constitución de las esferas *es Abu Ishaq Ibrahim b. Yahya, el cincelador, el conocido por el hijo de Zarquel; él es el más eminente entre la gente de nuestro tiempo en las observaciones astronómicas y en la ciencia de la estructura de las esferas y en el cálculo de sus movimientos, y es el más sabio de todos ellos en la ciencia de las tablas astronómicas y en la invención de instrumentos para la observación de los astros.*" (Claret, 2012)

No fueron solo los instrumentos, las observaciones y las tablas astronómicas los trabajos en los que nos demostró su maestría, vamos a comenzar refiriendo un logro sorprendente que tiene que ver con la medida del tiempo. Se trata de la construcción de dos piscinas que se llenaban y se vaciaban siguiendo las fases de la Luna. Cada día la

piscina se llenaba o se vaciaba un catorceavo de su capacidad. Lógicamente se llenaba con la fase creciente de la Luna y se vaciaba durante el menguante lunar, pero lo hacía de tal modo que el caudal de llenado o vaciado se regulaba de modo que el nivel de las piscinas fuera siempre el requerido. El geógrafo granadino al-Zuhrî quedó impresionado por los dos relojes de agua "que se llenaban de agua o se vaciaban del todo según el creciente y menguante de la Luna". No han llegado hasta nosotros y de hecho uno de ellos fue desmontado hacia 1133 para descubrir los secretos de su funcionamiento y luego fue imposible de reconstruir.

Azarquiel pasó los últimos años de su vida en Córdoba, que en esta época pertenecía a la taifa de Sevilla en la que reinaba al-Mu'tamid. Salió de Toledo antes de que fuese conquistado en 1085 por Alfonso VI. Sus últimas observaciones astronómicas las hizo en Córdoba hacia el año 1088, mientras que la mayor parte de sus observaciones las realizó en Toledo en tiempos de al-Ma'mum. Murió en Córdoba el 15 de octubre del año 1100 (Millás, 1993).

Enumeremos las obras escritas por Azarquiel:

1. *Tablas toledanas*. Recopilación de observaciones entre 1069 y 1070
2. *Almanaque*. Un almanaque perpetuo basado en los ciclos de los planetas.
3. *Tratado relativo al movimiento de las estrellas fijas*. Tres teorías de la trepidación, el cambio secular de la oblicuidad de la eclíptica
4. *Summa referente al movimiento del Sol*. Estudia la variación del apogeo solar.
5. *Tratado de la azafea*. Un instrumento diseñado por él.
6. *Tratado de la lámina de los siete planetas*. Junto a la obra de Ibn al-Sahm es precursora de los ecuatorios renacentistas europeos.
7. *Tratado de la esfera armilar* (atribuido) incluido en el *Libro de las Armellas* de Alfonso X el Sabio
8. *Influencias y figuras de los planetas*. Un tratado mágico menor

Las *Tablas toledanas*, permiten calcular las posiciones planetarias y otros fenómenos astronómicos futuros, las llamadas efemérides astronómicas, referidas a la posición geográfica de Toledo. Las debió de elaborar un equipo de astrónomos dirigidos por Azarquiel. Se construyen siguiendo la influencia de al-Juwarizmi y al-Battani y adaptando la teoría de la trepidación de los equinoccios de Ibn Qurra. No se conserva el original para hay muchas copias entre ellas la latina de Gerardo de Cremona. Influyó en muchas tablas posteriores, como

las de Marsella, y sobre todo sirvieron como base para las *Tablas alfonsíes*, que se elaboran bajo el mecenazgo de Alfonso X el Sabio y que estuvieron en vigor hasta bien entrada la Edad Moderna.

El *Almanaque* se basa en la idea de que dado que los movimientos planetarios son periódicos cualquier configuración planetaria acabaría repitiéndose si se espera el tiempo suficiente, que es el mínimo común múltiplo de todos los periodos. Será un tiempo muy largo, pero puesto que se repite nos permite fabricar unas tablas perpetuas para conocer las posiciones planetarias. Es una idea antigua que se remonta a los babilonios que ya habían establecido, por ejemplo, el ciclo de Saros de 52 años que representa el periodo de repetición de los eclipses solares y lunares.

El *Tratado relativo al movimiento de las estrellas fijas* es una obra que conocemos gracias a la traducción que Samuel ben Yehuda hizo al hebreo. Es un estudio de la precesión de los equinoccios y sus variaciones seculares que se venían observando desde que Hiparco de Nicea descubriera y describiera correctamente el fenómeno en el siglo II a.C. En el equinoccio de primavera el Sol se encuentra en el llamado punto Aries, que es la intersección entre la eclíptica (la trayectoria aparente del Sol en la esfera celeste) y el ecuador, este punto se desplaza a razón de 1° cada 76 años sobre la eclíptica (El ecuador tiene un movimiento de bamboleo respecto a la eclíptica similar a la de una moneda puesta a girar sobre una mesa). Azarquiel construye hasta tres modelos para explicar la precesión y la trepidación usando unos epiciclos situados en el plano del ecuador o en el plano perpendicular y definiendo la posición del polo de la eclíptica.

La *Suma referente al movimiento del Sol* tampoco se ha conservado, pero tenemos numerosas referencias de la misma incluidas las que el propio Azarquiel nos dejó en su *Tratado relativo al movimiento de las estrellas fijas*. Realizó observaciones del Sol durante veinticinco años ayudado por un escogido grupo de colaboradores y utilizando una serie de instrumentos diseñados exprofeso para esta tarea. Consiguió demostrar que el apogeo solar, el punto de su órbita aparente en que el Sol está más lejos de la Tierra, no tiene una posición estacionaria, como se creía entonces, sino que se desplaza 1° cada 279 años, es decir, 12" de arco por año. Este descubrimiento alcanzó una rápida difusión, en Europa y lo hizo gracias al *Epitome in Almagestum* de Regiomontano (1498) y al *Revolutionibus* de Copérnico (1543).

En el *Tratado de la azafea o al-Safiha al-Zarqāliyya* (azafea zarqueliana), Azarquiel describe un nuevo tipo de astrolabio de su invención que vino a resolver un problema del que los astrolabios adolecían. En efecto, los astrolabios clásicos necesitan una lámina diferente para cada latitud porque se basan en una proyección estereográfica desde el polo sobre el plano horizontal y, como es sabido, la altura angular del polo sobre el horizonte cambia con la latitud (de hecho, es igual a la latitud). Azarquiel resuelve el problema usando un plano y unos puntos fijos en la esfera celeste, lo que convierte al instrumento en un astrolabio universal, es decir, independiente de la latitud. El plano elegido es el coluro de los solsticios, un plano que pasa por el polo norte celeste y por los puntos del solsticio de verano (Cáncer) y del solsticio de invierno (Capricornio) y los puntos para hacer la proyección son el punto Libra (equinoccio de otoño) o el punto Aries (equinoccio de primavera), ambos puntos dan proyecciones simétricas. De este modo el ecuador y la eclíptica se proyectan como líneas rectas. En la figura 12 el ecuador es la línea horizontal y la eclíptica es la inclinada, se añaden las proyecciones de los meridianos y paralelos de cinco en cinco grados y otras líneas que parten de los polos de la eclíptica.

El instrumento sirve para calcular las coordenadas horizontales de un astro cuando se conocen las ecuatoriales, o para calcular la posición del Sol respecto al horizonte cuando se conoce su posición sobre la eclíptica, dato éste que se puede leer en el dorso de la azafea. En el dorso hay un calendario zodiacal que da las fechas de entrada del Sol en los distintos signos zodiacales, la habitual tabla de sombras y una corona externa dividida en 360° que con ayuda de una alidada de pínulas permite medir ángulos.

Azarquiel construyó dos tipos de azafeas:

- la *al-safiha al-šakkāziyya*, dedicada al rey al-Ma'mūn de Toledo (*ma'mūniyya*) construida hacia 1040,
- la *al-safiha al-zarqāliyya* dedicada al rey al-Mu'tamid ibn 'Abbad de Sevilla (*abbādiyya*), de construcción posterior.

Sólo se conservan tres azafeas del tipo *šakkāziyya* y cuatro *zarqāliyyaz*, lo que parece indicar que se construyeron muy pocas, seguramente porque eran más difíciles de manejar que un astrolabio tradicional. Al carecer de araña el movimiento de la esfera celeste deja de ser intuitivo e incluso desde el punto de vista puramente ornamental son menos atractivos.

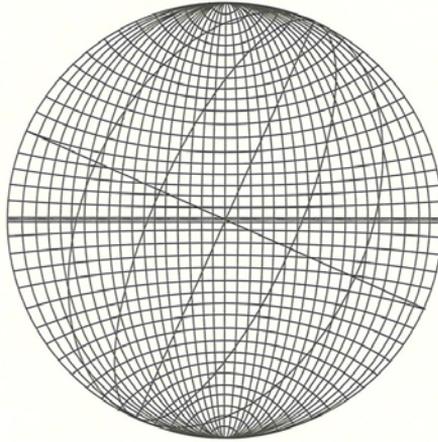


Figura 12. Representación esquemática de la faz de la azafea  
(Tomado de Dorcel, 2008)

En la portada de este libro se reproduce el dorso de una *zarqāliyya* que se encuentra expuesta en la Torre de la Calahorra de Córdoba que es una reproducción de la original construida en Murcia por Muḥammad ibn Muḥammad ibn Huḍayl en 1252/53 y que se conserva en la Academia de las Artes y las Ciencias de Barcelona. Su faz es algo más completa de lo que se observa en el esquema de la figura 13.

En su periferia presenta una corona dividida en 72 partes y otra más interior dividida en 360°, por encima de ellas hay escritas, en bellos caracteres cúficos, cifras de cinco en cinco hasta el noventa. Sobre la doble red de arcos se han marcado las posiciones de 20 estrellas brillantes usando el símbolo solar, ☉, y añadiendo su nombre (García Franco, 1945). Véase la fotografía de la figura 14.

Alfonso X el Sabio mandó hacer dos traducciones de este tratado. La segunda y más completa está incluida en los *Libros del Saber de Astronomía*, redactados entre 1276 y 1279, donde aparece en el libro sexto: *Libro de la aḥṣāfeha*.

Con la azafea se invierte el sentido de la transferencia de conocimiento científico en el mundo musulmán. Ahora es un descubrimiento del occidente andalusí el que se difunde hacia oriente. Según el testimonio de Ibn al-Qifī (ca.1172, 1258): “*cuando el conocimiento, de la azafea de Azarquiel se extendió entre los sabios de Oriente, quedaron estupefactos y no pudieron comprenderla sino con la ayuda de Dios*” (Claret, 2003).

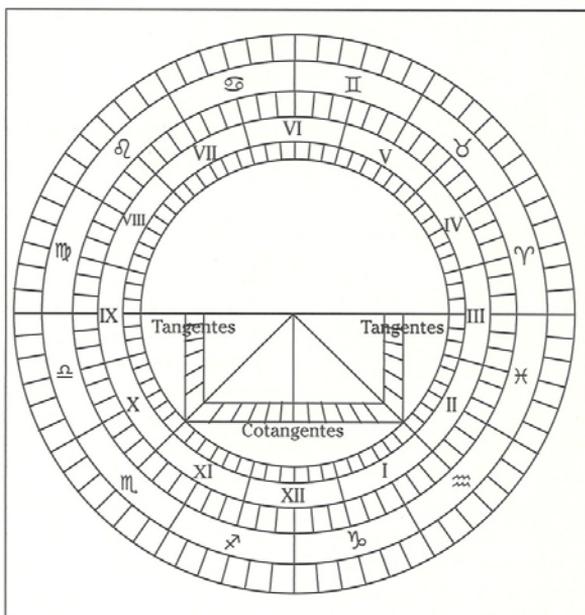


Figura 13. Representación esquemática del dorso de la azafea (Tomado de Dorcel, 2008)

El *Tratado de la lámina de los siete planetas* es una obra que también aparece recogida en los *Libros del Saber de Astronomía* como libro octavo. Lo más llamativo, y que ha hecho correr ríos de tinta, es que en él se representa la órbita, o mejor el deferente, de mercurio como un óvalo, apartándose, por lo tanto, de la ortodoxia aristotélico-ptolemaica de los círculos (ver figura 15). Se ha querido ver en ello una anticipación a las órbitas elípticas de Kepler, aunque resulta ser esta una afirmación bastante controvertida.

De lo que no cabe ninguna duda es que podemos considerar a esta obra como precursora de los ecuatorios renacentistas europeos, a la que habría que añadir los estudios de Ibn al-Sahm, un discípulo de Maslama de Madrid, sobre el mismo tema. Un ecuador es una plasmación física en metal, o incluso en cartón, de los deferentes y epiciclos de las teóricas planetarias. Pueden moverse de tal modo que indiquen la posición de un planeta en una fecha determinada (ver figura 16).

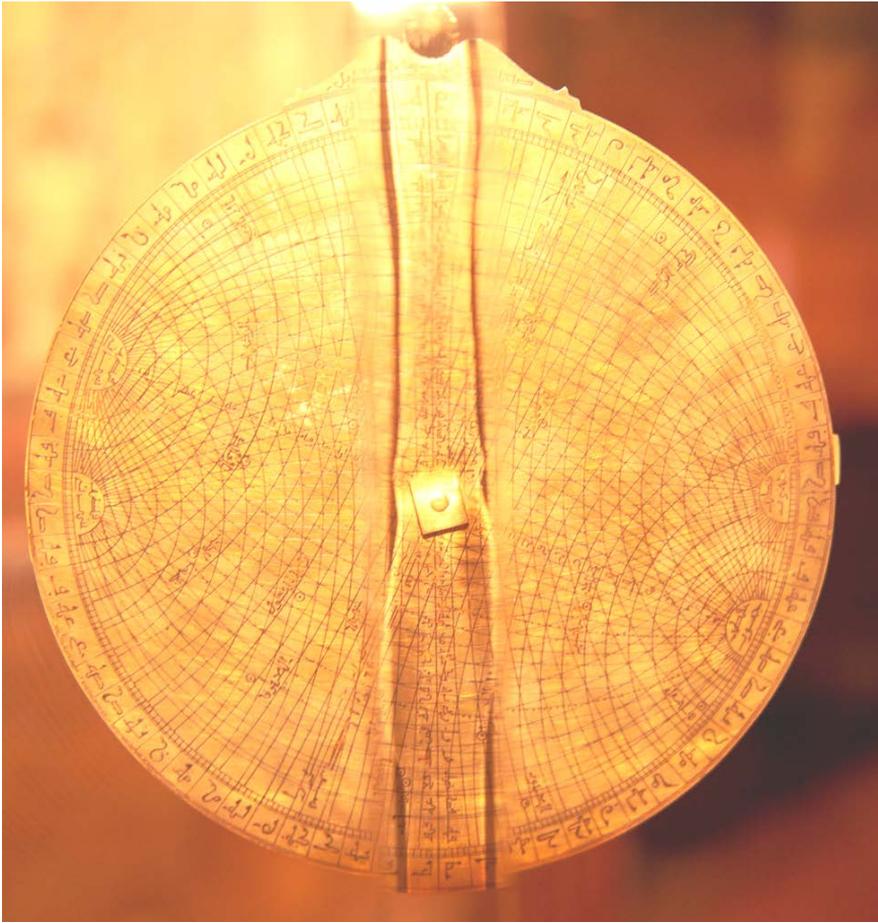


Figura 14. Faz de la Azafea de Azarquiel expuesta en la Torre de la Calahorra de Córdoba. Con permiso de la Biblioteca Viva de al-Andalus. (La deformación en el centro de la imagen se debe al soporte de metacrilato) (Fotografía M. Sáez)

### 3.4. La Lámina Universal.

En el Toledo del siglo XI, ‘Alī ibn Jalaf, contemporáneo de Azarquiel, desarrolló otro tipo de astrolabio universal, al que conocemos por Lámina Universal, *al-asṭurlab al-ma’mūni* o almemonía, que terminó de construir en 1171/72. La solución que adoptó fue utilizar una araña con una mitad análoga a la de un astrolabio tradicional, con sus típicos marcadores estelares, y la otra mitad similar a las de una *šakkāziyya*, incorporando además una lámina que reproduce las curvas de la faz de la *šakkāziyya*.

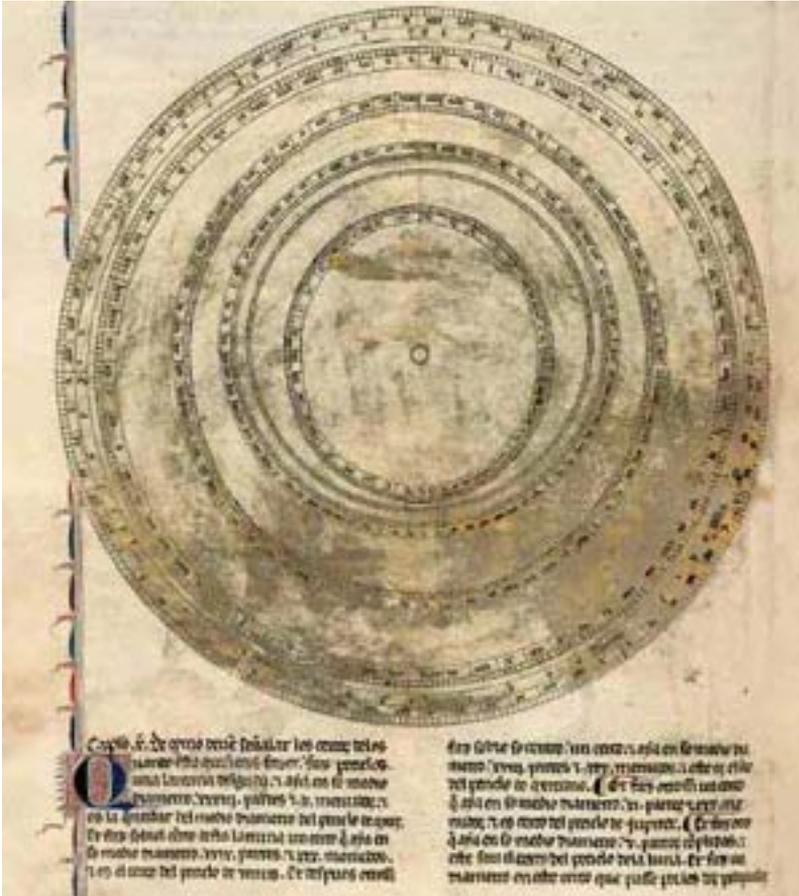


Figura 15. Tratado de la Lámina de los Siete Planetas de Azarquiel donde aparece la órbita de Mercurio como una figura ovalada. Libros del Saber de Astronomía de Alfonso X el Sabio (Tomada de Claret, 2003)

No se conserva ninguna *Lámina Universal* andalusí, pero la conocemos en detalle gracias al libro quinto de *Los libros del saber de Astronomía*: el *Libro de la Lámina Universal*. También influyó en la obra del matemático inglés John Blagrove *The Mathematical Jewel* de finales del siglo XVI. No podemos pasar por alto la gran contribución del astrónomo nazarí Ibn Bāšo que inventó la *Lámina General para todas las Latitudes* en el año 1274/75 en la que reúne las contribuciones de Azarquiel, Ibn Jalaf y de Ḥabaš al Ḥāsib (m. ca. 864) inventor de la *Lámina de Horizontes*. La *Lámina* de Ibn Bāšo se incorporó a un buen número de astrolabios andalusíes y del Islam

oriental y que en Europa atrajo la atención de Blagrove y Regiomontano.

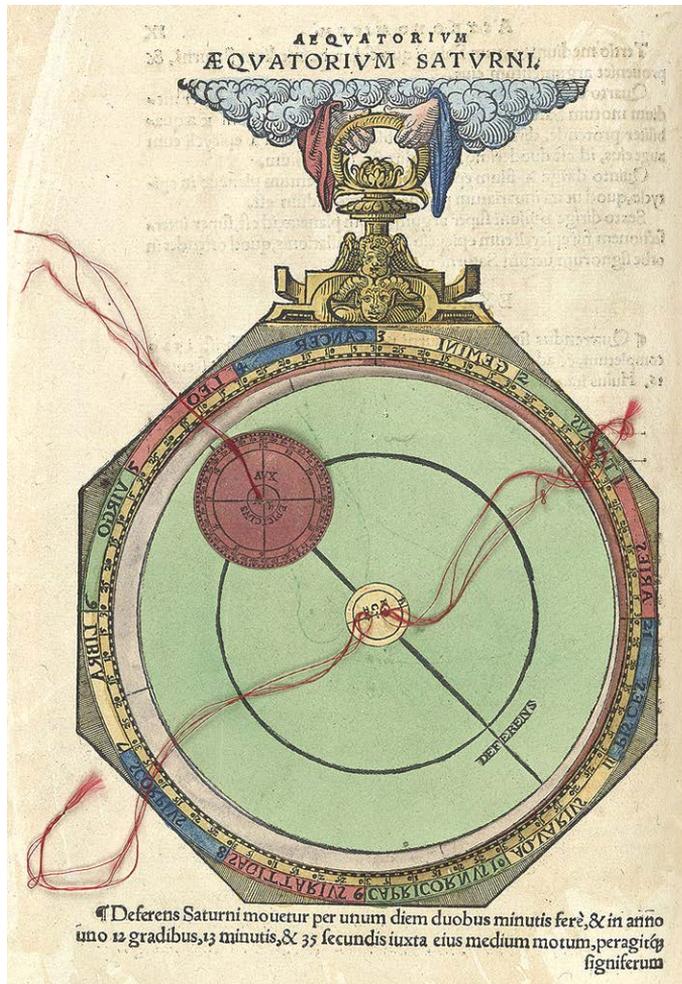


Figura 16. Ecuatorio mostrando la órbita de Saturno de Johannes Schöner (1477-1547) (Fuente: Wikipedia, dominio público)

Para ilustrar la *Lámina Universal* de Ibn Jalaf he elegido un astrolabio cuya araña es idéntica, aunque difiere en otros aspectos, y que fue construido por Ibn al-Sarraj de Alepo (Siria) en 1328/29. Según David King (King, 2005) "*es sin lugar a dudas el instrumento astronómico más sofisticado que nos ha llegado desde la Edad Media y probablemente el más sofisticado de los construidos entre la*

*Antigüedad y 160"*. Este astrolabio se encuentra actualmente en el Museo Benaki de Atenas. La fotografía que aparece en la figura 17 la hizo el autor de estas líneas cuando el instrumento estuvo en Sevilla en la exposición sobre Ibn Jaldun (Viguera Molins, 2006).

### 3.5. Al-Bitruyi

Abū Ishāq Nūr al-Dīn al-Bitrūyī, Alpetragio (*fl.*1185-1192, *ca.* 1204). Se supone que nació en la localidad de la sierra cordobesa de Pedroche (al-Biṭrawsh) aunque hay autores que proponen que nació en Marruecos.

Su obra astronómica supone una crítica muy seria a la obra de Ptolomeo, que no es coherente con la Física de Aristóteles y se aparta de las ideas de Platón sobre el uso de las esferas como figura geométrica perfecta. Alpetragio quiere conseguir una teoría astronómica libre de las excéntricas y los epiciclos de Ptolomeo. Lo que hace es volver a los modelos propuestos por el discípulo de Platón Eudoxo de Cnido (siglo IV a.C.) que se basan en el uso de esferas homocéntricas que, apoyadas unas en otras, giran según ejes con distintas direcciones. Puede verse un esquema simplificado en la figura 18. Una primera esfera gira una vez cada 24 horas y proporciona el movimiento diurno del planeta. Una segunda esfera gira en sentido contrario con el periodo sinódico del planeta (su periodo de rotación respecto a la Tierra). Las dos esferas más internas, cuyos ejes forman un ángulo muy pequeño, hacen que el planeta haga un movimiento en forma de 8 con el periodo típico de sus retrogradaciones. Combinado este movimiento con el de la esfera superior, hace que el planeta, que se encuentra ligado a la esfera más interna, avance cada noche hacia el este excepto durante las retrogradaciones, momento en el que podrá retroceder hacia el este durante algunos días.

Con esta revisión de las ideas Ptolemaicas no hace más que seguir una corriente iniciada por filósofos y astrónomos andalusíes, como Avempace (Ibn Bāyṣa), Abentofail (Ibn Tufayl), que fue maestro de Alpetragio, o su condiscípulo Averroes (Ibn Rush). Este último, nacido en Córdoba en una familia de juristas, cultiva el derecho, la filosofía, la medicina y la astronomía. Como es sabido sus comentarios a las obras de Aristóteles tuvieron una gran influencia en el occidente cristiano, alcanzando incluso a Santo Tomás de Aquino. En Astronomía, empezó abrazando el sistema ptolemaico, para abandonarlo luego en favor de un sistema de esferas homocéntricas en

el que la más externa actúa como un primer motor (*primun mobile*) que transmite su movimiento a las esferas interiores (Cruz Hernández, 1997).



Figura 17. Astrolabio de Ibn al-Jarraf que se conserva en el Museo Benaki de Atenas.  
(Fotografía M. Sáez)

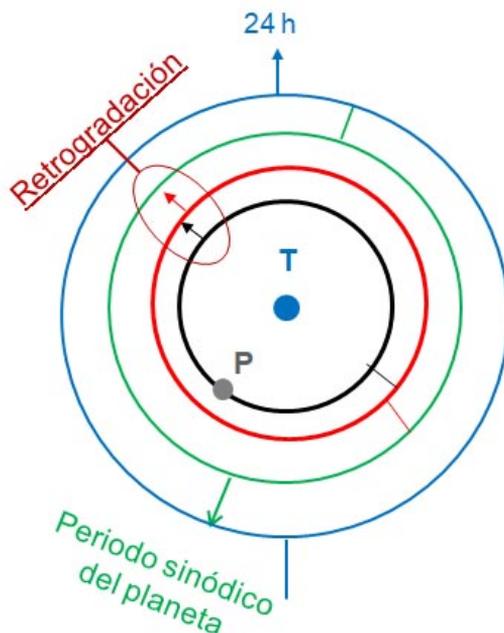


Figura 18. Esferas concéntricas de Eudoxo de Cnido

El sistema astronómico de Alpetragio consta de nueve esferas: Una para la Luna, otra para el Sol, cinco más para los planetas conocidos entonces, una octava para las estrellas fijas y la novena que transmitía el movimiento diurno (una rotación cada 24 horas) a todas las demás. Cada planeta se encuentra ligado al ecuador de una esfera sobre la cual describe pequeños círculos, la esfera gira en torno a un eje perpendicular al ecuador y este eje gira a su vez describiendo un estrecho cono en el espacio (ver figura 19) (Dorce, 2008). Un aspecto original de la propuesta de Alpetragio es que ofrece una explicación física de los movimientos basada en la teoría del *impetus* de Juan Filópono (siglo VI) y del *shawq* (deseo) de Abū al-Barakāt al-Baghdādī (ca. 1080, 1165) y que explica como el movimiento se transmite desde la novena esfera hacia las inferiores, pero se va perdiendo ímpetu conforme se desciende, lo que explica las distintas velocidades de rotación de las esferas; en particular la octava esfera gira algo más despacio que la novena ofreciéndole una explicación de la precesión de los equinoccios. De algún modo propone que el movimiento sublunar y el supralunar obedecen a las mismas causas (Samsó, 1971)

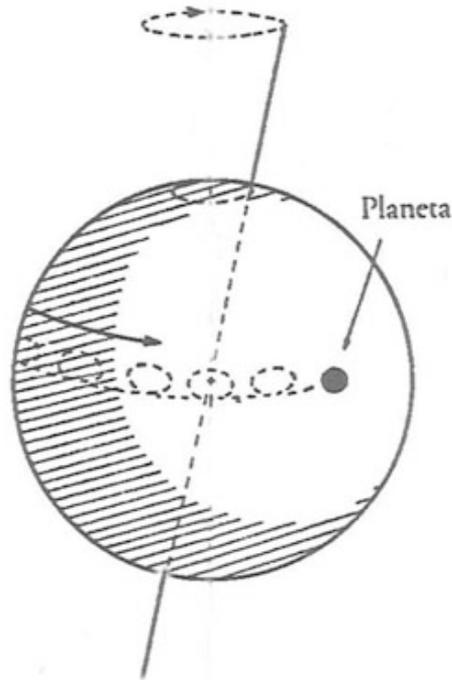


Figura 19.- El movimiento de un planeta según Alpetragio  
(Adaptado de Pérez Peinado, 2015)

Alpetragio publicó sus ideas en el *Kitāb al-Hay'ah* terminado alrededor de 1090. Pronto fue traducido al latín por Miguel Scotto en la Escuela de Traductores de Toledo en 1219 titulándola *De motibus caelorum*. Algo más tarde, 1259, Moses ben Tibbon la tradujo al hebreo. Calo Calonimus, judío napolitano, hizo una traducción del hebreo al latín que se publicó en Venecia en 1528, con el título *Theorica Planetarum Phisicis Rationibus Probata*. En la actualidad disponemos de una traducción al español de este texto hecha por nuestro académico José Ignacio Pérez Peinado (Pérez Peinado, 2015). En su discurso de ingreso como académico correspondiente por Pedroche a la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes nos cuenta cómo encontró el texto en la Biblioteca Nacional encuadrado junto a otras obras de Astronomía que figuraban bajo el nombre de Sacrobosco (Pérez Peinado, 2018).

#### 4. Conclusiones

El empeño por usar las esferas y la perfección del círculo puede que retrasara la adopción de un sistema planetario más acorde con la realidad, que como sabemos hubo de esperar hasta los trabajos teóricos de Copérnico y de Kepler y a las observaciones de Galileo para ser finalmente establecido.

No es una buena guía al hacer historia de la ciencia entra a valorar la ciencia antigua en función de los conocimientos actuales. Más bien hay que preguntarse si conseguían resolver los problemas que se habían planteado. En este sentido podemos calificar como exitosas las distintas aproximaciones, cada vez mejores, de los sistemas astronómicos basados en las ideas de Ptolomeo. No tanto las basadas en los sistemas de esferas homocéntricas al estilo de al-Bitruyi o de Eudoxo de Cnido, donde la idea preconcebida de la perfección de la esfera y la de un centro único en el que descansa la Tierra lastran el resultado final. Podríamos criticar que un sistema ptolemaico acabaría por ajustarse a la realidad a base de incluir arbitrariamente más y más epiciclos, pero no sería criticable si con eso se consiguiera un buen ajuste, aunque este no sea realmente el caso. De hecho, la complejidad de la solución de las ecuaciones del movimiento planetario cuando se tienen en cuenta las interacciones entre todos los planetas hace que tengamos que recurrir a soluciones basadas en desarrollos en serie, a los que añadiremos tantos términos como sean necesarios para ajustar los resultados teóricos con las observaciones. No hay mucha diferencia entre añadir más epiciclos o añadir más sumandos al desarrollo en serie de una solución, salvo una muy importante, los modelos actuales basados en las leyes de Newton incorporan una descripción física más precisa de la realidad, y por lo tanto se acercan más a las observaciones que los modelos Ptolemaicos.

Sí cabe resaltar un hecho que a menudo pasa desapercibido y que yo llevo contemplando desde hace bastante tiempo y así lo explico en mis clases. Cuando Ptolomeo da el paso, muy atrevido para su época, de desplazar a la Tierra del centro del deferente y colocar simétricamente el ecuante, respecto al cual el movimiento de los planetas es uniforme, no está sino anticipando, obviamente sin saberlo, la segunda ley de Kepler. Esta ley establece que un planeta gira en torno al Sol siguiendo una órbita elíptica en cuyo foco está el Sol (1ª Ley) de modo que el radio que une este foco con el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales, de esta manera cuando el

planeta está cerca de ese foco (cerca del perihelio) recorre un ángulo mayor que cuando está lejos (cerca del afelio). Pero visto desde el otro foco de la elipse, el que no está ocupado por el Sol, el “foco vacío” el movimiento, sorprendentemente, es uniforme. Por lo tanto, el ecuante de Ptolomeo juega el mismo papel que el foco vacío de las elipses de Kepler. Se puede encontrar una demostración muy elegante de esta afirmación en el libro de Steven Weinberg, Nobel de Física en 1979, *Explicar el mundo. El descubrimiento de la ciencia moderna* (Weinberg, 2015); en el apéndice 21 se puede ver que cuando la excentricidad de las órbitas elípticas no es muy grande, como ocurre con los planetas del Sistema Solar, la rotación vista desde el foco vacío es prácticamente uniforme. Se ilustra este comportamiento en la figura 20.

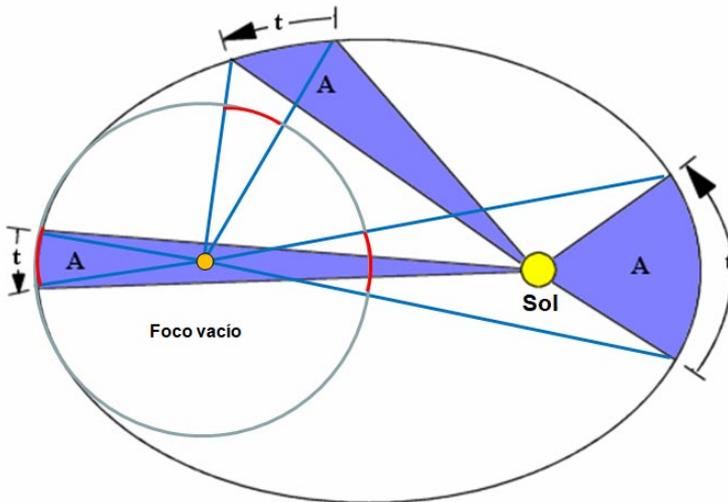


Figura 20. Visto desde el foco vacío el movimiento de un planeta es uniforme

Vemos que al-Andalus y, en general, el mundo islámico jugó un papel importante, no solo en la transmisión de la ciencia griega hacia occidente a través de las traducciones árabes como se ha sabido desde siempre, sino que también aportó innovaciones originales tanto en el campo de la astronomía como en el de las matemáticas y otras ciencias que se exponen en otros capítulos de este libro. Al-Andalus ocupó un lugar privilegiado para la transmisión de la ciencia hacia el occidente cristiano, a través de la Marca Hispánica primero, de la

Escuela de traductores de Toledo de Alfonso X el Sabio, después, pero también contribuyo activamente a la creación de un *corpus* científico propio.

## 5. Agradecimientos

Quiero mi agradecimiento a la doctora Azucena Hernández Pérez por la valiosa información que me proporcionó sobre los astrolabios, en especial el de Ibn al-Sarraj, no en vano es una gran especialista en la materia.

## 6. Bibliografía

- Calvo, M. 2011. Azarquiel ¿toledano o cordobés?  
<https://www.abc.es/20110621/local-toledo/abci-azarquiel-toledano-cordobes-201106211804.html>. Visitada en mayo 2019.
- Claret, A. 2003. Azarquiel y otras historias. La Astronomía en al-Andalus. Granada: Edición del Autor.  
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/96259/1/azarquiel.pdf>.  
Visitada en junio de 2019.
- Claret, A. 2012. Azarquiel, el cincelador de estrellas.  
<http://ciencias.com/biografias/2012/10/09/azarquiel-el-cincelador-de-estrellas/>. Visitada en mayo de 2019.
- Cruz Hernández, M. 1997. Averroes vida, obra, pensamiento, influencia. Pub. CajaSur, Córdoba.
- Dorce, C. 2008. Azarquiel. El astrónomo andalusí. Nivola, Tres Cantos, Madrid.
- García Franco, S.1945. *Catálogo crítico de astrolabios existentes en España*. Instituto Histórico de la Marina. Madrid.
- Hernández Pérez, A. 2015. Astrolabios en al-Andalus y los reinos medievales hispanos. La Ergástula, Madrid.
- Hitti, P. K. 1989. History of the Arabs. Macmillan Houndmills and London (1ª ed 1937, 10ª ed 1970, 12ª reimpresión 1989). Puede consultarse en  
<https://archive.org/details/HistoryOfTheArabs-PhilipK.Hitti/page/n383>.  
(Existe traducción al español: Historia de los árabes, Editorial Razón y Fe, S.A., 1950).
- King, D. A. 2005. In Synchrony with the heavens: Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval Islamic

- civilization. Vol. 2: Instruments of Mass Calculation. Leiden: Brill Acad. Pub., Leiden-Boston.
- Linndberg, D. C. 2002. Los Inicios de la ciencia occidental. La tradición científica europea en el contexto filosófico, religioso e institucional (desde el 600 A.C hasta 1450). Paidós.
- Millás Vallicrosa, J.M. 1993. Estudios sobre Azarquie. Excma. Diputación Provincial de Toledo, Instituto politécnico F.P. Azarquiel, Toledo.
- Pérez Peinado, J.I. 2015. La Astronomía de Alpetragio. Diputación de Córdoba.
- Pérez Peinado, J.I. 2018. La Astronomía de Alpetragio. Boletín de la Real Academia de Córdoba de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes, 167: 183-201.
- Polanco Masa, A. 2006. Blog Tecnología obsoleta: El vuelo de Abbas Ibn Firnas, <https://alpoma.net/tecob/?p=321>; El monje volador y otros “prevuelos, <https://alpoma.net/tecob/?p=326>; Diego Marín, el “hombre pájaro” burgalés <https://alpoma.net/tecob/?p=320>. Visitados en mayo de 2019.
- Puig, R. 1992. La astronomía en al-Andalus, Una aproximación historiográfica. Arbor CXLII, 558: 167-182. (CSIC) Madrid.
- Samsó, J. 1971. Sobre la astronomía de al-Bīṭrūyī. Al-Andalus. CSIC
- Solís, C. Sellés, M. 2005. Historia de la Ciencia. Madrid: Espasa-Calpe
- Vernet, J. 1970-1980. Abbas Ibn Firnas. En: Gilespe, C.C. (ed). Dictionary of Scientific Biography, Vol. I, 5. Charles Scribner's Sons. New York.
- Vernet, J. 1986. La Ciencia en al Andalus. Biblioteca de la Cultura Andaluza. Editoriales Andaluzas Unidas
- Viguera Molins, M. J. (coord.). 2006. Ibn Jaldún. El Mediterráneo en el siglo XV: Auge y declive de los Imperios. Exposición en el Real Alcázar de Sevilla, mayo-septiembre 2006; Tomo II: Catálogo de piezas. Ed. Fundación José María Lara.
- Weinberg, S. 2015. Explicar el mundo. El descubrimiento de la ciencia moderna. Taurus Madrid.

*«Así como el hambre y la sed son señales del cuerpo y muestran lo que le falta, así también la ignorancia y escasez de conocimientos es una señal del alma y de sus creencias. Así las cosas, tenemos aquí dos tipos determinados, a saber: los que sólo buscan sus mantenimientos y los que procuran el saber. Pero la verdadera plenitud sólo se alcanza mediante el objeto que posee el más noble modo de ser. (...) Ahora bien, si por lo común la plenitud de la aprehensión es gozosa, cuando lo que se alcanza es por esencia noble y mayor en verdad y permanencia, forzosamente será la dicha más digna de ser elegida. Tal sucede con la felicidad intelectual respecto de los otros gozos»*

Fuente: Averroes: Exposición de la «República» de Platón. Traducción y estudio preliminar de Miguel Cruz Hernández, Tecnos, Madrid, 1996, pp. 146-147.

