

INSTRUMENTOS ASTRONÓMICOS ANDALUSÍES

Emilia Calvo

Introducción

«Instruments are the preferred icons of science».

François Charette

Los instrumentos astronómicos que se han diseñado y construido a lo largo de la historia han desempeñado funciones diferentes respondiendo a distintas necesidades. En primer lugar, ayudar a observar los cuerpos celestes para poder determinar sus movimientos y sus ciclos y elaborar, a partir de esas observaciones, un modelo matemático que constituya una representación de dichos ciclos. Son los instrumentos de observación y desempeñan un papel importante en cuestiones como la medida del tiempo a partir de los astros.

Una segunda función de los instrumentos astronómicos es la de permitir realizar cálculos relativos al movimiento de esos cuerpos celestes. En este grupo se incluyen instrumentos que se denominan computadores porque sustituyen o facilitan esos cálculos. Algunos de ellos se construyen reproduciendo la estructura de la esfera celeste tal y como se la concebía en la antigüedad y en la Edad Media y por ello se denominan computadores analógicos. Junto a estos instrumentos existen otros que cumplen esa misma función sin reproducir la estructura aparente de la esfera celeste. Se pueden definir como instrumentos matemáticos o trigonométricos ya que ayudan a resolver las operaciones trigonométricas que están en la base de los cálculos astronómicos necesarios para poder determinar, por adelantado si es necesario, la situación de los diferentes cuerpos celestes: el Sol, la Luna, las estrellas o los planetas. En ese sentido, permiten facilitar y, en ocasiones sustituir, cálculos complejos de trigonometría. De este modo, estos instrumentos evitan el tener que recurrir al uso de tablas trigonométricas o de cálculos con sexagesimales.

Junto a la función científica, matemática y astronómica, de los instrumentos diseñados y construidos en el islam en general y en al-Ándalus en particular, muchos de ellos están dotados, además, de una indudable calidad artística lo que los convierte, en sí mismos, en auténticas obras de arte, de una indudable belleza y factura técnica excelente por lo que siguen siendo muy cotizados en la actualidad, con independencia de su interés, desde el punto de vista histórico, para los estudiosos de los instrumentos científicos del pasado.

Para poder entender los principios que rigen la construcción y el uso de estos instrumentos hay que tener en cuenta el paradigma científico bajo el que fueron creados. En la antigüedad, y a lo largo de la Edad Media, el modelo cosmológico imperante es el que aparece en las obras de astrónomos como Ptolomeo (II. d. C.). En él se considera que la Tierra está situada, fija e inmóvil, en el centro del universo y que todos los cuerpos celestes giran en torno a ella, con movimiento circular y uniforme, describiendo un giro completo, de este a oeste, en 24 horas mientras que algunos de ellos, en concreto el Sol, la Luna y los planetas, tienen

además un movimiento propio en sentido contrario (de oeste a este) realizando un giro completo en torno a la Tierra en un periodo de tiempo que varía entre los algo más de 28 días en el caso de la Luna hasta los algo menos de 30 años en el caso de Saturno.

Clasificación de los instrumentos astronómicos

Según sus características y el tipo de uso al que están destinados, los instrumentos se clasifican tradicionalmente en dos grandes grupos. En el primer grupo se incluyen los instrumentos de observación como el *gnomon*, las armillas o anillos, el cuadrante mural, los cuadrantes solares o relojes de sol y el *triquetrum* u órgano paraláctico.

Los instrumentos de observación son generalmente muy simples, un círculo graduado o una regla graduada (*gnomon*). Son instrumentos conocidos y descritos en la tradición ptolemaica. A lo largo de la historia del islam hay una tendencia a construirlos cada vez de mayor tamaño ya que evolucionaron buscando una mayor precisión. Los materiales utilizados en su construcción son, sobre todo, la piedra, el mármol, algunos metales como el cobre y también la madera. Al estar instalados a la intemperie y estar expuestos a las inclemencias del tiempo, no suelen conservarse ejemplares en buen estado y su estudio se centra fundamentalmente en los tratados conservados en los que se describen su construcción y uso.

El segundo grupo está constituido por instrumentos cuya primera función no es la observación sino la realización de cálculos destinados a la resolución de problemas de astronomía esférica. Son el globo celeste, el astrolabio, las láminas universales y los cuadrantes portátiles. En algunos casos se pueden llevar a cabo observaciones con ellos, aunque la precisión suele ser menor.

Hay un tercer grupo de instrumentos que comparte características de los dos grupos anteriores. Son instrumentos mixtos como la esfera armilar o el *torquetum*. Estos instrumentos pueden ser usados tanto para llevar a cabo observaciones como para realizar cálculos. Además, las esferas armilares, al reproducir los círculos imaginarios de la esfera celeste, son útiles como instrumentos de demostración con finalidades pedagógicas.

Algunos autores medievales dan su propia clasificación de los instrumentos. Es el caso de Azarquiel (f. 1100),¹ probablemente el astrónomo más relevante en la historia de al-Ándalus, quien, en el prólogo a su *Tratado sobre la azafefa*, clasifica los instrumentos astronómicos en dos grandes grupos:²

- 1 Véanse Emilia Calvo (2016). «Ibn al-Zarqalluh», en Helaine Selin (ed.). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*, 3ª edición. Dordrecht: Springer, pp. 2304-2305; Roser Puig (2014). «Abu Ishaq Ibrahim ibn Yahya al-Naqqash al-Tujibi al-Zarqali», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, 2ª edición. Nueva York: Springer, pp. 2410-2414; Julio Samsó (2009). «Abu Ishaq ibn al-Zarqalluh, Ibrahim ibn Yahya al-Tuyibi al-Tulaytuli al-Naqqas», en Jorge Lirola (ed.). *Biblioteca de al-Ándalus*, vol. 6. Almería: Fundación Ibn Tufayl de Estudios Árabes, pp. 257-264.
- 2 Véanse *Libro de la azafefa. Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Ms. Villamil, 156. Biblioteca Universidad Complutense, fols. 113v-114r.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*, vol. III. Valladolid: Maxtor, pp. 149-150; Julio Samsó (1992). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Madrid: Mapfre, pp. 172-175. Reimpreso en Julio Samsó y Miquel Forcada (2011). *Las ciencias de los antiguos en*

1. Instrumentos «sombrios» (*zilliyya*). En ellos se observa la sombra proyectada por un *gnomon*. Tal como señala el propio autor, tienen el inconveniente de que solo pueden utilizarse cuando haya luz, es decir, de día. En este grupo el astrónomo incluye los relojes de sol horizontales y verticales, a los que habría que añadir los cilíndricos y cónicos que se pueden utilizar como relojes de sol y entre los que se puede incluir el que menciona Al-Hasan ibn Jalaf al-Umawi al-Qurtubi (f. 1205)³ en su libro de *anwa'*.⁴
2. Instrumentos «rayosos» (*su'a'iyya*). Son aquellos en los que se observa el rayo proyectado por el sol o un cuerpo celeste. En este apartado se incluyen los cuadrantes astronómicos, el globo celeste, el astrolabio, la armilla, la esfera armilar y las alidadas o reglas tal como las traduce el texto alfonsí. Al hablar de cuadrantes, el autor no precisa a qué variedad se refiere. El único que está documentado en al-Ándalus en esta época es el cuadrante de senos provisto de un cursor que muestra una escala gráfica de declinaciones solares. Por lo que respecta a los anillos, se trata de círculos graduados que aparecen ya descritos por Ptolomeo. Y en el caso de las alidadas, probablemente se trataría, tal como propone Samsó,⁵ del *triquetrum* u órgano paraláctico, que en árabe se denomina *al-'idada al-tawila* ('regla larga'), un instrumento descrito también por Ptolomeo en el *Almagesto*.

Instrumentos de observación

Se conservan pocos ejemplares de los instrumentos de este tipo contruidos en al-Ándalus. La razón principal, como ya se ha dicho, es el deterioro que sufren al estar situados a la intemperie. Para su estudio, por tanto, se ha de recurrir a los tratados que los describen.

Por desgracia, estos tratados no son tampoco muy abundantes. En la mayoría de los casos se ha de recurrir a citas puntuales conservadas en textos variados. Un buen ejemplo son los datos que encontramos en el texto de *anwa'* mencionado más arriba de Al-Hasan ibn Jalaf al-Umawi al-Qurtubi (f. 1205) en el que, a pesar de ser, en gran medida, una paráfrasis del libro de *anwa'* de Ibn 'Asim (f. 1013),⁶ el autor introduce indicaciones propias que son de gran interés desde el punto de vista de la historia de los instrumentos astronómicos. Por ejemplo, en el capítulo

al-Ándalus. Almería: Fundación Ibn Tufayl de Estudios Árabes.

3 Véase Miquel Forcada (2014). «Abu 'Ali al-Hasan ibn Jalaf al-Umawi», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 2195-2196.

4 Véanse Al-Mustagrib *al-kafi wa-l-muqni' al-safi fi-ma yuslih bi-l-talib al-mayid wa-l-rayul al-murid min ma'rifat al-kawakib*. Ms. Túnez 11925/12, fols. 191v.-229 r.; Miquel Forcada (1990). «*Miqat* en los calendarios andalusíes», *Al-Qantara*, II, pp. 59-69; Miquel Forcada (1992). «Los libros de *Anwa'* en al-Andalus», en Julio Samsó y Juan Vernet (eds.). *El legado científico andalusí*. Madrid: Instituto de Cooperación con el Mundo Árabe, pp. 103-115; *Ibidem*, pp. 111-112.

5 Julio Samsó (1992/2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Op. Cit. p. 173.

6 Miquel Forcada (1993). *El Kitab al-anwa' wa-l-azmina-al-qawl fi l-suhur de Ibn 'Asim* ('Tratado sobre los *anwa'* y los tiempos-capítulo sobre los meses'). *Fuentes árabe-hispanas*, 15. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), p. 46.

sobre la determinación del momento del mediodía (*al-zawal*), detalla la manera de determinarlo en al-Ándalus explicando que los momentos de rezo de las oraciones diurnas se calculan utilizando un instrumento que él denomina *al-mizān al-fazari*, ('regla de al-Fazari'). Es posible que el nombre de este instrumento esté relacionado con el astrónomo y astrólogo Muhammad ibn Ibrahim al-Fazari (fl. siglo VIII),⁷ quien podría ser, además, su inventor. Este instrumento consistía en un paralelepípedo de madera con cuatro caras rectangulares idénticas y extremidades cuadradas; cada una de sus cuatro superficies rectangulares presentaba diferentes marcas, bien relojes de sol, gráficos o datos tabulares. Si nos referimos a la primera descripción de este instrumento,⁸ esta se debe a al-Marrakusi (fl. siglo XIII),⁹ quien describió su construcción y también explicó su uso en 50 capítulos.¹⁰

En otro de los capítulos de su libro de *anwa'*, al-Umawi al-Qurtubi reproducía el procedimiento para determinar las horas nocturnas mediante la aparición de las mansiones lunares, utilizando un instrumento rudimentario consistente en un semicírculo que representaba el cielo sobre el que se hacía girar una circunferencia en la que se representaban las mansiones lunares. También permitía determinar las fases de la luna a lo largo del mes lunar para lo cual previamente se ha de fijar la hora mediante el uso de una especie de reloj de sol cónico, denominado *mukhula*,¹¹ en la que sería probablemente la primera mención de este instrumento en al-Ándalus mientras que la primera mención oriental del mismo se encuentra en un tratado anónimo, probablemente redactado en Bagdad en el siglo IX, dando instrucciones para construirlo como si fuera un reloj de sol cilíndrico. El lexicógrafo del siglo X Abu 'Abd Allah Muhammad al-Juarizmi enumera este instrumento entre los instrumentos horarios (*alat al-sa'at*).¹²

Cuadrantes solares o relojes de sol

Estos instrumentos permiten determinar las horas desiguales a lo largo del día gracias a la sombra proyectada por el extremo de un *gnomon* sobre una serie de líneas que determinan las horas del día. El uso es sencillo pero la construcción requiere el conocimiento del trazado de secciones cónicas ya que las líneas que representan el extremo de la sombra en los solsticios son arcos de hipérbola. De

7 Véase Kim Plofker (2014). «Muhammad ibn Ibrahim al-Fazari», en Thomas Hockey, et. al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 706-707.

8 Véanse David A. King (2005). *In Synchrony with the heavens: Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval Islamic civilization*. Op. Cit., pp. 151-152; François Charette (2003). *Mathematical instrumentation in fourteenth-century Egypt and Syria. The Illustrated Treatise of Najm al-Din al-Misri*. Leiden: Brill, p. 222.

9 Astrónomo de origen magrebi que trabajó en El Cairo. Véase François Charette (2014). «Sharaf al-Din Abu 'Ali al-Hasan ibn 'Ali ibn 'Umar al-Marrakushi», en Thomas Hockey, et. al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 1401-1403.

10 Abu 'Ali al-Marrakusi (1984). *Yami' al-mabadi' wa-l-ghayat fi 'ilm al-miqat*, ed. facsímil del ms. Istanbul, Topkapi, Ahmet III 3343. Edición de Fuat Sezgin, vol. I. Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, pp. 251-254.

11 Se denomina así porque su forma recuerda la de un recipiente de *kohl*. Sobre el conocimiento de este instrumento en al-Ándalus, véase Miquel Forcada (1990). «*Miqat* en los calendarios andalusíes», en Julio Samsó y Juan Vernet (eds.). *El legado científico andalusí*. Op. Cit., pp. 59-69.

12 Véase Al-Juarizmi (1991): *Mafatih al-'ulum*. Edición de D. Yawdat Fajr al-din. Beirut: Dar al-manahil, p. 206.

todos modos, en al-Ándalus se conservan ejemplos de instrumentos simplificados que evitan el recurso a las secciones cónicas en su trazado.

Uno de los primeros ejemplos de instrumento destinado a la medida del tiempo es la *balata* que aparece descrita por Qasim ibn Mutarrif al-Qattan (s. x) en su obra de *Cosmología (Kitab fi l-hay'a)*.¹³ Se utiliza para determinar las horas del día mediante el uso de un *gnomon* dividido en doce unidades o dedos. Calcula la hora mediante una fórmula aproximada de origen indio que en el texto aparece transcrita con errores. Podría representar la supervivencia de un cuadrante solar de tradición romana.

Una variante de este cuadrante solar atípico sería el reloj de sol universal que aparece descrito en el último capítulo del único tratado andalusí que se conserva sobre *hijal* (ciencia de los ingenios).¹⁴ El pasaje es de difícil interpretación por el mal estado del manuscrito, pero muestra elementos comunes con los últimos pasajes del manuscrito 225 de Ripoll,¹⁵ dedicados también a la descripción de relojes de sol ecuatoriales que tuvieron una difusión mucho menor que los horizontales, los más habituales.

La teoría matemática para calcular las sombras correspondientes a las horas temporales en diferentes periodos del año estaba disponible en fuentes indias que parecen haber inspirado la tradición islámica más que ninguna de las obras griegas disponibles. Se sabe de la existencia de tratados sobre gnomónica, o ciencia de las sombras, en el Oriente islámico desde el siglo IX, así como de tratados, también orientales, conteniendo la teoría matemática necesaria para construirlos en cualquier plano. En cambio, no se conservan tratados andalusíes sobre el tema con la excepción del *Tratado de sombras (Risala fi 'ilm al-zilal)*, obra de Ibn al-Raqqam (f. 1315),¹⁶ astrónomo, matemático y médico que, aunque desarrolló gran parte de su trabajo en Bugía y Túnez, parece que era originario de Murcia y a lo largo de su vida desempeñó diferentes cargos en Granada bajo Muhammad

13 Se trata del tratado astronómico andalusí más antiguo conservado hasta el momento. Para más detalles, véase Josep Casulleras (1994). «El contenido del *Kitab al-Hay'a* de Qasim b. Mutarrif al-Qattan», en Josep Maria Camarasa, Honorino Mielgo y Antoni Roca i Rosell (eds.). *Actes de les I Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica. pp. 75-93. Sobre el cuadrante solar, véase Josep Casulleras (1993). «Descripciones de un cuadrante solar atípico en el occidente musulmán», *Al-Qantara*, 14, pp. 63-69.

14 Se trata del *Kitab al-asrar fi nata'i'l al-afkar* de Ibn Jalaf al-Muradi, autor poco conocido que vivió probablemente en el siglo XI. El tratado se conserva en el ms. Or. 152 de la Biblioteca Medicea Laurenziana de Florencia. Para más detalles, véase Julio Samsó (1992-2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Op. Cit., pp. 249-257. Sobre la descripción del instrumento, véase Josep Casulleras (1996). «El último capítulo del *Kitab al-asrar fi nata'i'y al-afkar*», en Julio Samsó, Juan Vernet y Josep Casulleras (1996). *From Baghdad to Barcelona: Studies in the islamic exact sciences in honour of prof. Juan Vernet*. De Bagdad a Barcelona: estudios sobre historia de las ciencias exactas en el mundo islámico en honor del prof. Juan Vernet, vol. 11. Barcelona: Instituto Millás Vallicrosa de Historia de la Ciencia Árabe. pp. 613-653.

15 Este manuscrito contiene una compilación miscelánea de tratados latinos que son traducciones o refundiciones de textos de origen árabe sobre geometría, astronomía, gnomónica, etc. Fue estudiado, entre otros, por Millás Vallicrosa. Véase José María Millás Vallicrosa (1931). *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*. Barcelona: Institució Patxot, pp.140-176.

16 Joan Carandell (1988). *Risala fi 'ilm al-zilal de Muhammad ibn al-Raqqam al-Andalusi*. Edición, traducción y comentario por Joan Carandell. Barcelona: Universidad de Barcelona/Instituto Millás Vallicrosa de Historia de la Ciencia Árabe.

II.¹⁷ Tal como apunta Julio Samsó,¹⁸ sorprende, en un contexto andalusí, una obra de este nivel en la que se describen distintos tipos de relojes de sol, los métodos para transformar unos en otros y los procedimientos para trazarlos, ya que los pocos ejemplares andalusíes de relojes de sol conservados no están a la altura de esta obra teórica.

Todos los ejemplares conocidos corresponden al modelo más simple del instrumento horizontal. Sirven para medir las horas temporales o desiguales, que son el resultado de dividir la duración del día en doce partes iguales, lo cual implica que su duración va variando a lo largo del año. De todos ellos, el cuadrante solar más antiguo parece ser el construido en Córdoba en torno al año 1000 por Ibn al-Saffar.¹⁹ Presenta el trazado de las sombras para los equinoccios y los solsticios. También las líneas para las horas desiguales y para los momentos de las dos oraciones diurnas. Fue encontrado en el Camino Viejo de Almodóvar y se conserva en el Museo Arqueológico Provincial de Córdoba. Se conservan también tres ejemplares encontrados en el Patio de los relojes en *Madinat al-Zahra'* además de dos fragmentos de un ejemplar construido en el periodo califal (entre 960 y 1010), de tipo calendárico, es decir, incluyendo las divisiones correspondientes a los signos del zodiaco. Ambos fragmentos fueron encontrados de manera independiente en el Camposanto de los Mártires en Córdoba, el primero en 1961 y el segundo en 1994. Actualmente se conservan en el Alcázar de Córdoba.²⁰ Finalmente, se conserva un ejemplar en el museo de la Alhambra de Granada que, posiblemente, tuviera su origen en Córdoba. Este último tiene la particularidad de que los arcos de hipérbola han sido sustituidos por arcos de círculo, lo que añade todavía más inexactitud al instrumento.²¹

Esta tradición de relojes de sol horizontales aparece también en la obra alfonsí que lleva por título *Libro del reloj dicho de la piedra de la sombra*,²² donde se describe el mismo tipo de cuadrante horizontal que aparece descrito por el astrónomo

- 17 Véanse Julio Samsó (2006). «Ibn al-Raqqam, Abu 'Abd Allah», en Jorge Lirola (ed.), *Biblioteca de al-Ándalus*, vol. 4. *Op. Cit.*, pp. 440-444; Julio Samsó (1992-2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. *Op. Cit.*, pp. 414-415; Joan Carandell (1988). *Risala fi 'ilm al-zilalde Muhammad ibn al-Raqqam al-Andalusi*. *Op. Cit.*, p. 41.
- 18 Véanse Josep Casulleras (2014). «Abu 'Abd Allah Muhammad ibn Ibrahim ibn 'Ali ibn Ahmad ibn Yusuf al-Mursi al-Andalusi al-Tunisi al-Awsi ibn al-Raqqam», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers. Second edition*. *Op. Cit.*, pp. 1057-1058; Julio Samsó (2006). «Ibn al-Raqqam, Abu 'Abd Allah». *Op. Cit.*, p. 441.
- 19 Sobre este astrónomo, véase Mónica Rius (2014). «Abu al-Qasim Ahmad ibn 'Abd Allah ibn 'Umar al-Gafiqi ibn al-Saffar», en Thomas Hockey et al. (eds.). *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. *Op. Cit.*, pp. 1058-1060.
- 20 Ana Labarta y Carmen Barceló (1995). «Un nuevo fragmento de reloj de sol andalusí», *Al-Qantara*, XVI (1), pp. 147-150.
- 21 Para una descripción exhaustiva de estos instrumentos, véase David A. King (1992). «Los cuadrantes solares andalusíes», en Julio Samsó y Juan Vernet (eds.). *El legado científico andalusí*. *Op. Cit.*, pp. 89-102.
- 22 Su autor es Rabiçag, uno de los más prolíficos colaboradores alfonsíes. Véanse el *Libro del reloj dicho de la piedra de la sombra*. *Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Ms. Villamil, 156. Madrid: Biblioteca Universidad Complutense, fols. 178 r.-183r.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. *Op. Cit.*, vol. IV, pp. 3-23; Carlos Dorce (1999). «Sobre el cuadrante solar de Alfonso X el Sabio», *Asclepio*, LI (2), pp. 167-184.

oriental al-Battani (858-929) en su manual astronómico,²³ conocido como *al-Ǧiy al-Sabi*.²⁴

Instrumentos mixtos

La esfera armilar

La esfera armilar no es una esfera sólida sino que está formada por anillos o armillas, tal como indica su nombre. Cada uno de estos anillos representa uno de los círculos imaginarios de la esfera celeste. Puede usarse como instrumento de observación, computador analógico o como instrumento de demostración y forma parte de los instrumentos de herencia clásica.²⁵ Todos los grandes observatorios, así como la mayoría de los astrónomos, disponían de un instrumento de estas características más o menos parecido al que describe Ptolomeo en el *Almagesto* y al que denomina *astrolabon*. A lo largo de la historia en el islam, los astrónomos ampliaron y modificaron las características de este instrumento utilizando en ocasiones como modelo la variante del instrumento que Ptolomeo denomina *meteoroscopio* y que aparece descrito en su obra de geografía. Se trata de un instrumento más complejo ya que disponía de anillos suplementarios para representar el ecuador y el horizonte, ausentes en el *astrolabon*.

La esfera armilar se introdujo en una etapa relativamente temprana en al-Ándalus.²⁶ De hecho, la primera documentación acerca del conocimiento de este instrumento en la península se encuentra en el *Muqtabis* de Ibn Hayyan (987-1076),²⁷ donde el autor da la noticia sobre 'Abbas ibn Firnas (f. 887),²⁸ quien construyó una esfera armilar para el emir 'Abd al-Rahman II, aunque no se sabe a ciencia cierta el aspecto que tendría este instrumento. Ibn Firnas fue un personaje polifacético y un modelo de hombre ilustrado, con intereses enciclopédicos que incluían la música, la filosofía, la poesía, la astrología y la alquimia entre otras, al que se atribuye el intento de volar en la Ruzafa y del que también se dice que construyó un planetario en una habitación del palacio. Podría ser que la esfera armilar se introdujera en Córdoba algo más tarde, en el siglo X, a través del tratado que escribió el judío tunecino Dunas ibn Tamim (946-952) sobre este instrumento, dedicado al gobernador fatimí

23 Véanse Julio Samsó (2005). «Al-Battani», en *Thomas Glick et al. (eds.). Medieval Science, Technology, and Medicine: an Encyclopedia*. Nueva York: Routledge, pp.79-80; Benno van Dalen (2014). «Abu 'Abd Allah Muhammad ibn Jabir ibn Sinan al-Battani al-Harrani al-Sabi'», en *Thomas Hockey et al. (eds.). The Biographical Encyclopedia of Astronomers. Second edition. Op. Cit.*, pp. 172-175; Julio Samsó (2016). «Al-Battani», en *Helaine Selin (ed.). Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures. Op. Cit.*, pp. 167-168.

24 Véanse Carlo Nallino (1969). *Al-Battani sive Albatanii Opus Astronomicum*, 3 vols. Milán: Publ. Reale Osservatorio di Brera, 1899-1907. Reimpreso en Carlo Alfonso Nallino. *Al-Battani sive Albatanii Opus astronomicum*, vol. 1, pp.135-138, y vol. 3, pp. 203-208. Frankfurt: Minerva; Georg Bossong (1978). *Los Canones de Albatani. Herausgegeben sowie mit Einleitung, Anmerkungen und Glossar versehen*. Tübingen: Max Niemeyer Verlag, pp. 98-102.

25 Véase Mercè Comes (2012). *Historia de la esfera armilar. Su desarrollo en las diferentes culturas*. Madrid/Barcelona: Fundación Juanelo Turriano/Universitat de Barcelona.

26 *Ibidem*, cap. 10: «La Península Ibérica», pp.183-217.

27 Véase Mahmud 'Ali Makki (1973). *Al-Muqtabas min anba' ahl al-Andalus*. Beirut: Dar al-kitab al-'arabi, p. 283. Sobre Ibn Hayyan, véase J. Mohedano Barceló (2004). «Ibn Hayyan al-Qurtubi, Abu Marwan», en *Jorge Lirola (ed.). Biblioteca de al-Ándalus. De Ibn al-Dabbag a Ibn Kurz. Op. Cit.*, vol. 3, pp. 356-374.

28 Véase M. Aragón Huerta (2004). «'Abbas ibn Firnas», en *Jorge Lirola (ed.). Biblioteca de al-Ándalus. De Ibn al-Dabbag a Ibn Kurz. Op. Cit.*, vol. 3 pp. 168-172.

de Mahdiyya en Túnez. Ibn Tamim mantuvo relación epistolar con Hasday ibn Saprut, médico judío de 'Abd al-Rahman III y también político en al-Ándalus.²⁹

En el siglo XI Azarquiel diseñó una esfera armilar y redactó un tratado sobre su construcción que se conserva en la traducción castellana alfonsí con el título de *Libro de las armellas*. En esa traducción, el tratado de Azarquiel está acompañado de un manual de uso redactado por uno de los traductores alfonsíes habituales, Rabiçag (*Ishaq ibn Sid*).³⁰ El instrumento de Azarquiel añade al *astrolabon* de Ptolomeo una serie de anillos suplementarios. El conjunto está formado por nueve armillas: armilla zodiacal, armilla de los polos, armilla para la observación, armilla del meridiano, armilla del ecuador, armilla del horizonte, armilla del semicírculo de la altura, armilla del círculo que soporta el semicírculo de la altura y armilla para hacer observaciones (con dos visores).

El tratado también explica cómo situar la esfera armilar en la línea meridiana mediante la técnica conocida como del círculo indio.³¹ En cualquier caso, este tratado es una de las pocas referencias de las que disponemos en al-Ándalus a un instrumento de observación que podría haber sido utilizado por el astrónomo en sus observaciones, aunque en la traducción castellana se insiste sobre todo en su uso como calculador analógico para resolver problemas de astronomía esférica.

A pesar del éxito que este instrumento parece haber tenido, no se puede considerar un instrumento de manejo fácil en el caso de querer realizar observaciones. De hecho, el propio Azarquiel señala que su uso es escaso porque es difícil de manejar y suele reducirse al cálculo de las coordenadas de las estrellas en relación al círculo zodiacal. En cambio, sí es un instrumento muy útil como herramienta de demostración porque reproduce los círculos de la esfera y permite una enseñanza de la astronomía de una manera muy práctica.

Instrumentos de cálculo

El globo celeste y el astrolabio esférico

El globo celeste está constituido por una esfera fabricada de metal, generalmente hueca, sobre la que aparecen grabadas las constelaciones con las diferentes estrellas que las componen según la distribución heredada de la astronomía helenística. Algunos de ellos pueden incorporar anillos que representan alguno de los círculos de la esfera, generalmente el horizonte y el meridiano. No se trata de un computador analógico propiamente dicho sino más bien un instrumento de demostración y de medida. Por otro lado, se considera el instrumento que dará lugar a la aparición del astrolabio esférico.

El globo celeste se introdujo a principios del siglo VIII en Oriente a partir de la tradición clásica.³² Sin embargo, el ejemplar más antiguo conservado es de

29 Mercè Comes (2012). *Historia de la esfera armilar. Su desarrollo en las diferentes culturas*. *Op. Cit.*, p. 185.

30 Véanse la traducción castellana alfonsí: *Libro de las armellas. Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. *Op. Cit.*, fols. 135v-155v; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. *Op. Cit.*, vol. II, pp. 1-79; y Julio Samsó (1992-2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. *Op. Cit.*, pp. 175-180.

31 Sobre el círculo indio, véase *ibidem*, pp. 161-164.

32 Véase Emily Savage-Smith (1985). *Islamicate Celestial Globes. Their History, Construction, and Use*. Washington D. C.:

origen andalusí y la inscripción grabada en él indica que fue fabricado en Valencia por Ibrahim ibn Sa'íd al-Sahli al-Wazzan y su hijo Muhammad en el año 473 ó 478 de la Hégira (1080 ó 1085 de la era cristiana).

Cabe la posibilidad de que Azarquiel construyera un globo celeste aunque quizá se tratara de un astrolabio esférico. Por otro lado, en el manuscrito 225 de Ripoll, aparecen unos fragmentos introducidos mediante la expresión: *Incipit de horologio secundum alkoram, id est speram rotundam*. Millás creía que se trataba de algunos capítulos sobre el uso del astrolabio esférico, en lugar del globo celeste, lo cual entra dentro de lo posible.³³

En la recopilación de los *Libros del Saber de Astronomía* alfonsí hay también un tratado dedicado al globo celeste.³⁴ Los primeros cuatro capítulos sobre construcción son obra de los colaboradores alfonsíes y los 65 siguientes, dedicados a describir su uso, son traducción del tratado redactado por Qusta ibn Luqa (f. ca. 912).³⁵ El tratado alfonsí no se limita a una mera descripción de la manera de construir y utilizar este instrumento astronómico, sino que constituye un auténtico manual de introducción a la astronomía esférica.³⁶

Estos instrumentos forman parte habitualmente del conjunto de instrumentos utilizados en los observatorios. Se conserva una referencia en el prólogo de las *Tablas de Barcelona*, elaboradas bajo el patrocinio de Pedro el Ceremonioso, en el que se especifica que las observaciones de las posiciones estelares se registraban sobre una esfera celeste conservada en el palacio real.³⁷

En la introducción a su *Tratado sobre la azaféa*, Azarquiel habla de la esfera celeste como instrumento de demostración y de medida. Dice que es muy útil porque con él la eclíptica se puede colocar en la posición correcta con relación a cualquier horizonte, por lo que se pueden determinar los puntos de orto y ocaso de los cuerpos celestes, medir sus arcos diurnos y cualquier grado de la eclíptica.³⁸ A partir de esta descripción no parece que se tratase de un globo celeste sino, más bien, de un astrolabio esférico, un instrumento que, aunque probablemente fue conocido en al-Ándalus ya en el siglo X, se ha de considerar poco común ya que los colaboradores del rey Alfonso X no encontraron ningún tratado en árabe sobre el astrolabio esférico y tuvieron que adaptar, para describir su modo de uso, el tratado de Ibn al-Samh sobre el astrolabio llano.³⁹

Smithsonian Institution Press, pp. 15-18.

33 Véase José María Millás Vallicrosa (1931). *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*. Op. Cit., p. 288.

34 *El Libro de la fayçón dell espera, et de sus figuras et de sus huebras*. *Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Op. Cit., fols. 27 r.-40 v.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. Op. Cit., vol. 1, pp. 153-205; y Julio Samsó (1982). «El tratado alfonsí sobre la esfera», *Dynamis*, 2, pp. 57-73.

35 Elaheh Kheirandish (2014). «Qusta ibn Luqa al-Ba'labakki», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 1791-1793; E. Ruth Harvey (2016). «Qusta ibn Luqa», en Helaine Selin (ed.). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*. Op. Cit., pp. 3687-3688.

36 Véase Julio Samsó (1982). «El tratado alfonsí sobre la esfera». Op. Cit., p. 59.

37 Véase José María Millás Vallicrosa (1962). *Las tablas astronómicas del rey don Pedro el Ceremonioso*. Madrid/Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)/Asociación para la Historia de la Ciencia Española/Casa Provincial de Caridad, p. 124.

38 Véanse *Libro de la açaféa*. *Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Op. Cit., fol. 114r; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. Op. Cit., vol. 111, pp. 149-150.

39 Véase Julio Samsó (1992/2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Op. Cit., p. 175.

En todo caso, el astrolabio esférico podría ser un desarrollo propiamente islámico consistente en una evolución del globo celeste sobre el que, en lugar de constelaciones, se graba un sistema de coordenadas relativas al horizonte: círculos de altura y círculos verticales. Sobre él se superpone una red, similar a la del astrolabio plano, en la que aparecen proyectados el círculo de la eclíptica (el zodiaco) y los índices correspondientes a algunas estrellas. La red suele ir provista también de un *gnomon* móvil para medir la altura del sol. Únicamente se conserva un ejemplar de astrolabio esférico islámico y es tardío, ya que fue construido por un artesano oriental llamado Musa en 1480.⁴⁰

El astrolabio plano

Este instrumento fue sin duda el más popular a lo largo de toda la Edad Media, no solo en el islam sino también en la Europa latina. Este astrolabio es el resultado de proyectar la esfera celeste, en tres dimensiones, sobre un plano mediante un sistema denominado proyección estereográfica polar. La teoría de la proyección deriva de una de las obras de Ptolomeo denominada el *Planisferio*. Uno de los primeros científicos en interesarse por esta obra en al-Ándalus fue Maslama al-Mayriti (f. 1007),⁴¹ fundador de una verdadera escuela de astrónomos andalusíes. Entre otras iniciativas, Maslama llevó a cabo una revisión del *Planisferio*.⁴² Esta revisión se convirtió en el punto de partida de una serie de tratados andalusíes dedicados a describir la construcción y el uso de este instrumento. Dos de ellos son los redactados por dos discípulos de Maslama, Ibn al-Samh e Ibn al-Saffar. Por otra parte, los procedimientos descritos por Maslama reaparecerán en el tratado alfonsí sobre la construcción del astrolabio llano.⁴³

Elementos del astrolabio plano⁴⁴

El astrolabio plano consta de varios elementos: la madre, una caja cilíndrica poco profunda que contiene las láminas en las que están grabadas las proyecciones para los horizontes correspondientes a las diferentes latitudes. Sobre las láminas se

40 Véanse Julio Samsó (1992/2011). *Ibidem*, pp. 97-99; Mercè Viladrich (1992). «Astrolabios andalusíes», en Julio Samsó et al. (ed.). *El legado científico andalusí*. Op. Cit., p. 59.

41 Véanse Emilia Calvo (2016). «Al-Majriti», en Helaine Selin (ed.). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*. Op. Cit., pp. 258-259; Josep Casulleras (2014). «Abu al-Qasim Maslama ibn Ahmad al-Hasib al-Faradi al-Majriti», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 1382-1384.

42 Véanse Paul Kunitzsch y Richard Lorch (1994). *Maslama's Notes on Ptolemy's Planisphaerium and Related Texts*. Múnich: Bayerischen Akademie der Wissenschaften; Julio Samsó (1992/2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Op. Cit., pp. 80-110.

43 Véanse *Libro del astrolabio llano*. *Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Op. Cit., fols. 69 r. - 83 r.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. Op. Cit., vol. 2, pp. 223-292.

44 Para una descripción del astrolabio plano, véanse John North (1974). «The Astrolabe», *Scientific American*, 230, pp. 96-106. Reimpreso en John North (1989). *Stars Mind and Fate. Essays in Ancient and Medieval Cosmology*. London: Hambledon Press, pp. 211-220; François Charette (2003). *Mathematical instrumentation in fourteenth-century Egypt and Syria. The Illustrated Treatise of Najm al-Din al-Misri*. Op. Cit., pp. 49-51; David A. King (2005). *In Synchrony with the heavens: studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval Islamic civilization. Volume Two: Instruments of Mass Calculation*. Leiden: Brill, pp. 33-39; Mercè Viladrich (1992). «Astrolabios andalusíes», en Julio Samsó et al. (ed.). *El legado científico andalusí*. Op. Cit., pp. 55-58.

hace girar la red, una lámina perforada mostrando los índices para algunas estrellas y el círculo que representa la eclíptica, que es la proyección del zodiaco. La red se ajusta sobre las láminas, que se encajan en la madre. Las láminas se mantienen en su posición mediante clavijas que se insertan en un pequeño orificio dentro del borde de la madre, mientras la red puede girar libremente sobre la lámina apropiada. Los astrolabios primitivos constaban de tres láminas, grabadas por ambas caras de modo que esos seis grabados, junto con el realizado en el fondo de la madre, representaban cada uno de los siete climas terrestres descritos en las obras clásicas de geografía, abarcando todas las latitudes terrestres incluidas dentro de esos límites. Esto los convertía en instrumentos útiles para todo el mundo conocido.

En el dorso de la madre de los astrolabios andalusíes se suele encontrar un calendario zodiacal que consiste en dos círculos graduados de los que uno de ellos representa los signos del zodiaco con sus divisiones y el otro representa los meses del año con sus días de modo que se puede obtener automáticamente mediante la alidada (la regla que pivota en el dorso) la equivalencia entre el día del año solar y el grado del signo zodiacal correspondiente. En la mitad superior se suelen encontrar trazados correspondientes a un cuadrante horario o uno trigonométrico. En la mitad inferior se suele trazar un cuadrante de sombras que permite determinar las alturas de los astros en función de las sombras. Todas las piezas del astrolabio permanecen unidas mediante un tornillo que las atraviesa en el centro y que está equipado con un pasador en cuña, a menudo en forma de cabeza de caballo, que mantiene fijado el conjunto.

Autores de tratados de astrolabio en al-Ándalus

Entre los tratados de astrolabio andalusíes conservados destacan los dos redactados por los discípulos de Maslama ya mencionados. Ibn al-Samh (f. 1035) es autor de un breve tratado de construcción del astrolabio y otro dedicado a su uso en 129 capítulos en el que destaca el número de capítulos dedicados a la Luna,⁴⁵ algo poco habitual en los tratados de astrolabio. Es un tratado extenso y prolijo, completamente diferente del redactado por Ibn al-Saffar (f. 1035).⁴⁶ Su tratado de uso del astrolabio es conciso, claro y práctico, por lo que se hizo popular tanto en el mundo árabe como el latino.⁴⁷

Se conservan algunos tratados de astrolabio más, redactados en los siglos siguientes por astrónomos que siguen la tradición de siglos precedentes representada por escuelas como la de Maslama y sus discípulos. Es el caso de los astrónomos

45 Mònica Rius (2014). «Abu al-Qasim Asbagh ibn Muhammad ibn al-Samh al-Gharnati», en *Thomas Hockey et al. (ed.), Biographical Encyclopedia of Astronomers. Op. Cit.*, pp. 1061-1062; Mercè Viladrich (1986). *El «Kitab al-'amal bi-l-asturlab» ('Llibre de l'ús de l'astrolabi') d'Ibn al-Samh. Estudi i traducció*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

46 Mònica Rius (2014). «Abu al-Qasim Ahmad ibn 'Abd Allah ibn 'Umar al-Gafiqi ibn al-Saffar», en *Thomas Hockey et al. (ed.), Biographical Encyclopedia of Astronomers. Op. Cit.*, pp. 1058-1060.

47 Fue estudiado por Millàs, quien también llevó a cabo una traducción al catalán. Véase José María Millàs Vallierosa (1931). *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval. Op. Cit.*, pp. 29-48.

Abu' l-Salt de Denia (f. 1134)⁴⁸ e Ibn al-Nattah (siglos XII-XIII).⁴⁹

El tratado de Abu' l-Salt es relativamente extenso ya que consta de 69 ó 90 capítulos según las diferentes versiones conservadas. En cuanto al contenido, llama la atención el detalle con el que trata las cuestiones trigonométricas. Este astrónomo es posiblemente el introductor en Oriente del calendario zodiacal en el dorso de los astrolabios.⁵⁰ El tratado de Ibn al-Nattah no tiene demasiado interés desde el punto de vista científico aparte de los datos nuevos que aporta sobre la orientación de las mezquitas en al-Ándalus.⁵¹

El astrolabio andalusí más antiguo conocido

Por lo que se refiere a este astrolabio, se conserva únicamente su descripción en un manuscrito latino del siglo X-XI en el que aparece un conjunto de ilustraciones de un astrolabio con inscripciones árabes.⁵² Es un astrolabio en la tradición de los astrolabios construidos en al-Ándalus, probablemente en el siglo X. Las inscripciones árabes originales están fielmente reproducidas. Se dan también los equivalentes latinos (latinizados en el caso de los nombres de las estrellas). La red está diseñada en la tradición oriental iraquí, pero dos de las estrellas presentan los nombres en árabe occidental (*al-'abur* y *al-ghumaysa'*).

La madre y tres láminas están trazadas para cada uno de los siete climas, algo que solamente se encuentra en los primeros astrolabios islámicos orientales; en el dorso hay un calendario zodiacal. No se conoce ningún instrumento islámico oriental que incluya ese calendario antes del 1100 y solo hay un cuadrado de sombras en lugar de los dos habituales. El nombre del fabricante, Jalaf ibn Mu'ad, aparece también grabado pero es un autor del que no se tienen otros datos.

Las ilustraciones revelan que este tipo de astrolabios era conocido en el Occidente islámico, que puso a disposición de, al menos, un autor latino, capaz de copiar del árabe y también de interpretarlo correctamente en latín.

El astrolabio carolingio

El astrolabio carolingio, también conocido como astrolabio de Destombes, es, posiblemente, contemporáneo del descrito más arriba, pero pertenece a una tradición diferente. Actualmente se conserva en el Institut du monde arabe en París.⁵³

48 Julio Samsó (2016). «Abu' l-Salt», en Helaine Selin (ed.). *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*. Op. Cit., p. 14; Mercè Comes (2014). «Umayya ibn 'Abd al-'Aziz ibn Abi al-Salt al-Dani al-Andalusí», en Thomas Hockey et al. (eds.). *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 14-15; Mercè Comes (1991). *Ecuatorios andalusíes. Ibn al-Samh, al-Zarqalluh y Abu-l-Salt*. Barcelona: Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). Instituto de Cooperación con el Mundo Árabe/Universidad de Barcelona. Facultad de Filología, pp. 237-251.

49 Véase Julio Samsó (1992/2011). *Las ciencias de los antiguos en al-Ándalus*. Op. Cit., pp. 313-314

50 *Ibidem*, p. 314.

51 *Ídem*, pp. 64-65.

52 Véase su descripción completa en David A. King (2005). *In Synchrony with the heavens: Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval Islamic civilization*. Op. Cit., pp. 381-383.

53 Véase Mercè Viladrich (1992). «Astrolabios andalusíes», en Julio Samsó et al. (ed.). *El legado científico andalusí*. Op. Cit., pp. 61-62.

Es el ejemplar de astrolabio latino más antiguo conocido. Fue construido en la marca hispánica, en la zona de Cataluña, probablemente en el siglo X. El instrumento parece haber sido copiado de un astrolabio en la tradición romana, de la que no quedan otros vestigios, pero con influencia de los instrumentos árabes. Es el caso, por ejemplo, de las curvas azimutales, encontradas por primera vez en los textos árabes orientales del siglo IX.

Las graduaciones de la faz y algunas de las del dorso no tienen números. Los nombres de las estrellas han sido omitidos, probablemente porque el constructor no confiaba en grabar correctamente los equivalentes de los nombres árabes. Los nombres de los signos zodiacales se agregaron más tarde, tal vez en el siglo XIV, pero seguramente también en Cataluña. Las formas características de las letras grabadas en la parte posterior aparecen en otras inscripciones de Cataluña del siglo X.

Constructores de astrolabio en al-Ándalus

Entre los principales constructores de astrolabios en al-Ándalus destaca Muhammad ibn al-Saffar (siglo XI), hermano del astrónomo mencionado más arriba, Abu-l-Qasim ibn al-Saffar. De Muhammad se conservan tres ejemplares completos. El historiador Sa'id al-Andalusi afirma de él que era célebre por su habilidad en la construcción de astrolabios pues «nadie antes había sabido hacerlos mejor que él». ⁵⁴ Contemporáneo suyo, Ibrahim ibn Sa'id al-Sahli (siglo XI), de quien se conservan, al menos, cuatro astrolabios además del primer globo celeste conocido. Otro constructor de astrolabios destacado es Muhammad ibn Fatuh al-Jama'iri de Sevilla (siglo XIII), autor de varios astrolabios conservados en diferentes museos alrededor del mundo. Ahmad ibn Hasan ibn Baso (f. 1309) alcanzó una gran perfección en sus obras hasta el punto de que sus instrumentos, según Ibn al-Jatib, desplazaron a las *Safariyyat* y *jama'iriyat*, es decir, las piezas construidas por Ibn al-Saffar y al-Jama'iri. ⁵⁵

Instrumentos universales

Dos siglos después de la adopción del astrolabio, los astrónomos islámicos habían ideado varias características adicionales, algunas de ellas de una notable sofisticación matemática. Pero estos instrumentos presentan una limitación importante y es que requieren de una lámina específicamente trazada para cada latitud. Una manera de resolver esta limitación es añadir al conjunto de sus láminas una que contenga la proyección de horizontes para múltiples latitudes. La invención de esta lámina se atribuye a Habas al-Hasib (siglo IX), ⁵⁶ y tendrá su contrapartida en el diseño andalusí propuesto por un astrónomo granadino del siglo XIII en su tratado de uso de la lámina universal para todas las latitudes como veremos más adelante.

54 Véase Sa'id al-Andalusi y Hayat Bu 'Alwan (eds.) (1985). *Kitab Tabaqat al-Umam*. Beirut. p. 171. Régis Blachère (1935). *Livre des catégories des nations*. Paris, p. 131.

55 Véase Lisan al-din ibn al-Jatib y 'Abd Allah 'Inan (eds.) (1974). *Al-ihata fi ajbar Garnata*. El Cairo, I, p. 204.

56 Véanse David A. King (2005). In *Synchrony with the heavens: Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval Islamic civilization*. *Op. Cit.*, pp. 939-940; François Charette (2003). *Mathematical instrumentation in fourteenth-century Egypt and Syria. The Illustrated Treatise of Najm al-Din al-Misri*. *Op. Cit.*, pp. 59-61.

Otra alternativa es la que diseñan dos astrónomos del siglo XI, Azarquiel, ya mencionado anteriormente, y 'Ali ibn Jalaf, mediante el recurso a una proyección estereográfica meridiana de la esfera celeste.⁵⁷

*La lámina universal de 'Ali ibn Jalaf*⁵⁸

El instrumento diseñado por 'Ali ibn Jalaf se compone de una lámina que tiene grabada en su faz una red de coordenadas representando las coordenadas horizontales, con el eje cenit-nadir representado como el diámetro vertical; alternativamente este trazado se utiliza para representar la eclíptica. Esta lámina está equipada con una red móvil la mitad de la cual lleva varios índices de estrellas. Las posiciones de los índices de las estrellas se definen con la misma proyección que la trazada en la lámina. La otra mitad está compuesta por una red de coordenadas perforada en la plancha de metal; esta cuadrícula representa las coordenadas ecuatoriales, con los polos situados en cada lado del diámetro que separa las dos mitades. Esta lámina universal puede representar, para cualquier latitud, la configuración celeste con respecto a dos redes de coordenadas. Esto permite resolver cualquiera de los problemas estándar de astronomía esférica de una manera directa, a diferencia de lo que ocurre con la *azafea*.

La azafea de Azarquiel y sus dos versiones: la shakkaziyya y la zarqaliyya

Azarquiel ideó dos variantes de un instrumento universal basado en la proyección estereográfica meridiana. Esta circunstancia, junto con el hecho de que existen numerosos textos diferentes sobre ambos instrumentos en diferentes lenguas, ha generado una cierta confusión entre los estudiosos de la obra de Azarquiel. Millàs, en sus «Estudios sobre Azarquiel» mencionaba las dos ediciones diferentes del *Tratado sobre la azafea* realizadas por el astrónomo andalusí,⁵⁹ una en 100 capítulos, que denominó «la redacción mayor» o *zarqaliyya*, de la que existe una traducción castellana alfonsí,⁶⁰ y una segunda versión en 61 capítulos, la «redacción menor», que describiría una versión más sencilla de su instrumento. La «redacción menor» se conserva en el original árabe,⁶¹ así como en traducciones hebrea y latina, ambas editadas por Millàs, quien concluyó su análisis asumiendo que esta segunda redacción en 61 capítulos sería la versión definitiva y auténtica, aunque corresponda a una forma más simple.⁶²

57 Para una descripción detallada de este tipo de proyección y de los instrumentos resultantes, véase Roser Puig (1992). «Instrumentos universales en al-Ándalus», en Julio Samsó et al. (ed.). *El legado científico andalusí*. Op. Cit., pp. 67-73.

58 Emilia Calvo y Roser Puig (2012). «The Universal Plate Revisited», en M. Iqbal (ed.). *New Perspectives on the History of Islamic Science*. Londres: Ashgate Publishing. Emilia Calvo (2017). «Some Features of the Old Castilian Alfonsine Translation of 'Ali ibn Jalaf's Treatise on the *Lámina Universal*», *Medieval Encounters*, 23 (1-5), pp. 106-123.

59 Véase José María Millàs Vallicrosa (1943-1950). *Estudios sobre Azarquiel*. Madrid/Barcelona: Instituto Miguel Asín, Escuelas de Estudios Árabes de Madrid y Granada, pp. 325-495.

60 Véase *Libro de la açafeha. Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Op. Cit., fols. 109v.-135 v.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. Op. Cit., vol. III, pp. 133-237.

61 Véase Roser Puig (1986). *Al-Sakkaziyya. Ibn al-Naqqas al-Zarqalluh*. Edición, traducción y estudio. Barcelona: Universidad de Barcelona.

62 David A. King (1979). «On the Early History of the Universal Astrolabe in Islamic Astronomy and the Origin

Se conservan varias copias de los tratados de Azarquiel describiendo la construcción y el uso de sus *azafeas*.⁶³ El tratado que describe la lámina universal de 'Ali ibn Jalaf se conserva únicamente en la traducción castellana alfonsí.⁶⁴ Por otro lado, se conservan algunos ejemplares de *azafea* tanto en su variante completa como en la abreviada. En cambio, no se conserva ningún ejemplar completo que responda a la descripción de la lámina universal de 'Ali ibn Jalaf.

La lámina de horizontes de Ibn Baso

Otro desarrollo de origen andalusí, en este caso en la Granada del siglo XIII, es decir, dos siglos después de 'Ali ibn Jalaf y Azarquiel, es el llevado a cabo por Abu 'Ali al-Husayn ibn Baso (f. 1316),⁶⁵ un astrónomo asociado a la mezquita mayor de Granada, maestro de la comunidad, que ideó una lámina de astrolabio en la que se representan horizontes para todas las latitudes que, en su trazado, presenta puntos de contacto con la *azafea* de Azarquiel y la lámina universal de 'Ali ibn Jalaf.

En esta lámina se representan los tres círculos de declinación habituales en una lámina de astrolabio plano en su proyección septentrional (trópico de Cáncer, ecuador y trópico de Capricornio). Además, se representa un conjunto completo de proyecciones de horizontes para toda la gama de latitudes, desde 0 hasta 90°. A esto se une un conjunto de círculos de declinación concéntricos (*madarat*), equivalentes a la proyección de los círculos de altitud para una latitud de 90°. El tercer conjunto de círculos, llamados *qisi* ('arcos'), corresponde a la proyección de pequeños círculos paralelos al meridiano. Estos círculos son más pequeños a medida que se acercan a los dos puntos este y oeste. Todas estas líneas ocupan toda la superficie completa de la lámina en la mitad superior, mientras que en la mitad inferior se evita prolongar su trazado en el espacio comprendido entre el ecuador y el trópico de capricornio.

El resultado es que los horizontes y los «arcos» son equivalentes al trazado de una lámina para latitud cero que, a su vez, es idéntica (para el trazado comprendido en el interior del círculo del ecuador) a los meridianos y paralelos tal como aparecen en la lámina universal. Pero la lámina de horizontes de Ibn Baso es una lámina suplementaria de astrolabio pensada para ser utilizada en el caso de que el instrumento no disponga de la lámina correspondiente a la latitud en la que se quiere operar. Gracias a su trazado permite resolver cualquier problema de astronomía esférica, para virtualmente todas las latitudes, de un modo ingenioso y muy flexible, que es explicado con todo detalle en un largo tratado en 160 capítulos.⁶⁶

of the Term "shakkaziya" in Medieval Scientific Arabic», *Journal for the History of Arabic Science*, 3, pp. 244-257; Roser Puig (1985). «Concerning the Safiha sakkaziyya», *Zeitschrift für Geschichte der arabisch-islamischen Wissenschaften*, 2, 123-139; y Roser Puig (1987). *Los tratados de construcción y uso de la azafea de Azarquiel*. Madrid: Instituto Hispano-Árabe de Cultura; David A. King (1988). «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria», en F. Kazemiy R. D. McChesney (eds.). *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder*. Nueva York: Nueva York University Press, pp. 153-183.

63 Roser Puig (1987). *Los tratados de construcción y uso de la azafea de Azarquiel*. Madrid: Instituto Hispanoárabe de Cultura.
64 Véase Libro de la lámina universal. *Libros del saber de astronomía de Alfonso X*. Op. Cit., fols. 83v.-109r.; Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla*. Op. Cit., vol. III pp. 3-132.

65 Véase Emilia Calvo (2014). «Ibn Baso: Abu 'Ali al-Husayn ibn Abi Ya'far Ahmad ibn Yusuf ibn Baso», en Thomas Hockey et al. (eds.). *Biographical Encyclopedia of Astronomers*. Op. Cit., pp. 1067-1068.

66 O en 155 capítulos, dependiendo de las diferentes copias del tratado conservadas. Véase Emilia Calvo (1993).

Esta lámina evolucionó influyendo en instrumentos posteriores. Un ejemplo es el instrumento construido en Taza, Marruecos, en 1327-1328 por un constructor llamado 'Ali ibn Ibrahim al-Harrar, que actualmente se conserva en el Museum of the History of Science en Oxford. En este instrumento el trazado es idéntico al que aparece en la lámina de Ibn Baso, pero reducido a la parte comprendida en el interior del círculo del ecuador.⁶⁷ Este instrumento, por tanto, documenta una difusión temprana de la obra del astrónomo granadino en el Magreb.⁶⁸

Ecuatorios

Los instrumentos como el astrolabio o las láminas universales tienen como objeto de estudio fundamentalmente el movimiento del Sol y, por tanto, suelen dejar al margen los cálculos relativos a la Luna y a los planetas, de los que solo se ocupan de manera tangencial. Por otro lado, para determinar la longitud de un planeta determinado, hay que recurrir a tablas astronómicas y es sabido que un buen calculador necesita de una media hora para determinar la longitud de cada uno de los planetas. Para levantar un horóscopo hay que calcular la longitud del Sol, la de la Luna y la de los cinco planetas, además del nodo ascendente de la luna. Por otro lado, se debe calcular también la longitud del ascendente y del principio de cada una de las doce casas de la eclíptica. Estas últimas cuestiones se pueden resolver con el astrolabio.

Levantar un horóscopo puede llevar casi todo un día de trabajo de un profesional que se considera altamente cualificado. Esta es, probablemente, la razón por la que, en el siglo XI, se diseña un instrumento, el ecuatorio, que permite llevar a cabo estos cálculos de una manera más ágil y sencilla.⁶⁹

El nombre ecuatorio, *equatorium*, proviene del latín *equare* que significa «calcular la ecuación de un planeta». Este instrumento se puede definir como un conjunto de modelos planetarios trazados a escala y, tal y como los conocemos, parece un desarrollo andalusí ya que solo en una fase más tardía surgen ecuatorios en Oriente. De todos modos se podría considerar como un posible antecedente de los ecuatorios el tratado del astrónomo oriental, Abu Ya'far al-Jazin (f. 961), titulado *ʔijy al-Safa'ih* ('El manual astronómico de las láminas') aunque este texto está todavía pendiente de una investigación detallada, ya que solamente se han realizado algunos estudios preliminares sobre él.⁷⁰ Teniendo esto en cuenta, se considera

Ibn Baso: Risalat al-Safih al-Yami'a li-Yami' al-'urud: tratado sobre la lámina general para todas las latitudes. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Instituto de Cooperación con el Mundo Árabe; Emilia Calvo (1996). «Ibn Baso's Astrolabe in the Maghrib and the East», en *Julio Samsó, Juan Vernet y Josep Casulleras* (1996). *From Baghdad to Barcelona: Studies in the islamic exact sciences in honour of prof. Juan Vernet.* Op. Cit., pp. 755-767.

67 Véase Emilia Calvo (1990). «La lamina universal de 'Ali b. Jalaf (s. XI) en la versión alfonsí y su evolución en instrumentos posteriores», *Ochava espera*, pp. 221-238.

68 Véase Julio Samsó y Juan Vernet (eds.) (1992). *El legado científico andalusí.* Op. Cit., p. 239.

69 Para una visión de conjunto de los ecuatorios andalusíes, véanse Mercè Comes (1991). *Ecuatorios andalusíes. Ibn al-Samh, al-Zarqalluh y Abu-l-Salt.* Op. Cit.; y Mercè Comes (1992). «Los ecuatorios andalusíes», en *Julio Samsó y Juan Vernet* (eds.). *El legado científico andalusí.* Op. Cit., pp. 75-87.

70 Véase Emilia Calvo, Nasr Pourjavady y Ziva Vesel (2004). «The treatise on the *ʔijy al-Safa'ih* by Abu Ya'far al-Jazin. A preliminary study», *Sciences, techniques et instruments dans le monde iranien (X^e-XIX^e siècle).* Teherán: Presses Universitaires d'Iran, L'Institut Français de recherche en Iran, pp. 67-78.

que el primer ecuadorio del que se tiene noticia es el diseñado por Ibn al-Samh, el astrónomo del siglo X discípulo de Maslama. En él su autor sigue la concepción del astrolabio ya que dedica una lámina para cada uno de los planetas. El tratado que describe la manera de construir este instrumento se conserva únicamente en la traducción castellana alfonsí incluida dentro de los *Libros del saber de astronomía*.⁷¹

Azarquiel es autor de sendos tratados de construcción y de uso del ecuadorio. El tratado de construcción fue redactado en 1080. El original árabe se ha perdido pero se conserva la traducción castellana alfonsí; constituye el segundo de los *Libros de las láminas de los siete planetas* en dicha traducción.⁷² El tratado de uso fue compuesto un año más tarde, en 1081, y se conserva en un manuscrito árabe,⁷³ en el que el instrumento se denomina *Safha ziyiyya* (o lámina que hace la función de un ziy o manual astronómico). En este caso y, del mismo modo que en el caso de las *azafeas*, utiliza una sola lámina para describir los modelos planetarios de Saturno, Júpiter, Marte y Venus en uno de los lados mientras que dedica el otro lado a la Luna y a Mercurio.

La novedad que aporta este instrumento es que desarrolla algo que en el *Almagesto* aparece únicamente implícito. Puesto que el centro del deferente de Mercurio no es un punto sino que se desplaza sobre un círculo, esa combinación hace que el deferente de Mercurio no sea un círculo, como en el caso del resto de los planetas, sino una elipse. Es el primer caso en el que aparece reflejado este hecho de manera explícita. En la traducción alfonsí, la ilustración muestra claramente esta característica del deferente de Mercurio.

Existe un tercer tratado de ecuadorio andalusí. Su autor es Abu' l-Salt de Denia (f. 1134), ya mencionado, aunque no parece que su propuesta llegara a tener existencia física real.⁷⁴

Cuadrantes portátiles

Un último grupo de instrumentos de cálculo lo constituyen los cuadrantes portátiles entre los que se pueden distinguir tres variedades principales: el cuadrante trigonométrico o cuadrante de senos, el cuadrante horario y el cuadrante astrolábico. Todos ellos tuvieron una gran difusión tanto en el mundo arabo-islámico como en Europa debido a que son útiles para llevar a cabo cálculos astronómicos en general y para la determinación de la hora en particular, al tiempo que ofrecen una portabilidad que supera a la de cualquiera de los demás instrumentos descritos.

Cuadrante trigonométrico

El cuadrante de senos puede presentar dos variantes, una más simple consistente en un único conjunto de líneas rectas paralelas que unen cada una de las divisiones del arco graduado con el valor correspondiente al seno de cada uno

71 Véanse *El libro de las láminas de los siete planetas. Libros del saber de astronomía de Alfonso X. Op. Cit.*, fols. 153 r.-162 r.; y Manuel Rico y Sinobas (2011). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso de Castilla. Op. Cit.*, vol. III, pp. 241-270.

72 *Ibidem*, pp. 272-284.

73 British Museum n.º 426 (Add. 1473).

74 Sobre este tratado y su autor, véase Mercè Comes (1991). *Ecuadorios andalusíes. Ibn al-Samh, al-Zarqalluh y Abu-l-Salt. Op. Cit.*, pp. 139-157.

de esos grados en uno de los dos radios del cuadrante. La segunda variante presenta un doble conjunto de líneas paralelas que constituyen una cuadrícula ortogonal similar a la del papel milimetrado. Esa segunda disposición ofrece un mayor número de posibilidades ya que permite realizar prácticamente los mismos cálculos que se pueden realizar con un astrolabio aplicando de manera gráfica las fórmulas trigonométricas correspondientes a dichos cálculos.⁷⁵

Este instrumento, en su forma simple, fue descrito por al-Juarizmi en el siglo IX.⁷⁶ Algunos astrolabios construidos en el mundo islámico presentan en el dorso una de estas dos variantes: el conjunto simple de líneas paralelas o la cuadrícula trigonométrica completa. Este trazado trigonométrico se puede utilizar junto con un hilo y un marcador móvil en el caso de instrumentos independientes o bien utilizando la alidada situada en el dorso del astrolabio y, en ambos casos, permite resolver todas las cuestiones habituales de la astronomía esférica para cualquier latitud.

Variantes del cuadrante trigonométrico: la lámina de senos de Ibn Baso

En algunos casos, en lugar de cuadrantes, los astrónomos describen variantes en forma de semicírculos o láminas trigonométricas completas. Es el caso del diseño del que Ibn Baso (f. 1316), autor mencionado más arriba, afirma ser autor y que describe en su tratado titulado *al-Risala fi' l-Safha al-muyayyaba dat al-awtar* ('Tratado sobre la lámina trigonométrica dotada de cuerdas').⁷⁷

En este tratado, el autor describe el uso de la lámina trigonométrica y ofrece la posibilidad de realizar todos los cálculos de astronomía esférica que podrían realizarse con un computador analógico como el astrolabio. Los procedimientos descritos equivalen a la aplicación, sobre el trazado ortogonal de la lámina, de manera gráfica, del equivalente de las formulas actuales para llevar a cabo esos cálculos.

Cuadrante horario

Este cuadrante, provisto de cursor fijo o móvil, tiene origen oriental y aparece descrito en un texto anónimo del siglo IX. En él se traza un conjunto de arcos de círculo inscritos que muestran gráficamente la altitud del Sol en las horas temporales de manera aproximada a partir de la misma fórmula india utilizada en el caso del cuadrante anterior, y que permite calcular la hora desigual a partir de la altura meridiana del Sol en ese día y la altura en el momento para el que se quiere saber la hora. Es un trazado que también se puede encontrar grabado en el dorso de algunos astrolabios.⁷⁸

75 Véase François Charette (2003). *Mathematical instrumentation in fourteenth-century Egypt and Syria. The Illustrated Treatise of Najm al-Din al-MiSri. Op. Cit.*, pp. 209-211.

76 Véase *Ibidem*, p. 209.

77 Véanse Ms. 13087/4AhmadiyyaTúnez, fols. 50v.-81v.; Emilia Calvo (2001). «Transformation of Coordinates in Ibn Baso's *al-Risala fi' l-Safha al-muyayyaba dat al-awtar*», *Journal for the History of Arabic Science*, 12, pp. 3-21; Emilia Calvo (2008). «Miqtat in Ibn Baso's *al-Risala fi' l-Safha al-muyayyaba dat al-awtar* (Treatise on the plate of sines)», en Emilia Calvo, Mercè Comes, Roser Puig y Mónica Rius (eds). *A Shared Legacy. Islamic Science East and West*. Barcelona: Publicacions i Edicions, pp. 151-174; Emilia Calvo (2009). «Trigonometric plates for astronomical calculations East and West. Ibn Baso (Granada 13th C.) and Ibn al-Shatir (Damascus 14th C.)», en Moustafa Mawaldi (ed.). *Proceedings of the Ninth International Symposium for the History of Arabic Science*. Aleppo: Institute for the history of Arabic Science, pp. 23-35.

78 Véase David A. King (2005). *In Synchrony with the heavens: Studies in astronomical timekeeping and instrumentation in Medieval*

Cuadrante astrolábico

Una tercera variante del cuadrante portátil es el cuadrante astrolábico. Su trazado muestra una mitad, doblada sobre sí misma, de los círculos acimutales y de altura en una lámina de astrolabio para una latitud determinada, incluyendo una eclíptica fija, es decir, el círculo zodiacal que representa el movimiento aparente del Sol a lo largo del año. Para producir el efecto de la rotación diaria se utilizan un hilo y un cordón unidos en el centro del instrumento. A partir de un determinado momento en gran parte del mundo islámico, exceptuando Irán, India y Yemen, se encuentran cuadrantes con un trazado astrolábico en una de sus caras y una cuadrícula trigonométrica en la otra como alternativa al astrolabio.⁷⁹

Conclusión

Como se puede apreciar en este breve recorrido, durante el periodo en el que la Península Ibérica estuvo bajo el dominio arabo-islámico, y especialmente entre los siglos X y XIV, los astrónomos llevaron a cabo una continuada labor de construcción de instrumentos astronómicos y de redacción de tratados en los que describían su construcción y su uso. En algunos casos, la idea de esos instrumentos les había llegado del Oriente islámico pero, en muchos otros, constituyen innovaciones y desarrollos autóctonos que terminaron por extenderse a su vez tanto hacia Oriente como a la Europa latina.

Para concluir este resumen de los logros que en instrumentación astronómica se llevaron a cabo en al-Ándalus, desearía hacer referencia a una noticia relativamente reciente. Se trata de la subasta en Sotheby's, en abril de 2017, del que probablemente fuera el primero de los astrolabios construidos por Ibn al-Saffar.⁸⁰ Se trata del astrolabio andalusí datado más antiguo conocido hasta el momento, ya que su fecha de construcción es 1020. Es una pieza de una excelente factura que, por desgracia, ha perdido la red, por lo que ha sido sustituida por otra de procedencia turca del siglo XVI o XVII.

De este instrumento no se había tenido ninguna noticia, ni descripción, ni tan siquiera una mención previa, hasta su aparición en la mencionada casa de subastas. No es imposible que, en un futuro, sigan apareciendo nuevos ejemplares de instrumentos astronómicos andalusíes que permitan ampliar y profundizar en el conocimiento que hasta ahora tenemos de una actividad que puede considerarse notable y fructífera.

Contemplando la belleza de algunos de los instrumentos construidos en al-Ándalus, creo oportuno recordar las palabras de Oliver Hoare: «La capacidad de la civilización islámica para perfeccionar lo que heredó y para dotar de belleza lo que hizo con ello, no se expresa en ninguna parte me-

Islamic civilization. Op. Cit., pp. 178-191 y 220-235.

79 Véase François Charette (2003). *Mathematical instrumentation in fourteenth-century Egypt and Syria. The Illustrated Treatise of Najm al-Din al-MiSri. Op. Cit.*, pp. 83-84.

80 Véase <<http://www.sothebys.com/en/auctions/ecatalogue/2017/arts-of-the-islamic-world-117220/lot.170.html>> [consultada el 12 de enero de 2018].

por que en el astrolabio». ⁸¹ En mi opinión, esta afirmación puede extenderse con toda justicia a muchos otros instrumentos de los descritos más arriba.

BIOGRAFÍA DE LA AUTORA

Emilia Calvo es profesora titular de Estudios Árabes e Islámicos de la Universidad de Barcelona. Ha participado en la actualización de los manuscritos científicos de la Biblioteca Nacional de Túnez, cuyo capítulo de Historia de la Astronomía lleva su firma. Fue directora del Departamento de Filología Semítica de la Universidad de Barcelona (2009-2014) y vicepresidenta de la Comisión Internacional de Historia de la Ciencia y Tecnología en sociedad islámicas. Asesora en la Unión Europea de Historia de la Ciencia, académica de número de la Academia Internacional de Historia de Ciencia con sede en París, autora de dos libros y artículos científicos de divulgación y coautora de un manual de introducción a la gramática de la lengua árabe.

RESUMEN

Durante el dominio arabo-islámico de la Península Ibérica los astrólogos llevaron a cabo una continua labor de construcción de instrumentos astronómicos y de redacción de tratados, que en muchos casos constituyeron innovaciones y desarrollos autóctonos. Este artículo resume los logros de la instrumentalización astronómica andalusí, remarcando la importancia del primer astrolabio construido por Ibn al-Saffar, el astrolabio andalusí más antiguo datado. Estos instrumentos astronómicos tenían multitud de funciones científicas, matemáticas y astronómicas, desde la observación de los cuerpos celestes a instrumentos matemáticos y trigonométricos. Se exponen mediante ejemplos sus usos y funciones, así como la evolución y exportación de estos, siempre centrados en al-Ándalus.

PALABRAS CLAVE

Astrología, astrolabios, al-Ándalus, ciencia, instrumentos astronómicos, matemáticas.

ABSTRACT

Throughout the Arabo-Islamic control of the Iberian Peninsula, astrologers performed the ongoing task of producing instruments for astronomy and drafting treatises, which in many cases constituted innovations and local developments. This article summarizes the achievements in Moorish astronomical instrumentation, highlighting the importance of the first astrolabe produced by Ibn al-Saffar, the oldest astrolabe from Al-Andalus to be dated. These astronomical instruments performed a wide range of scientific, mathematical and astronomical functions, from observing celestial objects to serving as mathematical and trigonometric

81 Riyadh (1985). *Exhibition Catalogue: The Unity of Islamic Art*, p. 81. Citado por David A. King (2005). *In Synchrony with the heavens. Op. Cit.*, p. 347.

instruments. Examples are provided to illustrate their uses and functions, as well as the ways in which they changed across time and their exportation, always with a focus on Al-Andalus.

KEYWORDS

Astrology, astrolabes, Al-Andalus, science, astronomical instruments, mathematics.

الملخص

خلال الحكم العربي الإسلامي لشبه الجزيرة الإيبيرية، قام المنجمون بعمل مستمر لبناء الأدوات الفلكية ولكتابة المؤلفات، والتي كانت في كثير من الحالات ابتكارات وتطويرات محلية. و توجز هذه الدراسة الإنجازات على مستوى الأدوات الفلكية الأندلسية، وتسلسل الضوء على أهمية أول أسطرلاب بناه ابن الصفار، و هو أقدم أسطرلاب أندلسي معروف تاريخه. وقد كانت لهذه الأدوات الفلكية العديد من الوظائف العلمية والرياضية والفلكية، من مراقبة الأجرام السماوية إلى أدوات للرياضيات و لعلم المثلثات. و تعرض أمثلة لإستعمالاتها و وظائفها، كما تطورها و تصديرها، بالتركيز دائماً على منطقة الأندلس.

الكلمات المفتاحية

علم التنجيم، الأسطرلاب، الأندلس، العلوم، الأدوات الفلكية، الرياضيات.