

# ALGUNAS OBSERVACIONES EN TORNO A LA PRECISIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÁMINA UNIVERSAL DE IBN BĀṢO (GRANADA S. XIII-XIV) SEGÚN LA DESCRIPCIÓN DE AL-FIṢṬĀLĪ (S. XVIII)<sup>1</sup>

E. Calvo/ H. Mielgo  
Universitat de Barcelona

En el proceso de evolución de los instrumentos astronómicos universales en al-Andalus merece un lugar destacado la denominada "lámina universal para todas las latitudes" que, además, constituye, probablemente, la última aportación andalusí en el ámbito de los instrumentos astronómicos universales.

La invención de esta lámina se debe a un *faqīh* e *imām* de la mezquita mayor de Granada llamado Abū ʿAlī al-Ḥasan ibn Muḥammad ibn Bāṣo. No se tienen demasiados datos concretos sobre la vida y la obra de este astrónomo. Ibn al-Jaṭīb le dedica unas líneas en su obra biográfica titulada *al-Iḥāṭa fī ʿajbār Garnāṭa*. En ellas indica que su biografiado provenía del Šarq al-Andalus y le designa con el nombre de *raʿīs al-muwaqqitīn*, (jefe de los calculadores de la hora) en la mezquita mayor de Granada. Este apelativo es sumamente interesante porque constituye la primera mención documentada de la existencia en al-Andalus del cargo de *muwaqqit* adscrito a una mezquita de modo oficial y, por otro lado, implica la presencia en la misma de un grupo organizado encargado de las funciones propias del *mīqāt*, es decir, astronomía aplicada a las cuestiones relacionadas con el culto, bajo la dirección de un jefe. Ibn al-Jaṭīb designa también a Ibn Bāṣo con el nombre de *šayḫ al-ḡamāʿa* (maestro de la comunidad) en el arte de construir instrumentos; además, le atribuye innovaciones aunque sin especificar en qué consisten. Finalmente, da como fecha de su muerte, en Granada, el 716 H./1316 J.C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> El presente trabajo se ha realizado dentro del Programa de Investigación "Astronomía teórica y tablas astronómicas en al-Andalus en los siglos X y XI", subvencionado por la D.G.I.C.Y.T.

<sup>2</sup> Cf. SARTON, G. (1927-1931) *Introduction to the History of Science*. Baltimore, vol. III, p. 696; SUTER, H. (1900) *Die Mathematiker und Astronomen der Araber*. Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften, 10, Leipzig, n.º 381 b, p. 157; BROCKELMANN, C. *Geschichte der Arabischen Literatur*. Supplementband I, p. 869; SANCHEZ PEREZ, J.A. (1921) *Biografías de matemáticos árabes que florecieron en España*. Madrid, p. 79; RENAUD, H.P.J. (1932) "Additions et corrections à Suter", *Isis*, 18, n.º 381 b, p. 172; RENAUD, H.P.J. (1937) "Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I.- Les Ibn Bāṣo", *Hesperis*, 24, pp. 1-12; MILLAS, J.M. (1933)

Ibn Bāšo ideó la *lámina universal* a finales del siglo XIII y compuso para ella un extenso tratado en 160 capítulos en el que se dan indicaciones para su uso. Este tratado fue redactado en el 673 H./1274 J.C.<sup>3</sup> y lleva por título *Riṣālat al-ṣafīha al-ḡāmi'a li-ḡāmi' al-'urūd* (Tratado sobre la lámina universal para todas las latitudes). De él se conservan al menos tres copias.

De la descripción de la lámina llevada a cabo en el primer capítulo del tratado se deduce que la invención de Ibn Bāšo consiste en una lámina de horizontes diseñada para ser utilizada en conjunción con la madre y la araña de un astrolabio septentrional convencional. La lámina en sí está dotada de ciertas características que la aproximan, por un lado, a la lámina de horizontes oriental y, por otro, a los instrumentos universales andalusíes desarrollados durante el siglo XI, es decir, la *azafea* de Azarquiel y la *lámina universal* de °Alī b. Jalaf puesto que, por un lado, se trata de una lámina en la que se han multiplicado los horizontes y se han suprimido las coordenadas horizontales tal como ocurre con el instrumento oriental y, por otro lado, y debido a esta ausencia de coordenadas horizontales, se ha de recurrir a un procedimiento de transformación de coordenadas similar al que se utiliza al operar con la *azafea šakkāziyya*.

Esta ausencia de coordenadas no limita sin embargo las posibilidades de uso de esta lámina como pudiera parecer en un principio pues, en contrapartida, está dotada de un doble conjunto de círculos paralelos que Ibn Bāšo denomina arcos y que permiten la transformación de coordenadas mencionada anteriormente de modo que puedan utilizarse en cada caso las coordenadas de que está dotado el ecuador que, por otro lado, es el único horizonte en esta lámina (el correspondiente a una latitud de 90 grados) dotado de coordenadas. Estas coordenadas se superponen a las líneas mencionadas y consisten, por un lado, en un conjunto de círculos concéntricos paralelos al ecuador y con centro en el de la lámina. Se denominan paralelos de

*Don Profeit Tibbon. Tractat de l'assafea d'Azarquiel.* Barcelona, pp. XXXVII-XXXVIII; MILLAS, J.M. (1943-1950) *Estudios sobre Azarquiel.* Madrid-Granada, pp. 448-449; SAMSO, J. (1972) "A propos de quelques manuscrits astronomiques des bibliothèques de Tunis: Contribution a une étude de l'astrolabe dans l'Espagne musulmane", *Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino.* Madrid-Barcelona, pp. 176-182 y CALVO, E. (1993) *Riṣālat al-ṣafīha al-ḡāmi'a li-ḡāmi' al-'urūd* (Tratado sobre la lámina general para todas las latitudes). Ibn Bāšo (m. 716/1316) Edición crítica, traducción y estudio por... Madrid.

<sup>3</sup> El autor, sin embargo, indica en el prólogo a este tratado que la idea original le había venido algunos años antes.

declinación y pueden ser septentrionales o meridionales según se encuentren entre el ecuador y el centro de la lámina o entre aquel y el trópico de Capricornio respectivamente.

Por otro lado el instrumento se completa con una regla que al girar describe diámetros de la lámina que pueden considerarse la proyección de meridianos ecuatoriales cuyo valor se puede medir en la graduación de la corona que bordea la madre del instrumento, denominada limbo. En el caso de considerar el ecuador como un horizonte más, esta red de coordenadas puede considerarse como el conjunto de almucantarates y verticales correspondientes a este horizonte. Estas coordenadas son las que se toman prestadas en el caso de operar con cualquier otro horizonte.

El modo de proceder consiste en tomar el punto de la esfera con el que se está operando y hacerlo girar hacia el norte o hacia el sur, según los casos, una cantidad equivalente a la colatitud del lugar para el que se desea operar de modo que dicho punto quede situado con respecto al ecuador en la misma posición relativa que ocupaba con respecto al horizonte. De este modo, esa posición relativa puede ser medida en las coordenadas de que dispone el ecuador mencionadas más arriba.

Esta lámina debió de ser muy popular pues se conserva un gran número de ejemplares de la misma, sobre todo en astrolabios de origen occidental (magrebí y andalusí) pero se conservan también algunos ejemplares contruidos en el Oriente musulman en un período que abarca desde el siglo XIV al XVII y en un espacio geográfico que va desde Egipto, pasando por Siria, hasta Lahore en India.

A partir del tratado de uso de esta lámina se redactaron también varios resúmenes. De entre ellos, uno merece especial atención por una característica que le hace diferente al resto de los resúmenes. En el primer capítulo del mismo se describe el modo de trazar las líneas que componen esta lámina. Es decir, en él se dan las instrucciones necesarias para llevar a cabo su construcción. Este resumen fue redactado en el siglo XVIII por un *muwaqqit* marroquí llamado Abū-l-Rabī<sup>c</sup> Sulaymān b. Aḥmad al-Fiṣṭālī de quien, como en el caso de Ibn Bāṣo, se tienen muy pocos datos. Se sabe de él que conocía la ciencia astronómica, *‘ilm al-mīqāt wa-l-ta’ḍīl*, y que fue autor de otras obras astronómicas, entre ellas un comentario sobre las dificultades de *al-Risāla al-Faṭḥiyya* de Šibṭ al-Mārīdīnī. Finalmente, se sabe que

murió en Fez en 1208 H./1794 J.C.<sup>4</sup>

El resumen de al-Fištālī al tratado de Ibn Bāšo se conserva en el ms. 1009 de la Biblioteca Real de Rabat y lleva por título *Nubda lāmi'a li-mā yata'allaq bi-l-ṣafīha al-ŷāmi'a* (Rápido resumen de lo que se relaciona con la lámina universal). Consta de 5 capítulos cada uno de los cuales está dividido en diferentes apartados dedicados principalmente a cuestiones relacionadas con el *mīqāt* (astronomía relacionada con el culto).<sup>5</sup>

El proceso seguido para la construcción de esta lámina según las indicaciones de al-Fištālī está basado en la geometría euclídea pues se trazan círculos y arcos de círculo a partir de tres puntos o a partir de un punto y el centro del círculo, etc. Este procedimiento se inicia a partir del trópico de Capricornio el cual sirve de base para trazar el resto de las líneas que componen la lámina. La elección del trópico de Capricornio como punto de partida no es la más habitual puesto que, generalmente, se comienza a partir de la proyección del ecuador pero, por otro lado, tampoco es infrecuente<sup>6</sup>.

A partir de estas indicaciones, elaboramos un programa informático en lenguaje PASCAL mediante el cual se pudo generar el trazado correspondiente a la lámina de Ibn Bāšo. El resultado obtenido (figura 1) tenía una apariencia que difería ligeramente de la de los ejemplares conservados de la lámina (figura 2) ya que los paralelos de declinación meridional parecen haber sido trazados de modo diferente. Por otro lado, en el resumen de al-Fištālī no aparece ninguna figura que permita deducir a partir de ella la apariencia del trazado que al-Fištālī tenía en mente al

<sup>4</sup> Sobre al-Fištālī cf. BROCKELMANN, C. (1938) *Geschichte der Arabischen Literatur Supplementband II*. Leiden, p. 709; RENAUD (1932), p. 183, n. 543; KHAYR AL-DĪN AL-ZIRIKLĪ (1954-1959) *Al-a'lām*. Al-Qāhira, 2nd ed., vol. 3, p. 182; AL-KATTĀNĪ, *Salwat al-anfās* ed. lit. (Fās, 1316 H.), vol. 3 p. 115; MAKHLŪF, M. (1931) *Shajarat al-nūr al-zakiyya*. Cairo, p. 372 y KAḤḤALA, R. (1957) *Mu'jam al-Mu'allifin*. Damasco, vol. IV, p. 254.

<sup>5</sup> Cf. CALVO, E. (1991) "Les échos de l'oeuvre d'Ibn Bāšo en Afrique du Nord", en *Actes du VII Colloque Universitaire Tuniso-Espagnol sur Le Patrimoine Andalous dans la Culture Arabe et Espagnole*. Túnez, pp. 65-79.

<sup>6</sup> Cf. CALVO, E. (1989) "On the construction of the Ibn Bāšo's universal astrolabe (14th C.) according to a Moroccan Astronomer (18th C.)", en *XVIII International Congress of History of Science. Abstracts*. Hamburgo-Munich, P2 n°3.

redactar la descripción de la construcción de esta lámina.

El procedimiento descrito parte del trazado de un círculo lo más grande posible que será la proyección del trópico de Capricornio, y a partir de este círculo y mediante una construcción geométrica se traza la proyección del ecuador y la de los paralelos entre el ecuador y el trópico de Capricornio.

Esta construcción traducida a fórmulas es:

$$R_{\text{eq}} = R_{\text{tc}} \cos \epsilon / ( 1 + \text{sen } \epsilon )$$

para el radio de la proyección del ecuador, y

$$R_x = R_{\text{tc}} \cos(\epsilon - \alpha) / ( 1 + \text{sen}(\epsilon - \alpha) )$$

para el radio de la proyección de un paralelo  $\alpha$  grados al sur del ecuador,

siendo  $R_{\text{tc}}$  el radio de la proyección del trópico de Capricornio, y  $\epsilon$  la oblicuidad de la eclíptica.

El proceso continúa con el trazado de los paralelos al norte del ecuador a partir de la proyección del ecuador, que en fórmulas será:

$$R_y = R_{\text{eq}} \cos y / ( 1 + \text{sen } \beta )$$

para el paralelo a  $\beta$  grados al norte.

Si bien los trazados de las proyecciones del ecuador y de los paralelos al norte de él son correctos, no ocurre así con la de los paralelos al sur del ecuador. Lo correcto hubiera sido posponer su trazado hasta después de haber trazado la del ecuador y posteriormente trazarlas desde ésta.

Los radios de sus proyecciones deberían haberse calculado desde el ecuador por:

$$R_x = R_{\text{eq}} \cos \alpha / ( 1 - \text{sen } \alpha )$$

Curiosamente, los trazados erróneos podían haberse hecho correctamente con sólo posponer su trazado, puesto que sus valores se obtienen como subproducto del

trazado posterior de la lámina.

Una posible explicación es que el procedimiento usado para trazar la proyección del ecuador a partir del trópico de Capricornio (y de los paralelos al norte del ecuador a partir de éste), que es correcto, se aplicara sin más examen al trazado de las proyecciones de los paralelos al sur del ecuador.

Otra explicación es que el procedimiento usado lo fuera conscientemente, como un procedimiento aproximado aceptable dadas las dimensiones y el procedimiento material del trazado.

Se calculó numéricamente el error del procedimiento para varios valores posibles de la oblicuidad de la eclíptica que pudieron ser utilizados (el texto habla de  $24^\circ$ , aunque en la época se utilizaban valores de  $23^\circ 30'$ ), y se comprobó que para  $12^\circ$  al sur del ecuador (o para la mitad de la oblicuidad) que da el error máximo, éste es de entre 0.8% y 1% del radio de la lámina (en exceso, es decir el radio calculado de la proyección es mayor que el que debiera haberse usado).

## CONCLUSIONES

Tanto si se trata de un procedimiento aproximado deliberadamente usado, como si se trata de un error de procedimiento que pasara inadvertido, se puede concluir que para los soportes materiales y procedimientos materiales de trazado de instrumentos de la época, un error de alrededor de 1% era o admisible o imperceptible.