

HISTORIA DE



LAS CIENCIAS Y ENSEÑANZA

HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMIA, II. LA POSICION DE LOS CUERPOS CELESTES

TEN, A.E.(1), MONROS, M.A.(2)

(1) Prof. de Historia de las Ciencias. Facultad de Matemáticas. Valencia.

(2) Prof. E.G.B. Colegio Municipal «L'Alguer». Valencia.

SUMMARY

In the following pages we continue the study of an ensemble of astronomical instruments utilized from early times, which still help us to complete an elementary knowledge of the position of the objects constituting the celestial sphere and their motions. Special emphasis has been given to their pedagogical implications.

I. INTRODUCCION

En el artículo que formaba la primera parte de este estudio¹ destacamos ya las posibilidades que, para la introducción de las ideas fundamentales de la Astronomía de posición y la comprensión de los más señalados rasgos del funcionamiento de la máquina celeste, brindaban un conjunto de instrumentos desarrollados a lo largo de la historia. Contemplábamos allí ins-

trumentos que utilizaban las sombras proyectadas por el más destacado de los cuerpos celestes, el sol, para fijar, dentro de límites de precisión adecuados a los medios utilizados, el movimiento de este, su descripción y sus consecuencias más inmediatas así como los elementos principales para la descripción de la bóveda celeste.

En las páginas que siguen estudiaremos otro conjunto de sencillos instrumentos que, utilizados también desde tempranas épocas, permiten aún ahora, completar el conocimiento elemental de las posiciones de los objetos que pueblan la bóveda celeste, sus movimientos y alguna de sus características.

II. LA POSICION DE LOS CUERPOS CELESTES

Mediante la observación directa del firmamento a simple vista, percibimos de modo inmediato, además del sol, otro cuerpo celeste singular, la luna, y una inmensa cantidad de cuerpos luminosos puntuales: las estrellas. Una observación más atenta y extendida en el tiempo, muestra el movimiento uniforme de la mayor parte de estas a lo largo del día y del año y el de la luna y algunas de estas «estrellas», respecto a las otras que parecen mantener invariables sus posiciones relativas y permiten su agrupación en imaginarias figuras: las constelaciones.

Fines diversos a lo largo de la historia, desde puramente agrícolas o cronológicos a míticos, mágicos o religiosos o simplemente descriptivos, han conducido a las distintas civilizaciones a tratar de conocer con precisión y conservar la posición de estos cuerpos en la bóveda celeste y sus movimientos. Para ello dos elementos íntimamente relacionados ha sido y es necesario poseer: medios técnicos para determinar estas posiciones con más precisión que el ojo desnudo y sistemas de registro que permitan guardarlas y observar sus variaciones. La imposibilidad de conocer las distancias reales de estos cuerpos a sus observadores ha hecho que estos elementos se traduzcan en la realidad en instrumentos de medida de ángulos y en «sistemas de coordenadas» angulares, y más propiamente, esféricas.

Esta segunda necesidad, la de poseer sistemas de coordenadas esféricas o formas de hacer corresponder a cualquier punto de la esfera celeste un conjunto (un par) de números ordenados de modo preciso y a partir de orígenes previamente definidos, surgió ya con la concepción misma de la «esfera celeste» y diversas formas de correspondencia se ensayaron desde los orígenes de la Astronomía. Conocemos con precisión la utilización por el primer constructor de un catálogo estelar, Hiparco de Nicea (S. II a. C.) de al menos dos de estos sistemas, los de coordenadas ecuatoriales y eclípticas, y otros han ido inventándose en épocas posteriores.

Uno de estos sistemas lo introdujimos de modo casi intuitivo en la primera parte, apoyándonos en el «Tubo» astronómico, orientado a la estrella polar, y en el hecho de que todas las estrellas efectúan su movimiento diurno en círculos paralelos al ecuador celeste o plano perpendicular al eje del mundo y que pasa por nuestro lugar de observación, manteniendo sus configuraciones invariables. El sistema de coordenadas ecuatoriales, definido para la Tierra en los más elementales manuales y fácilmente extrapolable a la esfera celeste,

permite fijar la posición de cualquier cuerpo en esta a través de la medida en grados y partes de grado, del ángulo que sobre el meridiano que pasa por el cuerpo, forman este y la intersección del meridiano con el ecuador y del ángulo que forma este último punto con otro sobre el ecuador, arbitrariamente fijado y que suele tomarse como el de intersección de la eclíptica con el ecuador, por el que el sol pasa en el equinoccio de primavera. A estos dos ángulos los llamamos «Declinación» y «Ascensión recta» respectivamente del punto en que se encuentra el cuerpo celeste. En las estrellas fijas estos dos números son constantes en el tiempo pero ello no ocurre así para la luna y las estrellas errantes o planetas.

Una observación atenta y ya más difícil puede permitir ver que, si se ha conseguido fijar la posición de la eclíptica o «camino» del sol entre las estrellas fijas, el movimiento «errante» de estos últimos cuerpos a lo largo de los días se efectúa sin apartarse mucho de esta imaginaria circunferencia. Parece natural, aunque más complejo a primera vista, utilizar esta circunferencia y el eje perpendicular a ella para definir un nuevo sistema de coordenadas, las eclípticas, segundas de las utilizadas por Hiparco en su catálogo de estrellas. Estos sistemas pueden visualizarse de modo muy fácil con la ayuda de dos instrumentos antiguos y que describiremos luego brevemente: la esfera armilar y el globo celeste.

Tras estos sistemas, cuya mayor dificultad estriba en mantener bien definidos a efectos operativos y sin una técnica muy elaborada los puntos y círculos de referencia, y con la aparición de procedimientos y aparatos de medida de tiempos suficientemente precisos, aparecieron otros sistemas en que las coordenadas eran a su vez funciones sencillas del tiempo y de puntos y círculos más fácilmente materializables: el horizonte y el meridiano del lugar de observación: son los sistemas de coordenadas horizontales y horarias cuya descripción y procedimientos de transformación a los de coordenadas ecuatoriales y eclípticas pueden encontrarse en casi todos los manuales de Astronomía esférica.

El estudio general de todos estos sistemas de coordenadas y sus transformaciones mutuas constituye ya un tema complejo de la Astronomía matemática que requiere buenos conocimientos de trigonometría esférica. La trigonometría, algunas de cuyas técnicas fueron ya apuntadas por los griegos, sobre todo a través del uso de cuerdas por Ptolomeo, no se desarrolló con las funciones que actualmente utilizamos, hasta prácticamente el siglo XIII y entre los árabes, lo que no impidió a la Astronomía alcanzar niveles realmente importantes con los procedimientos de registro más sencillos y elaborar, a partir de la observación instrumental, modelos matemáticos de cálculo de efemérides ciertamente precisos. Parte de este bagaje instrumental, desarrollado a lo largo de los tiempos y de construcción y utilización bien simple, puede proporcionar un buen

conocimiento de las posiciones y movimientos de los cuerpos de la bóveda celeste.

Describiremos brevemente a continuación algunos de estos para medir alturas, distancias angulares y coordenadas directamente así como tipos sencillos de monturas.

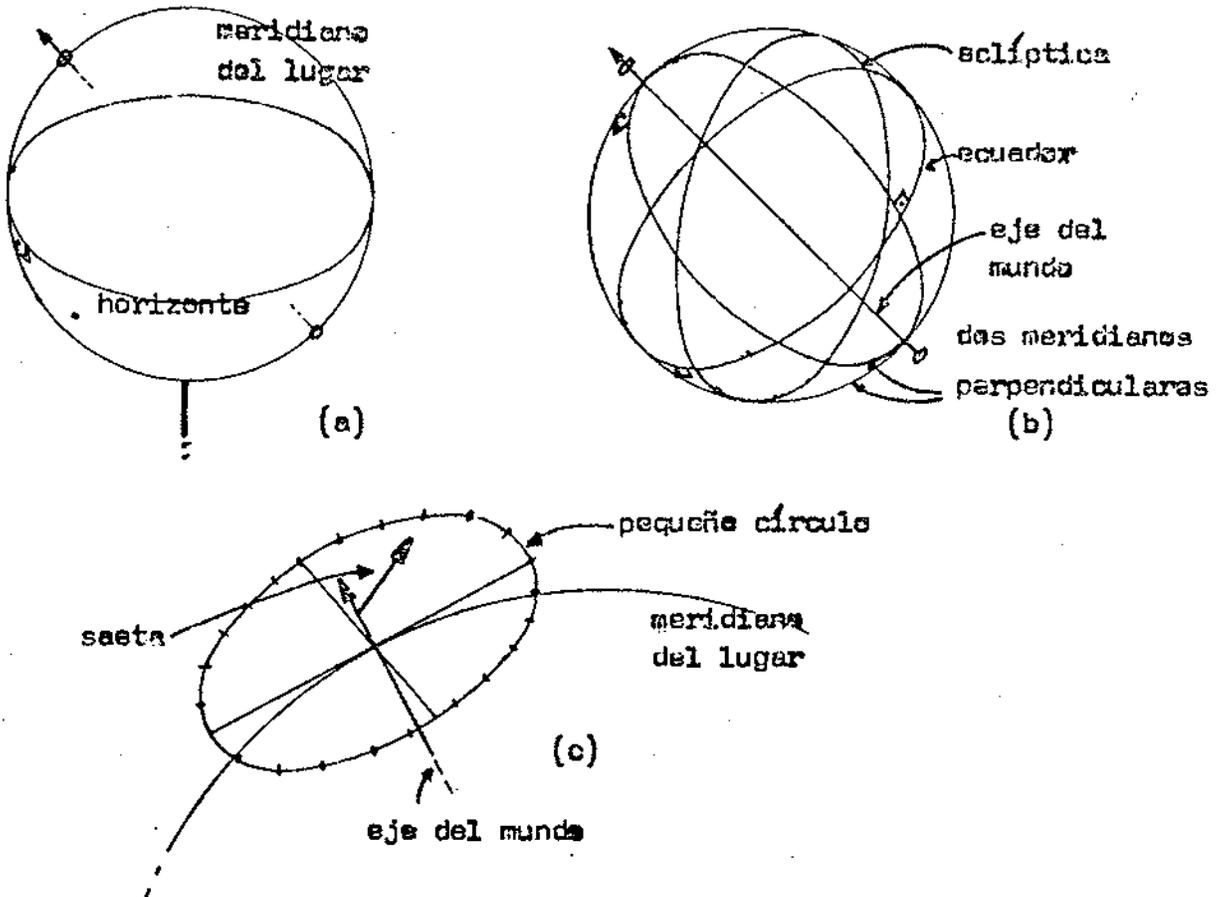
III. LOS INSTRUMENTOS

Imaginar la esfera celeste, con sus círculos principales y los cuerpos celestes referidos en su posición a estos círculos, es una tarea ciertamente compleja para el principiante, que sin embargo puede ser grandemente simplificada mediante el uso de dos instrumentos ya antiguos: la esfera armilar, popular entre los griegos, y el globo celeste, que ha ido perfeccionándose a lo largo del tiempo y que es objeto fácil de adquirir por los escolares de nuestros días. Su utilidad pedagógica hace que sea interesante referirnos brevemente a ellos.

La esfera armilar es un ensamblaje de los principales

círculos que se han definido sobre la esfera celeste. Aunque en algunos casos se le añadieron alidadas y pínulas para convertirla en un instrumento de observación, es más un medio de visualización y también de cálculo.² Fácilmente construible mediante aros de madera cortados en los puntos necesarios y ensamblados con pegamento, de dos tamaños un poco diferentes y varillas finas o alambre de hierro, tiene una parte fija y otra móvil (Figura 1, a, b), la primera representando usualmente el horizonte y el meridiano del lugar de observación y la segunda los círculos principales de la bóveda celeste: dos meridianos perpendiculares entre sí, en cuyas intersecciones se fija el eje del mundo, el ecuador celeste y la eclíptica.³ El eje se inserta, de modo que pueda girar sobre sí mismo, en el meridiano fijo, y tal que tenga una inclinación sobre el horizonte igual a la latitud del lugar de observación, por lo que si se orienta al Norte apuntará aproximadamente a la estrella polar. Los círculos pueden graduarse y sobre la eclíptica dibujar o señalar los signos zodiacales, tomándolos de 30° en 30° a partir de la intersección del ecuador con la eclíptica, el llamado «punto Aries» porque

Figura 1



en él comienza este signo. La parte superior del eje puede atravesar al círculo del meridiano fijo en que se inserta y puede proveérsele de una pequeña saeta para marcar, sobre un pequeño círculo de cartón pegado en el meridiano de modo que el eje lo atraviese por su centro y sobre el que se han trazado 24 divisiones, los círculos horarios que se recorren durante la revolución de 24 horas del eje del mundo (Figura 1, c).

En la utilización de la esfera armilar con fines pedagógicos, se presentan numerosas posibilidades, de las que solo señalaremos algunas. Lo más inmediato es darle a la esfera anterior un giro completo, marcado por el pequeño indicador superior, sobre el eje del mundo orientado, si es posible, en la dirección de la polar, y observar la estacionariedad del ecuador celeste y el alabeado movimiento diurno del plano de la eclíptica. La esfera armilar nos brinda por ejemplo, un modo fácil de calcular la «duración de los días» en cualquier época del año: En efecto, el sol recorre el círculo de la eclíptica en un año (aproximadamente 1° por día), ascendiendo desde el punto Aries, en que se encuentra el 21 de marzo, al inicio de la primavera, hasta el punto Cáncer, el más alto de la eclíptica, que alcanza el 21 de junio. Después desciende por ella pasando por el punto opuesto al Aries, el Libra, el 21 de septiembre y llegando al más bajo, Capricornio, el 21 de diciembre, para volver a subir. Utilizando por ejemplo una chincheta amarilla para señalar el lugar del sol en un día determinado sobre la eclíptica y girando la esfera interior hasta que este punto coincida con el horizonte en el Este, si se lee lo que señala el indicador superior y se gira luego la esfera hacia el oeste hasta que el sol coincida con el horizonte, el ángulo girado por el indicador nos dará el número de horas que el sol ha permanecido sobre el horizonte y por tanto la «duración de ese día». Es muy simple así mostrar la mayor duración de los días en primavera y verano que en otoño e invierno y su razón.

Pueden asimismo situarse los planetas sobre la eclíptica con chinchetas de diferentes colores, en las posiciones que pueden obtenerse en un anuario astronómico e ir desplazándolos para observar tanto su movimiento diurno como propio, de un modo aproximado. La esfera armilar brinda muchas posibilidades de este tipo y en su utilización a los niveles primarios de la iniciación astronómica, proporcionan al alumno una fácil comprensión de fenómenos en principio complejos de visualizar.

Si la esfera interior de que hemos hablado se sustituye por una bola en la que se han trazado los círculos que constituirían aquella y señalado los puntos que corresponden a la posición de las estrellas más importantes y sus agrupaciones en constelaciones, tendremos un «Globo celeste», de tradición también muy antigua.⁴ Si las posiciones están correctamente situadas, el globo celeste permite leer directamente las coordenadas ecuatoriales o eclípticas de las estrellas, calcular sus dis-

tancias angulares y observar, como si de un pequeño planetario se tratara, el movimiento de toda la bóveda celeste, bien que desde un hipotético «exterior». Globos celestes existen en el mercado pero puede ser interesante para el alumno hacer el ejercicio de trazar en una bola (una pelota recubierta de papel, por ejemplo) los círculos y las posiciones de las estrellas y constelaciones más significadas. Ello proporciona de modo fácil e intuitivo un apoyo a la comprensión de los sistemas de coordenadas.

Tras estos instrumentos podemos ya introducir algunos de medida directa de ángulos y coordenadas, cuya facilidad de construcción, comprensión y manejo, los hace utilizables en los primeros estadios de la Astronomía.

Elemento esencial en la observación astronómica es la medición de alturas sobre el horizonte. Desde la medición de la latitud a la observación meridiana y el cálculo de la declinación o a la fijación del almucantarato en que se encuentra un cuerpo celeste para su traslado a un astrolabio, el conocimiento de la altura de los objetos celestes sobre el horizonte ha sido tarea fundamental para los astrónomos desde mucho antes de comenzar a utilizarse las coordenadas horizontales. Ello ha motivado la aparición de gran número de instrumentos susceptibles de esta utilización. Entre los instrumentos de fácil construcción dentro de los requerimientos de precisión al nivel que nos movemos, podemos elegir los Cuadrantes, la Regla Paraláctica y la Ballestilla.

Existen muchos tipos de cuadrantes, de los que alguno nos apareció ya entre los instrumentos dedicados al sol. El Zócalo de Ptolomeo era uno de ellos. Esencialmente constan de un cuadrante de círculo graduado y provisto de una alidada o radio móvil que puede girar alrededor del punto que correspondería al centro del círculo completo, sobre la que van montadas dos pínulas para establecer la visual.⁵ Un modelo sencillo para medir alturas puede llevar la alidada solidaria de uno de los radios que limitan el cuadrante, sobre el que van montadas las pínulas. El instrumento se mantiene en el plano vertical y puede ser sostenido por la mano o más usualmente por un pie vertical que en su extremo superior tiene un eje horizontal alrededor del cual puede girar el cuadrante sostenido de su centro (Figura 2). La verticalidad se asegura mediante una plomada⁶ que al mismo tiempo sirve de dial para marcar la inclinación de la alidada o radio en el que se sitúa la visual, cuando esta apunta al astro cuya altura se quiere medir. Aparte de la construcción del cuadrante, que puede hacerse de madera y, si no es posible, de cartón, la graduación, que suele ser lo más difícil, puede resolverse adquiriendo papel milimetrado circular, de venta en papelería, cortando un cuadrante y pegándolo sobre la madera o cartón.

Si la graduación empieza por el radio extremo distinto al que constituye la alidada y con esta se apunta a la estrella polar, el hilo de la plomada indicará directa-

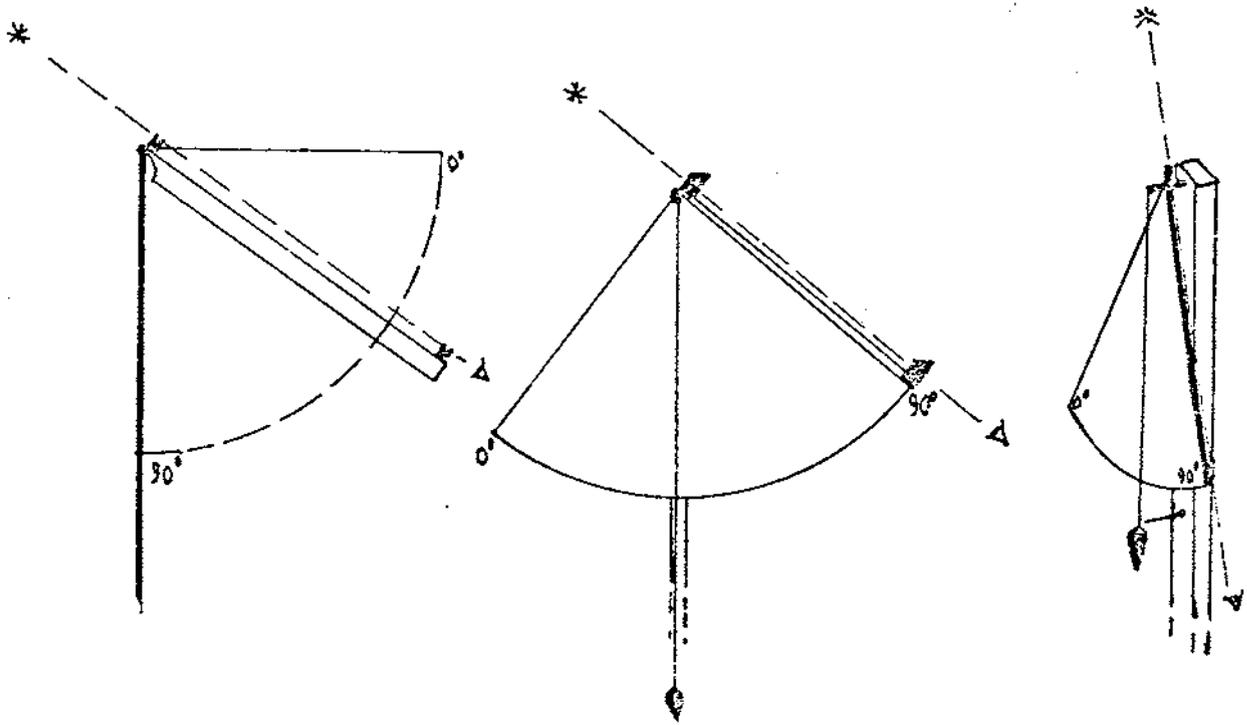


Figura 2

mente la latitud del lugar de observación y medidas repetidas pueden incrementar, dentro de ciertos límites, la precisión. Además de esta medida, tal vez la más inmediata e importante, otra experiencia fácil e interesante de realizar puede ser la de obtener diversas medidas de la altura de una estrella a diferentes horas o intervalos para comprobar que su culminación o paso de la estrella por el meridiano del lugar es efectivamente la altura máxima que alcanza sobre el horizonte. De este modo, el concepto de culminación se convierte en inmediato.

Como hemos visto, el cuadrante da inmediatamente el ángulo deseado, pero su estructura limita su tamaño para una construcción no excepcional. Por ello se desarrollaron instrumentos con el mismo fin, pero cuya construcción permitía fácilmente dimensiones mayores, en un caso paralelo al del Polos y el Gnomon. Entre ellos vamos a citar a la regla paraláctica y la ballestilla, la primera atribuida a Ptolomeo y la segunda, de origen también remoto aunque muy utilizada por los navegantes de la Edad Media y el Renacimiento.

Estos dos instrumentos no dan directamente ángulos como resultado de la medición sino cuerdas, que deben transformarse en ángulos. Veamos primero la re-

gla paraláctica: consta esencialmente de tres varillas, una vertical que hace de pie del instrumento, otra articulada a través de un eje en uno de sus extremos, al extremo superior de la vertical y con un orificio a una distancia d del extremo articulado y por fin otra varilla articulada a la vertical en uno de sus extremos a una distancia d del extremo superior de esta y que pueda desplazarse libremente a través del orificio de la segunda varilla. De este modo se consigue que las tres formen siempre un triángulo isósceles de abertura variable (Figura 3).

Disponiendo de una tabla de cuerdas en función del ángulo de apertura y de la distancia d tomada como radio constante, construíble de modo geométrico o incluso empírico, puede conocerse el ángulo que corresponde a la cuerda que se forma cuando la varilla articulada en el extremo superior de la vertical apunta al cuerpo celeste cuya altura se quiere medir. El ángulo con el horizonte será 90° menos el obtenido con la medición. Colocado el instrumento en el plano del meridiano del lugar, la declinación de cualquier cuerpo celeste se obtendrá restando el ángulo obtenido de la latitud del lugar si estamos observando hacia el sur o sumándola si estamos observando hacia el norte (en el

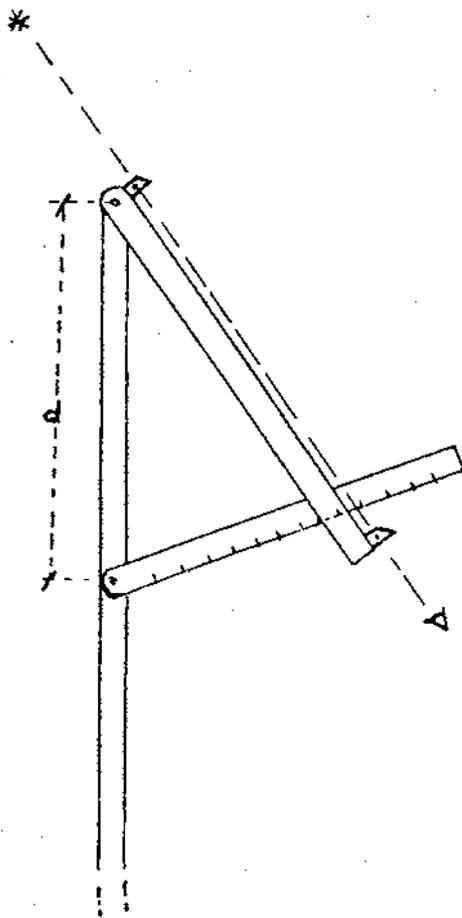


Figura 3

arco que del cenit al horizonte pasa por la estrella polar).

El hecho de que los errores por flexión de las varillas sean de segundo orden hace que las dimensiones de estas puedan alcanzar valores significativos. Otro instrumento, basado sobre los mismos principios pero en este caso fácilmente transportable y utilizable, soportándolo con los brazos, es la Ballestilla, que alcanzó considerable uso con la navegación por altamar y con la cual calculaban los pilotos la altura de la polar y la del sol¹ en las travesías transoceánicas. De fábrica muy sencilla, consta esencialmente de dos varillas de diferente longitud, la más larga atravesando a la menor por su centro de modo que sujetando la mayor con la mano y situado el ojo en un extremo (la «coz» lo llamaban los marinos), la menor podía acercarse o alejarse del ojo (Figura 4. a). En este caso y a diferencia de la regla paraláctica, la cuerda permanece constante y el ángulo que con el ojo subtenden los extremos de la varilla menor, varía con la distancia de esta al ojo. Tabulando el ángulo en función de esta distancia, podía obtenerse este a partir de la observación directa.

Nos referiremos de nuevo a ella al hablar de las distancias angulares. En la medición de alturas el procedimiento operativo es en principio sencillo: con el ojo en la coz, se alinea un extremo de la varilla menor con el horizonte y se mueve esta varilla hasta que el otro extremo se alinee con el ojo y el cuerpo cuya altura se quiere medir. Si la varilla mayor ha sido ya graduada, bien en partes o bien ya directamente en ángulos a través de cualquier procedimiento geométrico o gráfico, observando el lugar en que hemos detenido la varilla menor, se obtiene el ángulo o altura deseada.

En su forma más elaborada, hacia el siglo XVI, la ballestilla estandarizó sus dimensiones utilizando cuatro varillas transversales intercambiables, de longitudes $1/2$; $1/4$; $1/8$; y $1/16$ de la de la varilla mayor, que solía llegar a los 2 metros. Sin llegar a estas dimensiones y por su sencillez de construcción, de manejo y los conceptos en ella implicados, es un instrumento de construcción recomendada.

La ballestilla también es útil, y con esto entramos en la medida de distancias angulares, para medir la distancia angular entre estrellas, y entre estas y la luna o los planetas. Realmente parece ser que su origen se encuentra entre las prácticas a este fin de los antiguos astrólogos. Para ello simplemente se alinean la coz, una estrella o planeta y un extremo de la varilla menor y se corre esta, moviendo la mayor si es necesario, hasta que el otro extremo se alinee con el ojo en la coz y la estrella de la que queremos calcular la distancia angular respecto de la primera. De nuevo la posición de la varilla menor sobre la mayor nos indicará el radio al que corresponde la cuerda y con él el ángulo deseado (Figura 4. b).

La utilización de la ballestilla a este fin da origen a prácticas ciertamente interesantes y que contribuyen a mejorar el conocimiento de la bóveda celeste y los cuerpos que en ella se mueven. Es ilustrativo calcular, ya con un poco de experiencia en su manejo, la posición de la luna respecto a una estrella determinada durante varios días a la misma hora y tratar de calcular la velocidad de nuestro satélite o hacer lo mismo con un planeta rápido, Marte por ejemplo, o hacer un pequeño catálogo de estrellas a través de sus distancias angulares respectivas, una de las técnicas con que se han elaborado buenos catálogos estelares, la de triangulación.

Pero la ballestilla es ciertamente un instrumento poco preciso. La necesidad de sostenerla y observar dos visuales al mismo tiempo hace que las medidas sean ciertamente groseras aunque suficientes a alguno de los fines indicados. Instrumentos de medidas de distancias angulares directamente se han inventado también muchos a lo largo de la historia y alguno sencillo puede ser útil a nuestros fines, por ejemplo una modificación del cuadrante en que en vez de una alidada se utilizan dos, que dos observadores alinean con las estrellas bajo observación al mismo tiempo (Figura 5).

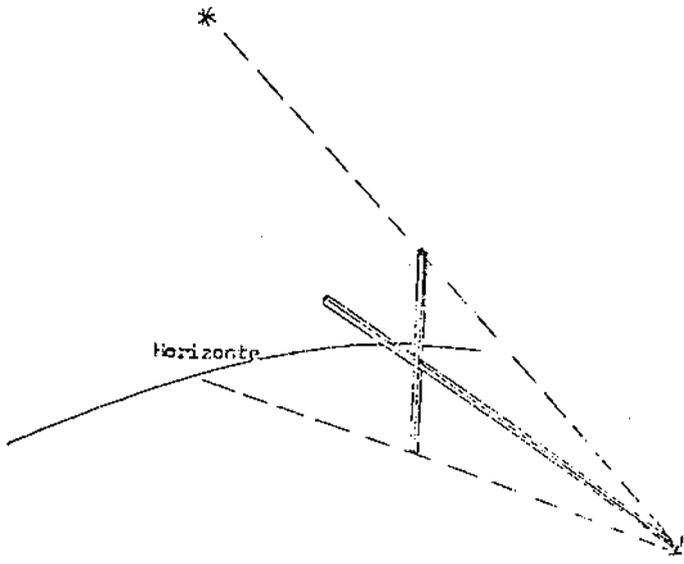


Figura 4 a

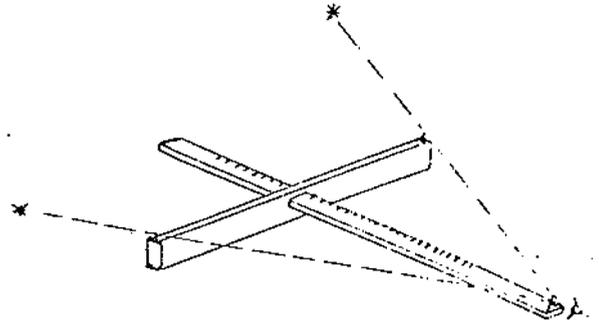


Figura 4b

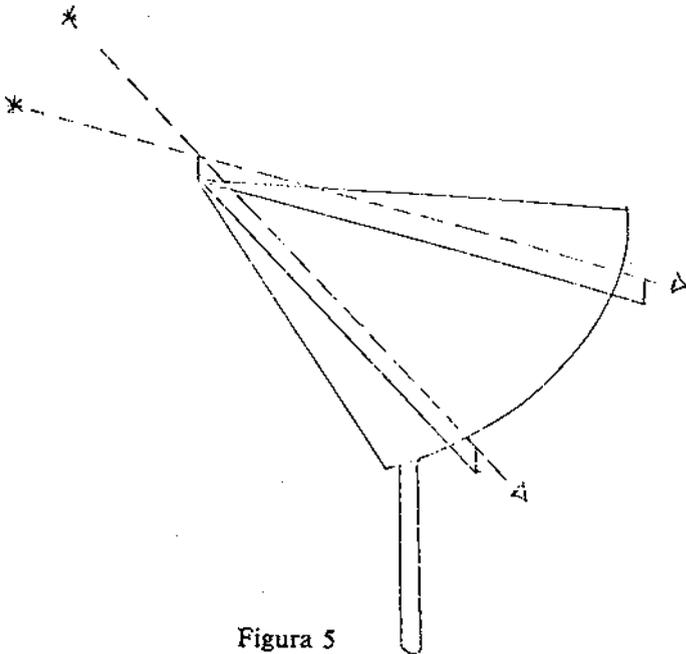


Figura 5

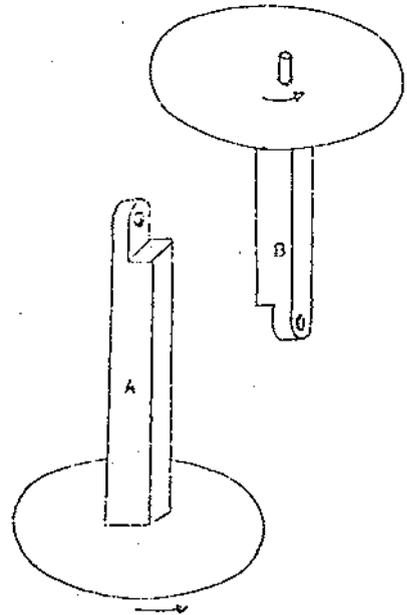


Figura 6

Este instrumento necesita ya de algún soporte y ya en épocas tempranas aparecieron monturas como la que puede observarse por ejemplo en los grabados que nos han quedado de la Dioptra de Herón (S. I-II d. C.)⁹ La montura ecuatorial es la más extendida, pues permite compensar el movimiento diurno de la tierra, pero otras más sencillas pueden utilizarse.

La figura 6 presenta una montura fácil de realizar sobre la que puede montarse un cuadrante del tipo anterior. Orientada la pieza B en la dirección del eje del mundo, esta montura permite observaciones directas en el ecuador y con pequeñas modificaciones o movimientos del pie, en toda la bóveda celeste.

Los instrumentos estudiados hasta el presente nos pueden dar una sola coordenada del objeto celeste bajo observación o bien las posiciones relativas de dos de ellos. En la historia han aparecido también instrumentos que permiten la obtención, de modo relativamente sencillo, de las dos coordenadas que definen la posición de un objeto celeste en el sistema de ecuatoriales, eclípticas y también horizontales. Un instrumento curioso concebido a este fin es el llamado Turquete o torquetum, cuya comprensión y manejo puede bien constituir el corolario de una primera fase de observación astronómica.

El Torquetum es un curioso y complejo instrumento al parecer desarrollado en el siglo XII por el árabe español Jabir ibn Aflah.¹⁰ Su utilidad más inmediata es el permitir calcular en una sola observación las coordenadas eclípticas de un cuerpo celeste. Para ello mide directamente en el plano de la eclíptica la longitud eclíptica con una alidada y la latitud eclíptica con otra (las f y g de la figura 7.a). Esta medición, prácticamente superflua si se conocen las fórmulas trigonométricas de transformación entre coordenadas, al ser mucho más fáciles de medir las ecuatoriales, mantenía su interés por la inexistencia aún en la época de invención del instrumento, de una trigonometría esférica desarrollada y el hecho de que todos los planetas siguen órbitas cuyo plano está muy poco inclinado respecto de la eclíptica, lo que convierte a este tipo de coordenadas en ideales para estudiar tales cuerpos.

Pero su interés pedagógico va mucho más allá; describámoslo brevemente: Consta el torquetum de una plataforma horizontal sobre la que se ubica otra inclinada respecto a la primera un ángulo preciso: 90° menos la latitud del lugar para el que ha sido construido. Ello hace que, orientado dicho plano al Norte, se sitúe paralelo al ecuador celeste y por tanto su perpendicular sea paralela al eje del mundo. Sobre la plataforma inclinada se traza un círculo graduado y al centro de este va atornillada una pieza compuesta por dos círculos inclinados uno respecto al otro un ángulo que es igual a la oblicuidad de la eclíptica en el tiempo en que ha sido construido (Figura 7.b). Ello hace que el círculo superior pueda colocarse en cada momento paralelo al plano de la eclíptica. Este círculo va graduado de 0°

a 360° con su origen 90° a la izquierda del punto de contacto. Este origen representa el punto Aries. Sobre este círculo y perpendicular a él va atornillada otra pieza que puede moverse libremente alrededor del tornillo que actúa de eje. Esta pieza está compuesta por una alidada con dos pínulas, que sirve para orientar toda la pieza y la inferior en la dirección de una estrella conocida próxima a la eclíptica, situando así el conjunto en el plano de la eclíptica y una vez orientado y realizada la medida de la posición de la estrella o planeta objeto de nuestro interés, obtener su longitud eclíptica. Perpendicular a la alidada, un soporte sostiene un círculo graduado al que va ligada otra alidada con pínulas.¹¹ Esta alidada nos dará, al observar la estrella alineada con sus pínulas, su latitud eclíptica. De este modo obtenemos las dos coordenadas en una sola medida. La observación del movimiento ligado de las dos alidades permite visualizar fácilmente el rango de variación de las coordenadas sobre la esfera celeste.

Pero el instrumento no solo da las coordenadas eclípticas. En efecto, eliminando la pieza de la figura 7.b, nos queda sencillamente la pieza superior en montura ecuatorial, permitiéndonos también medidas directas de coordenadas ecuatoriales y más aún, el plano que representa el ecuador celeste, podemos medir directamente coordenadas horizontales en el instante en que realizamos la medición. En el torquetum están contenidos, fácilmente observables y manipulables todos los círculos fundamentales de la bóveda celeste y todas las direcciones principales y en su utilización permite la comprensión inmediata de los problemas inherentes a la definición de los diversos tipos de coordenadas y su medición efectiva, y todo ello antes de la utilización de un bagaje matemático elevado cuya introducción queda enormemente facilitada; ello le convierte en un gran auxiliar pedagógico en la explicación de los rudimentos de la Astronomía esférica.

Con estos, otros muchos instrumentos han contribuido a lo largo de los tiempos y hasta la invención, desde hace apenas tres siglos, de los instrumentos modernos, a darnos una imagen más exacta de ese fantástico espectáculo que es la bóveda celeste. En los que hemos elegido se concentran buena parte de los elementos que constituyen una primera aproximación a la Astronomía de posición. Han sido instrumentos vivos en dilatadas épocas históricas y constituyen una base sobre la que pueden introducirse modificaciones que los hagan más útiles a las necesidades del observador. Su fácil realización por el docente y por los alumnos de niveles medios y el estudio cuidadoso de sus posibilidades de utilización puede proporcionar, creemos, una introducción descriptiva a los temas más complejos de la Astronomía matemática y al uso de los medios ópticos y de medida actuales.

NOTAS

(1) v. TEN A.E.; MONROS M.A. (1984)

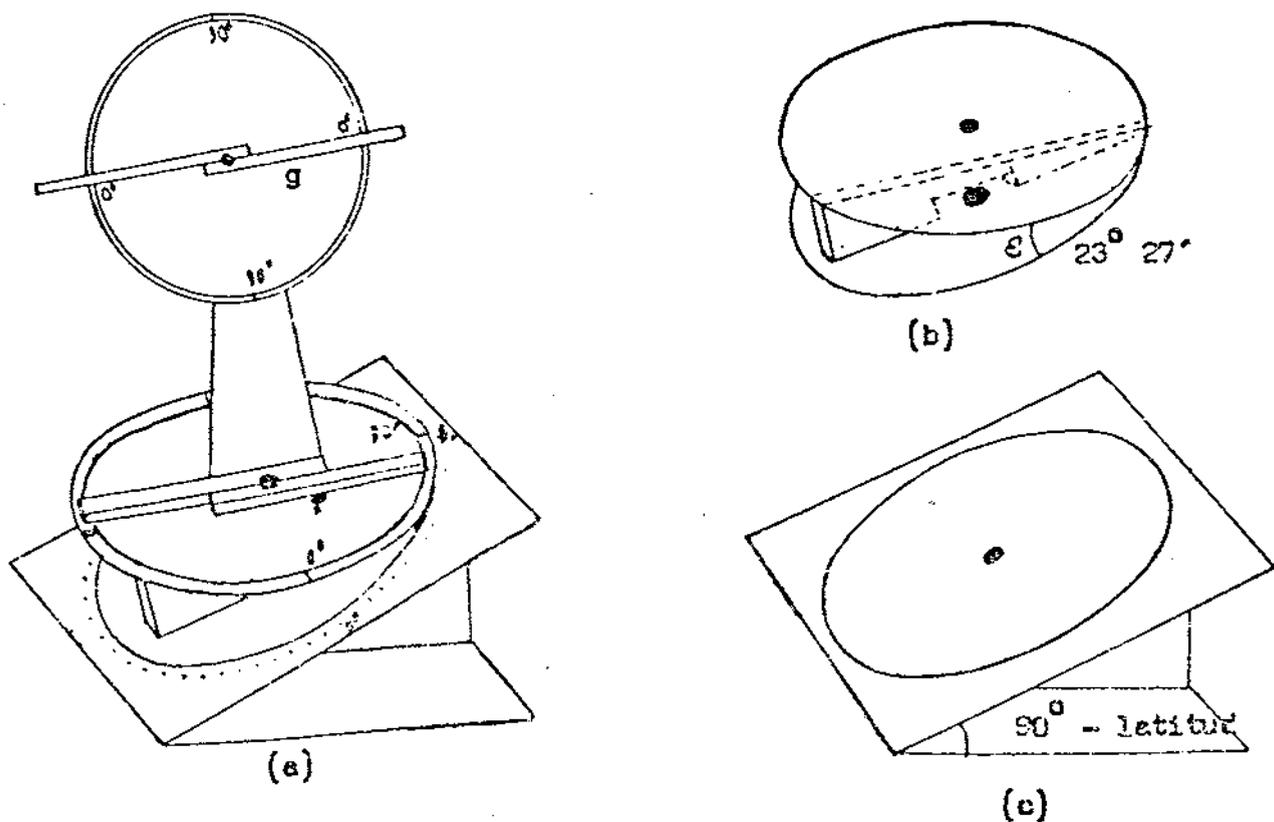


Figura 7

- (2) De hecho, casi desde sus orígenes han coexistido prácticamente confundidos en las citas y la literatura, dos instrumentos: la esfera armilar propiamente dicha y el astrolabio armilar, descrito por Ptolomeo en el Almagesto V.1. El astrolabio armilar, instrumento de medida, comporta menos círculos y está provisto de pínulas. Su engorroso manejo y el hecho de que con él hayan coexistido instrumentos que más fácilmente podrían cubrir sus fines, nos hace pensar que como tal instrumento de medida debió ser ciertamente poco utilizado y derivar en el pedagógico instrumento llamado esfera armilar. V. PRICE (1957).
- (3) En muchos ejemplares de esferas armilares pueden verse también los círculos de los trópicos o círculos menores paralelos al ecuador y separados de este una distancia angular igual a la oblicuidad de la eclíptica ($23^{\circ} 27'$) y tangentes por tanto a esta a un lado y otro del ecuador. V. LORCH (1980), p. 154-55.
- (4) La alidada es cualquier artificio capaz de marcar una visual y sostener unas pínulas o «puntos de mira». Las formas de esta son muy variadas, desde dos simples palitos a la refinada mira de un rifle de precisión. Puede ser interesante para el alumno experimentar con diferentes formas de pínulas e incluso imaginar nuevas posibilidades.
- (5) Con el mismo sistema que indicamos para el Zócalo de Ptolomeo en TEN; MONROS (1984), p. 54.
- (6) Se ha hecho famoso el cuadrante mural de más de 6 metros de radio que Tycho Brahe hizo construir en su observatorio de Uraniborg, con el que llegaban a apreciarse fracciones de pocos minutos.
- (7) La observación de la altura del sol con la ballestilla motivó que la ceguera se convirtiera en enfermedad profesional de los pilotos. El considerable tiempo que se dedicaba a ajustar las medidas propiciaba el que los rayos solares dañaran la retina. En el último periodo de utilización de la ballestilla, la observación se realizaba a la inversa: pegando una pequeña superficie (de cartón o de madera) a la coza, se situaba al ojo en el extremo inferior de la varilla más corta o transversario y se alineaba con la coza y el horizonte. Hecho esto, se movía la varilla menor hacia adelante o hacia atrás, siempre en el plano vertical, hasta que la sombra que los rayos del sol proyectaban de su extremo superior coincidiera con la coza. Sólo de este modo debe intentarse la medición de la altura del sol con la ballestilla.
- (8) V. DRACHMANN A.G. (1969) fig. 1, p. 242.
- (9) V. LORCH R.P. (1976).
- (10) Solidario con la alidada superior aparecen en las representaciones del torquetum, un semianillo de cuyo centro cuega una plomada. Su utilización, la medición directa de alturas, puede inducir a errores en este punto y al no ser elemento esencial, preferimos aquí obviarlo.
- (11)

RESEÑAS BIBLIOGRAFICAS

DRACHMANN A.G., 1969. A detail of Heron's Dioptra. *Centaurus*, 13, 241-47.

LORCH R.P., 1976. The astronomical instruments of Jabir ibn Aflah and the Torquetum. *Centaurus*, 20, 11-34.

LORCH R.P., 1980. The *Sphera Solida* and related instruments. *Centaurus*, 24, 153-161.

PRICE D. J., 1957. Scientific instruments to 1500. en: *A History of Technology*. Vol III. p. 591 y ss. Oxford, Clarendon Press.

TEN A.E. y MONROS M.A., 1984. Historia y enseñanza de la Astronomía. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, nº 1, 49-50.