

HISTORIA DE



LAS CIENCIAS Y ENSEÑANZA

HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMIA. LOS PRIMITIVOS INSTRUMENTOS Y SU UTILIZACION PEDAGOGICA. I.

TEN, A.E., MONROS, M.A.

SUMMARY

Astronomy, the most ancient of Sciences, has always been present as part of the Cultural Background of all peoples. The present paper, after reasserting the importance of Astronomy in the curricula of Intermediate levels of learning, describes and studies the characteristics and pedagogical possibilities of an ensemble of ancient instruments. In this first part, these instruments are devoted to the study of the Sun's Geocéntral motion and its consequences.

1. INTRODUCCION

La bóveda celeste es el primer objeto de observación sistemática considerado por la Humanidad. El conocimiento de las regularidades de los movimientos de los

cuerpos celestes y su relación con fenómenos terrestres se encuentra en la base de las más antiguas culturas.

Y ello es natural: la sucesión de los días y las noches,

su desigual duración, las estaciones, los ciclos de la Agricultura y las cosechas... tienen una relación directa con la posición y movimiento del Sol, la Luna y las estrellas. Concepciones más elaboradas como las religiones de muchos pueblos o prácticas como la Astrología se encuentran en la Historia en íntima conexión con la magnificencia, movimientos y coincidencias de los cuerpos celestes.

Así la Astronomía, la más antigua de las Ciencias, ha estado presente y formando parte del acervo cultural de todos los pueblos. Desde el mito a las más modernas concepciones cosmológicas sobre el Universo, a través de los sistemas geocéntrico y heliocéntrico, conceptos astronómicos y datos de observación han sido conocimiento común, bien que cambiante con el tiempo, dentro del bagaje intelectual no solo del erudito sino de la persona mínimamente ilustrada.

Pero curiosamente, el alejamiento de la vida en contacto con la Naturaleza y la especialización de los estudios que en la época actual se producen, conlleva el que este conocimiento de los mensajes que el Cosmos nos envía, sea cada vez más escaso. Los movimientos tan evidentes del Sol o de la Luna, en su camino diario o en relación con las estrellas, la marcha de los planetas o la bóveda celeste son insospechados y desconocidos por gran parte de la población actual.

El hecho invita a la reflexión y aparece lógico al contemplar que sobre la «Ciencia de los Cielos», incluso en su nivel elemental o descriptivo y salvo algún tema en segundo o tercer ciclo de EGB (1) o BUP, bien poca información se plantea en los programas, incluso en los de los futuros enseñantes.

Y sin embargo muchos de sus elementos más sencillos, precisamente los que más relación tienen con la vida cotidiana, son, en un primer nivel de aproximación y precisión, los más fáciles de obtener. Los instrumentos que en la Historia se han utilizado y se siguen utilizando desde tiempos remotos, son, en su conocimiento, buena prueba de ello.

Hasta nuestros días ha llegado el reloj de Sol, figura aún común en pueblos y ciudades. En tiempos pasados, el número de instrumentos que formaban parte de la vida cotidiana era aún mayor. Armillas Equinociales y Solsticiales eran comunes en las plazas públicas de las ciudades griegas y romanas, clepsidras o relojes de agua formaban parte de los monumentos públicos... Hasta la primera década del Siglo XVII en que Galileo dirige su telescopio a los cielos, la observación de los objetos celestes se realizaba a ojo desnudo y los principios en que estaban basados los instrumentos que se utilizaban, eran accesibles a cualquier persona mínimamente informada.

La Historia de la Astronomía se revela en este punto como un inestable fondo cultural, informativo y documental, en que, junto a los grandes Sistemas del Mundo y las concepciones cosmológicas que en su evo-

lución han conducido a nuestra actual imagen del Universo, encontramos los útiles que informaron o ejemplificaron las ideas que en cada época constituyeron su contenido.

Así, junto a los textos elementales o de divulgación con que afortunadamente podemos ya contar sobre los más importantes Sistemas del Cosmos (2) y que constituyen elemento fundamental para la reflexión sobre el lugar que ocupa la Humanidad en el Universo, parece útil contar con una información mínimamente detallada de los sencillos instrumentos con que comenzó a fijarse el conocimiento de la bóveda celeste.

El conocimiento que al docente se le supone en este primer estadio sobre los conceptos elementales de la Astronomía de posición: eje del mundo, ecuador celeste, meridianos y paralelos, cenit y nadir, horizonte y eclíptica, equinoccios y solsticios y funcionamiento elemental de la bóveda celeste, puede completarse con cualquier texto sencillo de Astronomía (3). La selección de instrumentos se ha realizado en esta primera parte, en atención a su sencillez y facilidad de construcción. Su utilización en EGB, puede ser de utilidad en la apasionante aventura de observar los cielos.

II. LOS OBJETOS DE OBSERVACIÓN.

La observación inmediata proporciona de un modo natural una imagen geocéntrica del Universo. La sensación de que la Tierra está fija en el «centro» (4) del Universo, intuitivamente aceptada por las primitivas cosmogonias, fue razonadamente establecida por la mayoría de los filósofos de la antigua Grecia y son destacables los intentos de fundamentar este geofijismo en consideraciones físicas de tipo cinemático, dinámico y observacional.

La aventura que lleva al pensamiento a despojarse de esta idea, es posiblemente la más apasionante de la evolución de la ciencia clásica. El éxito de la empresa —el heliocentrismo— necesitó veinte siglos y el cambio de los esquemas conceptuales de la Física antigua, para obtenerse. A su vez, este largo camino fundamentó a su vez los principios fundacionales de la nueva Física (5).

Aunque no faltaron en la antigüedad propuestas de introducción de geocentrismos no geofijistas, como las ideas de Hicetas, Ecfanto y Heráclides del Ponto sobre la rotación diaria de la Tierra o la idea heliocéntrica de Aristarco de Samos, entre otros, estas no constituyeron sistemas (6) y quedaron hasta la obra de Copérnico (7), como meras propuestas de interpretación de los fenómenos, al menos por lo que en el estado actual de la investigación conocemos. Tras la obra fundamental de Kepler y Newton, el siguiente paso, la consideración del Sol como estrella móvil en el seno de la Galaxia, hubo de esperar a la obra de Herschell a finales del Siglo XVIII y principios del XIX y por fin la integración de la Vía láctea en el Grupo Local de Galaxias es fruto ya de este siglo. Los dos últimos pa-

sos, culminación de la Astronomía de posición y la Astrofísica forman parte ya del estudio especializado del astrónomo profesional.

La larga pervivencia de la imagen geocéntrica, junto a razones filosóficas, fue también soportada por los cuasiperfectos mecanismos de predicción de efemérides que desarrolló la Astronomía matemática griega y por otra importante razón: su innegable utilidad práctica en multitud de aplicaciones. Aun hoy los almanaques náuticos están contruidos en la imagen geocéntrica.

Avisados y conscientes de la estructura real de nuestro Sistema Solar, podemos aun pues, en la observación inmediata, referirnos a la imagen geocéntrica y utilizar su lenguaje como artificio observacional. La transposición de esta imagen a la heliocéntrica es un ejercicio de aplicación científica y mental que debe ser objeto de atención especial por parte del docente.

En cuanto a los objetos de observación a los que se dedica esta primera parte, son en esencia las estrellas fijas y sobre todo el Sol. A éste fundamentalmente y a su «movimiento» en la esfera celeste están dedicados los aparatos que estudiaremos.

Las estrellas fijas son las que, siguiendo el camino de la Historia, nos dotan los elementos para definir la posición de cualquier cuerpo y en concreto del Sol sobre la bóveda celeste: es relativamente sencillo, aunque la necesidad de la observación nocturna plantea problemas obvios a la docencia, el definir los elementos básicos de un sistema de referencia.

Así, una experiencia sencilla que sugerimos a nivel pedagógico, consiste en proveerse de un tubo pequeño, que pueda fijarse en cualquier posición mediante un soporte, y apuntar con él, tras haberla identificado, a la estrella Polar, comprobando que ésta no sale del campo de observación (8). El tubo materializa aproximadamente el eje del mundo.

Introduciendo el concepto de esfera celeste como una esfera imaginaria de radio arbitrario en la que se sitúan los cuerpos celestes, puede definirse el ecuador celeste (e incluso materializarse con un plano) como la circunferencia intersección de la esfera celeste con el plano, perpendicular al eje del mundo, que contiene a nuestro lugar de observación. Análogamente el importante concepto de meridiano del lugar de observación se define como la circunferencia intersección de la esfera celeste con el plano definido por el eje del mundo y el Cénit, punto situado sobre la vertical del observador.

Es importante notar también que la latitud puede definirse como el ángulo formado por el eje del mundo, el tubo de nuestra experiencia, y el plano horizontal y hacer patente la dependencia de la latitud, de la inclinación del plano del ecuador a ella ligada y del meridiano, del lugar de observación en la Tierra considerada como esférica.

En posesión de estos conceptos, obtenidos ya por la Ciencia griega en su forma abstracta, es más sencilla la inteligencia de los instrumentos reseñados a continuación... No obstante, como será fácil comprender, existen datos prácticos de observación inmediata: entrada de las estaciones y duración de los días y las noches, o duración del año, que no están ligados a la consideración de la Tierra como esférica, idea de la que no existe constancia clara que conocieran los babilonios o los egipcios con anterioridad a los desarrollos teóricos de los griegos (9).

III. LOS INSTRUMENTOS Y SU UTILIZACIÓN PEDAGÓGICA.

Esta primera parte está dedicada, como hemos apuntado, a presentar y estudiar las posibilidades de algunos instrumentos basados todos ellos sobre el mismo principio: la determinación de la posición y trayectoria del Sol mediante la observación directa de las sombras que sus rayos producen.

Es importante señalar que la precisión en la observación no es objetivo fundamental en una primera etapa de iniciación a la Astronomía. Pedagógicamente podemos considerar tres niveles en la enseñanza y comprensión de las ideas astronómicas: un primer nivel puramente descriptivo, un segundo nivel ilustrativo de las construcciones teóricas sugeridas por la observación primaria y un tercer nivel en que la observación, muy tecnificada, queda reducida a la contrastación de los resultados de las técnicas matemáticas con que se formulan las teorías. Es en este nivel en el que la precisión alcanza el rango de imprescindible. En este esquema se entienden las palabras de Laplace cuando afirma:

«La Astronomía es un gran problema de Mecánica en el que los elementos de los movimientos son las magnitudes constantes arbitrarias. La solución depende de la precisión de las observaciones y de la perfección del análisis. Es muy importante rechazar todo proceso empírico y completar el análisis de manera que no sea necesario derivar la observación sino los datos indispensables.» (10).

Aunque el pedagogo debe ser consciente del alcance de esta definición de la Astronomía de posición, aplicable hasta donde alcanzan las leyes teóricas de la Física y debe transmitir a sus alumnos la idea de precisión como inherente a la Astronomía, debe comprender también, como muestra el desarrollo histórico, los estadios por los que esta ciencia, como ciencia observacional por excelencia, discurre. La precisión debe convertirse así en objeto de reflexión en el contexto de la práctica con los alumnos, en la que se conjuga perfección teórica de los instrumentos con refinamiento en las técnicas de observación (11).

Tras esta reflexión, los instrumentos que vamos a estudiar son: el Gnomon, el Polos, la Armilla equinoccial, la Armilla solsticial, el reloj de Sol ecuatorial y el Zócalo de Ptolomeo.

El más simple y a la vez el más antiguo y extendido de los instrumentos astronómicos es el Gnomon. En su forma más sencilla consta de una varilla (estilo) fijada verticalmente sobre una superficie plana horizontal, sobre la que se proyecta la sombra del estilo producida por los rayos del Sol (Figura 1).

Existe constancia de utilización del Gnomon en las más antiguas culturas. Junto a las culturas neolíticas, en que únicamente podemos conjeturar sobre el uso de ciertos monumentos megalíticos, conocemos su utilización por los astrónomos chinos, es elemento esencial de la Astronomía hindú, ampliamente utilizado por los egipcios y babilonios, Herodoto nos informa que de estos fue tomado por los griegos, posiblemente por Anaximandro (12). Ampliamente extendido por el mundo griego y romano, fue utilizado por Eratóstenes en su famosa determinación del radio de la Tierra. Fue asimismo popular entre los astrónomos árabes y es destacado el uso que de él hizo Al-Marwazi, más conocido por Al-Habas (13) en los orígenes de la trigonometría árabe. Bajo diversas formas ha sido utilizado en los tiempos posteriores y es también muy conocido el Gnomon de Paolo Toscanelli, quien utilizó con fines astronómicos la cúpula de la Catedral de Sta. María dei Fiore, en Florencia (14).

Es el antecesor de todos los instrumentos astronómicos basados en la proyección de la sombra de un objeto y a pesar de su sencillez de construcción, es grande la cantidad de información que puede proporcionar.

Sin embargo, esta información viene expresada en función de dos variables: el tamaño y la posición de la sombra del estilo, de las que ha de extraerse y convertirse en magnitudes angulares, más fácilmente utilizables. Esta última dificultad, aumentada por la carencia de una ciencia trigonométrica avanzada debió ser la que obligó a los caldeos a desarrollar otro instrumento, que, aunque un poco más complejo de construcción, es considerablemente más sencillo de utilización.

Este instrumento, el Polos, pasó también al pueblo griego a través de los babilonios (15). En esencia no es más que un Gnomon modificado en que la superficie plana se ha sustituido por otra semiesférica en que el estilo queda en el centro de la superficie cóncava, coincidiendo exactamente con el radio (Figura 2).

En él se elimina la variable «longitud de la sombra» y queda como única significativa, la posición del extremo del estilo, sobre el interior de la semiesfera. Es a su vez el origen de las Armillas, esferas armilares y el reloj de Sol ecuatorial, desarrollados por los astrónomos griegos, especialmente alejandrinos, que después estudiaremos.

Es fácil comprender que la superficie interior del Polos representa la bóveda celeste invertida. Expuesto a los rayos del Sol desde su orto a su ocaso, la sombra del extremo del estilo (cuyo lugar puede señalarse mediante un punto a intervalos regulares de tiempo), des-

cribirá en un día cualquiera una curva sobre la superficie de la semiesfera, simétrica de la descrita por el Sol sobre el horizonte durante ese día (figura 3). Ello nos proporciona la ocasión de «grabar» el camino del Sol sobre el Horizonte (\overline{SCP} en la figura 3) y «verlo» aunque en forma invertida ($\overline{S^{\prime}C^{\prime}P^{\prime}}$ en la figura 3).

Esta posibilidad de grabar el camino del Sol puede ser, en su utilización en la enseñanza elemental de los primeros conceptos astronómicos, fácilmente empleada en la visualización de las efemérides motivadas por los «movimientos» del Sol, reflejo de los que la Tierra realiza en su revolución anual alrededor de éste.

En efecto, para ello, aunque no es necesario en sentido estricto y puede determinarse con el propio instrumento, supongamos fijo el Polo y en su superficie interior trazados el meridiano y el ecuador celestes (16) en el lugar de observación. Si la experiencia de seguir la sombra del extremo del estilo (en adelante «la sombra») durante un día, se repite periódicamente, con varios días de intervalo, podrá observarse que la sombra traza curvas distintas sobre la superficie, que obviamente coincidirán con arcos de paralelos celestes simétricos de los que el Sol habrá recorrido durante los días en que se ha realizado la experiencia (ver figura 3).

Ello indica inmediatamente que el Sol, a diferencia de las estrellas fijas que siempre recorren el mismo paralelo (17), tiene «otro movimiento» sobre la bóveda celeste. Este movimiento es naturalmente el movimiento que anualmente realiza por la eclíptica, reflejo del camino real de la Tierra a su alrededor.

Si la observación se prolongase a lo largo de un año, podría observarse que la curva que describe la sombra, oscila entre una altura máxima (el día en que el Sol está «más bajo» sobre el horizonte, hacia el 21 de Diciembre (18)) y una altura mínima (el día en que el Sol se encuentra «más alto» sobre el horizonte, aproximadamente el 21 de Junio). Tomando este día como referencia, se vería ir subiendo la sombra hasta que hacia el 21 de Septiembre, coincidiría con el ecuador, continuar subiendo hasta el 21 de Diciembre y a continuación comenzar a bajar, atravesando de nuevo el ecuador hacia el 21 de Marzo y llegando otra vez a su punto más bajo hacia el 21 de Junio, repitiéndose el ciclo a continuación.

De este modo podemos determinar de modo aproximado el día en que el Sol se encuentra más alto sobre el Ecuador, el Solsticio de Verano o día en que comienza esta estación, los días en que el Sol atraviesa el Ecuador (momento en que se cortan las circunferencias del Ecuador y la Eclíptica) que corresponden a los Solsticios de Otoño y Primavera, 21 de Septiembre y Marzo, en que comienzan estas estaciones y el día en que

el Sol se encuentra en su punto más bajo respecto al Ecuador, el Solsticio de Invierno, en que comienza asimismo esta estación.

En esta variación podemos observar también la variación en la duración del «día», tiempo durante el que el Sol se encuentra encima del Horizonte, por ejemplo marcando el lugar de la sombra a intervalos de tiempo regulares (una ó media hora), que estarán representados por arcos iguales debido a la rotación uniforme del Sol, reflejo de la rotación uniforme de la Tierra alrededor de su eje. Esta duración crecerá desde el Solsticio de invierno hasta el Solsticio de Verano, siendo el «día» del Equinocio de Primavera, en que el Sol saldrá exactamente por el Este y se pondrá por el Oeste, de igual duración que su noche. Análogamente, el día decrecerá desde el Solsticio de Verano al de Invierno (19).

Con el Polos puede calcularse también el ángulo que forma el plano en que se mueve el Sol con el Ecuador celeste (en la realidad, el ángulo de inclinación del eje de la Tierra), ángulo al que se denomina «oblicuidad de la Eclíptica». Este importante ángulo, en efecto, puede determinarse directamente, midiendo el ángulo que desde el extremo del estilo (o sea sobre la superficie del Polos, ya que el estilo coincide con el radio del Polos) subtienden el punto más bajo de las curvas que traza el Sol en los Solsticios, en el momento en que se encuentran estos puntos sobre el meridiano. Su medición dará aproximadamente 47° con lo que obtendremos para la oblicuidad de la Eclíptica un ángulo de aproximadamente $23^\circ 30'$ (20).

Con todo ello se puede conseguir la visualización de la marcha del Sol a lo largo del año, conocer la entrada de las estaciones e incluso saber la hora, aunque sobre ello veremos otro instrumento particular.

Se pueden determinar también mediante el Polos la dirección del meridiano o la latitud del lugar de observación, que ya obtuvimos aproximadamente mediante nuestro pequeño tubo del principio. En efecto, el meridiano se sitúa aproximadamente en la línea que une los puntos inferiores de las curvas diarias trazadas por la sombra y la latitud se obtiene midiendo el ángulo que el 21 de Marzo o Septiembre forma la sombra en el meridiano con el pie del estilo, o mejor aún, midiendo este ángulo el 21 de Diciembre o Junio y restando o sumando los $23^\circ 30'$ de la oblicuidad de la Eclíptica.

Aunque en instrumentos de pequeño diámetro los errores son grandes y los Solsticios y Equinocios no siempre se producen los días 21 de Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre, a las 12 del mediodía (21), el Polos se revela sí como instrumento pedagógicamente importante por su capacidad de visualización directa, como

hemos visto, de conceptos ciertamente abstractos.

A ello se une el que, aunque no tanto como el Gnomon, que a continuación comentaremos, su construcción es sencilla. Es efectivamente, si no se dispone de una semiesfera adecuada (de un diámetro no inferior a unos 20 cm), puede obtenerse ésta tomando un objeto esférico del mayor tamaño posible y realizando sobre él un molde en escayola reforzada con fibra de esparto, de modo que se obtenga una semiesfera lo más perfecta posible, situando el estilo, de la longitud del radio, de modo que su extremo coincida lo más exactamente posible con el centro de la circunferencia que constituirá el borde del instrumento, situado horizontal.

El Gnomon, al que al principio nos hemos referido, pese a ser de interpretación más compleja, especialmente en la Historia antes de la invención de la trigonometría por hindúes y árabes, al trabajar con triángulos en vez de con arcos y tener dos variables, longitud y posición de la sombra, tiene la ventaja fundamental de poder tener dimensiones mayores (la longitud del estilo, poste, monumento o edificio del que se observa la sombra). Con él puede determinarse la dirección del meridiano con mayor precisión (22) y entre sus particularidades se cuenta la de que en los Equinocios, la sombra del extremo del estilo, describe una recta orientada de Este a Oeste, hecho fácil ya de comprender tras la explicación del Polos. Por lo demás y aunque las curvas que se obtienen sobre la superficie horizontal son un poco más complejas (23), se pueden realizar con él las mismas experiencias que con el Polos.

Como hemos indicado, la evolución de este último instrumento, el Polos, en su utilización por el pueblo griego, hizo derivarse de él, diversos instrumentos de uso más específico. Entre ellos se encuentran las Armillas o Esferas Armilares, de las que vamos a estudiar las más sencillas.

La Armilla Equinocial está basada en el hecho, ya comentado, de que en los equinocios, el Sol recorre el Ecuador Celeste. Por tanto colocado el instrumento, un simple anillo (Figura 4), precisamente en el Ecuador, su parte superior proyectará durante todo el día su sombra sobre la parte inferior, a la que oscurecerá completamente, solo ese día (24).

El instrumento, que en Grecia y en Roma se hallaba colocado en una plaza pública en algunas ciudades, bien fijado al suelo o a una pared, es de construcción muy sencilla aunque su orientación es un ejercicio interesante.

La Armilla Solsticial se desarrolló en varias formas, perdiendo incluso su carácter de instrumento circular. Una forma sencilla puede obtenerse situando un semia-

nillo exactamente en el plano del meridiano, materializando en el lugar de su radio un pequeño estilo horizontal. La información que se busca obtener con él es la altura del Sol en el meridiano para conocer los días de su máxima y mínima altura a que corresponden los Solsticios.

Una forma aún más simplificada se representa en la figura 5, en que el semianillo se ha sustituido ya por una simple pared o tabla puesta en la dirección del meridiano, con un cuadrante de círculo trazado y en su centro fijado un pequeño estilo horizontal que comienza a proyectar su sombra sobre el cuadrante graduado en el momento en que el Sol alcanza el Meridiano. Su construcción es también muy simple y permite medir la altura meridiana del Sol todos los días del año. Los puntos más bajo y más alto de la sombra indicarán evidentemente los días de los Solsticios de verano y de invierno.

Esta Armilla, como los otros instrumentos estudiados, son instrumentos fijos. A ello obliga la dificultad de su orientación. Junto a ellos, los griegos desarrollaron otros instrumentos móviles para cumplir fines parecidos y que pueden ser también muy útiles en la comprensión de los movimientos celestes y en el aspecto que estamos estudiando, el movimiento del Sol. Antes de estudiar el reloj de Sol ecuatorial, también fijo, estudiaremos un instrumento muy parecido a nuestro modelo de Armilla Solsticial, el llamado Zócalo de Ptolomeo, atribuido al famoso astrónomo del Siglo II d.C. aunque posiblemente formas parecidas existirían antes de esta época.

Su justificación histórica es sencilla. Dado que los griegos tenían buenas tablas de las posiciones del Sol en función de los días del año y las horas del día, el conocimiento de la altura del Sol en un momento determinado, podía proporcionar la fecha o incluso la hora, en la observación meridiana o si se conocía el Azimut del Sol (25).

Consiste en un bloque paralelepípedo (figura 6) sobre el que, en una de sus caras, se ha trazado un cuadrante. Al igual que el modelo de la Armilla Solsticial que hemos presentado, un estilo horizontal se fija en el centro del cuadrante. Es esencial que las caras del paralelepípedo se encuentren perfectamente horizontales y verticales; para ello, el instrumento de la figura 5 tiene sencillo medio de nivelación: sobre el radio vertical del cuadrante se fija otro estilo ligeramente más corto que el superior. De éste pende un pequeño peso que hace las veces de péndulo: cuando el extremo del estilo inferior roza el hilo que suspende el peso, el instrumento está perfectamente situado para la medición.

Su funcionamiento es muy sencillo: colocado de forma que la cara graduada quede en la sombra y perfec-

tamente situado horizontal y verticalmente, se va girando en dirección al Sol hasta que el extremo oriental de éste (en el caso del instrumento de la figura), comienza a iluminar la cara graduada. En este momento el estilo, superior comienza a proyectar su sombra sobre la graduación, lo que permite directamente medir la altura del Sol sobre el horizonte en ese momento.

Por su sencillez puede también ser útil auxiliar en la enseñanza y permite mostrar en cualquier momento la altura del Sol, realizar tablas o simplemente comprobar las variaciones de la altura del Sol día a día u hora a hora. Sus dimensiones son arbitrarias, lógicamente cuanto mayores, mayor será la precisión del instrumento, pero por ejemplo un ladrillo macizo puede ser una útil base para su construcción práctica.

Por fin, el último instrumento que en esta parte estudiaremos es un reloj en sentido estricto, pues alguno de los estudiados pueden cumplir tal finalidad. Se trata del reloj de Sol Ecuatorial o Cuadrante Ecuatorial. Basado en la propiedad, ya observada por el Polos, de la regularidad del movimiento del Sol durante su trayecto sobre el horizonte, imagen del regular movimiento de la Tierra sobre su eje, el reloj de Sol Ecuatorial consta sencillamente de un plano atravesado por un estilo vertical respecto a él, que sirve de centro a dos circunferencias grabadas sobre ambas caras del plano y graduadas (Figura 7). El plano se hace coincidir con el Ecuador Celeste, de modo que el estilo se dirige exactamente hacia el Polo Norte. El ángulo α de la figura será por tanto igual a la colatitud ($90^\circ - \text{latitud}$) del lugar de observación.

Dado que en Otoño e Invierno, el Sol se encuentra constantemente bajo el Ecuador (lo hemos podido comprobar ya con el Polos), la sombra del estilo se proyectará sobre la cara inferior mientras que la cara superior queda constantemente en la sombra. En Primavera y verano, la sombra la proyectará el estilo superior y la cara inferior quedará constantemente en la sombra.

Si sobre las circunferencias grabamos radios cada 15° (26), la sombra recorrerá cada uno de los sectores circulares en una hora exacta, coincidiendo las 12 (T. U.) aproximadamente con el radio vertical inferior (26).

La sencillez y precisión de este reloj motivó que incluso hasta el Siglo XVIII, se utilizase para calibrar los relojes mecánicos. Es un instrumento extraordinariamente ilustrativo tanto en su indicación de la hora como en el tránsito de la sombra desde la cara inferior a la superior y viceversa precisamente en los equinoccios.

A su vez nos proporciona, teniendo un reloj normal, el determinar salvo el error de ecuación de Tiempo (ver nota 26) y las imprecisiones de construcción y observación, la dirección del Polo Norte y la posición del Ecuador: En efecto, conociendo la hora y la corrección en la ecuación de Tiempo del día y haciendo coincidir la sombra del estilo con la hora o el grado corres-

pondiente en la circunferencia graduada, el instrumento se habrá orientado en la dirección correcta.

Con él termina esta parte dedicada a los instrumentos de sombra. Junto al conocimiento de su orígenes históricos, la sencillez y economía de su construcción, hace posible la construcción con medios no especializados

NOTAS

- (1). Pueden consultarse los PROGRAMAS renovados de la Educación General Básica: Ciclo medio, Área de Ciencias de la Naturaleza, bloque temático 2,7. Ciclo Superior, Área de Ciencias de la Naturaleza, bloque temático 3,5. Publicados por Ed. Escuela Española, Madrid, 1981.
- (2). Podemos citar como más accesibles entre los muchos que ya existen, los de ABETTI (1978), HANSON (1978) o WILSON (1983). Es importante también, por su gran cantidad de información la obra conjunta TATON (Ed.) (1971).
- (3). Existen también muchos y buenos tratados de introducción a la Astronomía. Podemos citar por ejemplo MARTIN ASIN (1979) o RONAN (1982).
- (4). Tal idea, razonada al parecer en primer lugar por Anaximandro (hacia 570 a.C.) al afirmar que si no estuviera en el centro «caería» hacia él, no fue compartida por los pitagóricos, para los que giraba alrededor de un fuego central, por ejemplo en Filolao (Siglo V a.C.).
- (5). Puede ser muy interesante a este respecto la lectura comentada de la inmortal obra de Galileo GALILEI (Ed. Esp. 1975), en especial los párrafos de la Segunda Jornada en que se introduce la Relatividad galileana, pgs. 37-56, 90-91. 154-155.
- (6). Ver HANSON (1978), esp. Libro 2, parte 1, pg. 165 y ss.
- (7). Afortunadamente es accesible ya la obra de Copérnico en Castellano COPERNICO (Ed. Esp. 1982). Es accesible también la traducción del Libro I en la edición de Koyré (1965). Puede consultarse también una trad. castellana del «Commentariolus», primera obra expositiva de Copérnico sobre sus ideas heliocentristas: COPERNICO, DIGGES, GALILEI (1983).
- (8). La Polar, como es conocido no coincide con el Polo Norte Celeste, trazando a su alrededor en su movimiento diario, un círculo de unos 50° de radio. La utilización de tubos para individualizar estrellas es citada ya entre griegos y árabes.
- (9). Existen sin embargo indicios de que una idea de este tipo pudo ser utilizado con anterioridad a los filósofos y astrónomos griegos.
- (10). LAPLACE (1799-1925). La cita puede encontrarse también en HANSON (1977).
- (11). Debe hacerse especial énfasis en la importancia de la repetición de las medidas como método de reducción de errores. En los primeros tiempos de la Astronomía, prácticamente el único medio de reducir los errores de los imperfectos instrumentos de observación, consistía en la realización de observaciones largo tiempo repetidas.
- (12). Ver por ejemplo DAMPIER (1972) o el artículo de Lefebvre y Vercouter en TATON (1971), Vol. I, pg. 31. La referencia base para prácticamente todas las demás, puede encontrarse

y permite dotar de ellos a cualquier centro e incluso propiciar la construcción de instrumentos para uso personal. La comprensión de su funcionamiento y sobre todo la observación a través de su utilización son a la vez un excelente apoyo a las explicaciones teóricas y una motivación importante que el docente puede utilizar en beneficio de la enseñanza. (27)

- en la Historia de la Gnomónica contenida en el Vol. I. pg. 715-736 de la Histoire des Mathématiques de MONTUCLA (1799-1802).
- (13). Ver por ejemplo MIELI (1952), esp. pg. 60 o SMITH (1958), esp. Vol. I, pg. 174, Vol. II, pg. 622.
- (14). Ver por ejemplo ABETTI (1978), esp. pg. 76 y ss.
- (15). V. refs. nota (12).
- (16). De hecho, en la utilización del Polos como reloj de Sol, tenía grabadas estas semicircunferencias más otras representando a los husos horarios y los trópicos. Es útil graduar de 0° a 90° el cuadrante norte del arco del meridiano para leer directamente las alturas mínimas de la sombra y en su paso por el meridiano.
- (17). Abstracción hecha evidentemente, de las correcciones de Precisión y Nutación despreciables a este nivel de precisión.
- (18). A efectos nemotécnicos hablaremos siempre de la fecha «21». Realmente el momento de los Solsticios y Equinocios varía respecto del calendario en días y horas. El momento exacto puede encontrarse fácilmente en cualquier anuario o almanaque astronómico.
- (19). Puede construirse y visualizarse de este modo, una representación de los husos horarios, utilizables, si se tiene una buena tabla de longitudes eclípticas del Sol a lo largo del año, para conocer la hora por la noche, aunque hay otras formas más sencillas de conocer astronómicamente ésta.
- (20). El ángulo, ligeramente variable con el tiempo, tiene aproximadamente un valor de 23° 27' 8",26, referido al año 1900.
- (21). Puede ser interesante sobre todo en los Equinocios, en que la variación es más rápida en declinación, tratar de afinar en la observación.
- (22). Sobre todo si se tiene en cuenta la llamada «ecuación de tiempo» propiciada por el no uniforme movimiento del «Sol verdadero» respecto del «Sol medio». La explicación de ello y el valor de la corrección a aplicar para obtener el mediodía verdadero se encuentran en cualquier libro de Astronomía. Ver por ejemplo MARTIN ASIN (1979), esp. pg. 217.
- (23). Realmente hipérbolas.
- (24). Aunque puede ser que no durante todo el día, debido a la variación tan rápida de declinación que se produce en los Equinocios.
- (25). En su Orto, o sea, el ángulo entre la dirección Sur y el punto del horizonte en que se produce el Orto en un día determinado.
- (26). $15^\circ = 360^\circ / 24 \text{ horas}$.
- (27). La descripción de otros instrumentos puede verse también en TEN, LOPEZ (1983).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABETTI, G., 1978, *Historia de la Astronomía*, (1ª reimpr. México, Fondo de Cultura Económica (Breviarios n° 118)).

COPERNICO, N., 1965, *Las revoluciones de las Esferas Celestes*, (Ed. Koyré, B. Aires, EUDEBA).

COPERNICO, N., 1982, *Sobre las revoluciones de los Orbes Celestes*, (Ed. Minguez-Testaí, Madrid, Editora Nacional).

COPERNICO, DIGGES, GALILEI, 1983, *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, (Ed. A. Elena, Madrid, Alianza Ed. (L.B. n° 953)).

DAMPIER W.C., 1972, *Historia de la Ciencia*, (Madrid, Tecnos).

GALILEI, Galileo, 1975, *Diálogo sobre los Sistemas Máximos*, (Ed. J. M. Revuelta, B. Aires, Aguilar).

HANSON, N.R., 1977, *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*, (Madrid, Alianza Ed. (A.U. n° 177)).

HANSON N.R., 1978, *Constelaciones y Conjeturas*, (Madrid, Alianza Ed. (A.U. n° 203)).

LAPLACE P.S., 1799-1825, *Mécanique Céleste*, (París).

MARTIN ASIN F., 1979, *Astronomía*, (Madrid, Paraninfo).

MIELI, A., 1952, *El Mundo Islámico y el Occidente Medieval Cristiano*, (2ª Ed. B. Aires-México, Espasa-Calpe).

MONTUCLA, J.E., 1799-1802, *Historie des Mathematiques*, (París, Agasse).

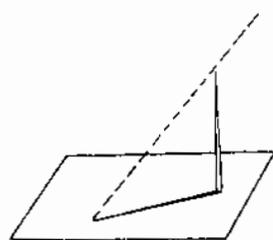
RONAN, C.A., 1982, *Los amantes de la Astronomía*, (Madrid, Blume).

SMITH, D.E., 1958, *History of Mathematics*, (N. York, Dover).

TATON, R., 1971, (Ed.) *Historia General de las Ciencias*, (Barcelona, Destino).

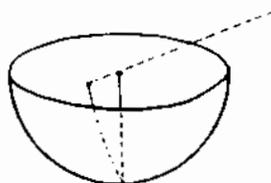
TEN, A.E. LOPEZ, A., 1983, *Un Museo dinámico de instrumentos para la enseñanza de la Astronomía y su Historia. Experiencias Prácticas. I Symposium sobre la problemática de los museos de la Ciencia*. (Granada, En publ.).

WILSON. C., 1983, *Buscadores de Estrellas. Cinco Milenios de Historia de la Astronomía*, (Barcelona, Planeta).



GNOMON

Figure 1



POLOS

Figure 2

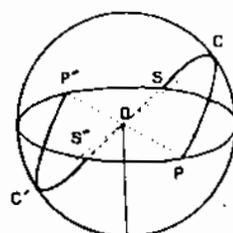
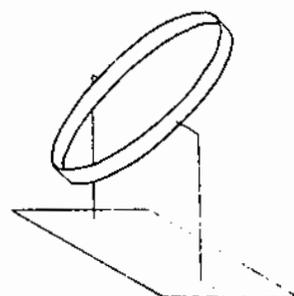
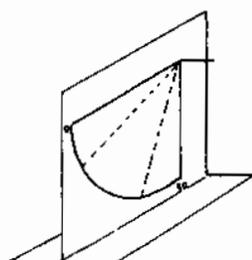


Figure 3



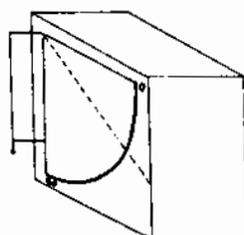
ARMILLA ECUATORIAL

Figure 4



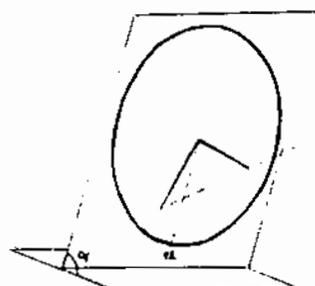
ARMILLA SOLSTICIAL

Figure 5



ZOCALO DE PTOLMEO

Figure 6



RELOJ DE SOL ECUATORIAL

Figure 7