

ESFERA ARMILAR DE MENDOZA COMO INSTRUMENTO DIDÁCTICO

Diego Nicolás Miras

NASE, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Origen histórico

En latín, armilla significa aro, anillo o brazalete. De ahí provino el nombre de esfera armilar, usado para designar a un modelo o representación en tres dimensiones de la esfera celeste, la trayectoria aparente del Sol en el cielo y algunos elementos astronómicos significativos como el ecuador, los trópicos, los círculos polares celestes y la eclíptica. El artefacto consiste en un conjunto de aros concéntricos dispuestos en torno a una pequeña esfera que hace las veces de la Tierra. Su invento se atribuye, entre otros, a Eratóstenes de Cirene (276-195 a.C.), astrónomo, matemático y geógrafo griego que vivió principalmente en Alejandría, cuya célebre biblioteca dirigió.

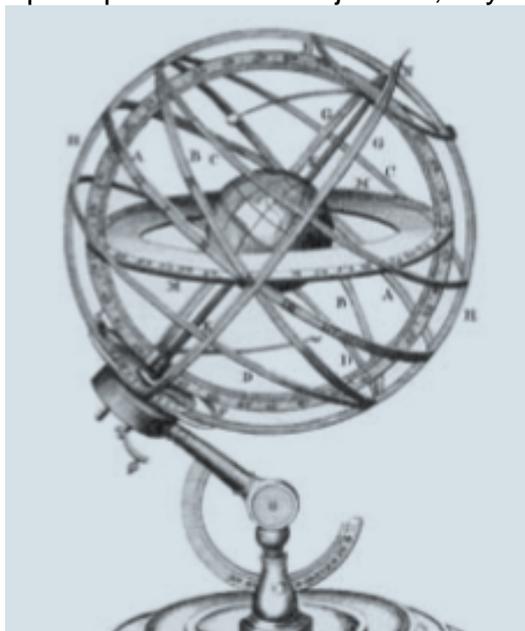


Figura 1: Una esfera armilar de 1771 construida para el hemisferio norte y regulada para aproximadamente 50 grados de latitud. Sus partes son: A, trayectoria del Sol en los equinoccios o línea del ecuador celeste; B, eclíptica, con la indicación de donde está el Sol en cada mes; C, trayectoria del Sol en el solsticio de verano; D, trayectoria del Sol en el solsticio de invierno; E, círculo polar ártico; F, círculo polar antártico; G, círculo máximo equinoccial; H, coluro o círculo máximo solsticial; K, eje de rotación de la Tierra; M, plano del horizonte; N, polo norte celeste.

En la antigua Grecia, en China y en Persia, la esfera armilar sirvió para realizar observaciones y cálculos de determinadas magnitudes astronómicas, entre ellas el ángulo del ecuador con la eclíptica. Como instrumento científico también la usaron los árabes, quienes desde Andalucía la introdujeron en Europa occidental, donde el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) fue uno de los que hizo extenso uso de ella. De hecho, hasta la invención del telescopio óptico en el siglo XVII fue el instrumento astronómico por excelencia.

Fundamento de la esfera armilar

El concepto que subyace en la esfera armilar es el de la bóveda celeste, una representación mental del cosmos como una esfera en cuyo centro está la Tierra. Esa fue la manera de entender la geometría del cosmos y la base de la astronomía de posición desde la Antigüedad hasta bien entrada la Edad Moderna, y para muchos propósitos es un modelo mental que aún nos resulta útil.

Como se aprecia en la figura 2, nosotros miramos la bóveda celeste desde su interior y vemos todos los cuerpos celestes localizados en algún punto de la superficie de la esfera. Podemos precisar la ubicación de cada uno mediante alguna definición convencional de sus coordenadas. Por la rotación de la Tierra, vemos girar la esfera entera alrededor de nosotros, y describir una rotación completa cada aproximadamente 24 horas (un poco menos en realidad, ya que esta rotación se cumple en 23 horas y 56 minutos, aproximadamente, lo que corresponde al llamado día sidéreo). El eje de esa rotación, llamado también eje del mundo, es la línea que pasa por los polos norte y sur de la Tierra y se prolonga hasta alcanzar la superficie de la bóveda; así determina el polo norte celeste y el polo sur celeste. Equidistante entre ambos polos celestes sobre la esfera está la circunferencia del ecuador celeste, determinada por la proyección en el cielo de la circunferencia del ecuador terrestre.



Figura 2: Esquema de la esfera celeste.

Otra gran circunferencia definida sobre la esfera es la eclíptica, la cual corresponde al recorrido aparente del Sol, visto desde la Tierra contra el telón de fondo de las estrellas, no en un día sino en un año. Otra manera de imaginarse la eclíptica es como la intersección de la bóveda celeste y el plano determinado por el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol. Las estrellas del mencionado telón de fondo que veríamos de día detrás del Sol en cada mes son las que forman las constelaciones del zodiaco que están detrás, o por las que “pasa” el Sol cada día.

En la figura apreciamos que el ecuador celeste y la eclíptica, al cortarse, determinan dos puntos. Estos son los dos momentos del año en que el Sol está en el ecuador celeste, es decir, los equinoccios, que ocurren en el comienzo de la primavera y del otoño de cada año. Las coordenadas que mencionamos, usadas para establecer la

posición en el cielo de cualquier cuerpo celeste, se suelen definir con relación a ciertos planos fundamentales, que pueden ser el ecuador, la eclíptica o el horizonte del lugar, y medirse por magnitudes angulares, en grados.

Las coordenadas ecuatoriales se llaman ascensión recta y declinación; las eclípticas, latitud y longitud celestes; las horizontales, cuya validez es solo local, azimut y altura. En el caso particular de la ascensión recta, y dado que la Tierra completa un giro de 360 grados angulares respecto de las estrellas del cielo en 24 horas sidéreas (que tienen 4 minutos menos que las 24 horas reloj), esta coordenada acostumbra medirse también en horas, minutos y segundos sidéreos.

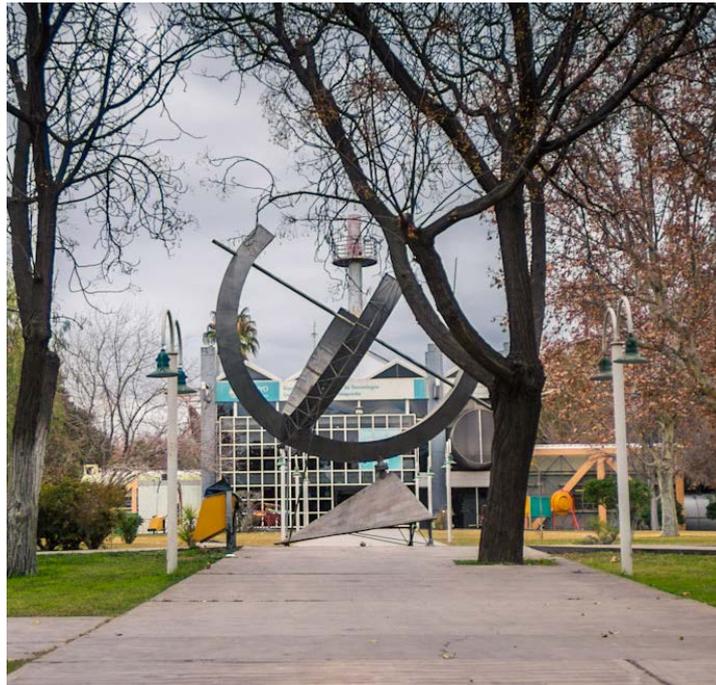
Reloj armilar en Mendoza

En el Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT) correspondiente a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad Nacional de Cuyo, se encuentra instalado un reloj armilar de tipo ecuatorial. La ubicación de dicho establecimiento se encuentra en la calle Jorge Contreras 1300 de la Ciudad de Mendoza. En la siguiente imagen extraída de Google Earth se puede observar la latitud y longitud del lugar de ubicación del reloj.



En esta imagen se observa la inclinación de la base del reloj, el cual se ha dispuesto de tal manera para levantarse a 35 grados angulares con respecto a la horizontal del lugar, dicha inclinación corresponde aproximadamente a la latitud de la ubicación en la provincia de Mendoza en el planeta Tierra.





Este artefacto tiene un valor didáctico fundamental, en el que se pueden realizar múltiples actividades astronómicas para determinar la hora solar, medir la latitud del lugar en función de la inclinación del reloj, verificar la orientación Norte-Sur, etc. Sin embargo, muchas veces suele ser un inconveniente el transporte y el desplazamiento de los alumnos para el trabajo con estos artefactos, es por eso que es importante contar con un instrumento didáctico portátil y en el aula.

Esfera armilar: propuesta didáctica en el aula.

Para trabajar en clase con la esfera armilar es aconsejable usar un modelo simplificado, similar al que se observa en la figura 3. Como se aprecia, consta de una bolilla central, que hace las veces de la Tierra, y de un conjunto de aros metálicos que la rodean, dichos aros pueden ser elaborados con alambres o incluso puede usarse la rueda de una bicicleta. El eje de rotación de la Tierra sostiene el conjunto y va atornillado al mayor de los aros metálicos. El eje de la Tierra está levantado unos 35 grados del plano horizontal, dado por la mesa o superficie de apoyo. Eso corresponde a la latitud de la provincia de Mendoza y puede variarse para representar el movimiento del cielo en cualquier latitud terrestre.



Figura 3: Modelo simplificado de esfera armilar.

El aro metálico más grande corresponde al meridiano del lugar para el que se calibre la esfera y define un plano vertical que pasa por los dos polos. El momento en que, en su viaje diurno, el Sol pasa de un lado al otro de ese aro es el mediodía solar. Por eso

se habla a veces de horas AM (antes meridiano) y PM (pasado meridiano), para designar a las de la mañana y la tarde respectivamente.

Calibrada la esfera armilar como lo muestra la foto, la parte alta del eje de rotación de la Tierra apunta al polo sur celeste, que en la latitud de Mendoza se halla precisamente a unos 35 grados de altura sobre el horizonte en la dirección del punto cardinal sur. Habiendo colocado el hemisferio sur de la Tierra hacia arriba, la estrella polar (Polaris), que indica la dirección del polo norte celeste, queda por debajo del horizonte dado por la mesa.

Considérense ahora los dos aros que están algo inclinados entre ellos (unos 23,5 grados angulares), y que podemos imaginar cómo dos circunferencias proyectadas sobre la bóveda del cielo. El aro que define un plano exactamente perpendicular al eje del mundo es el ecuador celeste: adviértase que corta el horizonte exactamente en los puntos cardinales este y oeste. El otro es la eclíptica. Como podemos apreciar, nuestra esfera armilar permite representar el movimiento aparente del cielo, tanto diurno como anual, para un observador terrestre considerado fijo e inmóvil en el centro del cosmos (el centro del instrumento). Nos proporciona, pues, la clásica representación geocéntrica del mundo, igual que la maqueta de la figura 4.

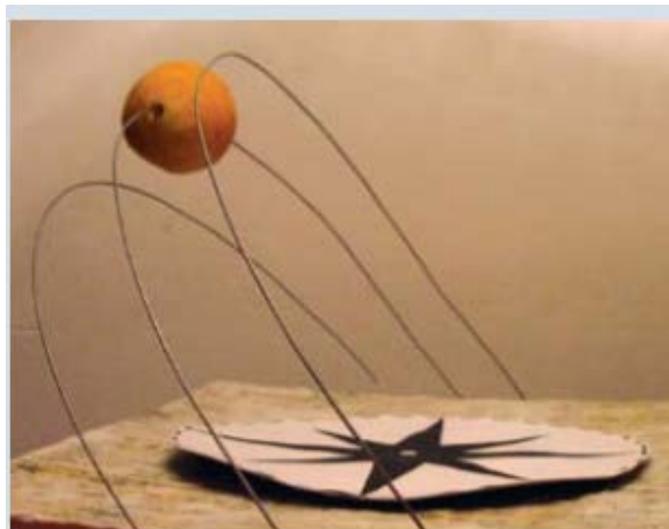


Figura 4: Maqueta que muestra la trayectoria aparente del Sol por la bóveda celeste en tres días del año. La esfera representa al Sol y se puede mover para simular su posición en el cielo en las diferentes horas del día: cuando alcanza el punto más alto indica el mediodía solar. Suponiendo que se trate del Hemisferio sur (y para una altitud al sur del trópico de Capricornio, como Mendoza), los arcos semicirculares de alambre corresponden respectivamente (de izquierda a derecha) al solsticio de invierno, ambos equinoccios y el solsticio de verano.

Cuando el Sol se desplaza hacia el norte del ecuador, durante la primavera y el verano del hemisferio norte (y las estaciones opuestas en el hemisferio sur), su declinación es por convención de signo positivo, mientras que adquiere signo negativo cuando, en la primavera y el verano del hemisferio sur, se desplaza hacia el sur del ecuador. Se deduce de lo anterior que cuando el Sol se encuentra justo en el cruce de ambos aros, es decir, cuando se halla sobre el ecuador celeste, su declinación es cero. Es lo que sucede las dos veces al año que indicamos, en los equinoccios. En el mediodía solar de esos dos días el Sol está justo en el cenit de los habitantes de la línea ecuatorial de la Tierra.

Cuando la esfera armilar se regule para el solsticio de verano del hemisferio sur, será cuando el sol alcance el punto más alejado del ecuador o su declinación máxima, que es -23,5 grados, porque, por convención, la declinación es negativa hacia al sur y positiva hacia el norte: en el solsticio de verano del hemisferio norte es de +23,5 grados. En la figura 5 se puede apreciar que la esfera armilar está orientada de modo que el polo sur celeste se ubique hacia arriba y, por ende, el polo norte celeste quede hacia abajo, tal como quedan ambos polos para los habitantes del hemisferio sur.



Figura 5: Esfera armilar para el hemisferio sur y para indicar la posición del Sol a mediodía en el solsticio de verano austral.

Si se hace girar la parte móvil del aparato alrededor del eje del mundo, se ve que el Sol describe un arco en el cielo: emerge del horizonte oriental, se eleva, llega a su punto culminante, comienza a descender y finalmente se oculta por debajo del horizonte occidental, como lo muestra la secuencia de imágenes de la figura 6. El arco descrito es similar al mostrado por el aro superior o de la derecha (el más largo) de la maqueta de la figura 4, que corresponde precisamente al movimiento diario del Sol el día del solsticio de verano austral. Ese día, en el hemisferio sur el Sol emerge del horizonte al sur del punto cardinal este, y se pone al sur del oeste.



Figura 6: Esfera armilar regulada para mostrar las posiciones del Sol para el hemisferio Sur durante el solsticio de verano.

Si ahora regulamos la esfera armilar para representar el solsticio de invierno austral, en el que el Sol alcanza la declinación positiva máxima (+23,5 grados), y repetimos la serie de fotografías, obtendremos la secuencia de la figura 7. Para un observador ubicado en el hemisferio sur, el arco recorrido por el Sol descrito a lo largo de ese día será el más corto del año y corresponderá al aro más corto de la maqueta de la figura 4.



Figura 7: Esfera armilar regulada para mostrar las posiciones del Sol para el hemisferio Sur durante el solsticio de invierno.

Se deduce de lo explicado hasta acá que cuando el Sol está en el sitio medio de su trayectoria a lo largo de la eclíptica, es decir cuando su declinación es igual a cero y se encuentra en los puntos equinocciales, su arco diario está representado por el aro intermedio de la maqueta y por el ecuador celeste de la esfera armilar. En efecto, esos



dos días por año el Sol recorre el ecuador celeste, lo que significa que quienes viven sobre la línea del ecuador terrestre lo tienen exactamente sobre sus cabezas (en el cenit) a mediodía de esas fechas. Además, esos días de equinoccio, por razones de simetría, todos los habitantes del planeta tendrán noches de doce horas y otras doce horas con el Sol por encima del horizonte.

Conclusiones

El diseño y construcción de una esfera armilar puede representar una actividad instructiva para que el profesor lleve adelante con sus alumnos en el aula. La maqueta con los arcos solares de alambre es sin duda algo simple de fabricar. Quizá un poco más difícil sea reconstruir el modelo simplificado de la esfera armilar. Sin embargo, con las indicaciones dadas y habiendo entendido el significado de cada una de sus partes (los aros metálicos correspondientes al meridiano del lugar, al ecuador celeste, a la eclíptica y el eje del mundo) el diseño de este aparato no es imposible de abordar.

Bibliografía

- Gangui A., Iglesias M.C. & Quinteros C.P. (2009). El movimiento de las sombras: una propuesta de trabajo para la escuela secundaria. *Ciencia Hoy*, 19, 110: 48-56.
- Gangui A. (2013). La esfera armilar. *Ciencia en el aula*, 22: 38-41.
- Ros R.M. & García B. (2015). 14 pasos hacia el universo: curso de astronomía para profesores y posgraduados de ciencias. Segunda edición.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_ecuatorial
- <http://quhist.com/esfera-armilar-eratostenes/>