

Cómo construir y usar en el aula un sencillo reloj de sol ecuatorial



Observatorio astronómico Jantar Mantar mandado a construir durante el siglo XVIII en Jaipur, India, por el maharajá Jai Singh II. Fue recientemente inscrito como Patrimonio de la Humanidad por la Unesco. Foto Richard Moross, www.flickr.com

Un reloj de sol es un dispositivo que mide el paso del tiempo por la sombra de alguna de sus partes sobre un tablero en el que están marcadas líneas horarias. En una nota anterior (Gangui A, Iglesias M y Quinteros C, 'El movimiento de las sombras', CIENCIA HOY, 110:48-56, abril-mayo de 2009), explicamos cómo construir un *reloj de sol horizontal* y cómo trabajar con las sombras en diversas activi-

dades escolares. Aquí consideraremos la construcción un *reloj de sol ecuatorial*, cuyo funcionamiento es mucho más simple de comprender que el del otro.

Imaginemos que tenemos un paraguas abierto, que es de noche y que apuntamos su eje o varilla central al cielo (figura 1). Imaginemos que en la cara interna de la tela del paraguas tenemos marcadas todas las estrellas de esa parte del firma-

mento, así como las constelaciones que forman. Rotemos lentamente el paraguas sobre su eje manteniendo fija la dirección de este. ¿Estaremos reproduciendo el movimiento del cielo estrellado?

La respuesta es sí, en la medida en que cumplamos dos requisitos. Primero, que la dirección en la que apuntemos el paraguas no sea cualquiera, ya que el cielo, visto desde la Tierra, no se mueve de cualquier manera. Segundo, que el movimiento rotatorio del paraguas se haga a una velocidad y en un sentido precisos, para que ese cielo ficticio no gire en desacuerdo con el real.

Quienes vivimos en el hemisferio sur y tenemos la costumbre de mirar el cielo nocturno habremos observado que este gira en torno a un punto, que se denomina *polo sur celeste*. Ese centro del giro de la bóveda celeste carece de realidad física, como carecen de ella el cielo o la bóveda celeste, que son conceptos abstractos creados para entender el mundo que nos rodea. Además, ninguna estrella se ve en coincidencia con el polo sur celeste, a diferencia de lo que ocurre para los habitantes del hemisferio norte, que ven la estrella polar (*Polaris*) muy cerca del polo norte celeste.

Sabemos que los habitantes de la Tierra ven rotar el cielo, en realidad, porque el planeta gira sobre su eje; por eso hablamos del movimiento *aparente* de las estrellas. Sabemos también que la rotación de la Tierra (y por ende la del cielo) cumple una revolución aproximadamente cada veinticuatro horas. Si queremos que nuestro paraguas astronómico refleje el movimiento de la bóveda celeste, no solo debemos apuntarlo en la dirección del polo sur celeste: debemos imprimirle un lento movimiento de giro, por el que rote 360° o una vuelta completa aproximadamente cada veinticuatro horas. Esto es lo mismo que decir unos 15° por hora, o 1° cada cuatro minutos.

El cuidadoso uso del término *aproximadamente* en el párrafo anterior se debe a que no especificamos con claridad la referencia externa con respecto a la cual medimos la duración del giro de la Tierra. Si esa referencia fuese el Sol, y en ese caso hablaremos de *día solar*, su duración promedio sería 24h (*promedio* porque varía levemente a lo largo del año); pero si la referencia estuviera constituida por las estrellas, hablaríamos de *día sidéreo*, cuya duración es algo menor: aproximadamente 23h y 56m.

Si apoyamos el paraguas abierto en el piso cuidando que su eje central siga apuntando al polo sur celeste, apreciaremos que ese eje y el de rotación de la Tierra son paralelos, pues ambos apuntan al mismo sitio. Si dejamos el paraguas inmóvil en esa posición, el pasaje del tiempo conducirá a que el cielo gire alrededor del eje del paraguas en el sentido de las agujas del reloj (sería en el sentido *contrario* si se tratase del hemisferio norte), incluso que lo haga el Sol cuando despunte el día. Si mantenemos el paraguas inmóvil en esa posición y colocamos del lado exterior de la tela, apoyado sobre esta, un cartón plano ensartado en la punta del paraguas perpendicular a la varilla central o eje de este, advertiremos que esa punta hará sombra sobre ese cartón, la cual girará con la misma velocidad que el Sol.

El paraguas con su cartón ensartado es, simplemente, un reloj de sol ecuatorial, nombre que se da a todo dispositivo de ese tipo que tiene el plano sobre el que se proyecta la sombra, llamado *tablero*, paralelo al ecuador, y el objeto que produce sombra, llamado *estilete* o *gnomon*, paralelo al eje de rotación de la Tierra. En el ejemplo del paraguas, el tablero está representado por el cartón y la punta del paraguas, prolongación de la varilla central o eje de este, hace las veces de gnomon.

Para construir un modelo simple de reloj de sol ecuatorial, basta fotocopiar el tablero y el gnomon de la figura 2 y pegar las fotocopias sobre un cartón para darles más rigidez. Luego plegar cada pieza por la doble línea horizontal que ambas tienen en su centro, hacer a cada una un corte con tijera por el trazo negro grueso que quedó perpendicular al borde doblado y encastrar una pieza en la otra, como lo indica la figura 3.

El reloj ecuatorial, listo para usar después de encastradas sus dos piezas, queda como se aprecia en la figura 4, en la que la punta del gnomon apunta al polo sur ce-

leste, para uso del adminículo en ese hemisferio. Si la pieza se deseara usar en el hemisferio norte, habría que girarla 180°, para que apunte al polo norte celeste.

El tablero puede tener cualquier forma (hexágono, cuadrado, círculo). El presentado es rectangular y lleva líneas horarias radiales, trazadas cada 15°, con centro en el punto medio de la arista superior.

Las líneas horarias deben dibujarse en las dos caras del tablero. Las de la cara superior son relevantes desde aproxima-

damente el 21 de septiembre al 21 de marzo, en primavera y verano del hemisferio sur, cuando el arco diurno solar es grande y el plano que este define está por encima del plano del ecuador. Las de la cara inferior son relevantes desde aproximadamente el 21 de marzo al 21 de septiembre, en otoño e invierno, cuando el arco diurno solar se eleva menos sobre el horizonte y el plano que este define está por debajo del plano del ecuador, con lo que ilumina la cara inferior del tablero.



Reloj de sol del Adler Planetarium. Chicago. Foto Ildar Sagdejev. Wikimedia Commons

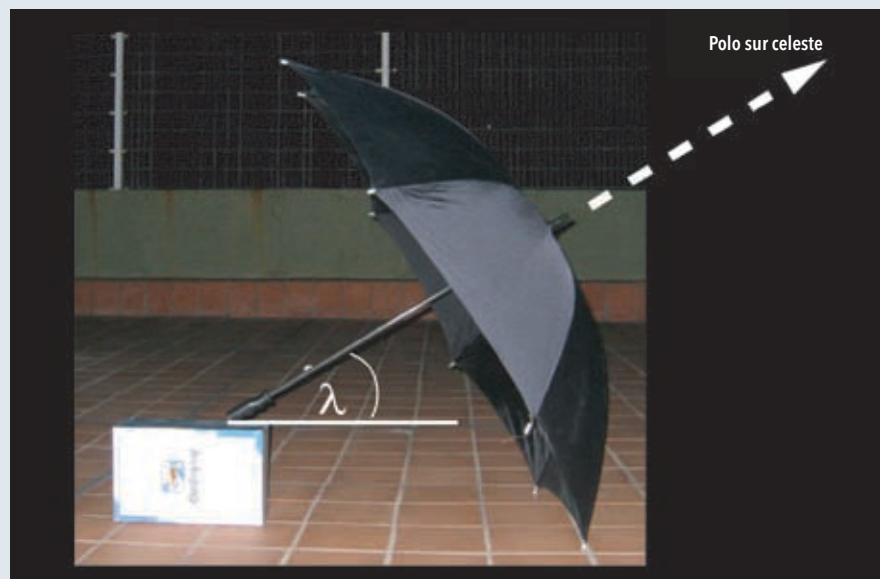
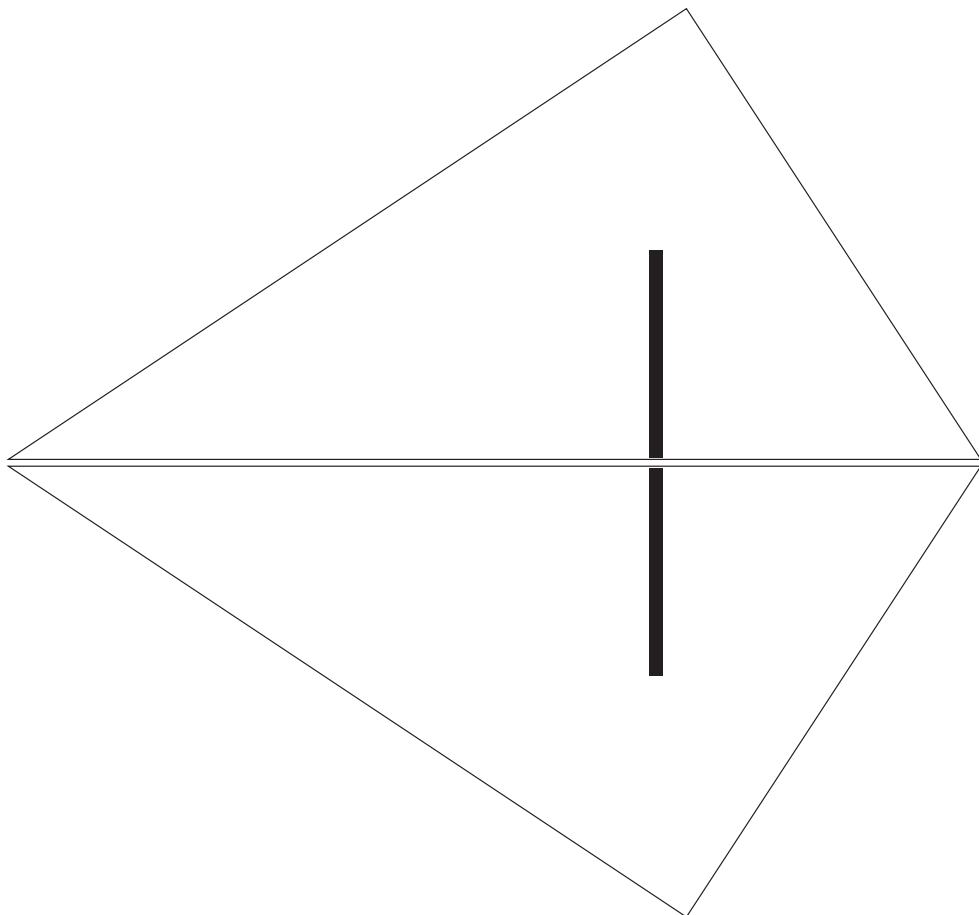
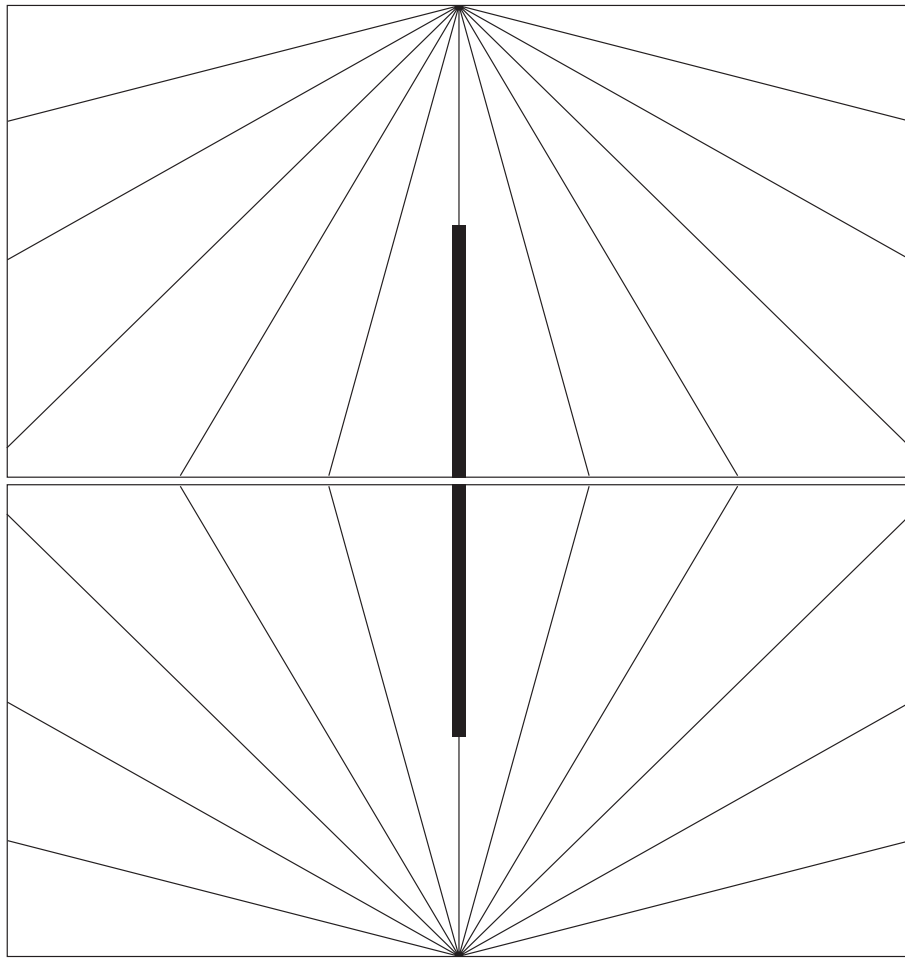


Figura 1. Paraguas astronómico abierto con su eje apuntando en dirección del polo sur celeste. El ángulo que forman ese eje y la horizontal indica la latitud del lugar, señalada en la figura con la letra λ . Para la latitud de Buenos Aires, el valor de λ es aproximadamente 35°. El mango del paraguas apoya en una caja de zapatos para que tenga el ángulo correcto. La foto fue obtenida de noche.



Notemos que las horas del día solar (desde las 6 hasta las 18 aproximadamente) se distribuyen en forma inversa en las dos caras del tablero: en la de primavera-verano comienza con las 6 arriba a la izquierda y termina con las 18 arriba a la derecha, exactamente lo inverso que en la cara otoño-invierno, como se aprecia en la figura 5.

El reloj en el aula

El dispositivo descrito es útil para trabajar con los alumnos porque se trata de un modelo bastante preciso, simple de armar y cuyo funcionamiento resulta comprensible luego de unos minutos de reflexión. Siempre es posible hacerlo más exacto, pero habría que incluir conceptos más complejos, como la llamada *ecuación del tiempo*, que tiene en cuenta el verdadero movimiento de la Tierra alrededor del Sol e introduce la necesidad de hacer correcciones de no más de unos 15 o 16 minutos en algunos momentos del año. Esta y otras sutilezas, pese a ser imprescindibles para un buen constructor de relojes solares, constituyen una complicación innecesaria para el interés didáctico de nuestro trabajo.

Nótese que no hemos marcado las horas en ninguna de las dos caras del tablero, para respetar lo dicho acerca de que puede ser empleado tanto en el hemisferio sur como en el norte. Apuntarlo alternadamente hacia los polos sur y norte celestes hará que el sentido de giro de la sombra se invierta. Por ello, antes de marcar las horas sobre el reloj, conviene trabajar con los alumnos el concepto del movimiento del Sol en uno y otro hemisferio. Así, luego de comprender el sentido de la marcha de las sombras, podrán sentirse seguros y rotular ellos mismos sus relojes solares.

Figura 2. Tablero (pieza superior) y gnomon de un reloj de sol ecuatorial. Se advierte que ambas piezas son simétricas. Recortar cada una por separado y luego plegarlas por sus mitades. Los trazos negros gruesos indican cortes a realizar a cada pieza, para luego encastrar tablero y gnomon. El gnomon fue diseñado para una latitud de 35° , y sirve sin cambios en ambos hemisferios. Los ángulos izquierdos (los más agudos) de cada uno de los dos triángulos rectángulos tienen, precisamente, 35° , una buena aproximación a la latitud de la ciudad de Buenos Aires. Para usar el gnomon en un lugar con latitud distinta, esos ángulos deben hacerse iguales a la nueva latitud.

De los diferentes tipos de relojes solares (planos horizontales o verticales, esféricos o cilíndricos, etcétera), a nuestro juicio el ecuatorial es el más fácil de armar y el más apropiado para trabajar varios conceptos relacionados con las diferencias en el movimiento aparente del Sol y los distintos arcos diurnos solares en las estaciones del año. Esto explica el porqué de dibujar líneas horarias en ambas caras del tablero.

Las divisiones horarias de 15° del tablero evitan la discusión eminentemente geométrica de por qué las separaciones entre las líneas horarias de un reloj de sol plano quedan deformadas por la proyección de las sombras sobre un tablero horizontal o vertical.

La mencionada diferencia entre el día solar y el día sidéreo permite explicar por qué el Sol se desplaza aproximadamente un grado por día con respecto a las estrellas fijas, el concepto de las constelaciones del Zodíaco, por qué cada tantos días el Sol cambia de constelación en el cielo estrellado y por qué la constelación en la que se encuentra el Sol en un momento dado no se puede ver de noche en ese momento sino algunos meses antes o después. Por su mayor complejidad, estos temas son adecuados para después de haberse logrado una buena comprensión del reloj de sol ecuatorial por parte de los estudiantes, la que les servirá de introducción a ellos. ■

El autor se benefició de continuas discusiones sobre la enseñanza de estos y otros temas astronómicos con María Iglesias, Elina Godoy y Esteban Dicovski, y fue beneficiario de los subsidios PIP 11220090100583 del Conicet y 20020090200480 del programa UBACYT.

LECTURAS SUGERIDAS

ROHR R, 1986, *Les cadrans solaires*, Oberlin, Estrasburgo.



Alejandro Gangui

Doctor en astrofísica, Escuela Internacional de Estudios Avanzados (International School for Advanced Studies), Trieste. Investigador independiente, Conicet. Profesor, FCEYN, UBA. Miembro del Centro de Formación e Investigación en la Enseñanza de las Ciencias, FCEYN, UBA. gangui@df.uba.ar cms.iafe.uba.ar/gangui

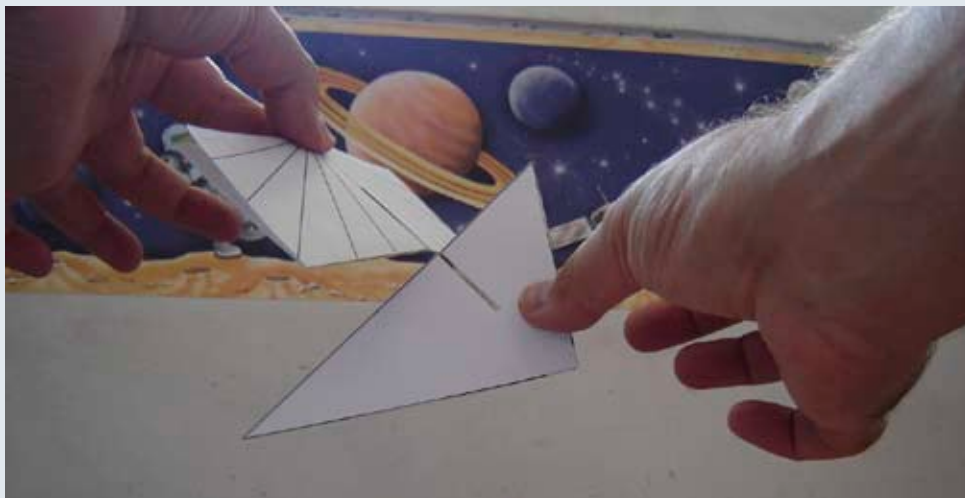


Figura 3. Tablero y gnomon plegados y listos para ser encastrados.

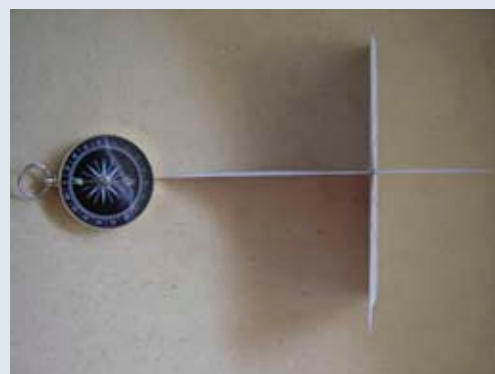


Figura 4. Reloj de sol ecuatorial listo para usar (izquierda). El gnomon debe alinearse en la dirección norte-sur, con su parte más alta apuntando al polo sur celeste, disposición que vale para el hemisferio sur. La brújula que se ve a la izquierda está, en consecuencia, del lado norte. El tablero tiene las líneas horarias y su plano es paralelo al del ecuador. La imagen de la derecha muestra el reloj visto de arriba, mirando con visuales paralelas al plano del ecuador, que revelan el tablero y el gnomon de canto.

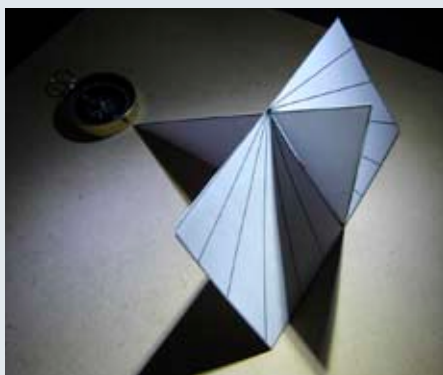


Figura 5. Lectura de las horas en el reloj de sol ecuatorial. La imagen de la izquierda muestra la situación durante los meses de primavera y verano, cuando el Sol se desplaza siempre por encima del plano del tablero. La imagen de la derecha muestra lo que sucede durante otoño e invierno, cuando el Sol ilumina siempre la cara inferior del tablero. Durante los equinoccios el Sol se desplaza en un plano que coincide con el del tablero, y por ello el reloj ecuatorial que se muestra no proporciona sombras útiles para saber la hora. En ambas imágenes se muestran sombras matutinas (a eso de las 10) en el hemisferio sur.