

Horizonte local y Relojes de Sol

Rosa M. Ros

International Astronomical Union, Universidad Politécnica de Cataluña
(Barcelona, España)

Resumen

El estudio del horizonte es fundamental para poder facilitar las primeras observaciones de los alumnos en un centro educativo. Un simple modelo, que debe realizarse para cada centro, nos permite facilitar el estudio y la comprensión de los primeros instrumentos astronómicos. El modelo construido se presenta a su vez como un sencillo modelo de reloj ecuatorial y a partir de él se pueden construir otros modelos (horizontal y vertical).

Objetivos

- Comprender el movimiento diurno y movimiento anual del Sol.
- Comprender el movimiento de la bóveda celeste.
- Comprender la construcción de un reloj de Sol elemental.

La Tierra rota y se traslada

Como es bien sabido la Tierra gira sobre su eje lo que da lugar al día y la noche. El eje de esta rotación es el que los antiguos astrónomos llamaban el eje del mundo ya que a todos nosotros nos parece que el cielo gira en torno a este eje (el cielo de día y el cielo de noche). Pero además la Tierra tiene un movimiento de traslación según una elipse con el Sol en uno de sus focos, pero en primera aproximación podemos suponer que es un movimiento circular (ya que la excentricidad de la elipse es casi nula, es decir es casi una circunferencia).

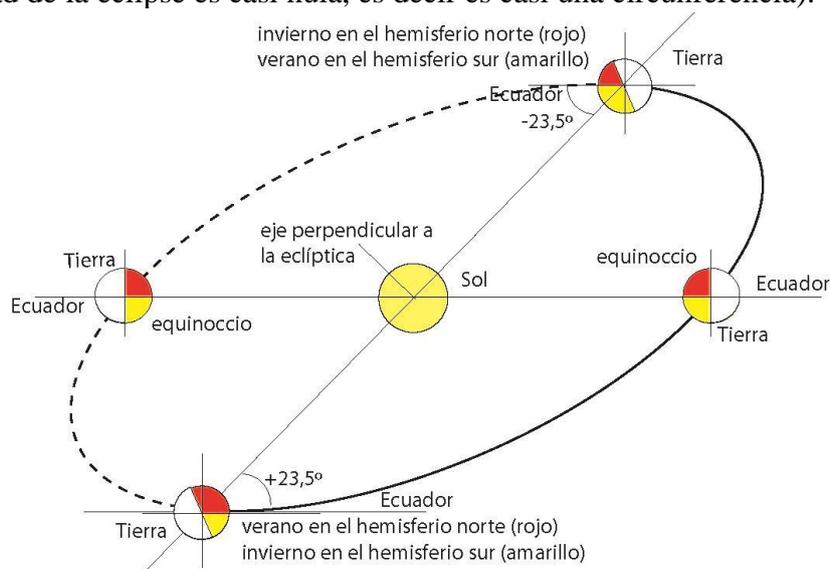


Fig. 1: Esquema del movimiento de traslación. El ángulo entre el plano del ecuador terrestre y el plano de la eclíptica es de $23,5^\circ$ así como el ángulo entre el eje de rotación terrestre y el eje perpendicular al plano de la eclíptica x también de $23,5^\circ$.

La Tierra precisa de un año para dar la vuelta completa al Sol, pero lo hace sobre un plano, el llamado plano de la eclíptica, que no es perpendicular al eje de rotación terrestre, sino que está inclinado. Concretamente el ángulo entre el eje de rotación terrestre y el eje perpendicular a la eclíptica es de $23,5^\circ$, o lo que es lo mismo el ángulo entre el plano del ecuador terrestre y el plano de la eclíptica es de $23,5^\circ$ (figura 1). Esta inclinación es la que da lugar a las estaciones. Para poder visualizar este fenómeno construiremos un pequeño modelo (figura 2).

Basta disponer de 4 esferas (donde es bueno dibujar la superficie terrestre distinguiéndose el ecuador y los dos polos) y una bombilla que servirá de Sol y situaremos en el centro. A continuación, se dan unos valores de distancias relativos al tamaño de las esferas que sirven de modelo para la Tierra, en nuestro caso de 8 cm de diámetro. Dispondremos pues de un pequeño mantel de papel o tela redondo de unos 25 cm de diámetro, o cuadrado de 25 cm de diagonal. Situamos las 4 esferas en forma de cruz, cada una en frente de la otra (figura 2) sobre unos palitos de alturas 3, 15, 25 y 15 cm respectivamente. Los valores mencionados están calculados para que la inclinación de ecuador respecto del plano de la eclíptica sea de aproximadamente de unos 23° .



Fig. 2a, 2b y 2c: Disposición de las 4 esferas de la Tierra con la bombilla del Sol en medio. Hay que distribuir las posiciones relativas de forma que el ángulo de la línea desde el centro del Sol al centro de la Tierra forme unos 23° con el suelo, que representa el plano del ecuador.

Situaremos el modelo en una habitación a oscuras y con la bombilla del Sol (también puede ser una vela siempre y cuando la altura de la misma sea equivalente) encendida. Es evidente que la Tierra que ocupa la posición A recibe más luz en el hemisferio norte que la que está en el lugar C (figura 3). Mientras que la zona iluminada del hemisferio sur es mayor en la C que en la A. En las posiciones B y D ambos hemisferios están igualmente iluminados, estos corresponden a los equinoccios de primavera y otoño. Como cuando hay mas zona iluminada decimos que es verano y cuando hay menos es invierno, se deduce que cuando la Tierra esta en la posición A es verano en el hemisferio norte e invierno en el hemisferio sur. Así mismo

cuando la Tierra está en la posición C, es invierno en el hemisferio norte y verano en el hemisferio sur.



Fig. 3: Modelo del movimiento de translación que explica las estaciones. Cuando la Tierra está en la posición A es verano en el hemisferio norte e invierno en el hemisferio sur. Cuando la Tierra está en la posición C es invierno en el hemisferio norte y verano en el hemisferio sur. Mientras que cuando la Tierra está en las posiciones B y D están igualmente iluminados y tiene lugar los equinoccios. Los días tienen el día y la noche iguales.

Este modelo, puede dar mucho juego ya que si imaginamos que una persona vive en uno de los hemisferios, veremos que visualiza el Sol a diferente altura según la época del año. Imaginemos, para fijar ideas, que tenemos una persona en el hemisferio norte cuando estamos en la posición A, esta persona ve el Sol por encima del plano del ecuador $23,5^\circ$ (figura 4a) en cambio si esta en el hemisferio norte, pero en la posición C ve el Sol por debajo del ecuador $-23,5^\circ$ (figura 4b). Cuando está en las posiciones B y D lo ve exactamente sobre el ecuador, esto es a 0° sobre el ecuador.



Fig. 4a. En la posición A es verano en el hemisferio norte y el Sol está $23,5^\circ$ por encima del ecuador. En cambio en el hemisferio sur es invierno.



Fig. 4b. En la posición C es invierno en el hemisferio norte y el Sol está $23,5^\circ$ por debajo del ecuador. En cambio en el hemisferio sur es verano.

La Tierra paralela

La posición que disfrutamos en el modelo anterior “la Tierra vista desde fuera” no es sencilla de observar desde nuestra ciudad. De hecho parece totalmente imposible ya que estamos pegados a la Tierra y solo un astronauta desde su nave podría ver la Tierra desde fuera. Pero existe una simple estrategia que permite ver la Tierra desde fuera y la parte iluminada que le corresponde cada día y a cada hora. Vamos a usar para ello una Tierra paralela. Es decir, un globo terrestre iluminado de la misma forma que la Tierra por el mismo foco que es el Sol.

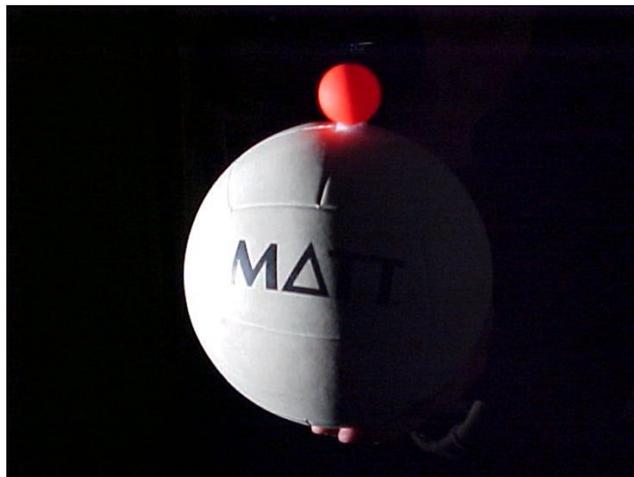


Fig. 5: Un foco ilumina dos esfera de la misma forma y produce las mismas zonas de luz y sombra

Si un foco ilumina dos esferas produce sobre ellas las mismas zonas de luz y sombra (figura 5), así si orientamos correctamente el globo terrestre estará la misma zona en el globo que lo está nuestro planeta y podremos verlo como si fuéramos un astronauta situado más lejos de lo que esta la ISS.

Usaremos pues un globo terrestre de los usuales, solo que le quitaremos el pie y lo situaremos sobre un vaso, con el eje de rotación del globo terrestre en la misma dirección que lo tiene realmente la Tierra (podemos ayudarnos de una brújula que nos indicara a dirección norte-sur). Además sabemos que la posición de nuestra ciudad debe estar en la parte superior del globo, ya que, cualquier lugar del mundo donde vivamos, si nos movemos en línea recta en cualquier dirección durante muchos km, está claro que siempre acabaremos por descender sobre la superficie del globo. Así pues nuestra posición es siempre la superior.

En consecuencia, usaremos una brújula que nos indique la dirección norte-sur para orientar el eje del globo y situaremos nuestra ciudad arriba del todo (figura 6a). Para comprobar que está bien colocada podemos dejar un lápiz sobre la ciudad en equilibrio, si está arriba no se caerá, si se cae el lápiz hay que corregir un poco la posición hasta que quede estable. Podemos ilustrar esta posición colocando un muñequito que nos represente (figura 6b).

Con pedacitos de “pastelinas” podemos marcar la línea sol/sombra y veremos que lentamente se ira desplazando por la superficie del globo a medida que pasan las horas y llegar a un momento en que será de noche. Podemos poner pequeños trozos de palillos a modo de

gnomon y ver como son las sombras y como se desplazan a lo largo del día y visualizar os efectos del movimiento de rotación sobre la Tierra (figura 6b).

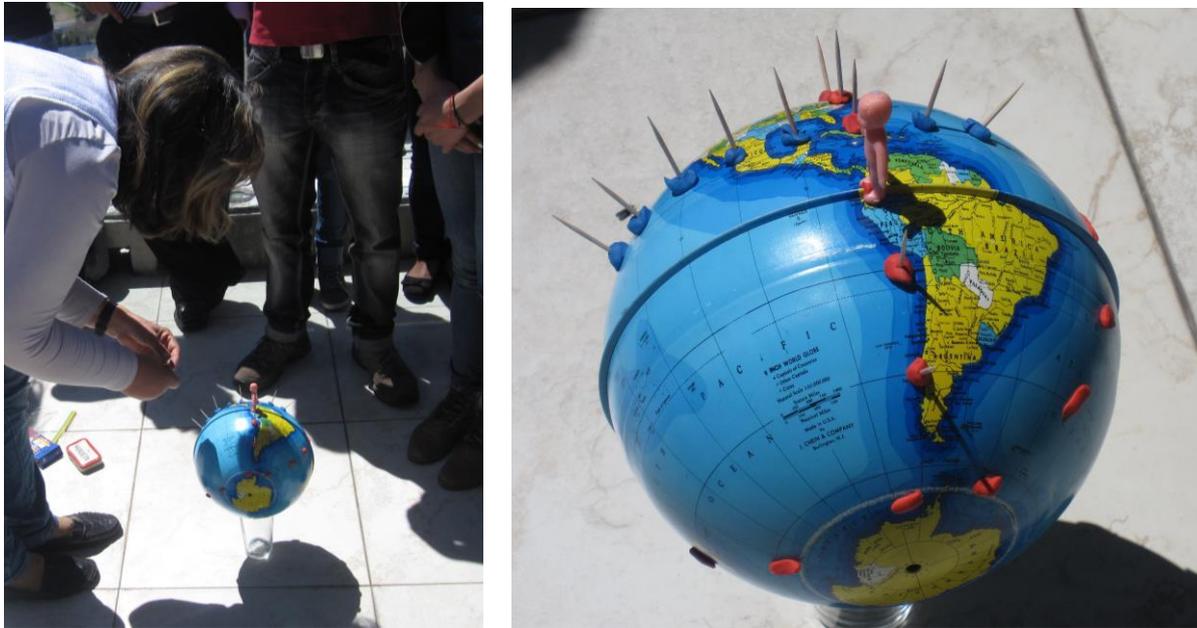


Fig. 6a: El globo terrestre, con el soporte usual, no sirve de modelo. El globo terrestre debe situarse en el exterior, sobre un vaso y bien orientado, con el lugar desde donde nosotros observamos en la parte superior para ser un modelo perfecto. Fig.6b: Podemos situar un muñeco indicando nuestra posición y trocitos de pastalina para indicar la línea de la zona luz/sombra. Con el paso de las horas esta línea luz/sombra se ira corriendo. Tambien se pueden situar algunos trozos de palillos para estudiar sus sombras..



Fig. 7a: En el hemisferio norte, el polo norte esta en la zona soleada por lo tanto significa que es verano para este hemisferio y estamos observando el fenomeno del sol de medianoche. En el hemisferio sur, el polo sur esta en la sombra y es invierno .Fig. 7b: La zona del polo norte está dentro de la zona de la noche, por lo tanto en el hemisferio norte es invierno. En el hemisferio sur, el polo sur esta iluminado y por lo tanto es verano para ellos. Fig 7c: La línea de separación del día y la noche pasa por ambos polos, esto es, el primer día de primavera o el primer día de otoño.

Pero lo más interesante es visualizar el movimiento de traslación, esto es ver cómo se sitúa la línea sol/sombra a lo largo del año. Así se puede observar que en verano (figura 7a), invierno (figura 7b) y en los equinoccios (figura 7c) tal como se podía comprobar en el modelo inicial con las cuatro esfera terrestres (figura 3)

Pero después de considerar estos dos modelos creemos que es necesario introducir el modelo más “real” para el observador que está ligado a la Tierra y que cada día observa los astros moverse respecto de su horizonte. Construiremos un modelo relativo al horizonte local del observador, UN MODELO REALMENTE OBSERVACIONAL.

La Observación del horizonte

Los profesores de muchas ramas de la ciencia (mecánica, electricidad, química, biología, etc.) pueden decir que no es posible trabajar de forma correcta en un centro de secundaria si no se dispone de un laboratorio. En este sentido, los profesores de astronomía están contentos porque ellos siempre disponen de un “laboratorio de astronomía”. Todos los institutos y escuelas tiene un sitio para los juegos de sus alumnos: el patio. El patio no es solo un punto de recreo, es también un laboratorio de astronomía: es un lugar que ofrece la posibilidad de llevar a cabo en él actividades prácticas de astronomía. Puesto que si en toda escuela o instituto se dispone de un laboratorio, ¡parece oportuno usarlo!



Fig. 8: Representación clásica de la esfera celeste.

Un problema que surge cuando el estudiante se acerca al patio para desarrollar desde él actividades prácticas de astronomía, es la diferente situación relativa de la esfera celeste cuando el profesor explica dentro del recinto de una clase y cuando explica fuera de ella, en el patio del colegio.

Cuando el profesor, sobre la pizarra, textos o maquetas, habla de meridianos y paralelos, de coordenadas de posición, presenta figuras parecidas a la figura 5. Lo que no representa mayor dificultad y los estudiantes pueden entender sin problemas. Las figuras que tienen los alumnos ante sus ojos son análogas a las que han usado cuando estudiaban geografía (figura 9).

Los problemas comienzan cuando estamos observando y no aparece ninguna línea en el cielo. No se puede ver el eje de rotación y no es sencillo encontrar referencias en el firmamento. El principal escollo es que ahora el estudiante está situado en el interior de la esfera celeste mientras que hemos presentado toda la información en la clase mirando el cielo desde el exterior de la esfera celeste. Entonces no resulta fácil comprender la nueva situación vista desde dentro (figura 10).

Obviamente después de esta experiencia podríamos pensar en un cambio de nuestra presentación en el aula. Es posible hacer en el aula de clase una presentación desde el punto de vista del interior de la esfera. Esta forma de ver las cosas es más similar a la situación real del observador, pero no es bueno sólo ofrecer esta presentación. Los estudiantes deben ser capaces de poder leer cualquier libro de astronomía y poder entender la abstracción correspondiente a la observación de la esfera celeste desde el exterior, situación normal en la literatura científica. En estas circunstancias, es posible pensar en construir un modelo para los estudiantes de secundaria que haga viable comparar ambos puntos de vista y que también permita “hacer visibles” las líneas del cielo y una mejor comprensión del propio horizonte.

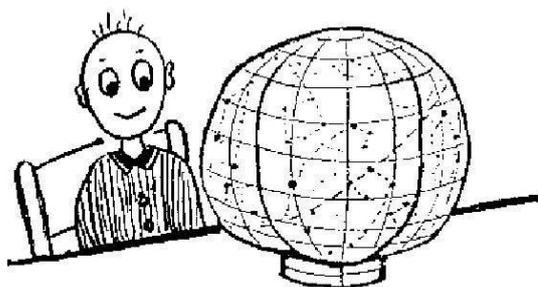


Fig. 9: La esfera celeste desde el exterior.

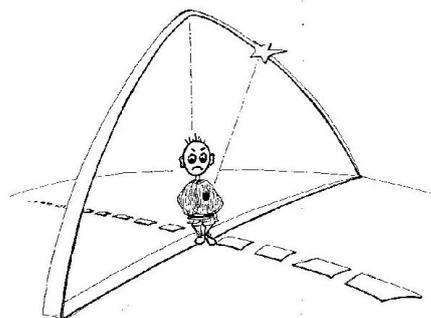


Fig. 10: La esfera celeste desde el interior

Modelo local del horizonte

Se empieza fotografiando el horizonte. Con una cámara sobre un trípode, es muy sencillo tomar un conjunto de fotografías del horizonte desde algún lugar del patio del colegio -si las edificaciones colindantes lo permiten- o desde una terraza con el horizonte más despejado. (Señalaremos la posición del trípode marcándola sobre el suelo con pintura, para poder disponerlo de nuevo de forma exactamente igual).

Es muy importante seleccionar muy bien el lugar porque la idea es situar allí el modelo durante cada observación. Al tomar cada fotografía es necesario que el encuadre tenga una zona común en la siguiente fotografía, para disponer después las copias sobre papel una sobre la otra y obtener el horizonte como una cadena de fotografías con continuidad.

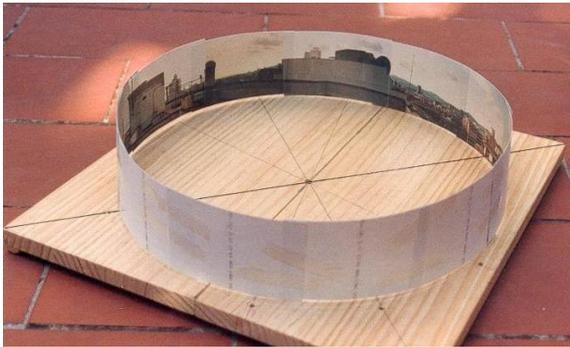


Fig. 11: El horizonte local

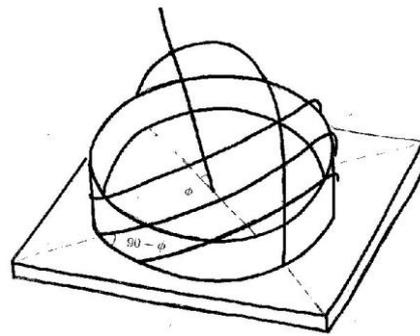


Fig. 12: Modelo mostrando con la latitud y la colatitud

Cuando tengamos las fotografías reveladas podemos fijar las copias una a continuación de la otra, formando un cilindro que después asentaremos sobre una base cuadrada de madera en el mismo lugar donde se han realizado las fotografías (figura 11). Es muy importante situar todas las fotografías acordes con el horizonte real.

A continuación se introduce el eje de rotación terrestre. Dando el valor de la latitud del lugar ϕ se puede introducir en la maqueta un alambre según esta inclinación (figura 12).

Con este dato es posible fijar el eje de rotación del modelo. Pero como el modelo está orientado según el horizonte local, la prolongación del alambre sirve para ayudar a visualizar el eje real y localizar el Polo Sur, y es útil también para imaginar la posición del punto cardinal Sur (figura 13).

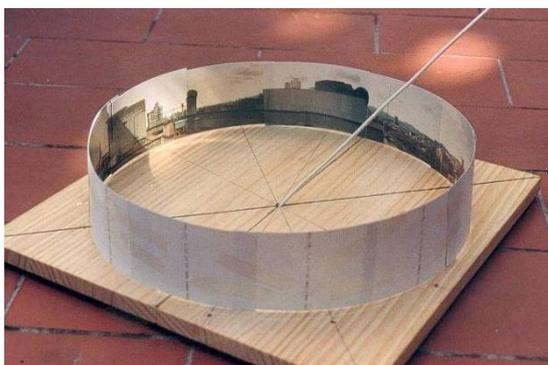


Fig. 13: Con el eje del mundo



Fig. 14: Con el meridiano del lugar

Obviamente introducir el punto cardinal Norte y el Polo Norte resulta fácil. A continuación se puede trazar la recta Norte-Sur sobre el modelo y también sobre el suelo del patio o la terraza donde se trabaja (usando el proceso normal de determinación de la recta Norte-Sur). Es muy

importante porque cada vez que se vaya a usar el modelo habrá que orientarlo y es muy útil disponer de esta recta Norte-Sur real para facilitar el trabajo. (Con una brújula se puede comprobar dicha dirección).

El siguiente objetivo consiste en situar el meridiano del lugar. El meridiano local es muy fácil de definir, pero no resulta un concepto simple de asimilar para los estudiantes (quizá, en parte, porque cada uno tiene su meridiano del lugar). Se puede fijar un alambre que pase por los puntos cardinales Norte y Sur y el eje de rotación de la Tierra (figura 14). Este alambre es la visualización del meridiano del lugar en el modelo, pero permite imaginar sobre el cielo la línea del meridiano local. Ahora es muy fácil de imaginar porque empieza en los mismos lugares que el estudiante puede ver en el modelo. El meridiano local empieza en el mismo edificio que en la fotografía, pero en el horizonte real, y después de pasar por encima de su cabeza acabara en el mismo edificio que se visualiza gracias al alambre en el horizonte de fotografías.

Para introducir el ecuador el proceso es algo más complicado. Una posibilidad consiste línea Este-Oeste. Esta solución es muy sencilla, pero no aporta nada desde el punto de vista pedagógico. Para su aplicación a la enseñanza puede ser más conveniente usar de nuevo la fotografía. Se puede situar de nuevo la cámara sobre el trípode exactamente en la misma posición en que se tomaron las fotografías del horizonte en la primera ocasión en que se comenzó a desarrollar la maqueta (por este motivo se pinta en el suelo las marcas correspondientes para poder situar el trípode de nuevo en el mismo lugar). Con la cámara sobre el trípode se toma una foto de la salida y la puesta de Sol el primer día de primavera o de otoño. En este caso, tendremos dos instantáneas de la posición precisa de los puntos cardinales Este y Oeste respectivamente, respecto al horizonte de las fotografías y obviamente sobre el horizonte real.

El ecuador se simula por medio de un alambre perpendicular al eje de rotación terrestre que empieza y acaba en los puntos cardinales Este y Oeste (sobre el horizonte, en la recta perpendicular a la Norte-Sur). Pero no es sencillo fijar el círculo de alambre perpendicular al alambre que simboliza el eje de rotación, porque el eje de rotación está inclinado y obviamente el ecuador también deberá estarlo, pero ¿con qué inclinación hay que situarlo? Tomaremos cuatro o cinco fotografías de la salida del Sol el primer día de primavera u otoño. Es peligroso fotografiar el Sol cuando este está bastante elevado, hay que hacerlo solo cuando sea posible mirar la salida del Sol sin que nos moleste la vista. En cuanto moleste un poco hay que dejar de observar y de fotografiar, puede resultar peligroso. Tomaremos todas las fotografías realizadas con el mismo encuadre y usando un software apropiado las sobreponemos unas con otras (tomaremos alguna referencia del horizonte) y podremos distinguir la inclinación del mismo Sol sobre el horizonte. Esta fotografía nos servirá para introducir la inclinación apropiada en el alambre que representa el ecuador en el modelo (figura 18). Se sabe los puntos donde fijarlo y también la inclinación, así es que puede sujetarse el alambre sobre la madera y también sujetarlo con el meridiano local (figura 16).

Si se considera el Sol como una estrella más (el Sol es el más importante para los observadores porque está más próximo, pero su comportamiento no es diferente al de las otras estrellas) puede obtenerse la inclinación del movimiento de las estrellas cuando éstas se

elevan o se ponen respecto al horizonte. Para ello, basta con que se capten dos fotografías de este instante próximas al punto cardinal Este y al punto cardinal Oeste (figura 17).

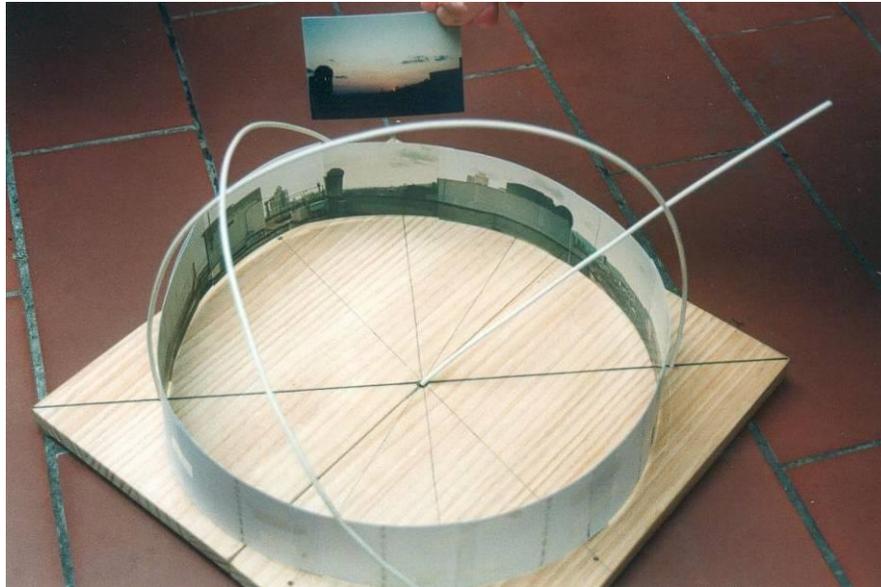


Fig. 15: Punto de puesta del Sol el día del equinoccio de primavera o de otoño

No es posible tomar las fotografías mencionadas en el párrafo anterior desde la ciudad donde esta construida la escuela. Es preciso salir al campo, a un lugar suficientemente apartado sin contaminación luminosa. Hay que captar las fotografías con una cámara réflex, sobre un trípode y con un disparador de cable. Unos 10 minutos de tiempo de exposición son suficientes. Es muy importante situar la cámara paralela al horizonte (se puede utilizar un nivel para realizar esta operación).



Fig. 16: Trazas de la salida del Sol

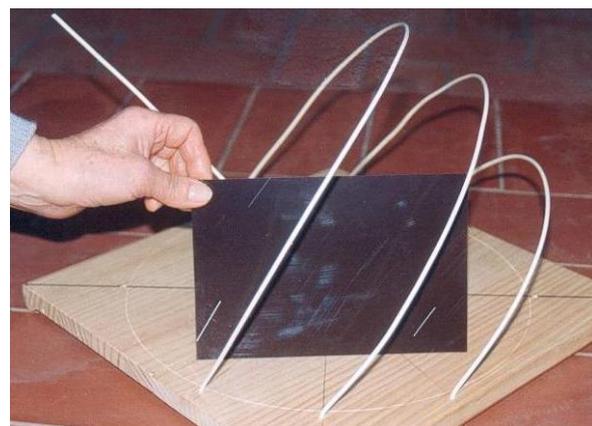


Fig. 17: Trazas de las estrellas en la zona este.

Es importante aprovechar esta ocasión para obtener un pequeño repertorio de fotografías. Por ejemplo se puede tomar una de la zona del polo dando unos 15 minutos de exposición, otra de la zona por encima de ella siguiendo el meridiano local, otra a continuación siguiendo

también el mismo meridiano y así sucesivamente hasta conseguir la fotografía que ya esta rasante al horizonte. La idea es fotografiar todo el meridiano local desde el Norte hasta el Sur pasando por encima de nuestras cabezas. Evidentemente el meridiano local del lugar donde ha decidido tomar las fotografías no es el mismo que el de la escuela, pero los alumnos pueden comprender esta pequeña diferencia fácilmente.

Cuando se tienen todas las fotografías podemos construir una cinta del meridiano con todas ellas. Con esta cinta los estudiantes pueden comprender mejor el movimiento de la esfera celeste alrededor del eje de rotación de la Tierra. Es interesante ver que con el mismo tiempo de exposición la trayectoria dibujada por una estrella cambia de longitud. Es mínima en el entorno al polo y es máxima en el ecuador. También cambia de forma. En el ecuador la trayectoria dibuja una línea recta. En la zona próxima a la polar las líneas son curvas cóncavas y por debajo del ecuador son convexas. Si hacemos las copias sobre papel de las fotografías suficientemente grandes, podemos situar la cinta por encima de la cabeza del estudiante, lo que le permitirá visualizar y comprender mejor el movimiento.

Usando las dos fotografías de los puntos cardinales Este y Oeste, es posible conocer la inclinación de las trazas de las estrellas en el ecuador, y por lo tanto es posible situar el alambre que simboliza el ecuador sin problemas. Se sabe los puntos donde fijarlo y también la inclinación, así es que puede sujetarse el alambre sobre la madera y también sujetarlo con el meridiano local (figura 15).

Evidentemente es posible introducir la cinta de fotografías del meridiano local sobre el modelo. Es suficiente hacer algunas fotocopias y agujerearlas por el punto que indica la polar para poder introducir el eje de rotación. Se observa que el alambre del ecuador se corresponde con las trazas en línea recta que se tienen en la cinta (figura 18).

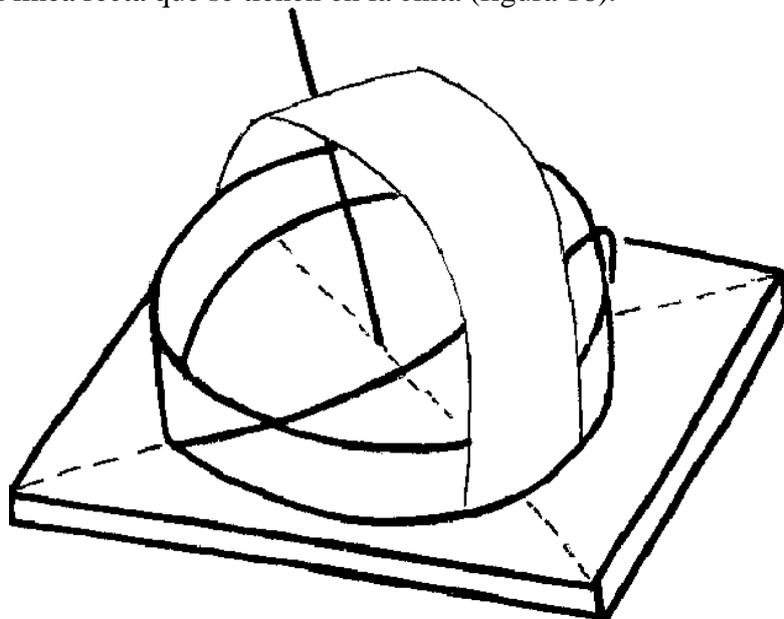


Fig. 18: El meridiano local con fotografías

Con el modelo se puede ofrecer al estudiante las dos posibilidades de visualizar la esfera celeste desde el interior y desde el exterior.

Si se toma de nuevo dos fotografías del primer día del invierno y del verano cuando el Sol sale y se pone, los alumnos podrán ver que las situaciones extremas en su ciudad son muy diferentes. Es sorprendente la diferencia que hay entre una y otra. También puede fijarse los paralelos de Cáncer y de Capricornio con las fotografías que proporciona la inclinación del ecuador, dado que los paralelos siguen esta misma inclinación. Con un simple transportador es posible verificar que el ángulo interior entre el paralelo de Cáncer y el ecuador es aproximadamente 23° , y que este ángulo es también el formado entre el ecuador y el paralelo de Capricornio (figuras 19 y 20).

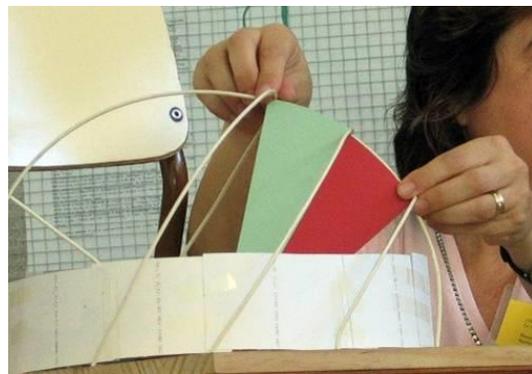
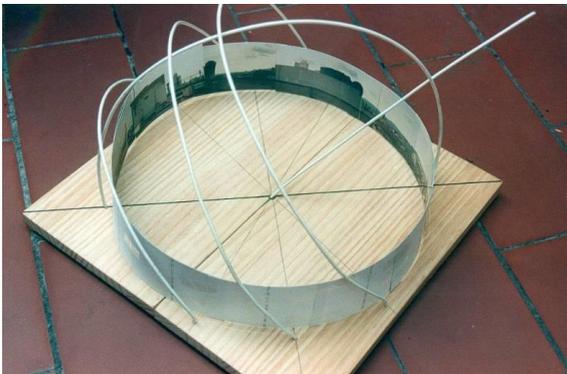


Fig. 19: Trayectorias del Sol el primer día de cada estación. Los puntos de salida y puesta no coinciden salvo dos días: el día de los equinoccios. Fig. 20: El ángulo entre dos trayectorias del primer día de dos estaciones consecutivas es de 23.5°

Para la formación de los estudiantes es interesante que ellos puedan observar que el Sol no sale y se pone en la misma posición y que ésta no siempre coincide con el Este y el Oeste respectivamente. Hay muchos libros que mencionan que el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Los estudiantes pueden ver que esto sólo es cierto dos veces al año, pero no lo es los días restantes (figuras 19 y 20).

De esta forma los alumnos ven de forma práctica y simultánea, la esfera desde el interior (la esfera real) y desde el exterior (el modelo). Con la ayuda de la maqueta los estudiantes pueden entender mejor su entorno, y las actividades de orientación realizadas desde la escuela se resuelven de forma muy sencilla. También pueden visualizar la zona que corresponde al movimiento del Sol, entre los paralelos de la maqueta e imaginarla sobre el cielo y el horizonte real de la ciudad. La orientación se convierte en un juego de niños.

Relojes de Sol

Pero hay otras posibilidades de aplicación del modelo. La maqueta no es más que un reloj de Sol, un gran reloj de Sol. Es fantástico para explicar de una forma sencilla y didáctica la construcción de un reloj considerando sólo el horizonte y el movimiento del Sol. En primer lugar es muy fácil ver que el eje de rotación de la Tierra se convierte en el estilete del reloj.

Si introducimos un plano en la dirección del plano ecuatorial y movemos una linterna sobre el paralelo de Cáncer, se puede ver la sombra del estilete (el alambre que representa el eje de rotación terrestre) recorriendo el plano del cuadrante ecuatorial, pero cuando se transita con la linterna sobre el paralelo de Capricornio entonces la sombra aparece en la zona de debajo del plano, y es evidente que cuando la linterna se sitúa sobre el ecuador no se obtiene sombra. Así pues resulta sencillo comprobar que el reloj ecuatorial funciona en verano y primavera mostrando las horas sobre el plano del reloj, en invierno y otoño debajo del mismo, y que hay dos días al año en que no funciona: los días de ambos equinoccios.

Si se considera el plano ecuatorial, el horizontal y el vertical orientado (Este-Oeste), se puede ver que la linterna señala la misma hora en los tres cuadrantes (figura 21). Además, puede observarse cuando son las horas de la mañana y de la tarde para el mismo estilete (el eje de rotación terrestre). Obviamente es la misma hora en los tres relojes. Se comprueba fácilmente en que zona hay que dibujar las horas de la mañana y de la tarde en cada reloj. (Todos los profesores han recibido alguna vez las horas mal dibujadas en un reloj solar; usando este modelo esto ya no sucede).

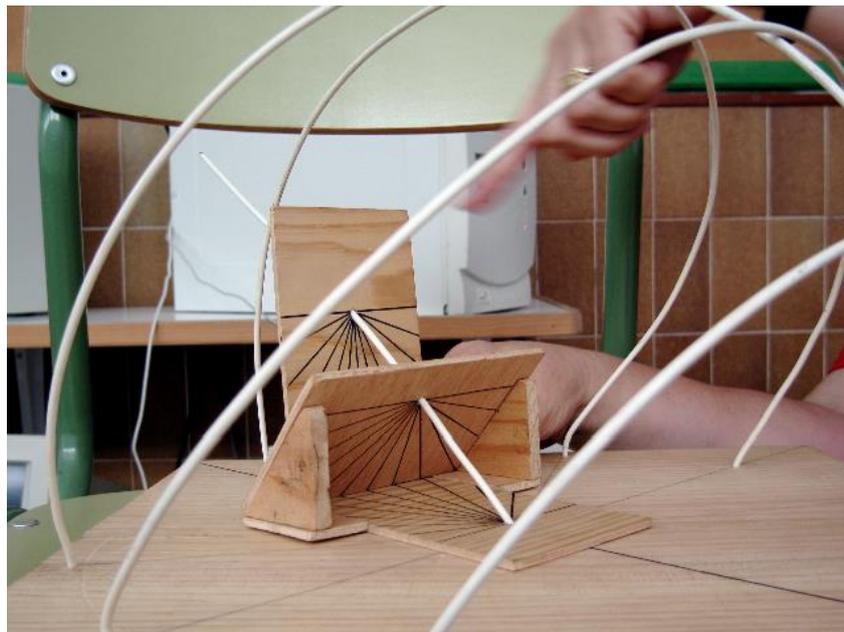


Fig. 21: El modelo es un enorme reloj de Sol. Se pueden considerar de tres tipos.

Al mover la linterna sobre los paralelos de Capricornio y Cáncer se ve fácilmente que el rayo de luz emitido por la lámpara produce sobre el plano una cónica diferente. En el primer caso (el primer día de verano) la cónica es casi una circunferencia y el área encerrada es claramente más pequeña que en el segundo caso. Cuando se sigue el otro paralelo (primer día de invierno) la sección es elíptica y el área encerrada es mucho mayor. Entonces los alumnos pueden comprender que la radiación está más concentrada en la primera situación, es decir, que la temperatura superficial es mayor en verano, y como que también es evidente en el modelo que el número de horas de insolación solar es mayor, la consecuencia natural es que en verano hace más calor que en invierno (figura 22).

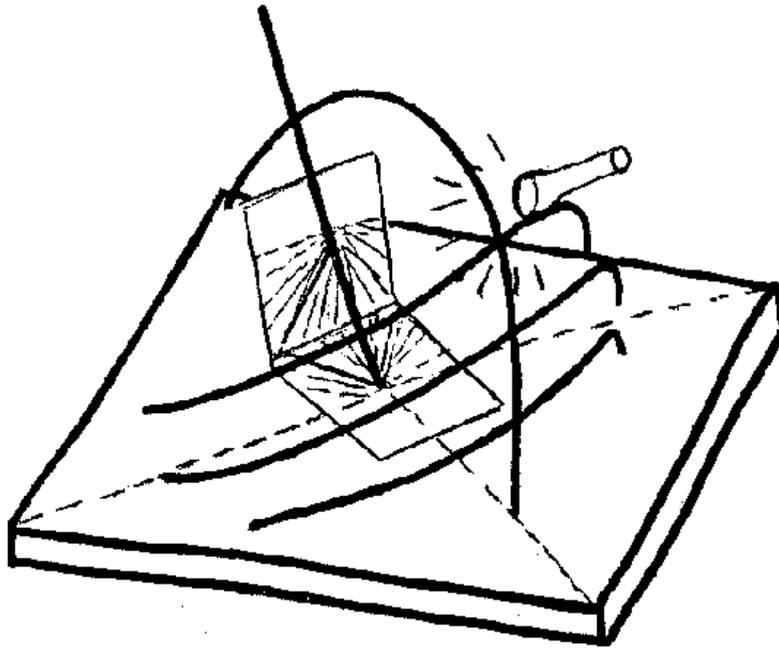


Fig. 22: Los relojes y las estaciones

Aprovecharemos esta oportunidad para mencionar algunos elementos que hay que conocer para poder construir un reloj de Sol.

El reloj ecuatorial es muy sencillo de realizar. Basta situar el estilete en la dirección del eje de rotación terrestre, esto es en la dirección Norte-Sur (una brújula nos puede ayudar a hacerlo) y con una altura sobre el plano del horizonte igual a la latitud del lugar (figuras 23 y 24). El estilete de cualquier reloj se situara siempre de la misma manera.

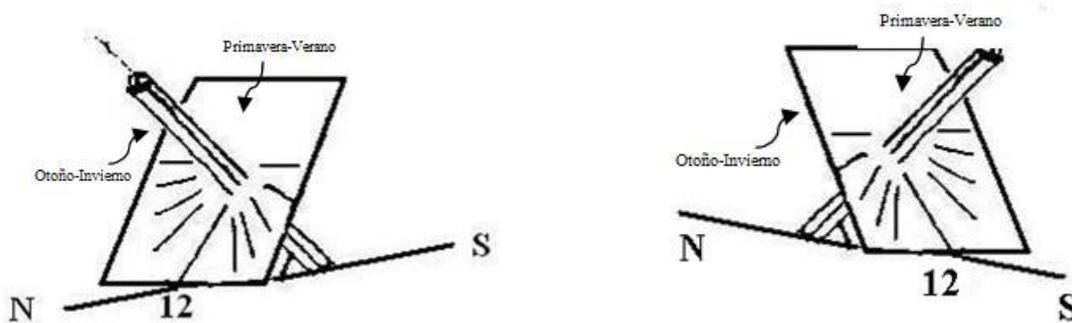


Fig. 23: Reloj ecuatorial en estación (hemisferio norte). Fig. 24: Reloj ecuatorial en estación (hemisferio sur).

Las líneas horarias del reloj ecuatorial se dibujaran a 15 grados (figura 25), ya que el Sol da una vuelta de 360° en 24 horas. Si dividimos $360/24 = 15^\circ$ cada hora.

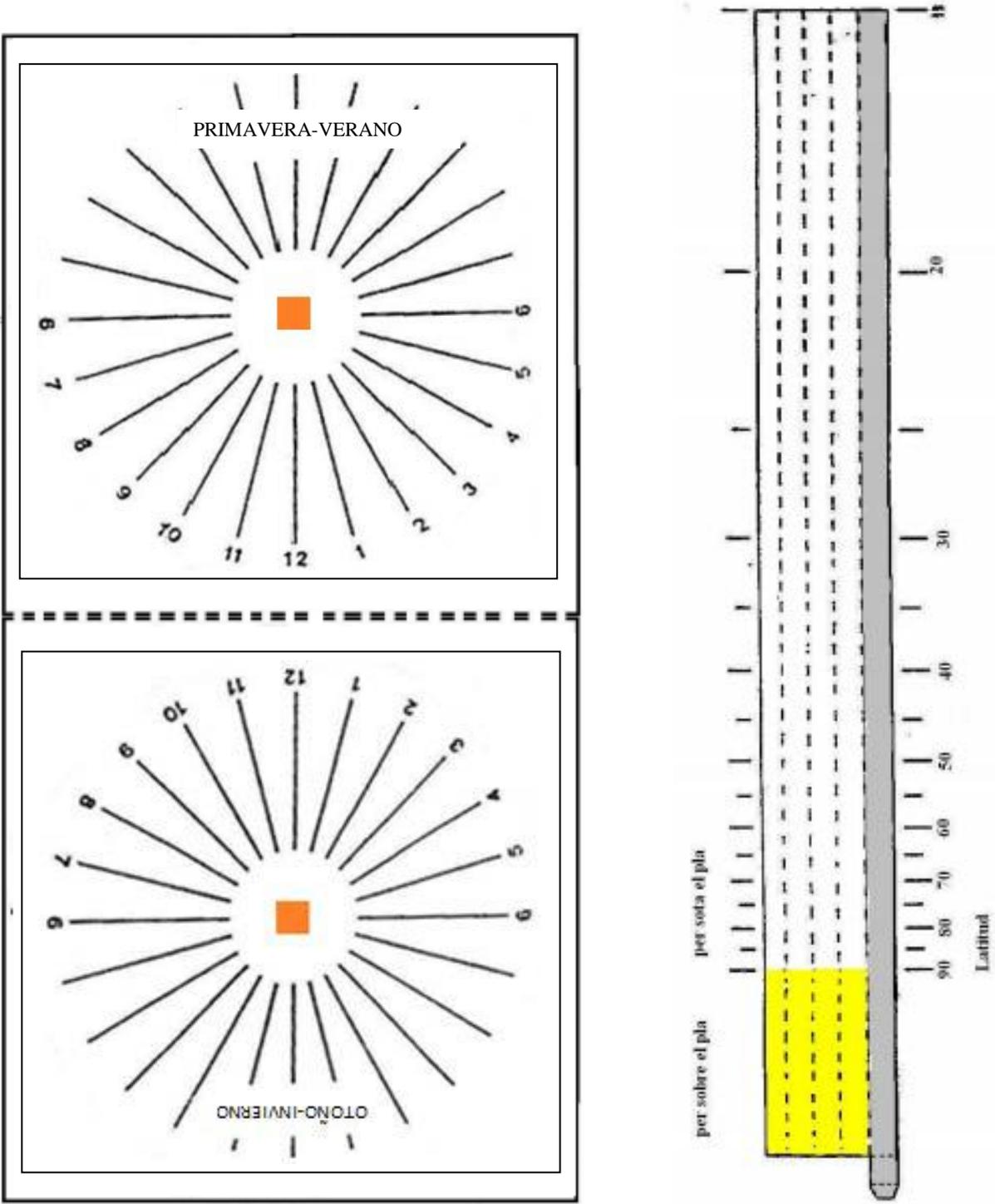


Fig. 25: Recortable del reloj ecuatorial

Las líneas horarias de un reloj horizontal o vertical orientado se obtienen por proyección del ecuatorial, sin más que considerar la latitud del lugar (figuras 26a, 26b, 26c y 26d)

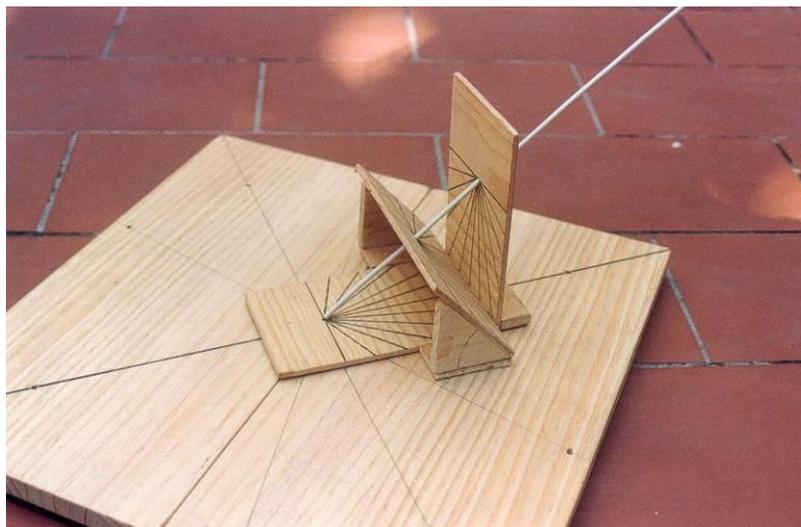
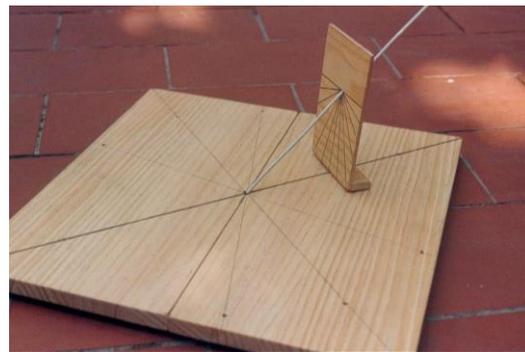
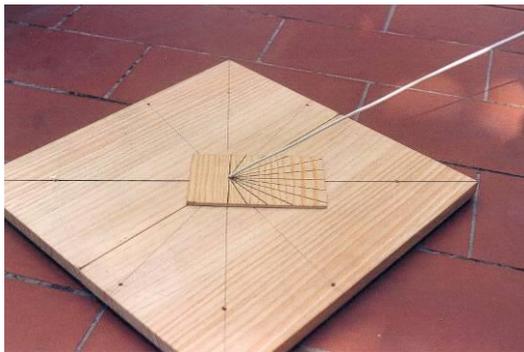
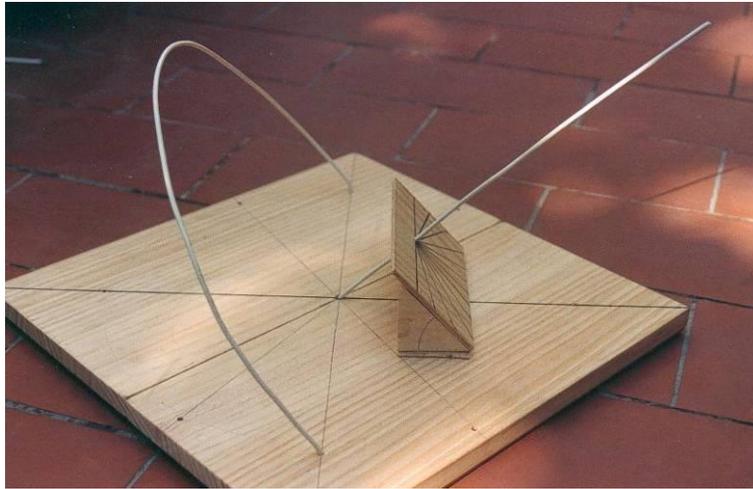


Fig. 26a, 26b, 26c y 26d: Diversas instantáneas de los tres relojes.

Tiempo solar y tiempo del reloj de "pulsera"

Los relojes de Sol dan el tiempo solar, que no es el mismo que figura en los relojes que todos usamos en nuestra muñeca. Hay que considerar varios ajustes.

Ajuste de Longitud

El mundo se divide en 24 zonas de tiempo a partir del primer meridiano o meridiano de Greenwich. Para hacer el ajuste de longitud hay que conocer la longitud local y la longitud del meridiano "Standard" de su zona. Se añade con signo + hacia el Este y con signo - hacia el Oeste. Hay que expresar las longitudes en horas minutos y segundos (1 grado = 4 minutos de tiempo).

Ajuste de verano/invierno.

Casi todos los países tienen el tiempo de verano y el de invierno. Se suele añadir una hora en verano. El cambio de horario de verano/invierno es una decisión del gobierno del país.

Ajuste de la Ecuación de Tiempo

La Tierra gira entorno al Sol según la ley de las áreas, es decir, no es un movimiento constante, lo cual significa un serio problema para los relojes mecánicos. Así pues, se define el tiempo medio (de los relojes mecánicos) como el promedio a lo largo de un año completo del tiempo. La Ecuación de Tiempo es la diferencia entre el «Tiempo Solar Real» y el «Tiempo Medio». Esta ecuación aparece tabulada en la tabla 1.

día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
1	+3m 33s	+13m 35s	+12m 22s	+3m 54s	-2m 54s	-2m 12s	+3m 50s	+6m 21s	+0m 2s	-10m 18s	-16m 24s	-11m 1s
6	+5m 50s	+14m 5s	+11m 17s	+2m 27s	-3m 23s	-1m 22s	+4m 45s	+5m 54s	-1m 23s	-11m 51s	-16m 22s	-9m 1s
11	+7m 55s	+14m 14s	+10m 3s	+1m 4s	-3m 38s	-0m 23s	+5m 29s	+5m 13s	-3m 21s	-13m 14s	-15m 31s	-6m 49s
16	+9m 45s	+14m 4s	+8m 40s	-0m 11s	-3m 40s	+0m 39s	+6m 3s	+4m 17s	-5m 7s	-14m 56s	-15m 15s	-4m 27s
21	+11m 18s	+13m 37s	+7m 12s	-1m 17s	-3m 27s	+1m 44s	+6m 24s	+3m 10s	-6m 54s	-15m 21s	-14m 10s	-1m 58s
26	+12m 32s	+12m 54s	+5m 42s	-2m 12s	-3m	+2m 49s	+6m 32s	+1m 50s	-8m 38s	-16m 1s	-12m 44s	+0m 31s
31	+13m 26s		+4m 12s		-2m 21s		+6m 24s	+0m 21s		-16m 22s		+2m 57s

Tabla 1: Ecuación de Tiempo

Tiempo Solar + Ajuste Total = Tiempo del reloj de pulsera
--

Ejemplo 1: Barcelona (España) el 24 de Mayo.

Ajuste	Comentario	Resultado
1. Longitud	Barcelona esta en la misma zona “estándar” que Greenwich. Su longitud es $2^{\circ}10'E = 2.17^{\circ} E = -8.7m$ (1° es equivalente a 4 m)	-8.7 m
2. Horario de verano	Mayo tiene horario de verano +1h	+ 60 m
3. Ecuación de Tiempo	Leemos la tabla para el 24 de Mayo	-3.6 m
Total		+47.7 m

Por ejemplo a las 12h de tiempo solar, nuestros relojes de “pulsera” señalan
(Tiempo solar) $12h + 47.7 m = 12h 47.7 m$ (Tiempo del reloj de pulsera)

Ejemplo 2: Tulsa Oklahoma (Estados Unidos) 16 de Noviembre.

Ajuste	Comentario	Resultado
1. Longitud	El meridiano “estándar” de Tulsa esta a $90^{\circ} W$. Su longitud es $95^{\circ}58'W = 96^{\circ} W$, entonces esta a $6^{\circ} W$ desde el meridiano “estándar” (1° es equivalente a 4 m)	+24 m
2. Horario de verano	Noviembre no tiene horario de verano	
3. Ecuación de Tiempo	Leemos la tabla para el 16 de Noviembre	-15.3 m
Total		+ 8.7 m

Por ejemplo a las 12h de tiempo solar, nuestros relojes de “pulsera” señalan
(Tiempo solar) $12h + 8.7 m = 12h 8.7 m$ (Tiempo del reloj de pulsera)

La orientación

Otro problema que se puede observar en los alumnos es el vinculado a sus dificultades de orientación. En un curso de astronomía general, hay que conseguir instruirlos en el sentido de la orientación. Es posible que nuestros alumnos jamás estudien nuevamente astronomía. El mínimo resultado que hay que esperar de un curso (único) de astronomía consiste en que los alumnos sean capaces de reconocer dónde está el Norte, saber que la trayectoria del Sol está sobre el horizonte sur y que los planetas se mueven sobre este horizonte, y en particular que puedan ubicar los diferentes accidentes geográficos de su ciudad. Por ejemplo, sobre el horizonte de Barcelona (figuras 27a y 27b) los estudiantes pueden considerar diversas posibilidades relativas a la posición del Sol, la Luna y ciertas constelaciones sobre el horizonte. Las dos montañas que nosotros vemos están aproximadamente en posición opuesta. Pero para los estudiantes esto no significa nada y normalmente les cuesta distinguir que ciertos dibujos son posibles mientras que otros no se pueden dar jamás. Ellos conocen la teoría, pero la práctica no es suficiente si ellos no entienden las diferentes posibilidades.

La utilización del modelo pensado para resolver los inconvenientes mencionados en el apartado anterior resultó muy eficiente para aclarar muchas cuestiones relativas a la orientación en el horizonte local de una forma que inicialmente no estaba prevista.

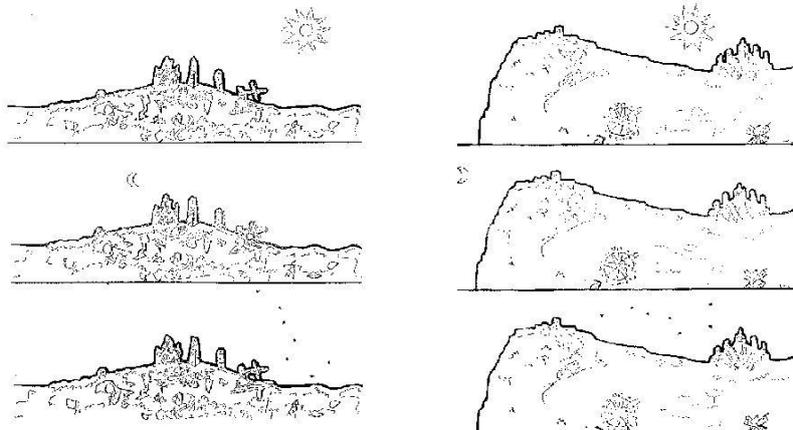


Fig. 27a: Horizonte Noroeste de Barcelona.

Fig. 27b: Horizonte Sudoeste de Barcelona.

Es bueno mencionar que este modelo es útil para explicar la situación local de la esfera celeste durante el día y durante la noche. Realmente sirve para comprender mejor el movimiento del Sol (y de otros miembros del Sistema Solar que se mueven en la zona próxima). Usando el modelo propuesto, los alumnos entienden que un astro brillante en la zona de la Polar o de la Cruz de Sur nunca puede ser un planeta.



Fig. 28a: El modelo realizado con alumnos de primaria. Fig. 28b: El modelo a gran escala en el Parque de las Ciencias de Granada.

Es una buena inversión producir un modelo como el explicado a gran escala. En ese caso los alumnos, e incluso los adultos pueden meterse dentro y verificar la posición del Sol en comparación con ecuador y los paralelos que corresponden al primer día de los solsticios de verano e invierno (figura 28a). En algunos museos de la ciencia ya se han construido este tipo de modelo (figura 28b).

Después de usar el modelo los alumnos pueden discernir contenidos que antes no se les habrían ocurrido. Les queda, por ejemplo, muy claro que el Sol no sale y se pone perpendicularmente al horizonte salvo en el ecuador.

Bibliografía

- Alemany, C., Ros, R.M., *Tierra paralela*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, EU-UNAWA, Barcelona, 2011
- Lanciano, N., *Strumenti per i giardino del cielo*, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016
- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, p.1-5, Orsay, 2001.
- Ros, R.M., *Laboratorio de Astronomía*, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., *El planisferio y 40 actividades más*, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Lanciano, N., *El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica*, 76, p.12-20,1995.