

SIMULADOR SOLAR

¿POR QUÉ EL SOL NO SE SALE POR EL PUNTO CARDINAL ESTE?

Rosa M. Ros – Atrévete con el Universo

No es simple explicar los movimientos del Sol observados de la tierra. Los estudiantes saben que el Sol se levanta y se pone a diario, pero sienten una sorpresa cuando descubren que sale y se pone por diferentes puntos cada día. También es interesante considerar las distintas trayectorias solares de acuerdo con la latitud local. Y puede ser difícil intentar explicar el fenómeno del Sol de la medianoche o del paso solar por el cenit. Especialmente el simulador puede ser muy útil para entender el movimiento de la traslación y justificar las estaciones para algunas latitudes.

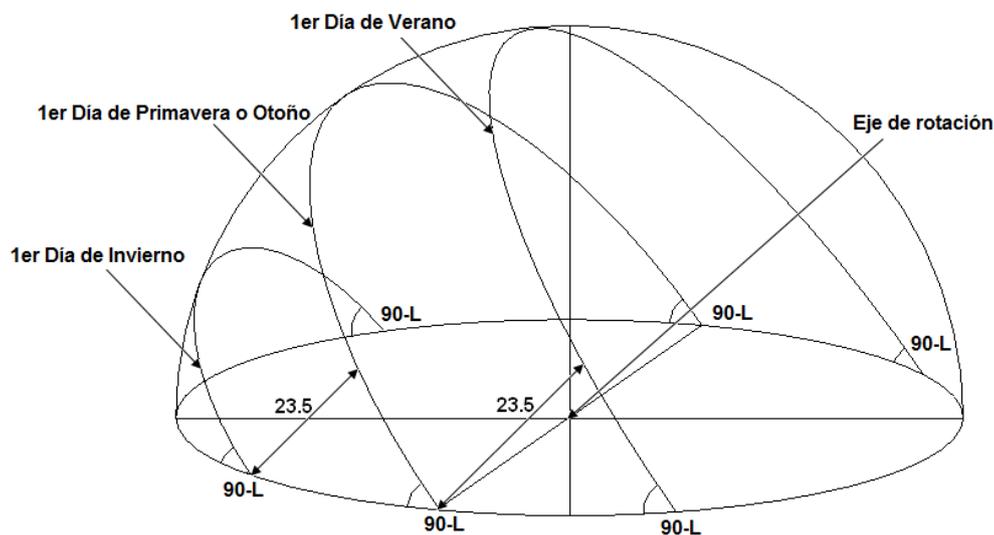


Figura 1: Tres trayectorias de diferentes del Sol (1er día de primavera u otoño, 1er día de verano y 1er día de invierno)

La idea detrás del simulador

Si deseamos construir el simulador solar, hay que considerar la declinación solar (que cambia diario). Entonces tenemos que construir un simulador que dé a los estudiantes la posibilidad que cambian la posición del Sol de acuerdo con la época del año (según sea su declinación). Entonces para el primer día de primavera y de otoño, su declinación es 0° , el Sol se está moviendo en el ecuador. El primer día del verano, la declinación del Sol es positiva $+23.5^\circ$ y el primer día del invierno es negativa -23.5° (figura 1). Es necesario cambiar este valor en el modelo si deseamos utilizarlo para estudiar las trayectorias del Sun.

Construcción del simulador

Para obtener un simulador robusto (figuras 2 y 3), es una buena idea pegar ambos pedazos sobre cartulina antes de recortarlos. Es una buena idea construir uno de ellos dos veces mas grande para uso del profesor o monitor

(así se podrán seguir mejor las explicaciones aunque se este situado un poco mas lejos).

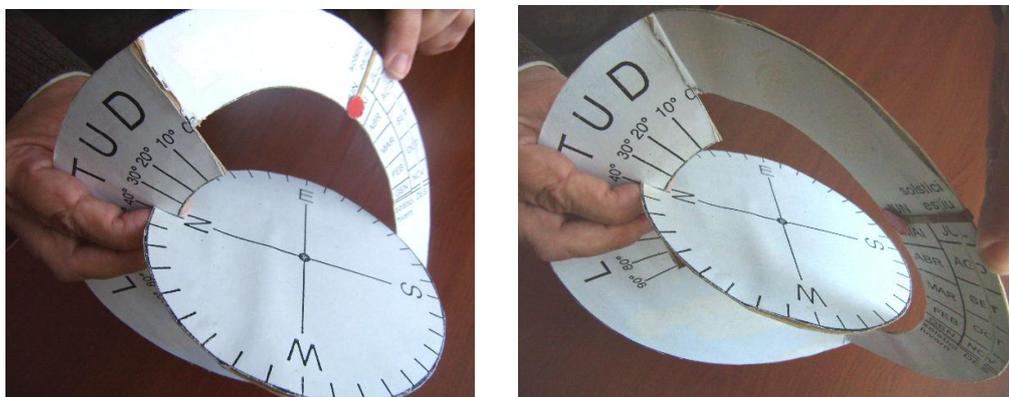


Figura 2: Preparación del simulador para el hemisferio del norte con la latitud +40°



Figura 3: Aprendiendo a usar el simulador

Las instrucciones de construirlo aparecen seguidamente.

Simulador para el Hemisferio Norte

- a) Haga una fotocopia de las figuras 4 y 5 sobre cartulina.
- b) Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 4 y 5).
- c) Quite el área negra del pedazo principal (figura 4).
- d) Doble la pieza principal (figura 4) a lo largo de la línea punteada. Es a veces una buena idea doblarla repetidamente para un uso más fácil del simulador.
- e) Corte una muesca pequeña en la N del disco del horizonte (figura 5). Debe ser bastante grande para que el grueso de la cartulina pase con él.
- f) Pegue el cuadrante de nordeste del disco del horizonte (figura 5) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 4). Es muy importante tener la línea norte-sur según la línea de dobléz de la pieza principal y el punto cardinal W debe coincidir con la latitud 90°.

- g) Cuando introducimos la marca N del disco del horizonte (figura 5) dentro de la zona de la latitud, el disco del horizonte tiene que permanecer perpendicular a la pieza principal.
- h) Es muy importante pegar las diversas piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.
- i) Para poner el sol en el simulador, pinte un círculo rojo sobre un pedazo de papel. Córtele y fíjelo entre dos pedazos de cinta transparente adhesiva. Ponga esta franja transparente (figura ojo) en el área de la declinación de la figura 5. La idea es que será fácil mover esta franja hacia arriba y hacia abajo de esta área para situarla en el mes deseado.

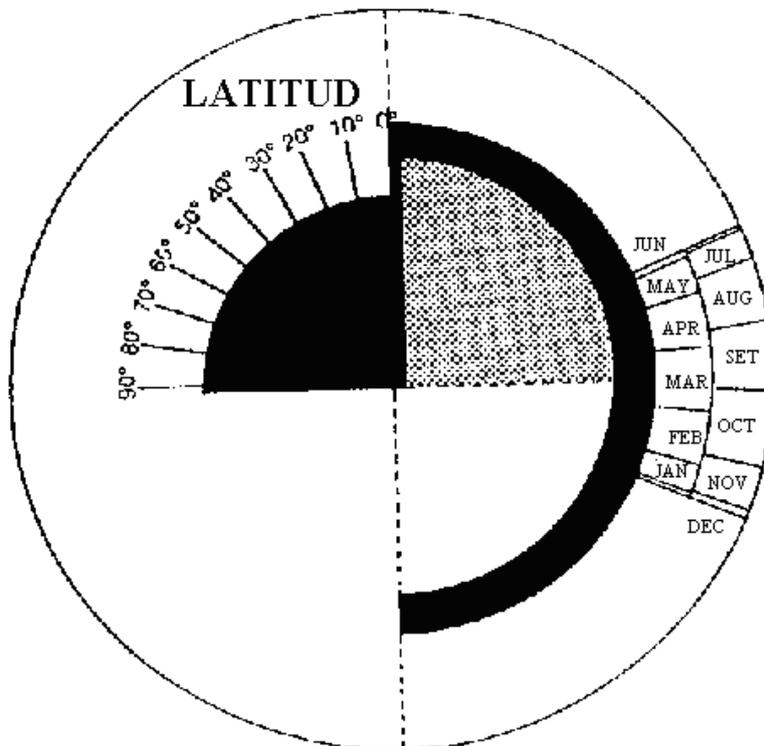


Figura 4: Pieza principal del simulador solar para el Hemisferio Norte.

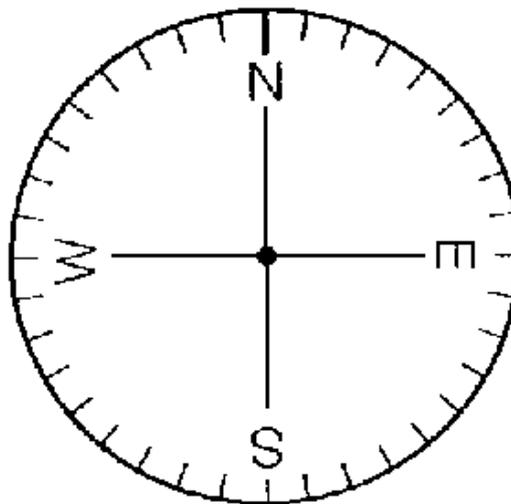


Figura 5: Disco del horizonte.

Para construir el demostrador solar para usarlo en el Hemisferio Sur es necesario seguir un esquema análogo pero substituyendo la figura 4 por la figura 6.

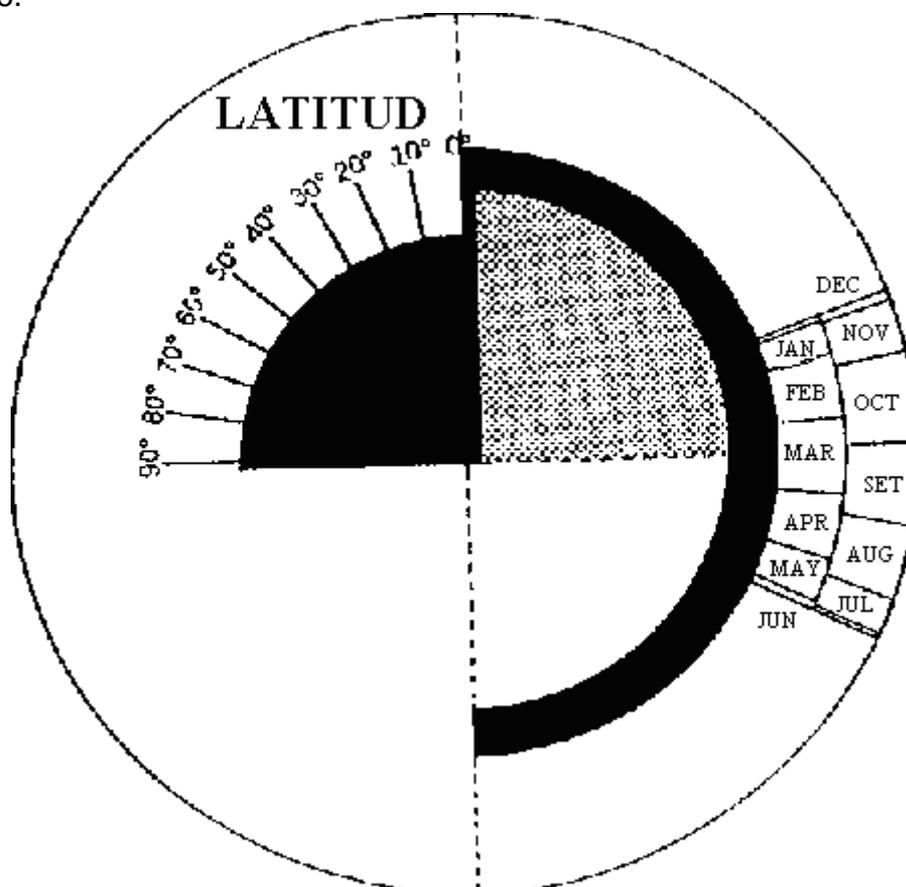


Figura 6: Pieza principal del simulador para el Hemisferio Sur.

Simulador para el Hemisferio Sur

- Haga una fotocopia de las figuras 6 y 5 sobre cartulina.
- Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 6 y 5).
- Quite el área negra de la pieza principal (figura 6).
- Doble la pieza principal (figura 6) a lo largo de la línea punteada. Es a veces una buena idea doblarla repetidamente para un uso más fácil del manifestante.
- Corte una muesca pequeña en el S del disco del horizonte (figura 5). Debe ser bastante grande para que el grueso de la cartulina pase con él.
- Pegue el cuadrante del sudoeste del disco del horizonte (figura 5) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 6). Es muy importante tener la línea norte-sur según la línea de dobléz de la pieza principal y el punto cardinal E debe coincidir con la latitud 90°.
- Cuando introducimos la marca S del disco del horizonte (cuadro 5) dentro de la zona de la latitud, el disco tiene que permanecer perpendicular a la pieza principal.
- Es muy importante pegar las diversas piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.

- i) Para poner el Sol en el simulador, pinte un círculo rojo en un pedazo de papel. Córtelo y fíjelo entre dos pedazos de cinta transparente. Ponga esta franja transparente (figura ojo) en el área de la declinación de la figura 5. La idea es que será fácil mover esta franja hacia arriba y hacia abajo de esta área para situarla en el mes deseado.

Usos del simulador

Para comenzar a utilizar el simulador usted tiene que entrar la latitud seleccionada. Viajaremos en la superficie de la Tierra en un viaje imaginario usando el simulador.

Consideraremos 3 áreas:

1. Lugares en el área de Intermedia del Hemisferio Norte o Sur
2. Lugares en las áreas polares
3. Lugares en las áreas ecuatoriales

1.- Lugares en el área de Intermedia del Hemisferio Norte o Sur: ESTACIONES

Inclinación de la trayectoria del Sol sobre el horizonte

Usando el simulador es muy fácil observar que el ángulo de la trayectoria del Sol sobre el horizonte depende de la latitud. Si el observador vive en el ecuador (latitud 0°) este ángulo es 90° . Si el observador está viviendo en Polo Norte o Polo Sur (latitud 90° o -90°), la trayectoria del Sol es paralela al horizonte. Generalmente si el observador vive en una ciudad de la latitud L , la inclinación de la trayectoria del Sun en el horizonte es $90-L$ cada día. En las figuras 7 y 8 podemos verificar esta situación. La fotografía de la figura 7 fue tomada en Laponia (Finlandia) y la figura 8 en Gandia (España). La latitud en Laponia es mayor que en Gandia, pero la inclinación de la trayectoria del Sun es más pequeña.

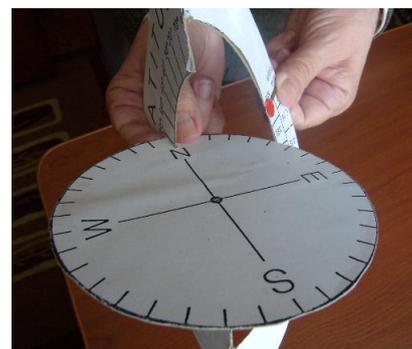


Figura 7: Salida del Sol en Enontekiö en Laponia (Finlandia), el ángulo de la trayectoria del Sol sobre el horizonte es el colatitud (90 -latitud). (Foto Sakari Ekko, Finland).



Figura 8: Salida del Sol en Gandia (España) con latitud de $+40^\circ$, el ángulo de la trayectoria solar sobre el horizonte es 50° . Moviendo rápidamente el simulador es posible mostrar la inclinación de la trayectoria del Sol. (Foto Rosa M. Ros, España).

Altitud de la trayectoria del Sol dependiendo de las estaciones

1a) Para el Hemisferio Norte.

Usando el demostrador para su ciudad (entre la latitud de su ciudad), es fácil verificar que la altitud del sol sobre del horizonte cambia de acuerdo con la estación. Por ejemplo, el primer día de primavera, la declinación del Sol es 0° . Si situamos el Sol en el 21 de marzo y movemos el Sol, exactamente sobre el ecuador, desde el horizonte del este al sur y al oeste, podemos ver que la trayectoria del Sol tienen una altitud determinada sobre el horizonte.

Si para la misma latitud del lugar repetimos el experimento para el primer día de verano el 21 de junio, (declinación $+23^\circ.5$), cuando movemos el Sol según el paralelo respectivo desde la zona del este en el horizonte al sur y al oeste, podemos observar que la trayectoria del Sun es superior que en el primer día de primavera. Finalmente repetimos el experimento, para la misma latitud también, en el caso del primer día de invierno el 21 de diciembre (declinación $-23^\circ.5$). Podemos ver que en este caso la trayectoria del Sol es por debajo. El primer día del otoño la declinación es 0° y la trayectoria del Sol será según el ecuador de manera similar a la del primer día de primavera.

Por supuesto si cambiamos la latitud, la altitud de las trayectorias del Sol cambia, pero la mas alta corresponde siempre al primer día del verano y del más baja al primer día de invierno (figura 9).



Figura 9: Trayectorias del Sol el primer día de verano y de invierno en Noruega. Es evidente que el Sol se está moviendo más arriba en el verano que en invierno, y que hay mucho más horas de la luz del Sol durante verano.

1a) Para el Hemisferio Sur.

Usando el demostrador para su ciudad (entre la latitud de su ciudad), es fácil verificar que la altitud del sol sobre del horizonte cambia de acuerdo con la estación. Por ejemplo, el primer día de primavera, la declinación del Sol es 0° . Si situamos el Sol en el 23 de septiembre y movemos el Sol, exactamente sobre el ecuador, desde el horizonte del este al norte y al oeste, podemos ver que la trayectoria del Sol tiene una altitud determinada sobre el horizonte.

Si para una misma latitud del lugar consideramos el Sol el primer día del verano el 21 de diciembre, (declinación $-23^{\circ}.5$), cuando movemos el Sol en el paralelo respectivo desde la zona del este en el horizonte al sur y al oeste, podemos observar que la trayectoria del Sol es superior que en el primer día de primavera, el 23 de septiembre. Finalmente repetimos el experimento, para la misma latitud también, en el caso del primer día de invierno el 21st de junio (declinación $+23^{\circ}.5$). Podemos ver que en este caso la trayectoria del Sol esta por debajo. El primer día de primavera la declinación es 0° y la trayectoria del Sol coincide con el ecuador de una manera similar al primer día de otoño, el 21 de marzo.

Por supuesto si cambiamos la latitud, la altitud de las trayectorias del Sun cambia, pero la más alta es siempre primer día de verano y la más baja es el primer día de invierno.

Notas:

- Cuando la altitud del Sol (en verano) es máximo la luz y la radiación solar “incide” más perpendicular sobre el horizonte. En este caso la energía se concentra en un área más pequeña y nuestra sensación es que en este período el clima es más caliente.

- También en el periodo veraniego el número de horas de luz solar es mayor que en invierno, esta razón motiva que también aumente la temperatura durante el verano.

El sol se sale y se pone en un lugar diferente cada día

Si en el experimento anterior prestamos atención en la zona de las salidas del Sol y/o en las zona de las puestas del Sol podemos observar que el Sol sale y se pone en un lugar diferente hoy, que ayer y que mañana. Particularmente la distancia entre las salidas del Sol (o las puestas) del primer día de dos estaciones consecutivas aumenta con la latitud (figura 10).



Figura 10: Puestas del Sol en Riga (Latvia) y Barcelona (España) el primer día de cada estación (izquierda/invierno, centro/primavera o otoño, la derecha/verano). Las puestas del sol centrales en ambas fotos están en la misma línea, es fácil observar que las puestas del sol del verano y del invierno en Riga (latitud mayor) están mucho más lejanas que en Barcelona. (Fotos Ilgonis Vilks, Letonia y Rosa M. Ros, España)

Es muy sencillo simular esta observación con el modelo. Es suficiente marcar la posición del Sol en cada estación para dos lugares diferentes, por ejemplo de 60 y 40 grados de latitud (Figura 11).



Figura 11: El Sol sale el primer día de cada estación: izquierda) primer día de primavera y/o otoño, centro) primer día de verano y derecha) primer día de invierno.

Las fotografías presentadas (figura 10 y 11) corresponden al Hemisferio Norte pero la situación es similar en el Hemisferio Sur (figura 12). Solo cambia la posición de las estaciones.



Figura 12: Puestas del sol en el La Paz (Bolivia) y Esquel (la Argentina) el primer día de cada estación (izquierda/verano, centro/primavera y/o otoño, derecha/invierno). Las puestas del Sol centrales en ambas fotos están en la misma línea, es fácil observar que las puestas del Sol del verano y del invierno en Esquel (latitud mucho mas negativa) están mucho más alejadas que en el La Paz. (Ftos Juan Carlos Martínez, Colombia y Néstor Camino, Argentina)

Notas:

- El Sol no sale por el punto cardinal este y no se pone por el punto cardinal oeste. Esta es una idea generalmente aceptada pero realmente no es cierta. Solamente es correcta 2 días correctos por año: el primer día de primavera y el primer día de otoño en todas las latitudes el sol sale y se pone exactamente en los puntos este y oeste respectivamente.
- Hay otra idea muy interesante que la gente no sabe, pero que se cumple cada día en todas las latitudes. El Sol pasa para el punto cardinal del sur al mediodía (por supuesto en tiempo solar). Esta característica se puede utilizar para la orientación.

2.- Lugares en áreas polares: SOL DE MEDIANOCHE

Verano e invierno polar

Si introducimos la latitud polar ($+90^\circ$ o -90° dependiendo de si nosotros consideramos la demostración para el Hemisferio Norte para del Hemisferio Sur) en el simulador, tenemos 3 posibilidades. Si la declinación del Sol es 0° , el Sol se está moviendo en el horizonte que es también el ecuador.

Si la declinación corresponde al primer día de verano, el Sol se está moviendo en un paralelo al horizonte. Realmente tenemos el Sol moviéndose en varios

paralelos sobre el horizonte desde el segundo día de primavera hasta el último día de verano. Eso significa medio año de luz solar.

El primer día del otoño el Sol se está moviendo otra vez en el horizonte o en el ecuador. Pero a partir del segundo día de otoño hasta el día último día de invierno el Sol se está moviendo en diverso paralelos todos por debajo del horizonte. Eso significa medio el año de noches.

Por supuesto el ejemplo anterior corresponde a la situación extrema. Hay algunas otras latitudes donde las trayectorias del Sol no son paralelas al horizonte, pero no tiene salidas ni puestas de Sol porque la latitud local es demasiado más alta para ello. En este caso podemos observar el sol de la medianoche.

Sol de la medianoche

Si introducimos en la latitud del simulador $+70^\circ$ para el Hemisferio Norte (o -70° en el Hemisferio Sur) podemos simular el Sol de la medianoche sin ningún problema. Si situamos el Sol el primer día de verano, el 21 de junio en el Hemisferio Norte (o el 21 de diciembre en el Hemisferio Sur), podemos ver que el Sol no sale ni se pone este día. La trayectoria del Sol es tangente al horizonte, pero nunca esta por debajo de él. Este fenómeno se llama “sol de la medianoche”, porque es posible observar el Sol también en la medianoche (figura 13).

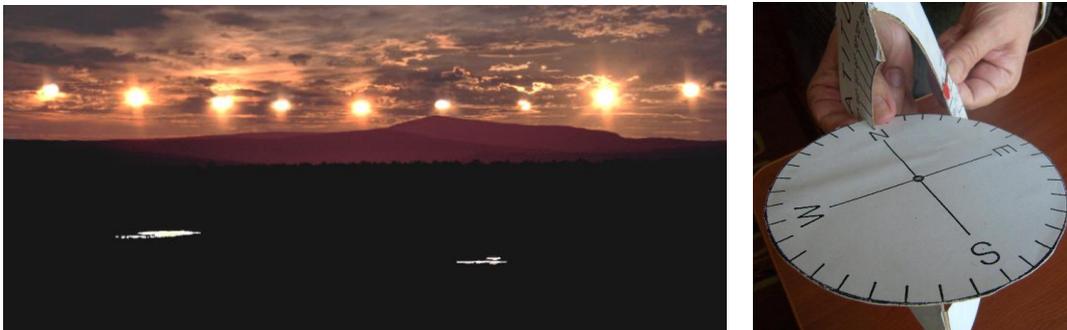


Figura 13: Trayectoria del Sol de medianoche en Laponia (Finlandia). El Sol va bajando hacia el horizonte pero no se pone hasta que el sol comienza a subir de nuevo. (Foto Sakari Ekko).

En particular, en las latitudes polares ($+90^\circ$ o -90°) el Sol aparece sobre el horizonte durante la mitad del año y por debajo del mismo la otra mitad. Usando el simulador es muy fácil entender esta situación (figura 14).

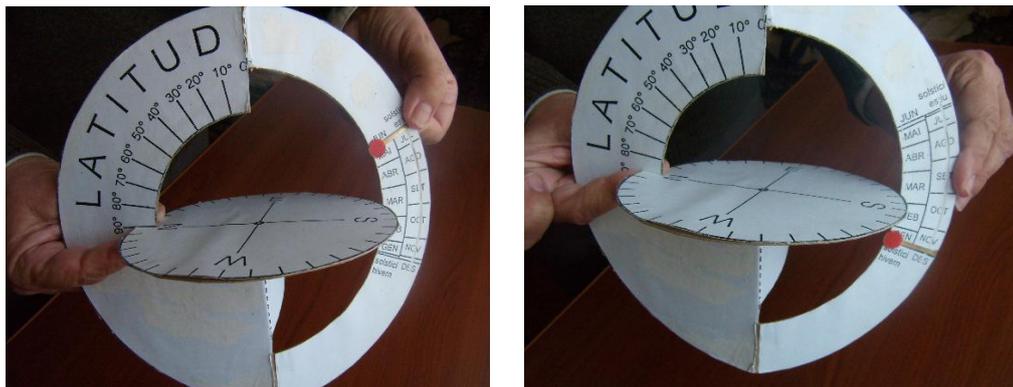


Figura 14: Simulador mostrando el Sol por encima del horizonte para medio año y por debajo para la otra mitad.

3.- Lugares en el área ecuatorial: PASO DE ZENITAL DEL SOL

Paso por el cenit del Sol

En la zona ecuatorial las estaciones no se aprecian. La trayectoria solar es siempre prácticamente perpendicular al horizonte y la altitud solar es prácticamente igual durante todo el año y la duración de los días es también muy similar. Entonces las estaciones no son interesantes para los habitantes (figura 15).



Figura 15: En el ecuador los movimientos del Sol corresponden a trayectorias perpendiculares al horizonte. El Sol sale el primer día de cada estación: izquierda) primer día de verano, centro) primer día de primavera y/o otoño y derecha) primer día de invierno. Las distancias entre los tres puntos de salida del sol el primer día de cada estación son mínimas. Esta distancia es sólo de $23^{\circ}.5$, la oblicuidad de la eclíptica. Para latitudes mayores las trayectorias solares se inclinan y las distancias entre las tres salidas del Sol aumentan (figura 10 y 12).

Por otra parte en los países tropicales hay algunos días especiales: los días que el Sol pasa por el cenit. Esos días la luz del Sun llega del cenit como ducha. La temperatura es más caliente y la sombra de la gente desaparece debajo de sus zapatos (figura 16). Esos días eran especialmente considerados por las culturas antiguas porque podían ser apreciados por todos. Ahora también se consideran. Realmente hay dos días por año en que el sol se encuentra en el cenit. Usando el simulador podemos mostrar este fenómeno y también es posible calcular (aproximadamente) en que día va a tener lugar para una determinada latitud (figura 17).

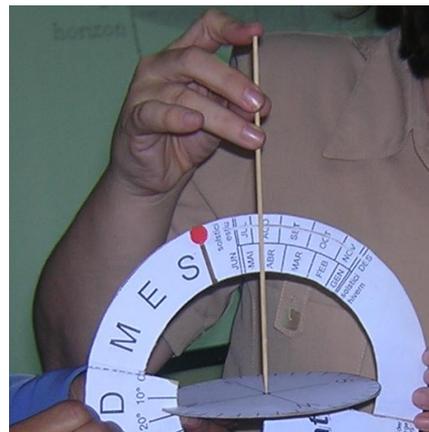


Figura 16: Sombra reducida (próxima al cenit) Figura 17: Simulando el paso solar para el cenit en Honduras (latitud 15°).

Por ejemplo (figura 17), si simulamos un lugar de la latitud 15°N , usando el manifestante podemos calcular aproximadamente qué días estará el Sol en el cenit al mediodía. Es solamente necesario utilizar un palillo perpendicular al disco del horizonte. Por ejemplo en la figura 17 se observa que para Honduras el paso por el cenit es a finales de abril y a mediados de agosto.

Simulador XXL

Evidentemente el modelo presentado puede realizarse en otros materiales, por ejemplo en madera. Entonces se puede producir con una luz en la posición del Sol (figura 18). Con una cámara fotográfica es posible visualizar las trayectorias del Sun si se da un tiempo de exposición largo (figura 19).



Figura 18: Simulador de madera de mayor tamaño hecho en madera. Figura 19: Con una cámara fotográfica y una larga exposición es posible simular la trayectoria solar. (Fotos Sakari Ekko).

BIBLIOGRAFÍA

- Snider, J.L., The Universe at Your Fingertips, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Ros, R.M., De l'intérieur et de l'extérieur, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5. Orsay, France, 2001.



- Ros, R.M., Sunrise and sunset positions change every day, *Proceedings of 6th EAAE International Summer School*, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Warland, W., Solving Problems with Solar Motion Demonstrator, *Proceedings of 4th EAAE International Summer School*, 117, 130, Barcelona, 2000.