Simuladores del movimiento de las estrellas, el Sol y la Luna

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu
International Astronomical Union, Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España), CLEA (Niza, Francia)

Resumen

Se presenta un método sencillo para explicar como se observa el movimiento de las estrellas, el Sol y la Luna en diferentes lugares de la superficie terrestre. El procedimiento consiste en construir un sencillo modelo que permite simular estos movimientos a la vez que modificar los diferentes valores de la latitud del lugar.

Objetivos

- Comprender el movimiento de las estrellas para diferentes latitudes.
- Comprender el movimiento del Sol para diferentes latitudes.
- Comprender el movimiento de la Luna para diferentes latitudes.

La idea que hay detrás del simulador

No es simple explicar los movimientos del Sol, la Luna o las estrellas observados desde 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.

Si deseamos que alguien aprenda la forma y el aspecto de cada constelación podemos explicarle algunas historias mitológicas que las relacionan y algunas reglas geométricas para encontrar una constelación cerca de otra, o una estrella alineada con otra. Esta presentación no tiene dificultades especiales, pero los problemas pueden aparecer cuando consideramos el movimiento de la esfera celeste alrededor del eje de rotación terrestre. Cualquier persona puede entender muy bien que si el observador vive en el Polo Norte pueden ver todas las estrellas del hemisferio norte y si vive en el Polo Sur le es posible ver todas las estrellas en el hemisferio sur.

Simulador estelar. ¿Por qué hay estrellas invisibles?

Pero todo se complica cuando el observador vive en alguna zona que no es alguno de los dos polos, que es la situación de la mayoría de los observadores. En este caso, las estrellas se dividen en tres categorías diferentes (para cada latitud): circumpolares, estrellas con salida y puesta y estrellas invisibles (figura 1). Todos nosotros tenemos experiencia de lo sorprendido que siente toda persona que descubre que aun viviendo en el hemisferio norte, puede observar que algunas estrellas del hemisferio sur. Por supuesto es similar a la sorpresa que se siente al descubrir el fenómeno del Sol de la medianoche.

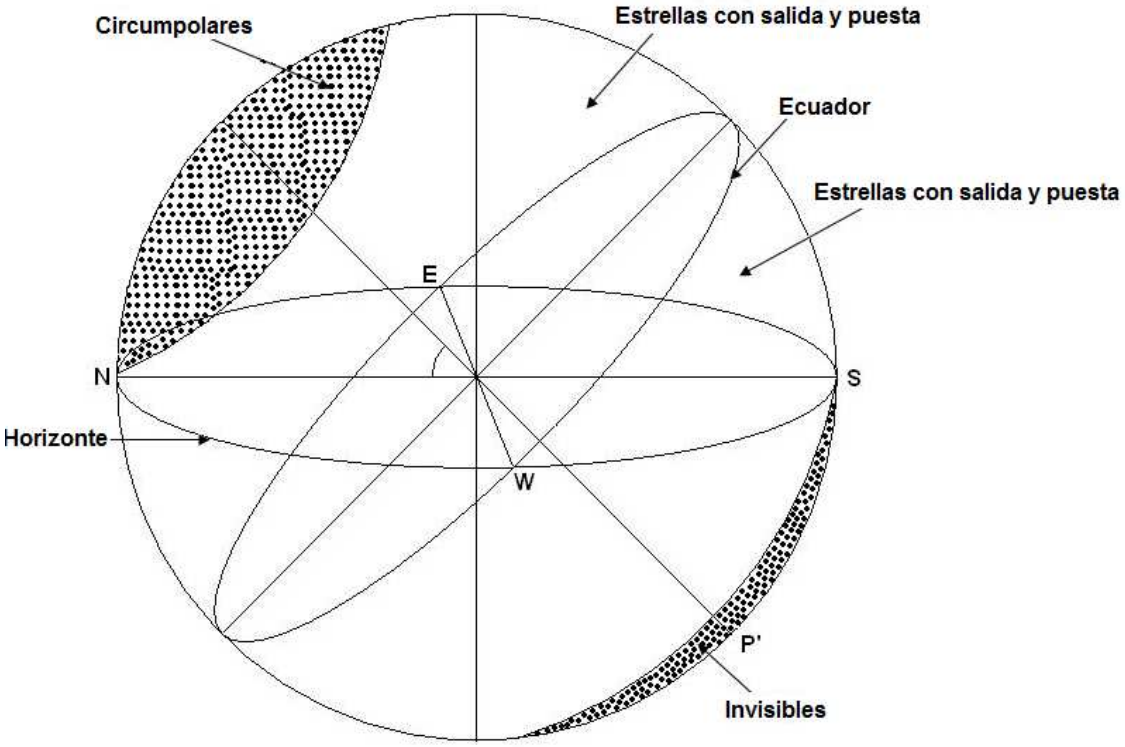


Fig. 1: Las tres diferentes categorías de estrellas (para cada latitud).

Según sea la edad del observador puede entender más o menos que estrellas son circumpolares en su ciudad, pero es mucho más difícil descubrir cuáles de ellas son circumpolares en otras ciudades. Si preguntamos si una estrella específica, como por ejemplo Sirius, sale y se pone en Buenos Aires normalmente no pueden contestarnos. Utilizaremos el simulador estelar para estudiar los diversos tipos de estrellas dependiendo de la latitud del lugar de la observación.

El principal objetivo del simulador

El objetivo principal es descubrir qué constelaciones son circumpolares, cuales salen y se ponen y cuales son invisibles para una latitud específica. Por supuesto, si cambiamos la latitud del observador, algunas constelaciones que eran circumpolares pueden convertirse en constelaciones con salida y puesta, o al contrario pueden ser invisibles. Si observamos desde

un lugar de latitud próxima a los 45º N, está claro que podemos ver las estrellas del hemisferio meridional salir y ponerse cada noche (figura 1).

En nuestro caso, el simulador incluye algunas constelaciones que han sido repartidas según sus diferentes declinaciones (sin considerar sus ascensiones rectas porque en este caso no es nuestro objetivo). Es una buena idea utilizar las constelaciones que son bien conocidas para cualquier principiante y con diversas ascensiones rectas, para tener constelaciones visibles en diversos meses del año (figura 2).

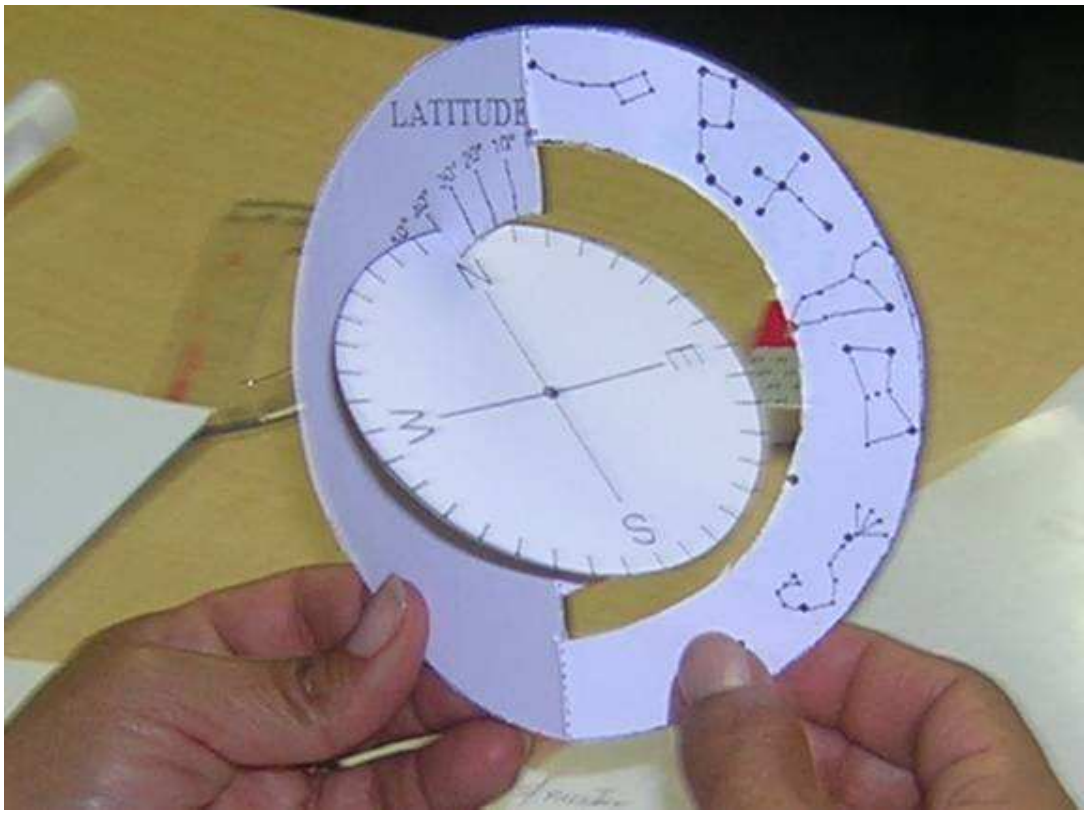


Fig. 2: Usar el manifestante. Éste es un ejemplo de simulador para el hemisferio norte según la tabla 1.

Para seleccionar la constelación a dibujar, solamente se consideraran las estrellas más brillantes para que sea fácil reconocer la forma de cada constelación. No utilizamos las constelaciones que están en el mismo meridiano, porque decidimos elegir las más conocidas (tabla 1). (Si usted está interesado en hacer este estudio para cada estación, se pueden construir cuatro simuladores distintos, uno para cada estación. Por ejemplo, usted puede utilizar las constelaciones que tienen diversas declinaciones, pero siempre con la ascensión derecha entre 21h y 3h para el otoño, la misma idea con la ascensión derecha de 3h a 9h para el invierno, igual entre 9h y 14h para el resorte y finalmente hasta 14h a 21h para el verano).

Constelación	*Máximo declinación*	*Mínimo declinación*
Osa Menor	+90º	+70º
Osa Mayor	+60º	+50º
Cisne	+50º	+30º
Leo	+30º	+10º
Orión y Sirius	+10º	-10º
Escorpión	-20º	-50º
La Cruz del Sur	-50º	-70º

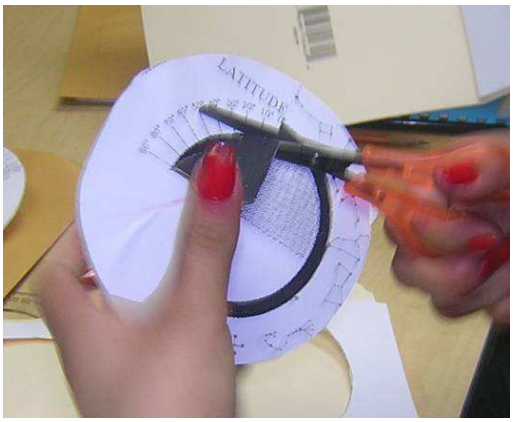
Tabla 1: Constelaciones que aparecen en el simulador considerado.

Si decidimos considerar solamente una estación, puede ser difícil seleccionar una constelación entre, por ejemplo, 90ºN y 60ºN, otra entre 60ºN y 40ºN, otra entre 40ºN y 20ºN, y otra entre 20ºN y 20ºS y así sucesivamente sin solaparse hasta alcanzar la final entre 60ºS y 90ºS. Si también deseamos seleccionar constelaciones bien conocidas por todos, con estrellas brillantes, y que sean bastante grandes para cubrir el meridiano entero con una pequeña cantidad de ellas, puede ser difícil alcanzar nuestro objetivo. Pues el cielo no tiene la misma clase de constelación (grande, bien conocido y brillante) separada hacia fuera durante todo el año, puede ser mejor construir solo un simulador y considerar las diversas ascensiones rectas al mismo tiempo.

Hay también otra discusión para construir un único simulador. Las diferencias relativas a las estaciones sólo tienen lugar ciertas latitudes de ambos hemisferios.

Construcción del simulador

Para obtener un simulador robusto (figura 3a y 3b), es una buena idea pegar ambos pedazos (figuras 4 y 5) sobre cartulina antes de recortarlos. Es práctico construir un simulador dos veces más grande para uso del profesor.



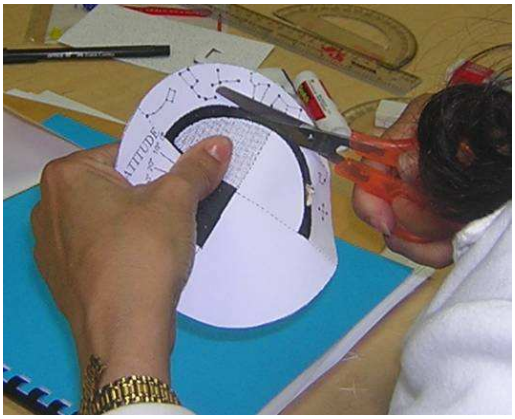


Fig. 3a y 3b: Construcción del simulador estelar

Las instrucciones de construirlo aparecen abajo.

Simulador para el Hemisferio Norte

a) Haga una fotocopia de las figuras 4 y 5 en la cartulina.
b) Recorte 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 recta. Es bueno doblar la pieza en varias ocasiones 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 la cartulina pase por ella.
f) Pegue el cuadrante de Nordeste del disco del horizonte (figura 4) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 4). Es muy importante que al plegar el simulador el punto cardinal W quede en la latitud 90º.
g) Cuando introducimos la marca N del disco del horizonte (figura 5) dentro de la zona de latitudes, el disco del horizonte debe permanecer perpendicular a la pieza principal.
h) Es muy importante pegar las diversas piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.

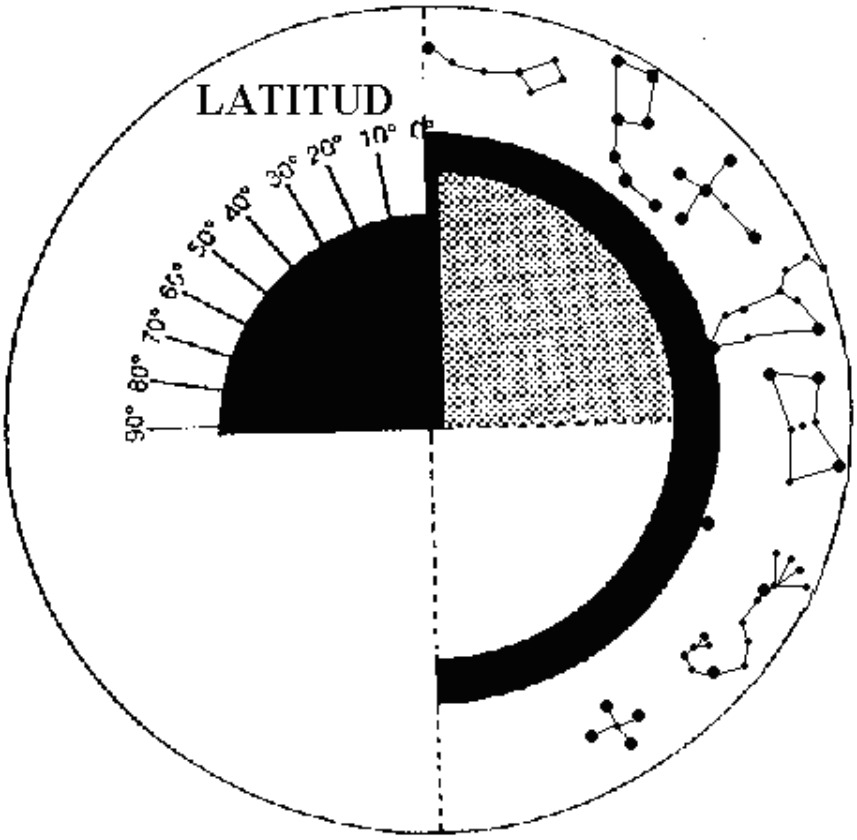


Fig. 4: Pieza principal del simulador estelar para el hemisferio norte.

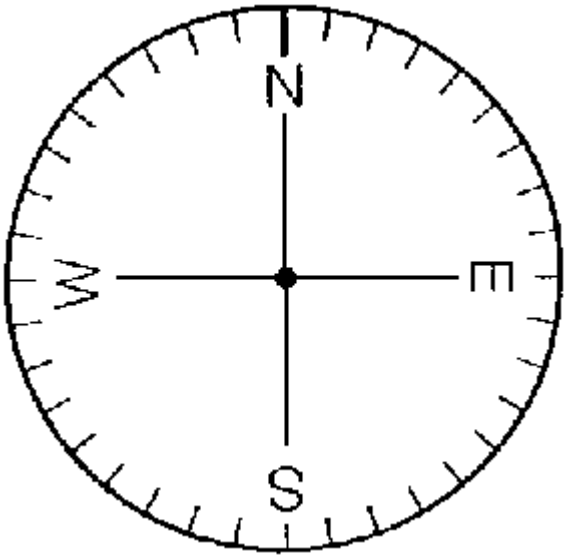


Fig. 5: Disco del horizonte.

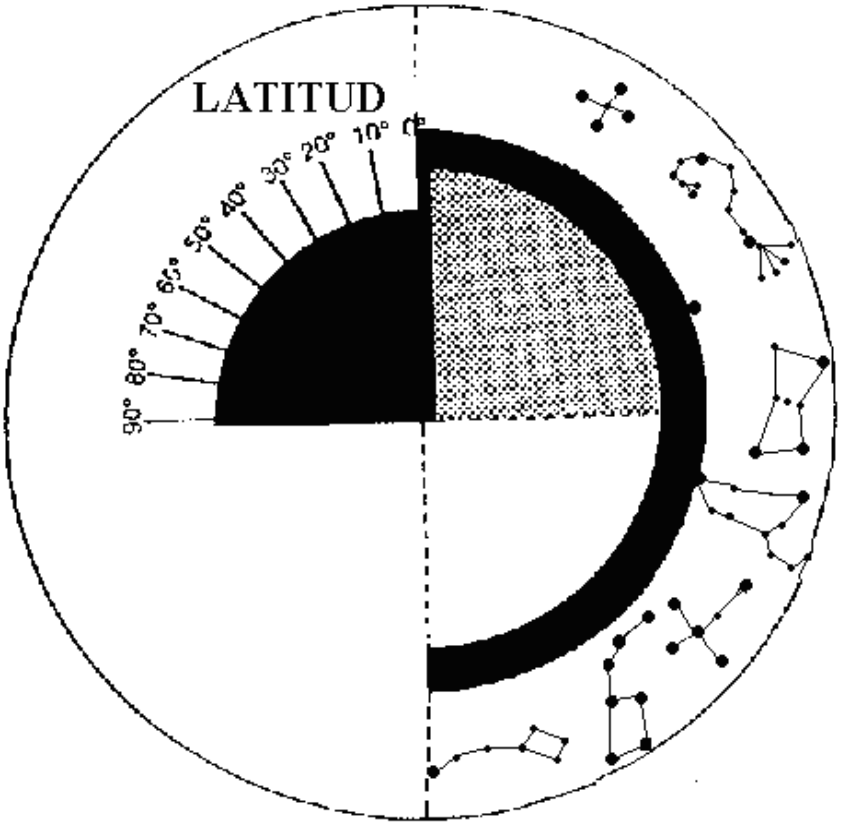


Fig. 6: Pieza principal del simulador estelar para el hemisferio sur.

Simulador para el Hemisferio Sur

a) Haga una fotocopia de las figuras 5 y 6 sobre cartulina.
b) Recorte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 5 y 6).
c) Quite el área negra de la pieza principal (figura 6).
d) Doble la pieza principal (figura 6) a lo largo de la línea punteada. Es bueno doblarla en varias ocasiones para un uso más fácil del simulador.
e) Corte una muesca pequeña en la **S** del disco del horizonte (figura 5). Debe ser bastante grande para que la cartulina pase por ella.
f) Pegue el cuadrante del Sudoeste del disco del horizonte (figura 5) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 6). Es muy importante que cuando esta plegado, el punto cardinal E aparezca en la latitud 90º.
g) Cuando introducimos la marca S del disco del horizonte (figura 5) dentro de la zona de latitudes, el disco tiene que permanecer perpendicular a la pieza principal.
h) Es muy importante pegar las diversas piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.

Todos pueden construir el simulador estelar que prefieran. Usted puede seleccionar las constelaciones que interesen por diversas razones. Por ejemplo, usted puede incluir solamente las constelaciones visibles para una única estación, o las constelaciones visibles solamente para un mes, etc. En este caso hay que considerar solamente las constelaciones con las ascensiones rectas entre dos valores específicos. Usted debe dibujar las constelaciones usando sus valores de la declinación en la figura 7. Tome en consideración que cada sector corresponde a 10º.

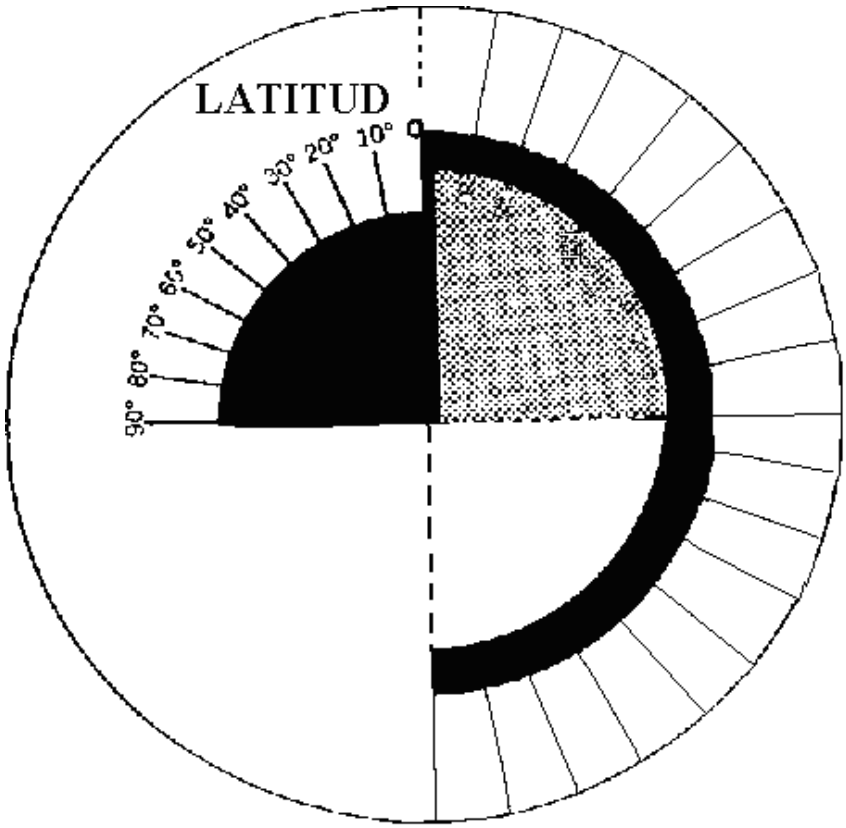


Fig. 7: Pieza principal del simulador estelar para cualquier hemisferio.

Aplicaciones del simulador

Para comenzar a utilizar el simulador hay que entrar la latitud deseada. Viajaremos por la superficie de la tierra en un viaje imaginario usando el simulador.

Hay que sujetar la pieza principal del simulador (figura 4) por el área en blanco (debajo del cuadrante de la latitud) con su mano izquierda. Seleccionada la latitud, hay que mover el disco del horizonte hasta que se corresponda con la latitud elegida. Con la mano derecha, se mueve la zona con las constelaciones dibujadas de derecha a izquierda varias veces. Se puede observar cuales son las constelaciones que siempre están por encima del horizonte (circumpolares), las constelaciones que salen y se ponen, y cuáles de ellas están siempre debajo del horizonte (invisible).

- ***Inclinación de las trazas de las estrellas sobre el horizonte***

Usando el simulador es muy fácil observar que el ángulo de las trazas de las estrellas sobre el horizonte depende de la latitud (figuras 8 y 9).

Si el observador vive en el ecuador (latitud 0º) este ángulo es de 90º. Si el observador vive en el Polo Norte o el Polo Sur (latitud 90ºN o 90ºS), las trayectorias de las estrellas son paralelas al horizonte. Generalmente si el observador vive en una ciudad de latitud L, la inclinación de las trazas de las estrellas sobre el horizonte es 90-L.

En las figuras 8 y 9 podemos verificar esta situación. La foto de la figura 9 fue tomado en Laponia (Finlandia) y la de la figura 8a en el Montseny (cerca de Barcelona, España). La latitud en Laponia es mayor que en Barcelona, pero la inclinación de la trayectoria de las estrellas es menor.

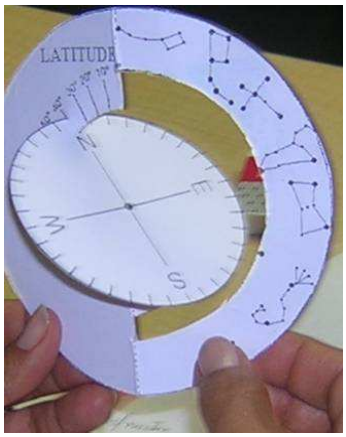


Fig. 8a y 8b: Trazas de las estrellas en la zona de la salida en el Montseny (cerca de Barcelona, España), el ángulo de la trayectoria de las estrellas sobre el horizonte es 90º-latitud (la colatitud). (Foto: Rosa M. Ros, España).

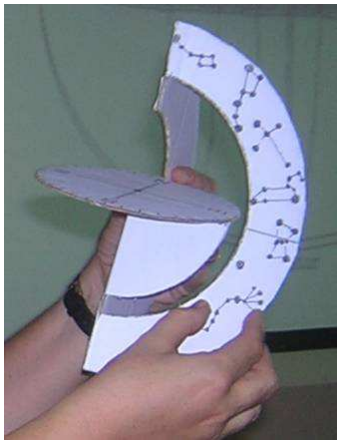


Fig. 9a y 9b: Trazas de las estrellas próximas a la puesta en Laponia (Finlandia), el ángulo de las trayectorias de las estrellas sobre el horizonte es 90-latitud (la colatitud). Hay que observar que las trazas de las estrellas son más cortas que en la foto anterior, ya que la presencia de auroras boreales aconsejo reducir el tiempo de exposición (Foto: Irma Hannula, Finlandia).

Usando el simulador se pueden realizar diversas actividades:

1) Si introducimos una latitud igual a 90ºN, el observador está en el Polo Norte, y podemos ver que todas las constelaciones del hemisferio norte son circumpolares. Todas las del hemisferio sur son invisibles y no hay constelaciones con salida y puesta. Análogamente se puede hacer para 90ºS y el Polo Sur.
2) Si la latitud es 0º, el observador está en el ecuador, y podemos ver que todas las constelaciones salen y se ponen (perpendicularmente al horizonte). Ninguna es circumpolar o invisible.
3) Si la latitud es 20º (N o S), hay menos constelaciones circumpolares que si la latitud es 40º (N o S). Pero hay mucho más estrellas que salen y se ponen.
4) Si la latitud es 60º (N o S), hay muchos mas constelaciones circumpolares e invisibles, pero el número de las constelaciones que salen y se ponen se reduce si comparamos con una latitud de 40º (N o S).

Simulador solar: ¿por qué el Sol no sale por el punto cardinal Este?

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.

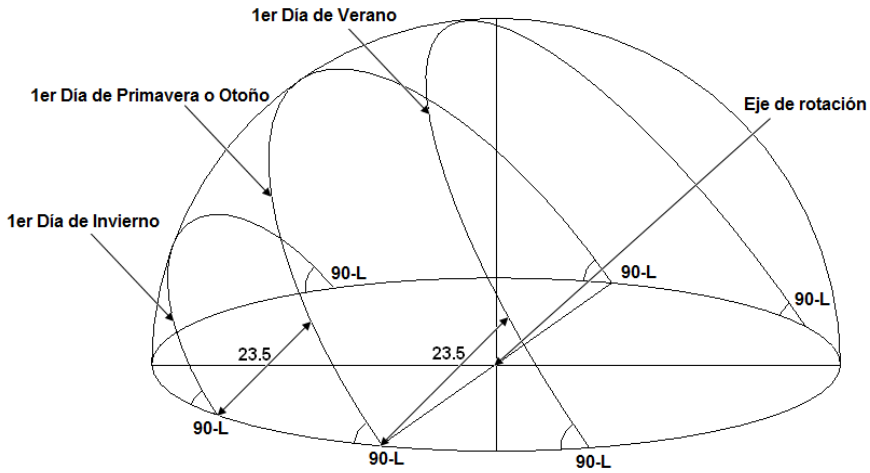
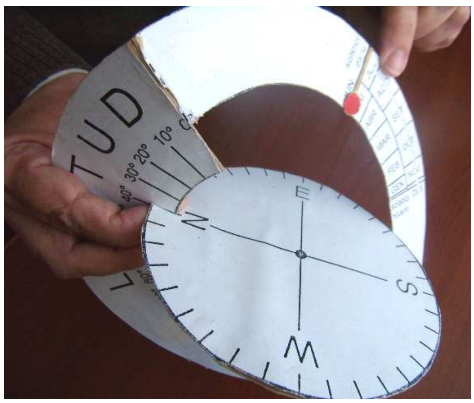


Fig. 10: Tres trayectorias diferentes del Sol (1er día de primavera u otoño, 1er día de verano y 1er día de invierno)

Construcción 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 de cambiar 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 0º, el Sol se está moviendo en el ecuador. El primer día del verano, la declinación del Sol es positiva +23.5º y el primer día del invierno es negativa -23.5º (figura 10). Es necesario cambiar este valor en el modelo si deseamos utilizarlo para estudiar las trayectorias del Sol.

Para obtener un simulador robusto (figuras 11a y 11b), 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 más lejos).



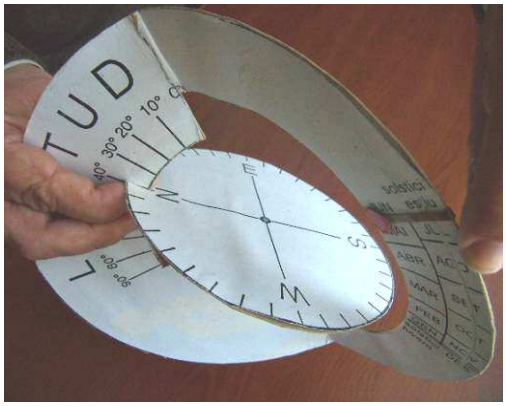


Fig. 11a y 11b: Preparación del simulador para el hemisferio norte con la latitud +40º

Las instrucciones de construirlo aparecen seguidamente.

Simulador para el hemisferio norte

a) Haga una fotocopia de las figuras 12 y 13 sobre cartulina.
b) Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 12 y 13).
c) Quite el área negra del pedazo principal (figura 12).
d) Doble la pieza principal (figura 12) 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 13). 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 13) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 12). Es muy importante tener la línea Norte-Sur según la línea de doblez de la pieza principal y el punto cardinal W debe coincidir con la latitud 90º.
g) Cuando introducimos la marca N del disco del horizonte (figura 13) 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 piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.
i) Para poner el Sol en el simulador, pinte un círculo rojo sobre un pedazo de papel. Córtelo y fíjelo entre dos pedazos de cinta transparente adhesiva. Ponga esta franja transparente en el área de la declinación de la figura 13. La idea es que será fácil mover esta franja hacia arriba y hacia abajo de esta área para situarla en el mes deseado.

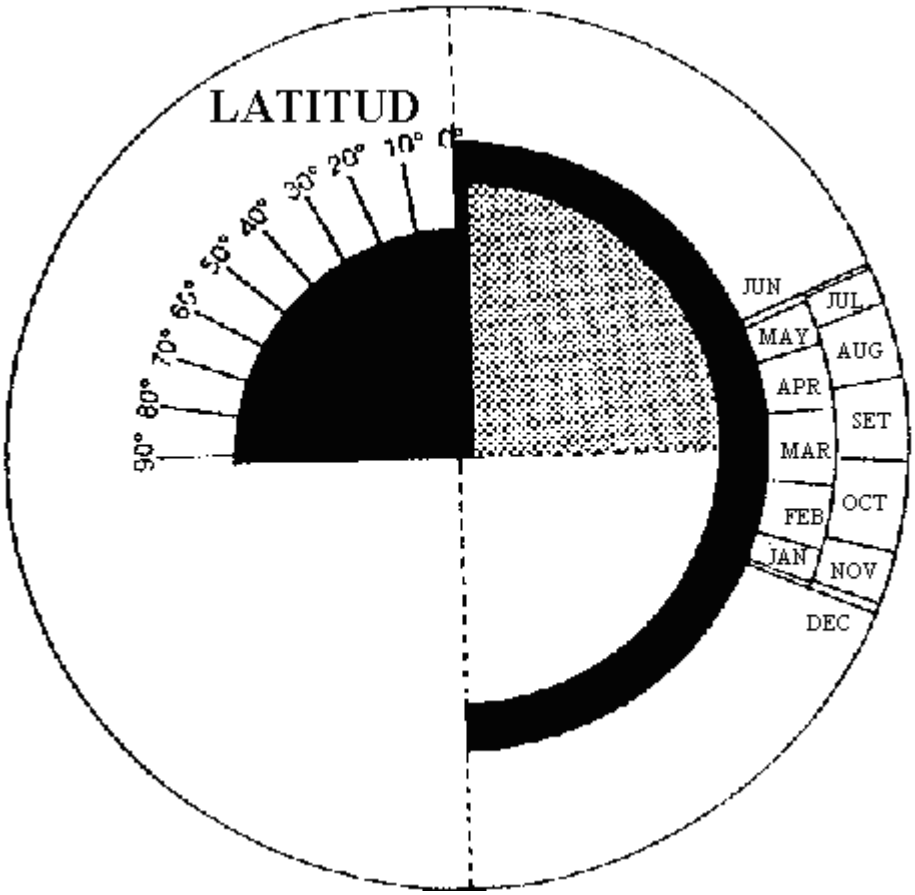


Fig. 12: Pieza principal del simulador solar para el hemisferio norte.

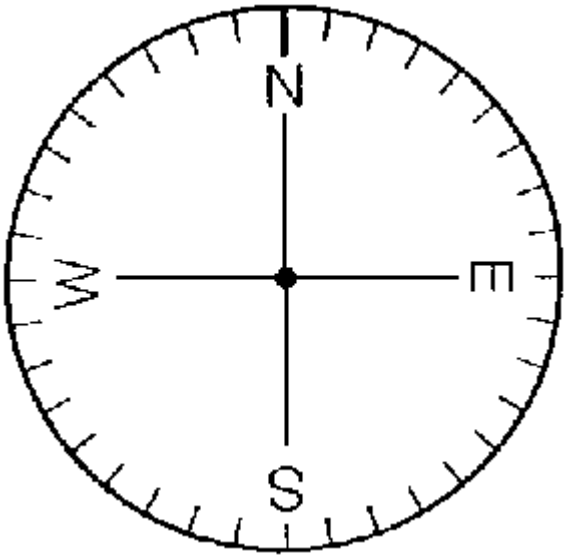


Fig. 13: Disco del horizonte.

Para construir el demostrador solar para usarlo en el hemisferio sur es necesario seguir un esquema análogo pero substituyendo la figura 12 por la figura 14.

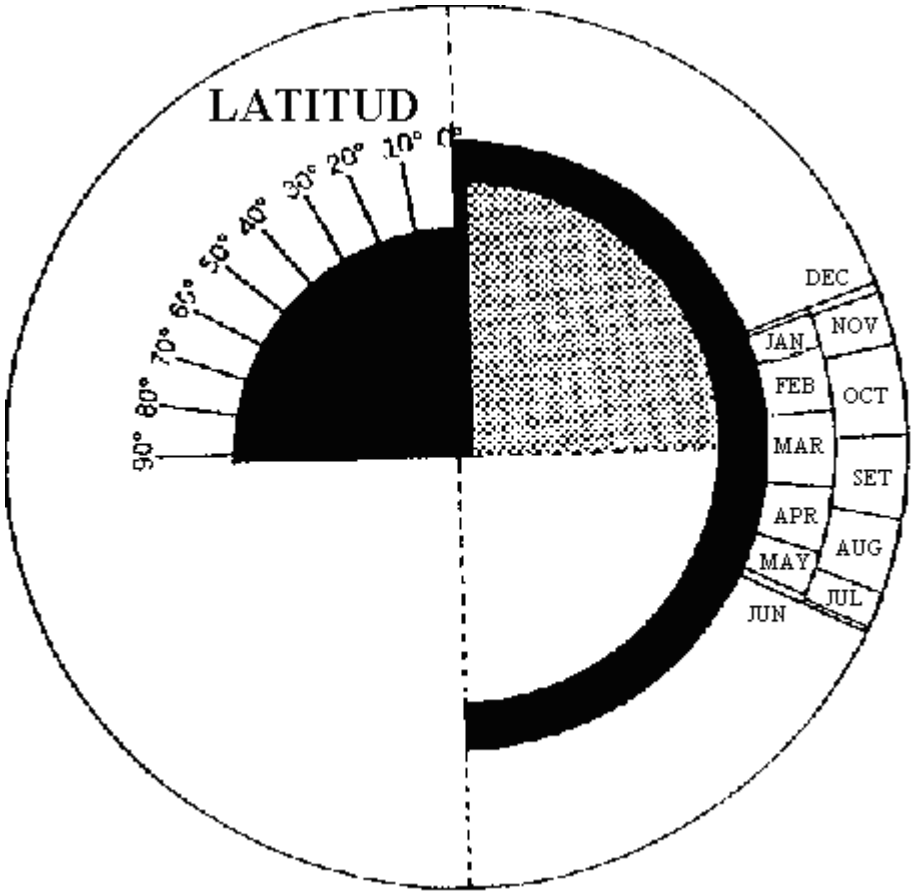


Fig. 14: Pieza principal del simulador para el hemisferio sur.

Simulador para el hemisferio sur

a) Haga una fotocopia de las figuras 13 y 14 sobre cartulina.
b) Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 13 y 14).
c) Quite el área negra de la pieza principal (figura 14).
d) Doble la pieza principal (figura 14) 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 el S del disco del horizonte (figura 13). Debe ser bastante grande para que el grueso de la cartulina pase con él.
f) Pegue el cuadrante del Sudoeste del disco del horizonte (figura 13) sobre el cuadrante gris de la pieza principal (figura 14). Es muy importante tener la línea Norte-Sur según la línea de doblez de la pieza principal y el punto cardinal E debe coincidir con la latitud 90º.
g) Cuando introducimos la marca S del disco del horizonte (figura 13) dentro de la zona de la latitud, el disco 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 en un pedazo de papel. Córtelo y fíjelo entre dos pedazos de cinta transparente. Ponga esta franja transparente en el área de la declinación de la figura 14. 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 Intermedia del hemisferio norte o sur
2. Lugares en las áreas polares
3. Lugares en las áreas ecuatoriales

1.- Lugares en el área 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 0º) este ángulo es 90º. Si el observador está viviendo en Polo Norte o Polo Sur (latitud 90º o -90º), 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 Sol en el horizonte es 90-L cada día. En las figuras 15a y 15a podemos verificar esta situación. La fotografía de la figura 15a fue tomada en Laponia (Finlandia) y la figura 16a en Gandia (España). La latitud en Laponia es mayor que en Gandia, pero la inclinación de la trayectoria del Sol es más pequeña.

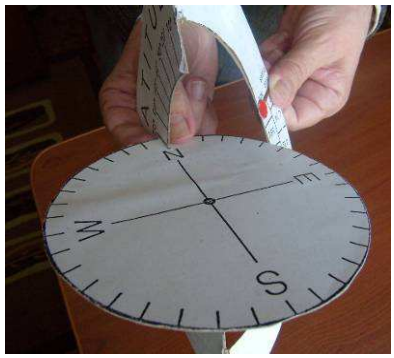


Fig. 15a y 15b: Salida del Sol en Enontekiö en Laponia (Finlandia), el ángulo de la trayectoria del Sol sobre el horizonte es el colatitud (90-latitud). (Foto: Sakari Ekko, Finlandia).

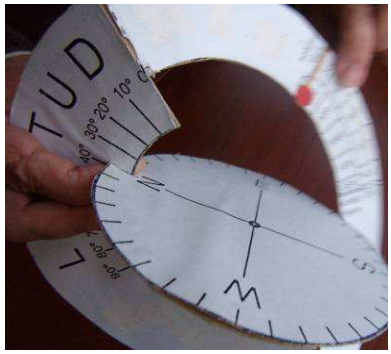


Fig. 16a y 16b: Salida del Sol en Gandia (España) con latitud de +40º, el ángulo de la trayectoria solar sobre el horizonte es 50º. Moviendo rápidamente el simulador es posible mostrar la inclinación de la trayectoria del Sol. (Foto: Rosa M. Ros, España).

- ***Altitud de la trayectoria del Sol dependiendo de las estaciones***

<u>1a) Para el hemisferio norte.</u>

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 0º. 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 tiene 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 +23º.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 Sol 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 -23º.5). Podemos ver que en este caso la trayectoria del Sol es por debajo. El primer día del otoño la declinación es 0º 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 más alta corresponde siempre al primer día del verano y la más baja al primer día de invierno (figura 17a y 17b).

Fig. 17a y 17b: 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 0º. 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 -23º.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 21 de junio, (declinación +23º.5). Podemos ver que en este caso la trayectoria del Sol esta por debajo. El primer día de primavera la declinación es 0º 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 Sol 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 máxima 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 de 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 18a y 18b).

Fig. 18a y 18b: Puestas del Sol en Riga (Latvia) y Barcelona (España) el primer día de cada estación (izquierda/invierno, centro/primavera o otoño, derecha/verano). Las puestas de Sol centrales en ambas fotos están en la misma línea, es fácil observar que las puestas de Sol de verano y de 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 19a, 19b y 19c).

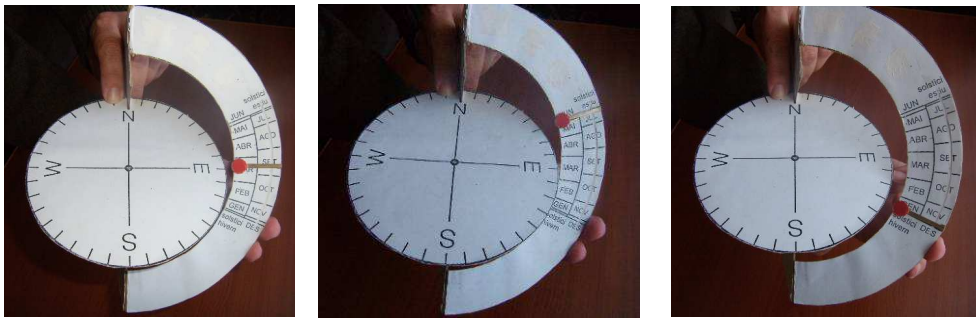
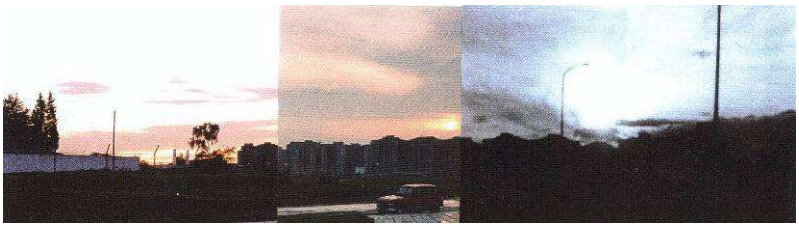


Fig. 19a: El Sol sale el primer día de primavera y/o otoño, Fig. 19b: El Sol sale el primer día de verano y Fig. 19c: El Sol sale el primer día de invierno.

Las fotografías presentadas (figuras 18a y 18b) corresponden al hemisferio norte pero la situación es similar en el hemisferio sur (figura 20a y 20b). Solo cambia la posición de las estaciones.



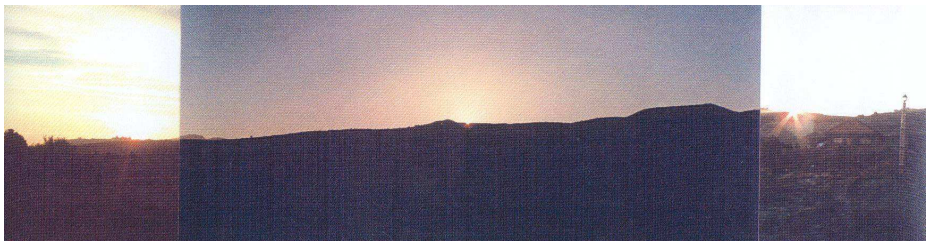


Fig. 20a y 20b: Puestas de Sol en La Paz (Bolivia) y Esquel (Argentina) el primer día de cada estación (izquierda/verano, centro/primavera y/o otoño, derecha/invierno). Las puestas de Sol centrales en ambas fotos están en la misma línea, es fácil observar que las puestas del Sol del verano y del invierno en Esquel (latitud mucho más negativa) están mucho más alejadas que en La Paz. (Fotos: 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 correcto 2 días concretos 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 (+90º o -90º dependiendo de si nosotros consideramos la demostración para el hemisferio norte o para el hemisferio sur) en el simulador, tenemos tres posibilidades. Si la declinación del Sol es 0º, 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 de 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 diversos paralelos todos por debajo del horizonte. Eso significa medio 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.

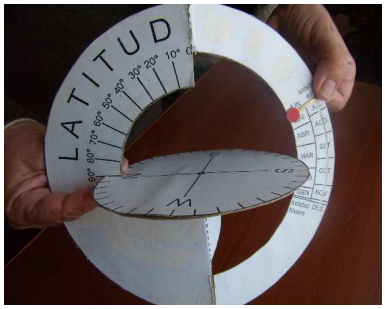
- ***Sol de la medianoche***

Si introducimos en la latitud del simulador +70º para el hemisferio norte (o -70º 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 21a y 21b).

Fig. 21a y 21b: 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 (+90º o -90º) 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 22a y 22b).



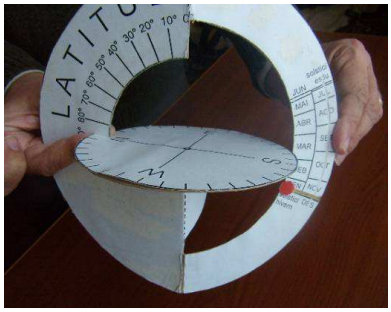


Fig. 22a y 22b: Simulador con el Sol por encima del horizonte para medio año y por debajo para la otra mitad.

3.- Lugares en el área ecuatorial: PASO DE CENITAL 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 23a, 23b y 23c).

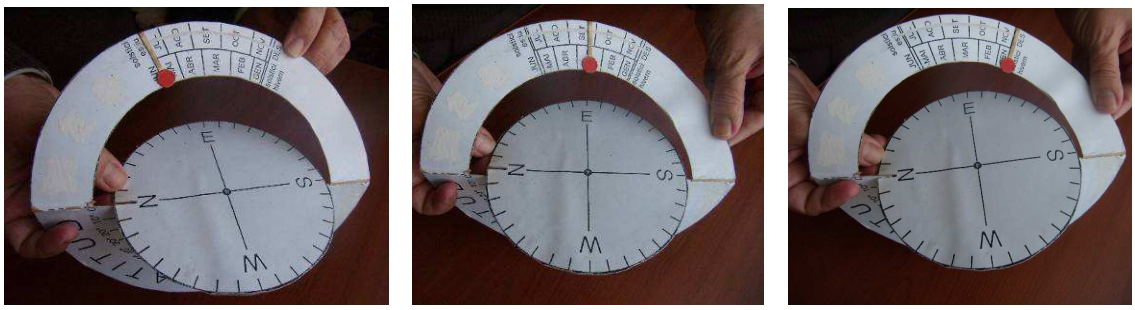


Fig. 23a, 23b y 23c: En el ecuador los movimientos del Sol corresponden a trayectorias perpendiculares al horizonte. El Sol sale el primer día de cada estación: izquierda) primer día de verano, centro) primer día de primavera y/o otoño y derecha) primer día de invierno. Las distancias entre los tres puntos de salida del Sol el primer día de cada estación son mínimas. Esta distancia es sólo de 23º.5, la oblicuidad de la eclíptica. Para latitudes mayores las trayectorias solares se inclinan y las distancias entre las tres salidas del Sol aumentan (figuras 18 y 20).

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 Sol llega del cenit como una ducha. La temperatura es más caliente y la sombra de la gente desaparece debajo de sus zapatos (figura 24a). 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 24b).

Fig. 24a: Sombra reducida (próxima al cenit)

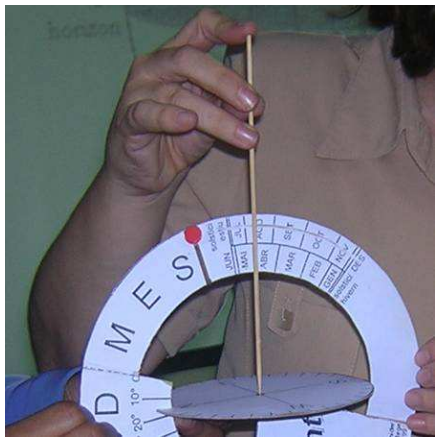


Fig. 24b: Simulando el paso solar para el cenit en Honduras (latitud 15º).

A modo de ejemplo (figura 24b), si simulamos un lugar de la latitud 15ºN, usando el simulador 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 25b 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 25a). Con una cámara fotográfica es posible visualizar las trayectorias del Sol si se da un tiempo de exposición largo (figura 25b).

Fig. 25a: Simulador de mayor tamaño hecho en madera. Fig. 25b: Con una cámara fotográfica y una larga exposición es posible simular la trayectoria solar. Fig. 25c: Simulador estelar en madera (Fotos: Sakari Ekko).

Simulador lunar: ¿Por qué, a veces, la Luna sonríe?

Cuando trabajamos la Luna con estudiantes, comenzamos explicándoles las características de la Luna, sus fases y también hablamos de los eclipses. Las fases de la Luna son muy espectaculares y es fácil explicarlas por medio de una esfera y de una linterna. En consecuencia, los modelos como los de la figura 26 ofrecen una imagen de la Luna creciente (entorno al Cuarto creciente) y decreciente (entorno al Cuarto menguante). Recordemos la regla nemotecnica que da la Luna creciente como una “C” y la menguante o decreciente como una “D” que es cierta para los habitantes del hemisferio sur, pero que no se puede utilizar en el hemisferio norte donde se suele decir que la Luna es una “mentirosa”. Modelos como el de la figura 27 ofrecen una visión de la Luna creciente y decreciente como una “C” o “D” (dependiendo de las fases). Entonces podemos imaginarnos que en el horizonte puede ser observado como la figura 27. Pero según los países es posible observar la Luna como una “C inclinada”, una “D” inclinada (figura 28a) o en otros casos como una “U “o como una “Luna sonriente” (figura 28b). ¿Cómo podemos dar una explicación sencilla y clara de este

fenómeno? Bastará un sencillo simulador para entender los diversos aspectos de la Luna en las diversas latitudes.

Fig. 26: Fases de la Luna.

Fig. 27: Simulación de las fases de la Luna en el horizonte

Si queremos estudiar los movimientos de la Luna, debemos tener en cuenta también su posición respecto del Sol (que es el causante de sus fases) y de su declinación (puesto que ella cambia también todos los días, y mucho más de prisa que la del Sol). Debemos pues, construir un simulador que de a los estudiantes la posibilidad de cambiar fácilmente la posición de la Luna, si ella esta más o menos próxima a las sucesivas posiciones respecto al Sol, a una declinación que varia considerablemente a lo largo de un mes. En efecto, vista desde la Tierra, y en medio de las estrellas, la Luna describe en un mes una trayectoria bastante próxima al Sol en un año, siguiendo la línea de la “eclíptica” (con una aproximación de 5°, en más o menos debida a la inclinación de su órbita).

La Luna está “al lado” del Sol cuando es Luna nueva. Cuando es Luna llena está en un punto opuesto de la ecliptica, y su declinación es opuesta a la del Sol (con un error de 5º). Por ejemplo, en el solsticio de junio, la Luna llena se encuentra algo después de donde se encontraría el Sol en el solsticio de diciembre y su declinación es negativa (entre -18º y -29º). El movimiento diurno de la Luna llena en junio, es pues proximo al del Sol en diciembre.

Si consideramos el cuarto creciente, en forma de “D” en el hemisferio norte, de “C” en el hemisferio sur sabemos entonces, que la Luna esta a 90° del Sol, más “lejos” sobre la ecliptica, o si se quiere, donde se encontrará el Sol 3 meses después: así, en junio, la luna del cuarto creciente tendrá una declinación próxima a la declinacin del Sol en septiembre (0°), en el mes de septiembre, una declinación próxima a la del Sol en diciembre (-23,5°), etc…

Si consideramos el cuarto decreciente o menguante, en forma de “C” para el hemisferio norte, o de “D” en el hemisferio sur, sabemos que entonces, la Luna esta también a 90º del Sol sobre la línea de la ecliptica, pero retrasada respecto a él, es decir, estará donde se encontraba el Sol 3 meses antes. Así en junio, la Luna decreciente tendrá una declinación próxima a la declinación del Sol en el mes de marzo (0°) ; en septiembre, próxima a la del Sol de junio (+23,5°) etc…

Fig. 28a: Cuarto de Luna inclinada, Fig. 28b: Cuarto de Luna sonriente.

Construcción del simulador

El simulador lunar se realiza a partir del simulador solar. Como en el anterior, es necesario un modelo para simular las observaciones desde el hemisferio norte, y otro para el hemisferio sur (figuras 12 y 13 para el hemisferio norte y 12 y 14 para el hemisferio sur). También es una buena idea construir uno de ellos que sea dos veces más grande para uso del profesor o monitor.

Instalaremos, por ejemplo, sobre el simulador solar una Luna en cuarto menguante, (en forma de “C” para el hemisferio norte, o en forma de “D” para el hemisferio sur) en el lugar del Sol y obtendremos un simulador lunar. Según las instrucciones siguientes.

Fig. 29a: Uso del simulador Fig 29b: La Luna sobre la banda transparente Fig. 29c: Cuarto de Luna

Para situar la Luna en el simulador, recorte la figura 29c (Luna en cuarto) y pegue dos pedazos de cinta transparente de forma que queda la Luna en medio de ellos bien orientada ("C" o "D" según la fase elegida). Ponga esta franja transparente (figura 29b) en el área del mes de la figura 12 ó 14. La idea es que sea fácil mover esta franja hacia arriba y hacia abajo en esta área, para situarla en el mes deseado.

Usos del simulador lunar

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

Hay que sujetar con la mano izquierda la pieza principal del simulador (figuras 30a y 30b) por la zona que está en blanco (debajo del cuadrante de la latitud). Seleccionada la latitud, mueva el disco del horizonte hasta que alcance la latitud elegida. Elegir el día para el cual queremos simular el movimiento del cuarto menguante o decreciente. Añadir 3 meses a ese valor y situar la Luna en la fase del cuarto (figura 29b) cara al mes obtenido: en este lugar es donde ¡se encontarra el Sol dentro de 3 meses!. Con la mano derecha desplazar el disco que sujeta la Luna del Este hacia el Oeste.

Con el simulador del "hemisferio norte", se puede ver que según sea la latitud y el día del año, la Luna en su cuarto decreciente aparecer saliendo por el horizonte (hacia la medianoche) como una "C" o una "U" sobre el horizonte (donde hemos situado un muñequito).

- Si introducimos una latitud de 70º podemos ver la Luna como una "C" móvil de la zona Este hacia la zona Oeste. No importa el período del año. En cada estación la Luna parece una "C" (figura 30a).
- Si la latitud es 20º, el observador está cercano a la línea tropical, y podemos ver la Luna que sonríen como un "U" algo inclinada. La Luna se está moviendo en una forma más perpendicular al horizonte que en el ejemplo anterior (figura 30b). La forma de "U" no cambia con el mes.

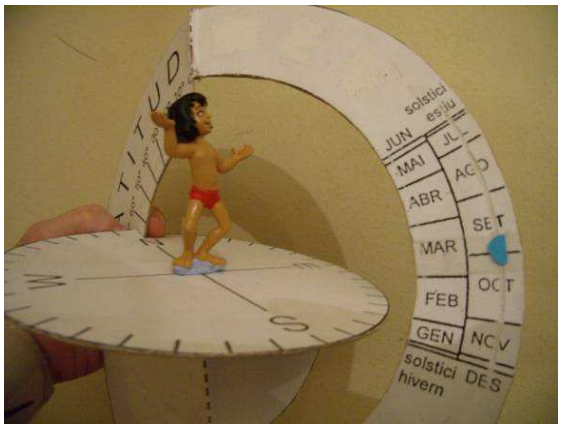


Fig. 30a: Simulador para 70º la latitud Norte, Fig. 30b: 20º de la latitud Sur

- Si la latitud es +90º, el observador está en el Polo Norte y según sea el día considerado:
  - Se puede ver la Luna como una “C” que se mueve en una trayectoria paralela al horizonte.
  - No se puede ver, pues su trayectoria está por debajo del horizonte.
- Si la latitud es 0º, el observador está en el ecuador, y podemos ver la Luna que sonríen como una “U”. La Luna sale y se pone perpendicular al horizonte. Ella se ocultará (hacia el mediodía) en forma de « U » y regresará: « ∩ »…

Para otros observadores que vivan en las latitudes intermedias, las Lunas salen y se ponen en una posición intermedia entre “C” y “U” que sea más o menos inclinada según sea la latitud del lugar de observación.

Los comentarios anteriores se pueden repetir análogamente para la Luna en forma de “D” recordando corregir el día (en este caso habrá que quitarle 3 meses) al situarla en la posición del Sol.

- Si introducimos un -70 ° de latitud (o 70 ° sur) podemos ver la Luna decreciente como una "D" que se desplaza de la zona Este hacia la zona Oeste.. Esto no depende de la época del año. En todas las estaciones Luna dibuja una "D" (figura 30a).
- Si la latitud es de-20 °, (figura 30b) el observador esat en la zona intertropical y se puede ver la Luna levantarse sonriendo como una "U", posiblemente ligeramente inclinada. La Luna se mueve en una trayectoria más perpendicular al horizonte que en el ejemplo anterior (figura 30b). La forma de "U" no cambia dependiendo del mes.
- Si es de latitud - 90 °, el observador esta en el Polo Sur, y podrá, de acuerdo a la fecha:
  - Ver la Luna como una "D" que se mueve en una trayectoria paralela al horizonte.
  - No lo ve, ya que su trayectoria está por debajo de la horizonte.
- A latitud 0 °, al igual que en el simulador del hemisferio norte, el observador esta en el ecuador, y nosotros podemos ver la sonrisa de la Luna como una "U". La Luna se eleva perpendicular al horizonte y ella se esconderá (hacía el mediodia) en forma de "U" y reaparecera: '∩'...

Para otros observadores que viven en latitudes intermedias, la fase de la Luna se eleva y se oculta en una posición intermedia entre la "D" y la "U" es más o menos inclinada de acuerdo con la latitud del lugar de observación.

Estos comentarios pueden establecerse de una manera similar para la Luna en forma de "C", recordando corregir la fecha (en este caso, deben restar 3 meses) al pensar en la posición del Sol.

Finalmente, como ejercicio adicional,
-Explicar la figura 31 usando el simulador. Tenga cuidado porque esta foto fue tomada por un astronauta del Apolo en la Luna. ¿Cuál era la fase de la Tierra? ¿Es una Tierra "creciente o menguante"?

Fig. 31: Las fases de la Tierra desde la superficie de la Luna.

"Agradecimiento: El autor desea agradecer a Joseph Snider su instrumento solar producido en 1992 que le inspiró para producir los otros simuladores".

Bibliografía

- Ros, R.M., *De l'intérieur et de l'extérieur*, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5, France, 2001.
- Ros, R.M., *Sunrise and sunset positions change every day*, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
- Ros, R.M., *Two steps in the stars' movements: a demonstrator and a local model of the celestial sphere*, Proceedings of 5th EAAE International Summer School, 181, 198, Barcelona, 2001.
- Snider, J.L., *The Universe at Your Fingertips*, Frankoi, A. Ed., Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 1995.
- Warland, W., *Solving Problems with Solar Motion Demostrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.