

Simuladors del moviment de les estrelles, el Sol i la Lluna

Rosa M. Ros, Francis Berthomieu

International Astronomical Union, Universitat Politècnica de Catalunya (Espanya),
CLEA (França)

Resum

Es presenta un mètode senzill per explicar com s'observa el moviment de les estrelles, el Sol i la Lluna en diferents llocs de la superfície terrestre. El procediment consisteix a construir un senzill model que permet simular aquests moviments alhora de modificar els diferents valors de la latitud de l'indret.

Objectius

- Comprendre el moviment de les estrelles per diferents latituds.
- Comprendre el moviment del Sol per a diferents latituds.
- Comprendre el moviment de la Lluna per a diferents latituds.

La idea que hi ha darrere el simulador

No és fàcil explicar els moviments del Sol, la Lluna o les estrelles observats des de la Terra. Els estudiants saben que el Sol s'aixeca i es posa cada dia, però senten una sorpresa quan descobreixen que surt i es posa per diferents punts cada dia. També és interessant considerar les diferents trajectòries solars d'acord amb la latitud local. I pot ser difícil intentar explicar el fenomen del Sol de mitjanit o del pas solar pel zenit. Especialment el simulador pot ser molt útil per entendre el moviment de la translació i justificar les estacions per a algunes latituds.

Si volem que algú aprengui la forma i l'aspecte de cada constel·lació podem explicar-li algunes històries mitològiques que les relacionen i algunes regles geomètriques per trobar una constel·lació prop d'una altra, o un estel alineat amb una altra. Aquesta presentació no té dificultats especials, però els problemes poden aparèixer quan considerem el moviment de l'esfera celeste al voltant de l'eix de rotació terrestre.

Qualsevol persona pot entendre molt bé que si l'observador viu al Pol Nord poden veure totes les estrelles de l'hemisferi nord i si viu al Pol Sud li és possible veure totes les estrelles en l'hemisferi sud.

Simulador estel·lar. Per què hi ha estrelles invisibles?

Però tot es complica quan l'observador viu en alguna zona que no és algun dels dos pols, que és la situació de la majoria dels observadors. En aquest cas, les estrelles es divideixen en tres categories diferents (per a cada latitud): circumpolars, estrelles amb sortida i posada i estrelles invisibles (figura 1). Tots nosaltres tenim experiència del que sorprèn que sent tota persona que descobreix que tot i viure a l'hemisferi nord, pot observar que algunes estrelles de l'hemisferi sud. Per descomptat és similar a la sorpresa que se sent al descobrir el fenomen del Sol de mitjanit.

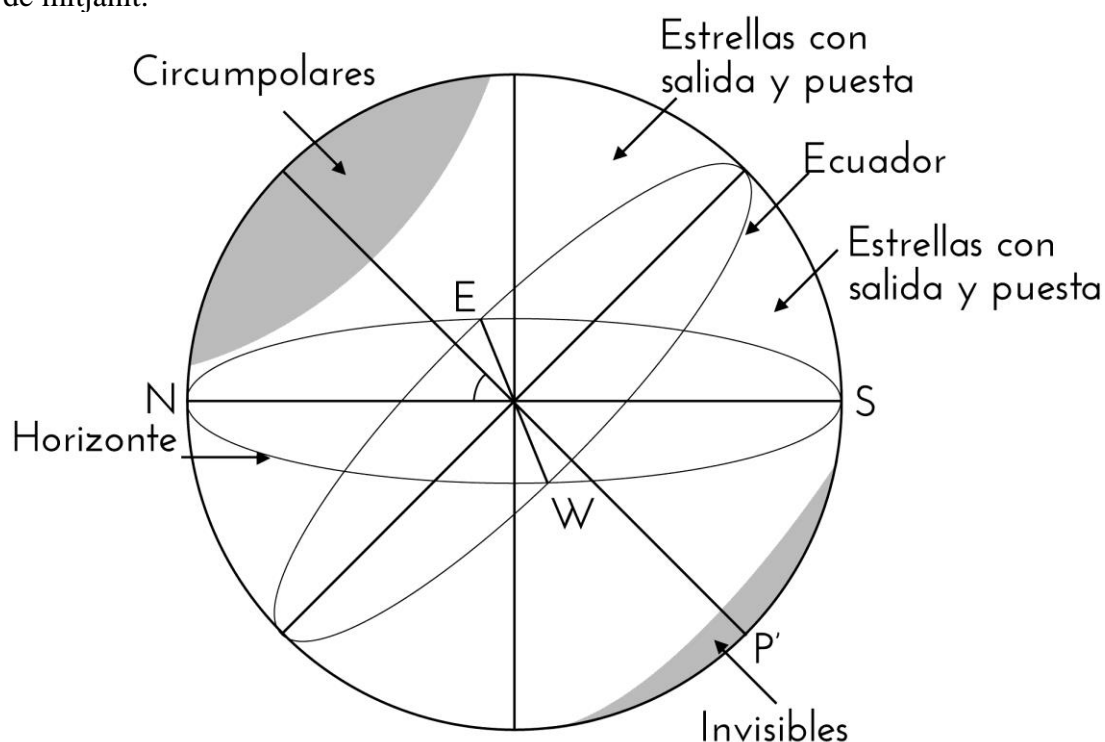


Fig. 1: Les tres diferents categories d'estrelles (para cada latitud)

El principal objectiu del simulador

L'objectiu principal és descobrir quines constel·lacions són circumpolars, quals surten i es posen i quines són invisibles per a una latitud específica. Per descomptat, si canviem la latitud de l'observador, algunes constel·lacions que eren circumpolars poden convertir-se en constel·lacions amb sortida i posta, o al contrari poden ser invisibles. Si observem des d'un lloc de latitud pròxima als 45° N, és clar que podem veure les estrelles de l'hemisferi meridional sortir i posar-se cada nit (figura 1)..

En el nostre cas, el simulador inclou algunes constel·lacions que han estat repartides segons les seves diferents declinacions (sense considerar les seves ascensions rectes perquè en aquest cas no és el nostre objectiu). És una bona idea utilitzar les constel·lacions que són ben conegudes per a qualsevol principiant i amb diverses ascensions rectes, per tenir constel·lacions visibles en diversos mesos de l'any (figura 2).

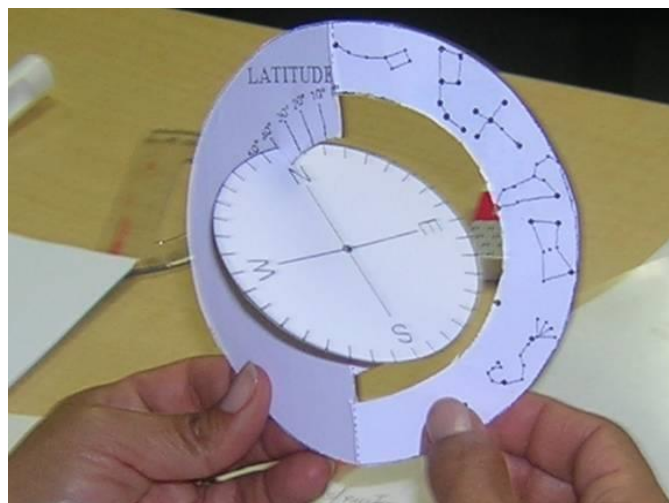


Fig. 2: Aquest és un exemple de simulador per a l'hemisferi nord segons la taula 1.

Per seleccionar la constel·lació a dibuixar, només es consideraran les estrelles més brillants perquè sigui fàcil reconèixer la forma de cada constel·lació. No utilitzem les constel·lacions que són al mateix meridià, perquè vam decidir triar les més conegudes (taula 1). (Si vostè està interessat en fer aquest estudi per a cada estació, es poden construir 4 simuladors diferents, un per a cada estació. Per exemple, vostè pot utilitzar les constel·lacions que tenen diverses declinacions, però sempre amb l'ascensió recta entre 21h i 3h per al tardor, la mateixa idea amb l'ascensió recta de 3h a 9h per a l'hivern, igual entre 9h i 14h per al ressort i finalment fins 14h a 21h per a l'estiu).

<i>Constel.lació</i>	<i>Màxima declinació</i>	<i>Mínima declinació</i>
Ossa Menor	+90°	+70°
Ossa Major	+60°	+50°
Cigne	+50°	+30°
Lleó	+30°	+10°
Orió i Sirius	+10°	-10°
Escorpí	-20°	-50°
La Creu del Sud	-50°	-70°

Taula 1: Constel·lacions que apareixen en el simulador considerat.

Si decidim considerar només una estació, pot ser difícil seleccionar una constel·lació entre, per exemple, 90°N i 60°N, una altra entre 60°N i 40°N, una altra entre 40°N i 20°N, i una altra entre 20°N i 20°S i així successivament sense solapar fins arribar a la final entre 60°S i 90°S. Si també volem seleccionar constel·lacions ben conegudes per tots, amb estrelles brillants, i que siguin prou grans per cobrir el meridià sencer amb una petita quantitat d'elles, pot ser difícil aconseguir el nostre objectiu. Doncs el cel no té la mateixa classe de constel·lació (gran, ben coneguda i brillant) separada cap a fora durant tot l'any, pot ser millor construir només un simulador i considerar les diverses ascensions rectes al mateix temps.

Construcció del simulador

Per obtenir un simulador robust (figura 3), és una bona idea enganxar dos trossos (figures 4 i 5) sobre cartolina abans de retallar-los. És pràctic construir un simulador dues vegades més gran per ús de professor.



Fig. 3: Construcció del simulador estel·lar

Les instruccions de construir-apareixen a sota.

Simulador per a l'Hemisferi Nord

- a) Feu una fotocòpia de les figures 4 i 5 a la cartolina.
- b) Retall les dues peces al llarg de la línia contínua (figures 4 i 5).
- c) Traieu l'àrea negra del tros principal (figura 4).
- d) Doble la peça principal (figura 4) al llarg de la línia puntejada recta. És bo doblegar la peça en diverses ocasions per a un ús més fàcil del simulador.
- e) Talla una petita osca a la N del disc de l'horitzó (figura 5). Ha de ser prou gran perquè la cartolina passi per a ella.
- f) Enganxeu el quadrant de Nord-Est del disc de l'horitzó (figura 4) sobre el quadrant gris de la peça principal (figura 4). És molt important que Al plegar el simulador el punt cardinal W quedi a la latitud 90° .
- g) Quan introduïm la marca N del disc de l'horitzó (figura 5) dins la zona de latituds, el disc de l'horitzó ha de romandre perpendicular a la peça principal.
- h) És molt important enganxar les diverses peces acuradament per obtenir la precisió màxima

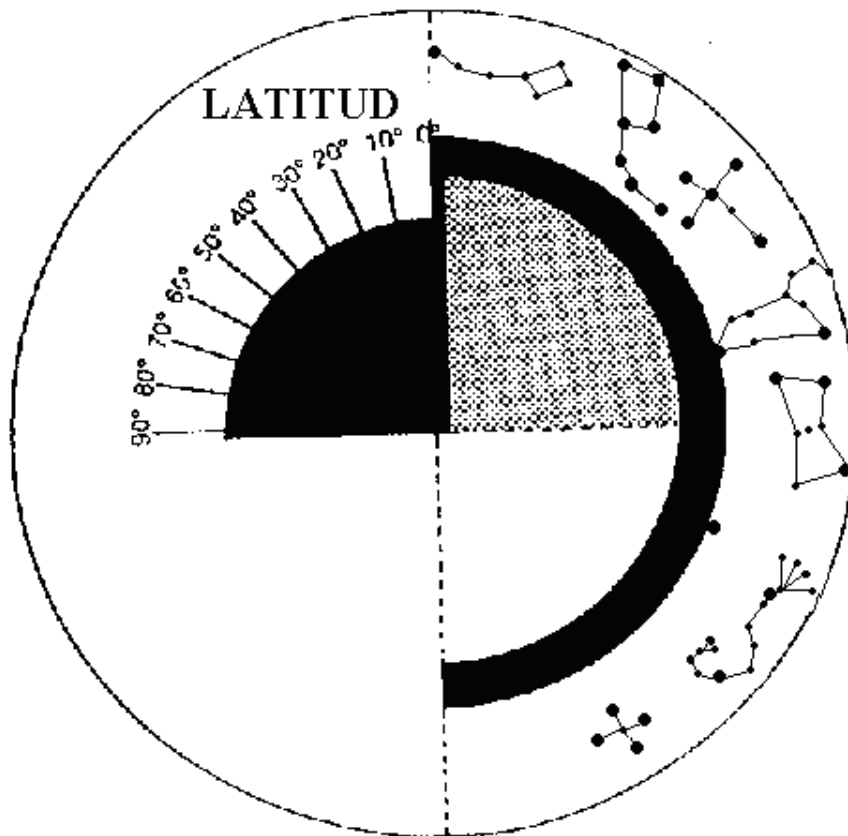


Fig. 4: Peça principal del simulador estel·lar per a l'hemisferi nord.

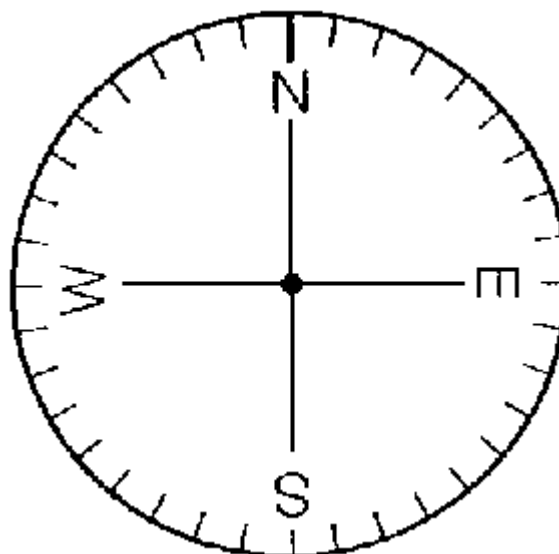


Fig. 5: Disc de l'horitzó.

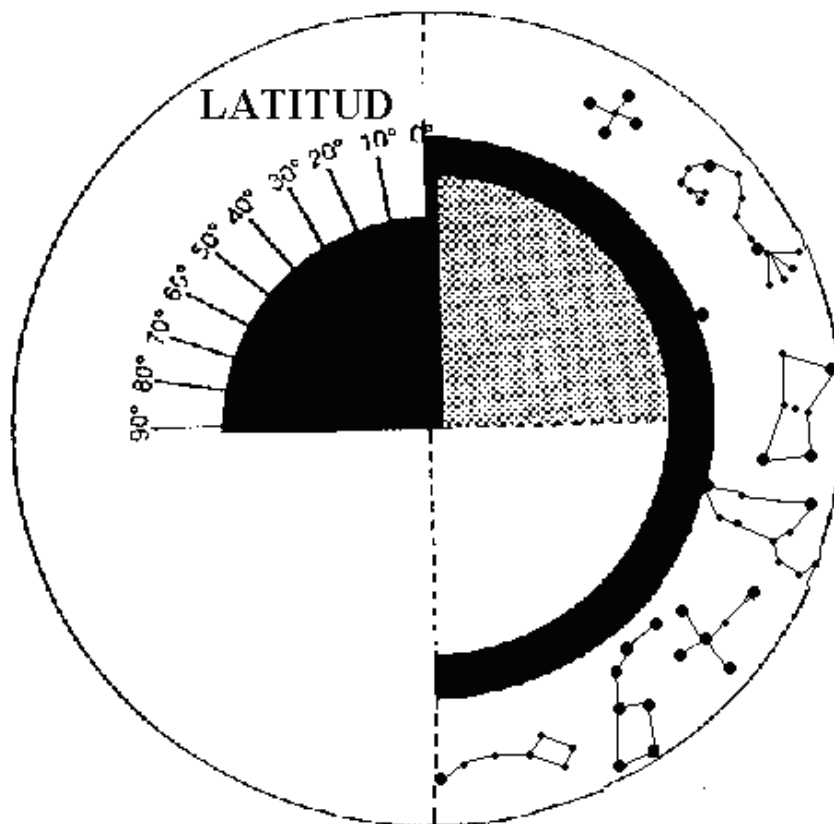


Fig. 6: Peça principal del simulador estel·lar per a l'hemisferi sud.

Simulador per a l'hemisferi Sud

- Feu una fotocòpia de les figures 5 i 6 sobre cartolina.
- Retall les dues peces al llarg de la línia contínua (figures 5 i 6).
- Traieu l'àrea negra de la peça principal (figura 6).
- Doble la peça principal (figura 6) al llarg de la línia puntejada. És bo doblegar-en diverses ocasions per a un ús més fàcil del simulador.
- Talla una petita osca a la S del disc de l'horitzó (figura 5). Ha de ser prou gran perquè la cartolina passi per ella.
- Enganxeu el quadrant del Sud-oest del disc de l'horitzó (figura 5) sobre el quadrant gris de la peça principal (figura 6). És molt important que quan aquesta plegat, el punt cardinal E aparegui a la latitud 90° .
- Quan introduïm la marca S del disc de l'horitzó (figura 5) dins la zona de latituds, el disc ha de romandre perpendicular a la peça principal.
- És molt important enganxar les diverses peces acuradament per obtenir la precisió màxima.

Tots poden construir el simulador estel·lar que prefereixin. Es pot seleccionar les constel·lacions que interessin per diverses raons. Per exemple, es pot incloure només les constel·lacions visibles per a una única estació, o les constel·lacions visibles només per a un mes, etc. En aquest cas cal considerar només les constel·lacions amb les ascensions rectes

entre dos valors específics. S'ha de dibuixar les constel·lacions usant els seus valors de la declinació a la figura 7. Prengui en consideració que cada sector correspon a 10° .

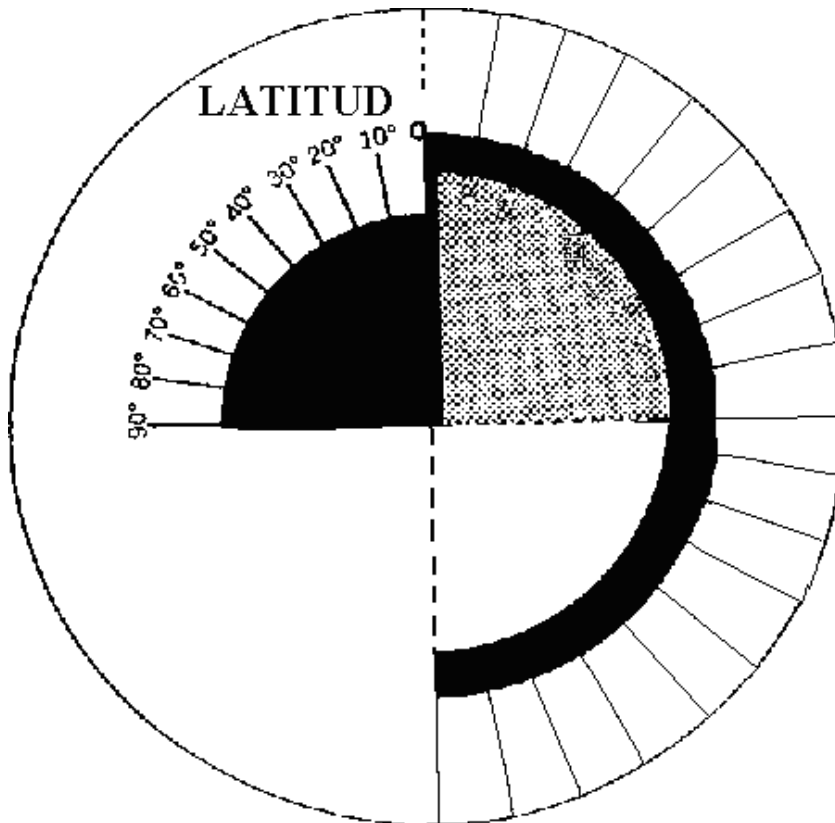


Fig. 7: Peça principal del simulador estel·lar per a qualsevol hemisferi.

Aplicacions del simulador

Per començar a utilitzar el simulador cal entrar la latitud desitjada. Viatjarem per la superfície de la terra en un viatge imaginari usant el simulador.

Cal subjectar la peça principal del simulador (figura 4) per l'àrea en blanc (sota el quadrant de la latitud) amb la mà esquerra. Seleccionada la latitud, cal moure el disc de l'horitzó fins que es correspongui amb la latitud escollida. Amb la mà dreta, es mou la zona amb les constel·lacions dibuixades de dreta a esquerra diverses vegades. Es pot observar quines són les constel·lacions que sempre estan per sobre de l'horitzó (circumpolars), les constel·lacions que surten i es posen, i quines d'elles estan sempre sota l'horitzó (invisible).

Inclinació de les traces de les estrelles sobre l'horitzó

Usant el simulador és molt fàcil observar que l'angle de les traces de les estrelles sobre l'horitzó depèn de la latitud (figures 8, 9 i 10).

Si l'observador viu en l'equador (latitud 0°) aquest angle és de 90° . Si l'observador viu al Pol Nord o al Pol Sud (latitud 90°N o 90°S), les trajectòries de les estrelles són paral·leles a

l'horitzó. Generalment si l'observador viu en una ciutat de latitud L , la inclinació de les traces de les estrelles sobre l'horitzó és $90-L$.

A les figures 8, 9 i 10 podem verificar aquesta situació. La foto de la figura 8a es va fer a Lapònia (Finlàndia), la de la figura 9a al Montseny (prop de Barcelona, Espanya) i la de la figura 10a a San Luis Potosi (Mèxic). La latitud a Lapònia és més gran que a Barcelona i San Luis Potosí però la inclinació de la trajectòria de les estrelles és menor.



Fig. 8a i 8b: Traces de les estrelles pròximes a la posada a Lapònia 68°N (Finlàndia), l'angle de les trajectòries de les estrelles sobre l'horitzó és 90 -latitud (la colatitud). Cal observar que les traces de les estrelles són més curtes que a la foto posterior, ja que la presència d'aurors boreals va aconsellar reduir el temps d'exposició (Foto: Irma Hannula, Finlàndia).

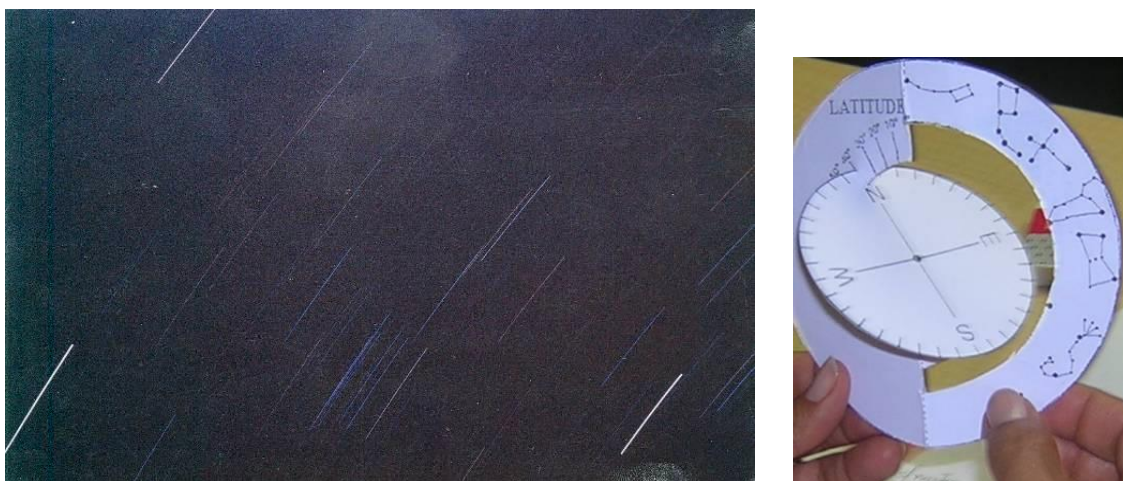


Fig. 9a i 9b: Traces de les estrelles a la zona de la sortida al Montseny 41°N (a prop de Barcelona, Espanya), l'angle de la trajectòria de les estrelles sobre l'horitzó és 90 -latitud (la colatitud). (Foto: Rosa M. Ros, Espanya).

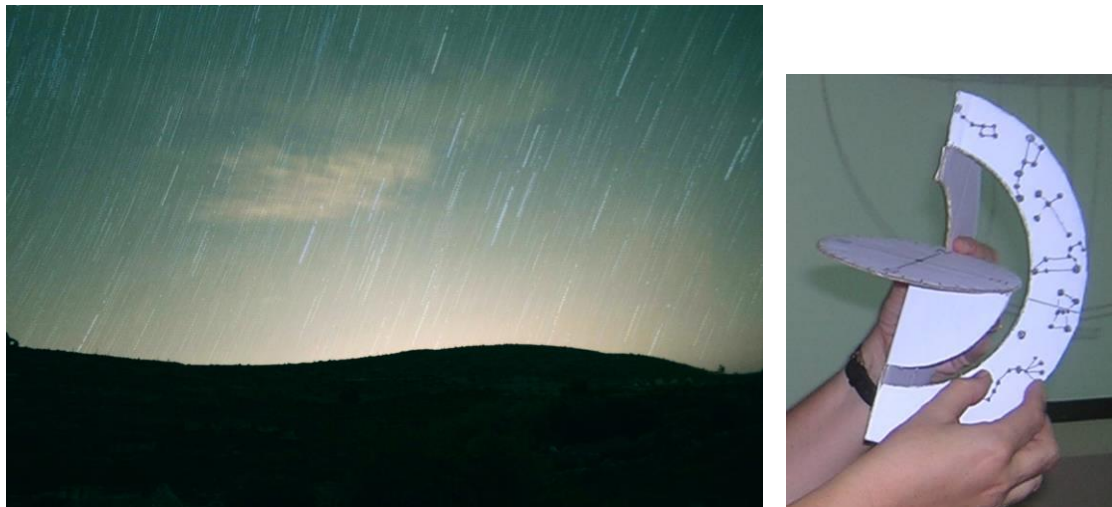


Fig. 10a y 10b: Traces de les estrelles pròximes a el punt cardinal oest a Matehuala 23°N (Mèxic), l'angle de les trajectòries de les estrelles sobre l'horitzó és 90-latitud (la colatitud). (Foto: Luís J de la Creu, Mèxic).

Usant el simulador es poden realitzar diverses activitats:

- 1) Si introduïm una latitud igual a 90°N, l'observador està en el Pol Nord, i podem veure que totes les constel·lacions de l'hemisferi nord són circumpolars. Totes les de l'hemisferi sud són invisibles i no hi ha constel·lacions amb sortida i posta. Anàlogament es pot fer per 90°S i el Pol Sud.
- 2) Si la latitud és 0°, l'observador està en l'equador, i podem veure que totes les constel·lacions surten i es posen (perpendicularment a l'horitzó). Cap és circumpolar o invisible.
- 3) Si la latitud és 20° (N o S), hi ha menys constel·lacions circumpolars que si la latitud és 40° (N o S). Però hi ha molt més estrelles que surten i es posen.
- 4) Si la latitud és 60° (N o S), hi ha molts més constel·lacions circumpolars i invisibles, però el nombre de les constel·lacions que surten i es posen es redueix si comparem amb una latitud de 40° (N o S).

Simulador solar: per què el Sol no surt pel punt cardinal Est?

No és simple explicar els moviments del Sol observats de la Terra. Els estudiants saben que el Sol s'aixeca i es posa cada dia, però senten una sorpresa quan descobreixen que surt i es posa per diferents punts cada dia. També és interessant considerar les diferents trajectòries solars d'acord amb la latitud local. I pot ser difícil intentar explicar el fenomen del Sol de mitjanit o del pas del Sol pel zenit. Especialment el simulador pot ser molt útil per entendre el moviment de la translació i justificar les estacions per a algunes latituds.

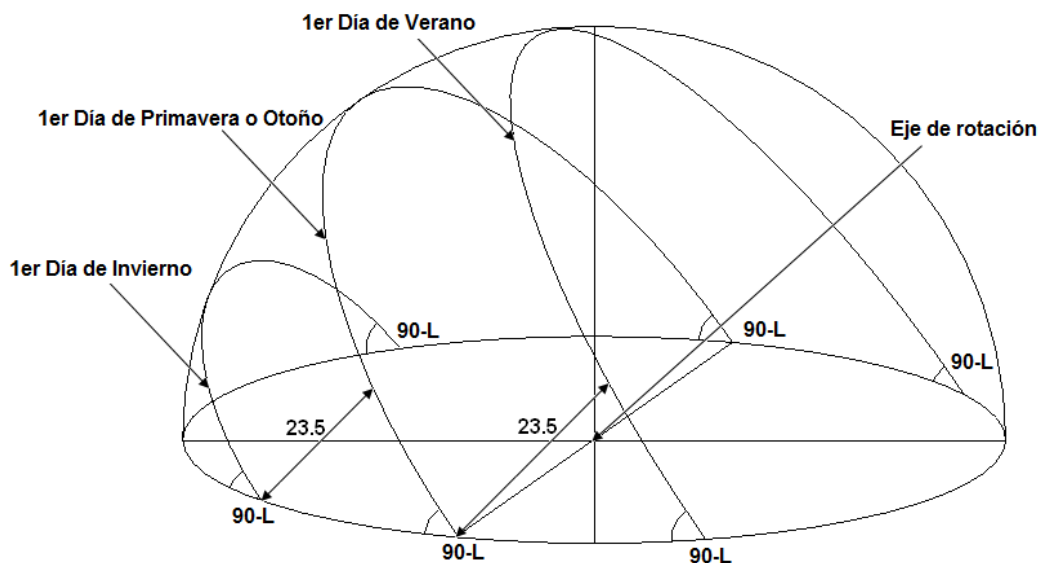


Fig. 11: Tres trajectòries diferents del Sol (1er dia de primavera o tardor, 1er dia d'estiu i 1er dia d'hivern)

Construcció del simulador

Si volem construir el simulador solar, cal considerar la declinació solar (que canvia cada dia). Llavors hem de construir un simulador que doni als estudiants la possibilitat de canviar la posició del Sol d'acord amb l'època de l'any (segons sigui la seva declinació). Llavors per al primer dia de primavera i de tardor, la seva declinació és 0° , el Sol s'està movent en l'equador. El primer dia de l'estiu, la declinació del Sol és positiva $+23.5^\circ$ i el primer dia de l'hivern és negativa -23.5° (figura 11). Cal canviar aquest valor en el model si volem utilitzar-lo per estudiar les trajectòries del Sol.

Per obtenir un simulador robust (figures 12a i 12b), és una bona idea enganxar els dos trossos sobre cartolina abans de retallar-los. És una bona idea construir-ne un d'ells dues vegades més gran per a ús de professor o monitor (així es podran seguir millor les explicacions tot i que es aquest situat una mica més lluny).

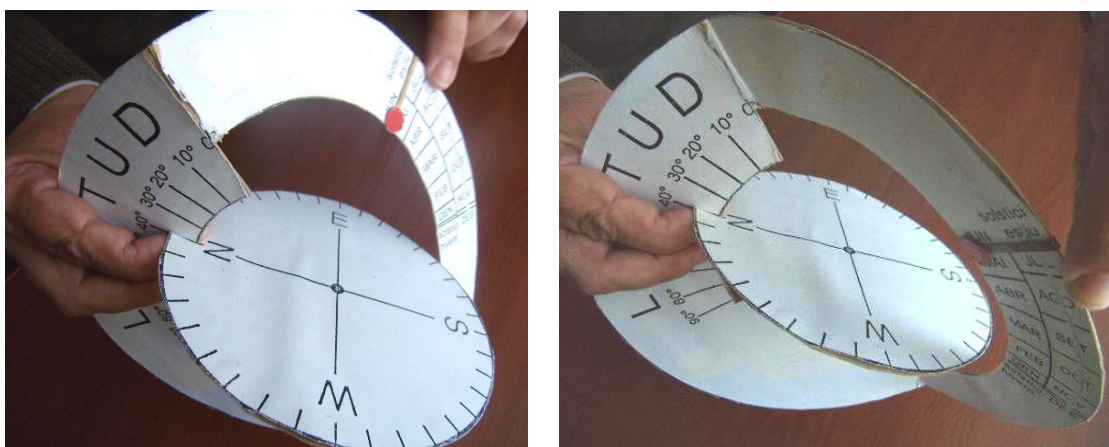


Fig. 12a y 12b: Preparació del simulador per a l'hemisferi nord amb la latitud $+40^\circ$

Les instruccions de construir-ho apareixen tot seguit.

Simulador per a l'hemisferi nord

- Feu una fotocòpia de les figures 13 i 14 sobre cartolina.
- Tall dues peces al llarg de la línia contínua (figures 13 i 14).
- Traieu l'àrea negra del tros principal (figura 13).
- Doble la peça principal (figura 13) al llarg de la línia puntejada. És de vegades una bona idea doblegar repetidament per a un ús més fàcil del simulador.
- Cort una osca petita a la N del disc de l'horitzó (figura 14). Ha de ser prou gran perquè el gruix de la cartolina passi amb ell.
- Enganxeu el quadrant de Nord-est del disc de l'horitzó (figura 14) sobre el quadrant gris de la peça principal (figura 13). És molt important tenir la línia Nord-Sud segons la línia de duplicitat de la peça principal i el punt cardinal W ha de coincidir amb la latitud 90° .
- Quan introduïm la marca N del disc de l'horitzó (figura 14) dins la zona de la latitud, el disc de l'horitzó ha de romandre perpendicular a la peça principal.
- És molt important enganxar les peces amb cura per obtenir la precisió màxima.
- Per posar el Sol al simulador, pinteu un cercle vermell sobre un tros de paper. Talleu-lo i enganxeu-lo entre dos trossos de cinta transparent adhesiva. Poseu aquesta franja transparent en l'àrea de la declinació de la figura 13. La idea és que serà fàcil moure aquesta franja cap amunt i cap avall d'aquesta àrea per situar-la al mes desitjat

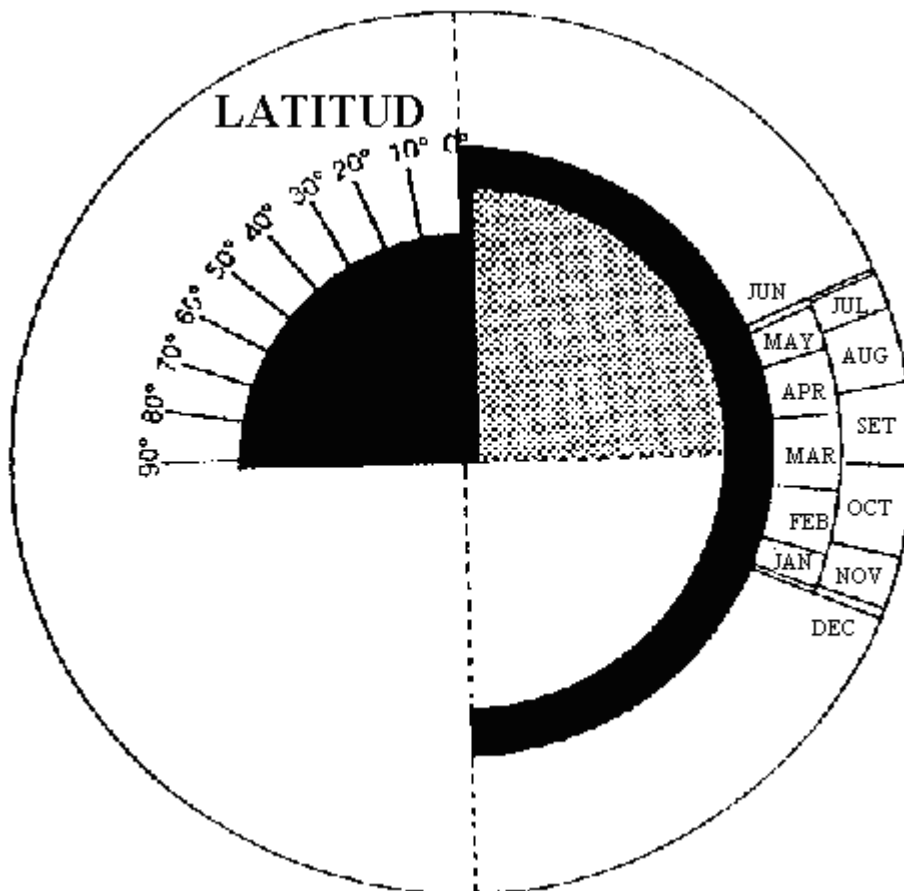


Fig. 13: Peça principal del simulador solar per a l'hemisferi nord.

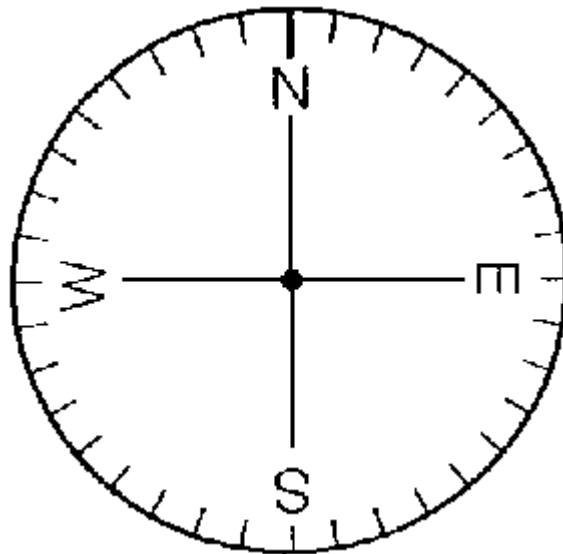


Fig. 14: Disc de l'horitzó.

Per construir el demostrador solar per usar-lo en l'hemisferi sud és necessari seguir un esquema anàleg però substituint la figura 13 per la figura 15.

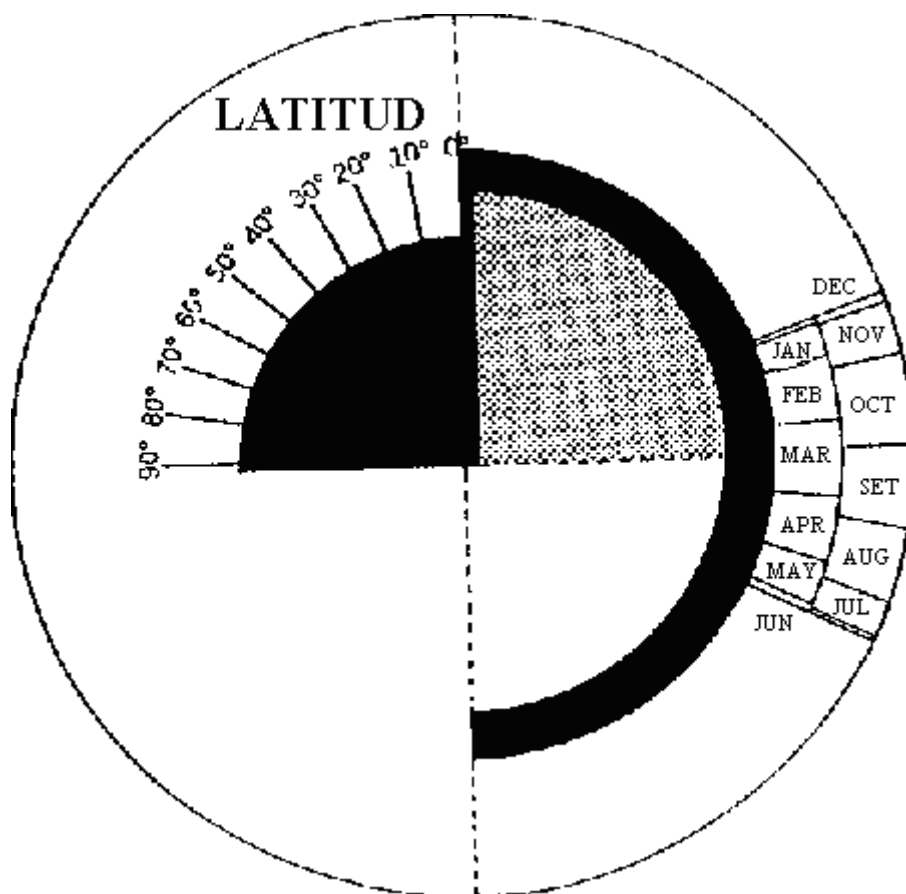


Fig. 15: Peça principal del simulador per a l'hemisferi sud.

Simulador per a l'hemisferi sud

- a) Feu una fotocòpia de les figures 14 i 15 sobre cartolina.
- b) Tall dues peces al llarg de la línia contínua (figures 14 i 15).
- c) Traieu l'àrea negra de la peça principal (figura 15).
- d) Doble la peça principal (figura 15) al llarg de la línia puntejada. És de vegades una bona idea doblregar repetidament per a un ús més fàcil del simulador.
- e) Cort una osca petita al S del disc de l'horitzó (figura 14). Ha de ser prou gran perquè el gruix de la cartolina passi amb ell.
- f) Enganxeu el quadrant del Sud-oest del disc de l'horitzó (figura 14) sobre el quadrant gris de la peça principal (figura 15). És molt important tenir la línia Nord-Sud segons la línia de duplicat de la peça principal i el punt cardinal I ha de coincidir amb la latitud 90° .
- g) Quan introduïm la marca S del disc de l'horitzó (figura 14) dins la zona de la latitud, el disc ha de romandre perpendicular a la peça principal.
- h) És molt important enganxar les diverses peces acuradament per obtenir la precisió màxima.
- i) Per posar el Sol al simulador, pinti un cercle vermell en un tros de paper, talleu-lo i fíxe-lo entre dos trossos de cinta transparent. Poseu aquesta franja transparent en l'àrea de la declinació de la figura 15. La idea és que serà fàcil moure aquesta franja cap amunt i cap avall d'aquesta àrea per situar-la al mes desitjat

Usos del simulador

Per començar a utilitzar el simulador vostè ha d'entrar la latitud seleccionada. Viatjarem a la superfície de la Terra en un viatge imaginari usant el simulador.

Considerarem 3 àrees:

1. Llocs en l'àrea d'entremig de l'hemisferi nord o sud
2. Llocs en les àrees polars
3. Llocs en les àrees equatorials

1.- Llocs en l'àrea d'entremig de l'hemisferi nord o sud: ESTACIONS

- Inclinació de la trajectòria del Sol sobre l'horitzó

Usant el simulador és molt fàcil observar que l'angle de la trajectòria del Sol sobre l'horitzó depèn de la latitud. Si l'observador viu en l'equador (latitud 0°) aquest angle és 90° . Si l'observador està vivint al Pol Nord o Pol Sud (latitud 90° o -90°), la trajectòria del Sol és paral·lela a l'horitzó. Generalment si l'observador viu en una ciutat de la latitud L , la inclinació de la trajectòria del Sol a l'horitzó és $90-L$ cada dia. A les figures 16a i 16b podem verificar aquesta situació. La fotografia de la figura 16a va ser presa a Lapònia (Finlàndia) i la figura 17a a Gandia (Espanya). La latitud a Lapònia és més gran que a Gandia, però la inclinació de la trajectòria del Sol és més petita. La fotografia de la figura 18a es va realitzar a Ladrilleros (Colòmbia) amb una latitud de 4° i en conseqüència la inclinació de la trajectòria solar és pròxima a la perpendicularitat, és de 86° .

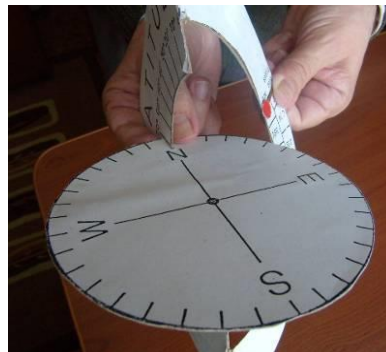


Fig. 16a y 16b: Sortida de Sol a Enontekiö a Lapònia (Finlàndia), l'angle de la trajectòria de el Sol sobre l'horitzó és el colatitud ($90^\circ - 68^\circ = 22^\circ$). (Foto: Sakari Ekko, Finlàndia).

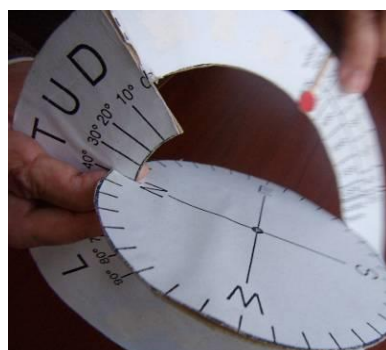


Fig. 17a y 17b: Sortida de Sol a Gandia (Espanya) amb latitud de 41° N, l'angle de la trajectòria solar sobre l'horitzó és 49° . Movent ràpidament el simulador és possible mostrar la inclinació de la trajectòria de Sol. (Foto: Rosa M. Ros, Espanya).



Fig. 18a y 18b: Sortida de Sol a Ladrillero (Colòmbia), l'angle de la trajectòria de el Sol sobre l'horitzó és el colatitud ($90^\circ - 4^\circ = 86^\circ$). (Foto: Mario Solarte, Colòmbia).

- *Cota de la trajectòria del Sol dependent de les estacions*

1a) Per l'hemisferi nord.

Usant el demostrador per la seva ciutat (entre la latitud de la seva ciutat), és fàcil verificar que l'altitud del Sol sobre de l'horitzó canvia d'acord amb l'estació. Per exemple, el primer dia de primavera, la declinació del Sol és 0° . Si situem el Sol al 21 de març i movem el Sol, exactament sobre l'equador, des de l'horitzó de l'Est a Sud i a l'Oest, podem veure que la trajectòria del Sol té una altitud determinada sobre l'horitzó. Si per a la mateixa latitud del lloc

repetim l'experiment per al primer dia d'estiu el 21 de juny, (declinació $+23^{\circ}.5$), quan movem el Sol segons el paral·lel respectiu des de la zona de l'Est a l'horitzó a Sud i a l'Oest, podem observar que la trajectòria del Sol és superior que en el primer dia de primavera. Finalment repetim l'experiment, per a la mateixa latitud també, en el cas del primer dia d'hivern el 21 de desembre (declinació $-23^{\circ}.5$). Podem veure que en aquest cas la trajectòria del Sol és per sota. El primer dia de la tardor la declinació és 0° i la trajectòria del Sol serà segons l'equador de manera semblant a la del primer dia de primavera.

Per descomptat si canviem la latitud, l'altitud de les trajectòries del Sol canvia, però la més alta correspon sempre a el primer dia de l'estiu i la més baixa a el primer dia d'hivern (figura 19a i 19b).

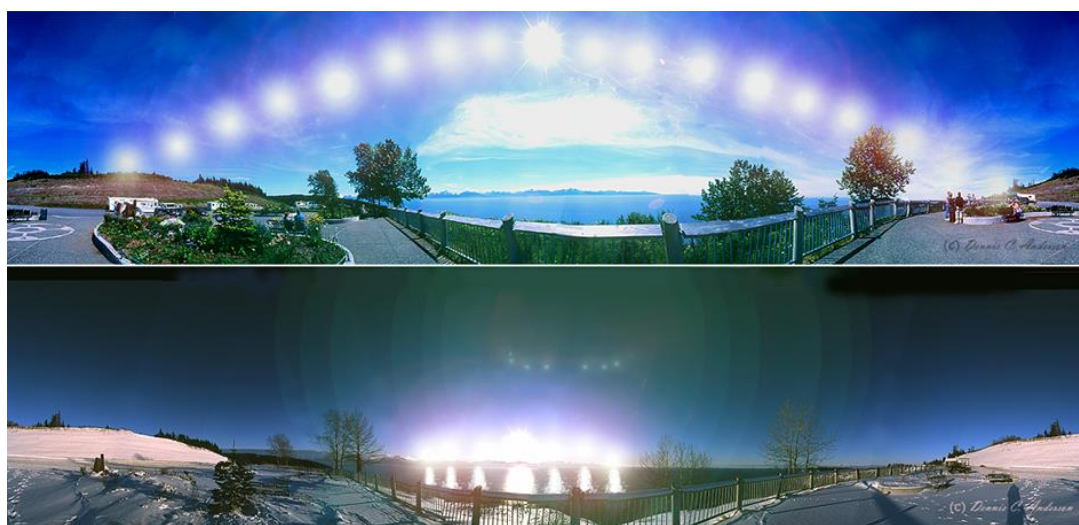


Fig. 19a y 19b: Trajectòries del Sol el primer dia d'estiu i d'hivern a Noruega. És evident que el Sol s'està movent més amunt en l'estiu que a l'hivern, i que hi ha molt més hores de la llum de l'Sol durant estiu.

1a) Per l'hemisferi sud.

Usant el demostrador per la seva ciutat (entre la latitud de la seva ciutat), és fàcil verificar que l'altitud del Sol sobre de l'horitzó canvia d'acord amb l'estació. Per exemple, el primer dia de primavera, la declinació del Sol és 0° . Si situem el Sol al 23 de setembre i movem el Sol, exactament sobre l'equador, des de l'horitzó de l'Est al Nord i a l'Oest, podem veure que la trajectòria del Sol té una altitud determinada sobre l'horitzó.

Si per a una mateixa latitud del lloc considerem el Sol el primer dia de l'estiu el 21 de desembre, (declinació $-23^{\circ}.5$), quan movem el Sol al paral·lel respectiu des de la zona de l'Est a l'horitzó a Sud i a l'Oest, podem observar que la trajectòria del Sol és superior que en el primer dia de primavera, el 23 de setembre. Finalment repetim l'experiment, per a la mateixa latitud també, en el cas del primer dia d'hivern el 21 de juny, (declinació $+23^{\circ}.5$). Podem veure que en aquest cas la trajectòria del Sol està per sota. El primer dia de primavera la declinació és 0° i la trajectòria del Sol coincideix amb l'equador d'una manera similar a el primer dia de tardor, el 21 de març.

Per descomptat si canviem la latitud, l'altitud de les trajectòries de el Sol canvia, però la més alta és sempre primer dia d'estiu i la més baixa és el primer dia d'hivern.

Notes:

-Quan l'altitud del Sol (a l'estiu) és màxima la llum i la radiació solar "incideix" més perpendicular sobre l'horitzó. En aquest cas l'energia es concentra en una àrea més petita i la nostra sensació és que en aquest període el clima és més calent.

-També en el període estiuenc el nombre d'hores de llum solar és més gran que a l'hivern, això fa que també augmenti la temperatura durant l'estiu.

– *El Sol es surt i es posa en un lloc diferent cada dia*

Si en l'experiment anterior prestem atenció a la zona de les sortides del Sol i / o en les zona de les postes de Sol podem observar que el Sol surt i es posa en un lloc diferent avui, que ahir i que demà. Particularment la distància entre les sortides del Sol (o les posades) del primer dia de dues estacions consecutives augmenta amb la latitud (figures 20a, 20b i 20c).



Fig. 20a, 20b y 20c: Postes de Sol a Riga 57° (Letònia), Barcelona 41° (Espanya) i Popayán 2n (Colòmbia) el primer dia de cada estació (esquerra / hivern, centre / primavera o tardor, dreta / estiu). Les postes de Sol centrals en les dues fotos estan en la mateixa línia, és fàcil observar que les postes de Sol d'estiu i d'hivern a Riga (latitud major) estan molt més llunyanes que a Barcelona i més que a Popayán (Fotos: Ilgonis Vilks, Letònia, Rosa M. Ros, Espanya i Juan Carlos Martínez, Colòmbia)

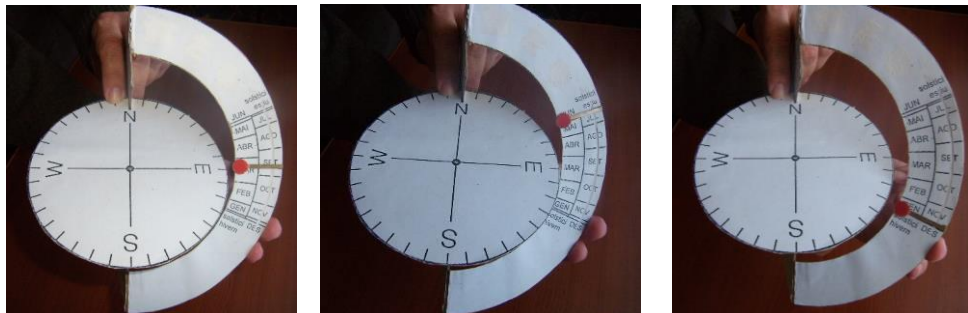


Fig. 21a: El Sol surt el primer dia de primavera i / o tardor, Fig. 20b: El Sol surt el primer dia d'estiu i Fig. 21c: El Sol surt el primer dia d'hivern.

És molt senzill simular aquesta observació amb el model. N'hi ha prou de marcar la posició del Sol en cada estació per dos llocs diferents, per exemple de 60° , 40° i 0° de latitud (figures 21a, 21b i 21c).

Les fotografies presentades (figures 20a, 20b i 20c) corresponen a l'hemisferi nord però la situació és similar a l'hemisferi sud (figures 22a, 22b i 22c). Només canvia la posició de les estacions.

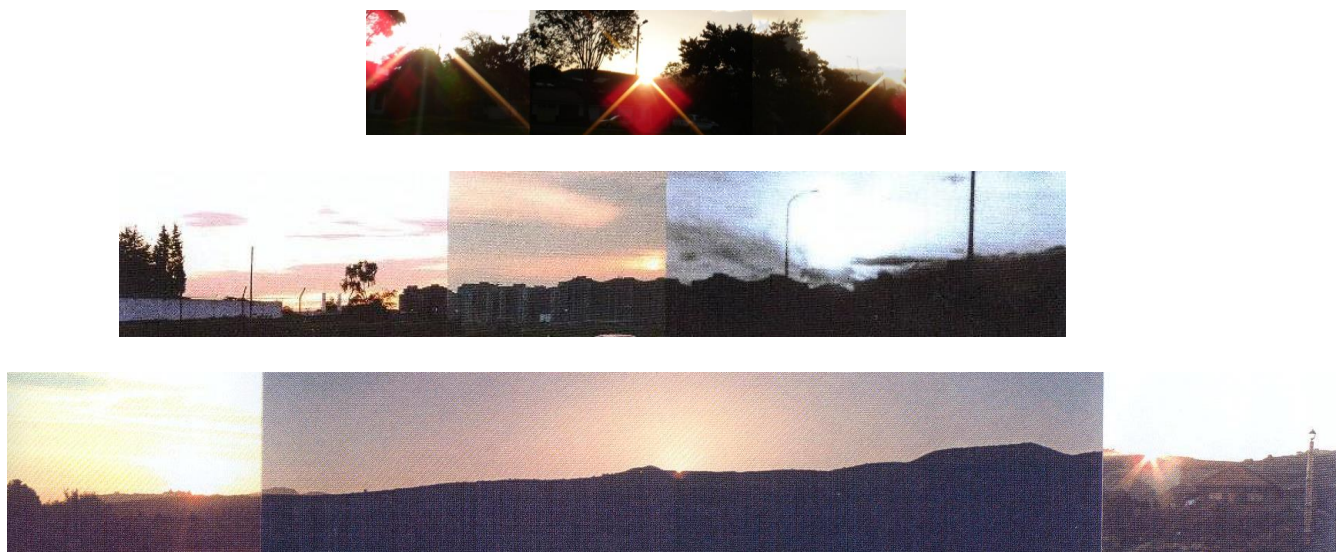


Fig. 22a, 22b y 22c: Postes de Sol a Popayán 2n (Colòmbia), La Pau -19° (Bolívia) i Esquel -43° (Argentina) el primer dia de cada estació (esquerra / estiu, centre / primavera i / o tardor, dreta / hivern). Les postes de Sol centrals en les dues fotos estan en la mateixa línia, és fàcil observar que les postes de Sol de l'estiu i de l'hivern a Esquel (latitud molt més negativa) estan molt més allunyades que a La Pau. (Fotos: Joan Carles Martínez, Colòmbia, Gonzalo Pereira, Bolívia i Néstor Camí, Argentina)

Notes:

-El Sol no surt pel punt cardinal Est i no es posa pel punt cardinal oest. Aquesta és una idea generalment acceptada però realment no és certa. Només és correcte 2 dies concrets per any: el primer dia de primavera i el primer dia de tardor a totes les latituds el Sol surt i es posa exactament en els punts Est i Oest respectivament.

-Hi ha una altra idea molt interessant que la gent no sap, però que es compleix cada dia en totes les latituds. El Sol passa pel punt cardinal Sud al migdia (per descomptat en temps solar). Aquesta característica es pot utilitzar per a l'orientació.

2.- Llocs en àrees polars: SOL DE MITJANIT

– *Estiu i hivern polar*

Si introduïm la latitud polar ($+90^\circ$ o -90° depenent de si nosaltres considerem la demostració per a l'hemisferi nord o per l'hemisferi sud) al simulador, tenim tres possibilitats. Si la declinació del Sol és 0° , el Sol s'està movent en l'horitzó que és també l'equador.

Si la declinació correspon a el primer dia d'estiu, el Sol s'està movent en un paral·lel a l'horitzó. Realment tenim el Sol movent-se en diversos paral·lels sobre l'horitzó des del segon dia de primavera fins a l'últim dia d'estiu. Això vol dir mig any de llum solar.

El primer dia de tardor, el Sol s'està movent una altra vegada a l'horitzó o en l'equador. Però a partir del segon dia de tardor fins al dia últim dia d'hivern, el Sol s'està movent en diversos paral·lels tots per sota de l'horitzó. Això vol dir mig any de nits.

Per descomptat l'exemple anterior correspon a la situació extrema. Hi ha algunes altres latituds on les trajectòries del Sol no són paral·leles a l'horitzó, però no té sortides ni postes de Sol perquè la latitud local és massa més alta per a això. En aquest cas podem observar el Sol de mitjanit.

–*Sol de mitjanit*

Si introduïm en la latitud del simulador $+70^\circ$ per a l'hemisferi nord (o -70° en l'hemisferi sud) podem simular el Sol de la mitjanit sense cap problema. Si situem el Sol el primer dia d'estiu, el 21 de juny en l'hemisferi nord (o el 21 de desembre en l'hemisferi sud), podem veure que el Sol no surt ni es posa aquest dia.

La trajectòria del Sol és tangent a l'horitzó, però mai aquesta per sota d'ell. Aquest fenomen es diu "Sol de mitjanit", perquè és possible observar el Sol també a la mitjanit (figures 23a i 23b).

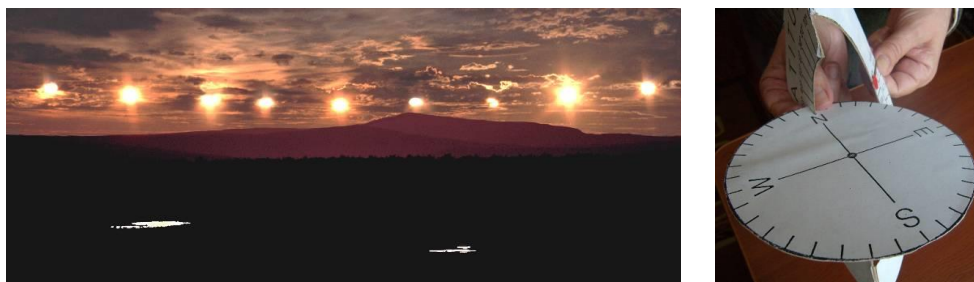


Fig. 23a y 23b: Trajectòria del Sol de mitjanit a Lapònia (Finlàndia). El Sol va baixant cap a l'horitzó però no es posa fins que el Sol comença a pujar de nou. (Foto: Sakari Ekko).

En particular, en les latituds polars ($+90^\circ$ o -90°) el Sol apareix sobre l'horitzó durant la meitat de l'any i per sota de la mateixa l'altra meitat. Usant el simulador és molt fàcil entendre aquesta situació (figures 24a i 24b).

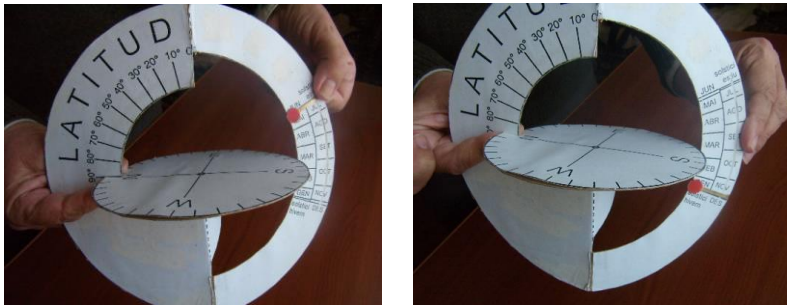


Fig. 24a y 24b: Simulador amb el Sol per sobre de l'horitzó per mig any i per sota per a l'altra meitat.

3.- Llocs a l'àrea equatorial: PAS DE ZENITAL DEL SOL

– *Pas pel zenit del Sol*

A la zona equatorial les estacions no s'aprecien. La trajectòria solar és sempre pràcticament perpendicular a l'horitzó i l'altitud solar és pràcticament igual durant tot l'any i la durada dels dies és també molt similar. Llavors les estacions no són interessants per als habitants (figures 25a, 25b i 25c).

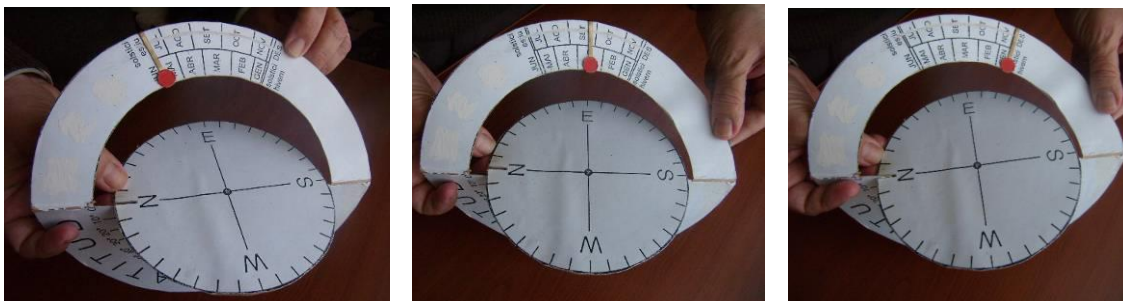


Fig. 25a, 25b y 25c: A l'equador els moviments del Sol corresponen a trajectòries perpendiculars a l'horitzó. El Sol surt el primer dia de cada estació: esquerra) primer dia d'estiu, centre) primer dia de primavera i / o tardor i dreta) primer dia d'hivern. Les distàncies entre els tres punts de sortida del Sol el primer dia de cada estació són mínimes. Aquesta distància és només de $23^\circ.5$, l'obliqüetat de l'eclíptica. Per latituds majors les trajectòries solars s'inclinen i les distàncies entre les tres sortides de el Sol augmenten (figures 20a, 20b, 20c, 22a, 22b i 22c).

D'altra banda en els països tropicals hi ha alguns dies especials: els dies que el Sol passa pel zenit. Aquests dies la llum del Sol arriba del zenit com una dutxa. La temperatura és més calent i l'ombra de la gent desapareix sota de les seves sabates (figura 26a). Aquests dies eren especialment considerats per les cultures antigues perquè podien ser apreciats per tots. Ara també es consideren, realment hi ha dos dies per any en què el Sol es troba en el zenit. Usant el simulador podem mostrar aquest fenomen i també és possible calcular (aproximadament) en quin dia va tenir lloc per a una determinada latitud (figura 26b).

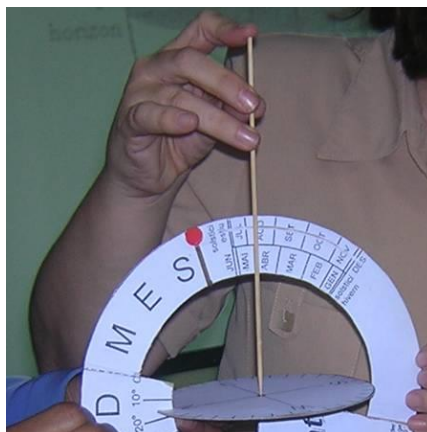


Fig. 26a: Ombra reduïda (pròxima al zenit) Fig. 26b: Simulant el pas solar per al zenit a Hondures (latitud 15°).

A tall d'exemple (figura 26b), si fem veure un lloc de la latitud 15°N , usant el simulador podem calcular aproximadament quins dies estarà el Sol en el zenit al migdia. És només necessari utilitzar un escuradents perpendicular al disc de l'horitzó. Per exemple en la figura 26b s'observa que per a Hondures el pas pel zenit és a finals d'abril i a mitjans d'agost.

Simulador XXL

Evidentment el model presentat pot realitzar-se en altres materials, per exemple en fusta. Llavors es pot produir amb una llum en la posició del Sol (figura 27a). Amb una càmera fotogràfica és possible visualitzar les trajectòries del Sol si es dona un temps d'exposició llarg (figura 27b).

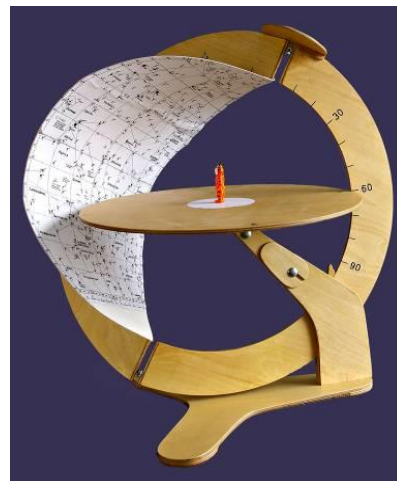


Fig. 27a: Simulador de major grandària fet en fusta. Fig. 27b: Amb una càmera fotogràfica i una llarga exposició és possible simular la trajectòria solar. Fig. 27c: Simulador estel·lar en fusta (Fotos: Sakari Ekko).

Simulador para mostrar la tierra paralela.

És possible introduir una pilota de ping pong al simulador i així poder donar explicacions senzilles de moviment anual del Sol com es fa amb el model de la Terra paral·lela. Per això farem servir una pilota similar a les de ping pong en lloc del cercle de l'horitzó i es modificarà la peça principal introduint dos suports per mantenir tensa una goma que sostingui la pilota centrada (figura 28).

Foradarem la bola de ping-pong, o similar, diametralment a mode d'eix de rotació i la subjectarem a la peça principal tal com es pot veure la figura 30.

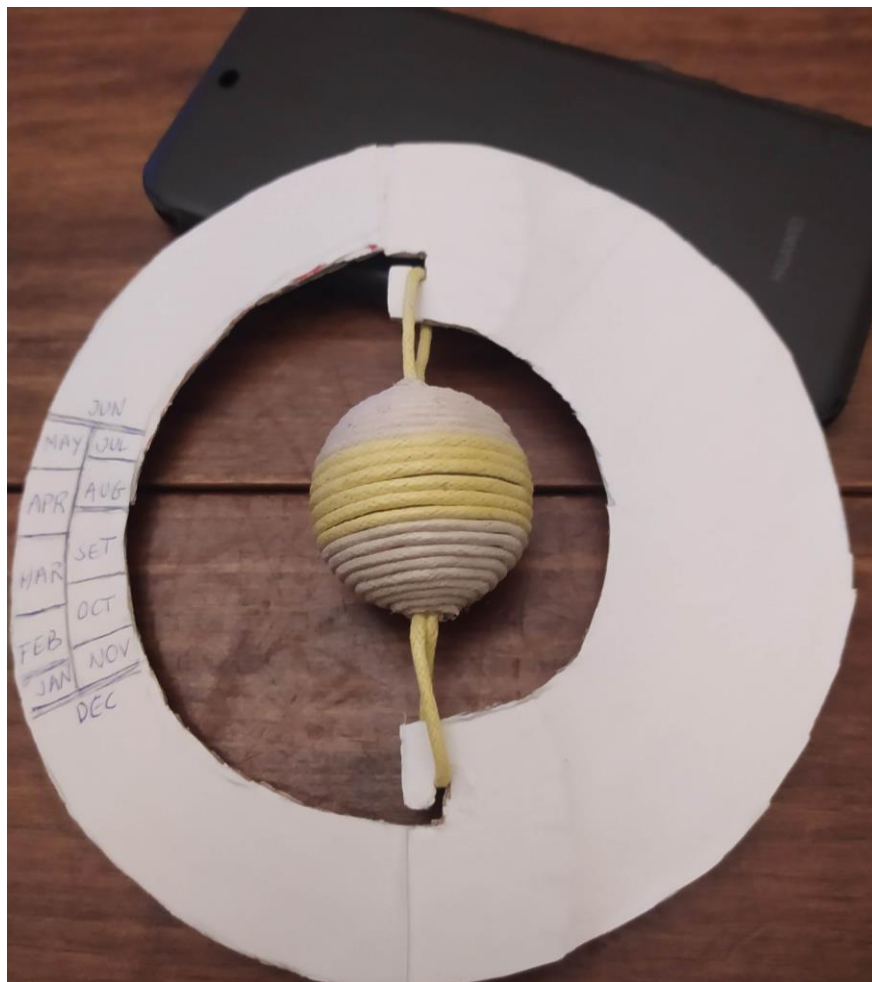


Fig. 28: Simulador amb una pilota per simular la terra paral·lela.

Alhora se suprimeix el cercle de latituds per no tenir interès en aquesta ocasió ja que s'usa tota l'esfera terrestre simulada amb la piloteta de ping pong (figura 29). Aleshores situarem una llanterna o la llanterna d'un mòbil al mes corresponent a la situació del Sol (on s'indica la declinació del Sol). Quan treballem a l'hemisferi sud aquesta peça és anàloga amb els mesos ordenats a la inversa (figura 30).

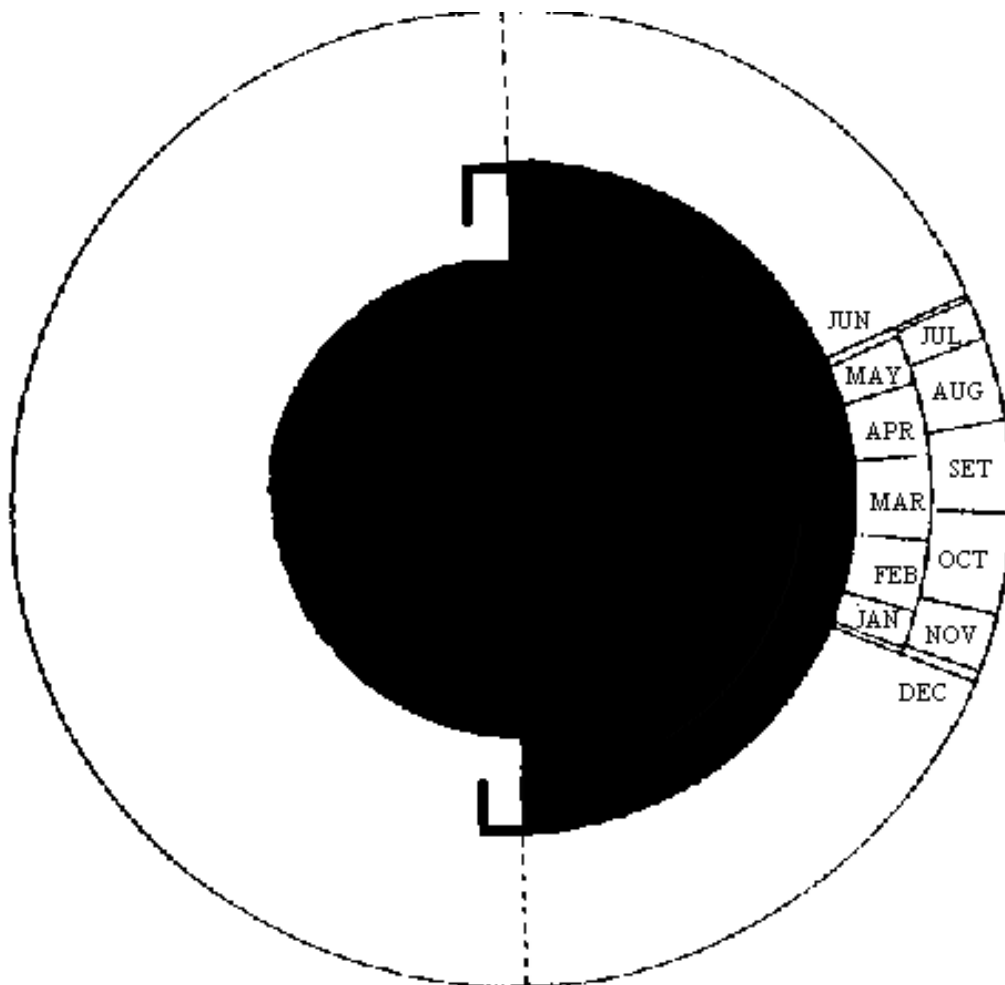


Fig. 29: Peça única del simulador on es fixa la pilota de ping pong, per a l'hemisferi nord. Es necessari enganxar aquesta fotocopia sobre ua cartolina una mica gruixuda per a tingui força per subjectar la pilota.

Situant una llanterna a la posició de l'equinocci d'estiu, es va poder observar que la zona del pol nord està il·luminada i la del pol sud no (figura 31). Amb la llanterna als equinoccis, la línia llum/ombra passa exactament pels pols nord i sud (figura 32). Finalment situant la llanterna al solstici d'hivern, s'observa la zona del pol sud il·luminada i la zona nord a les fosques (figura 33).

Realment aquest petit simulador permet dibuixar els cercles polars artíctic i antàrtic com cercles generats per les vores de les zones de lum/ombra al girar en torn al pol respectiu.

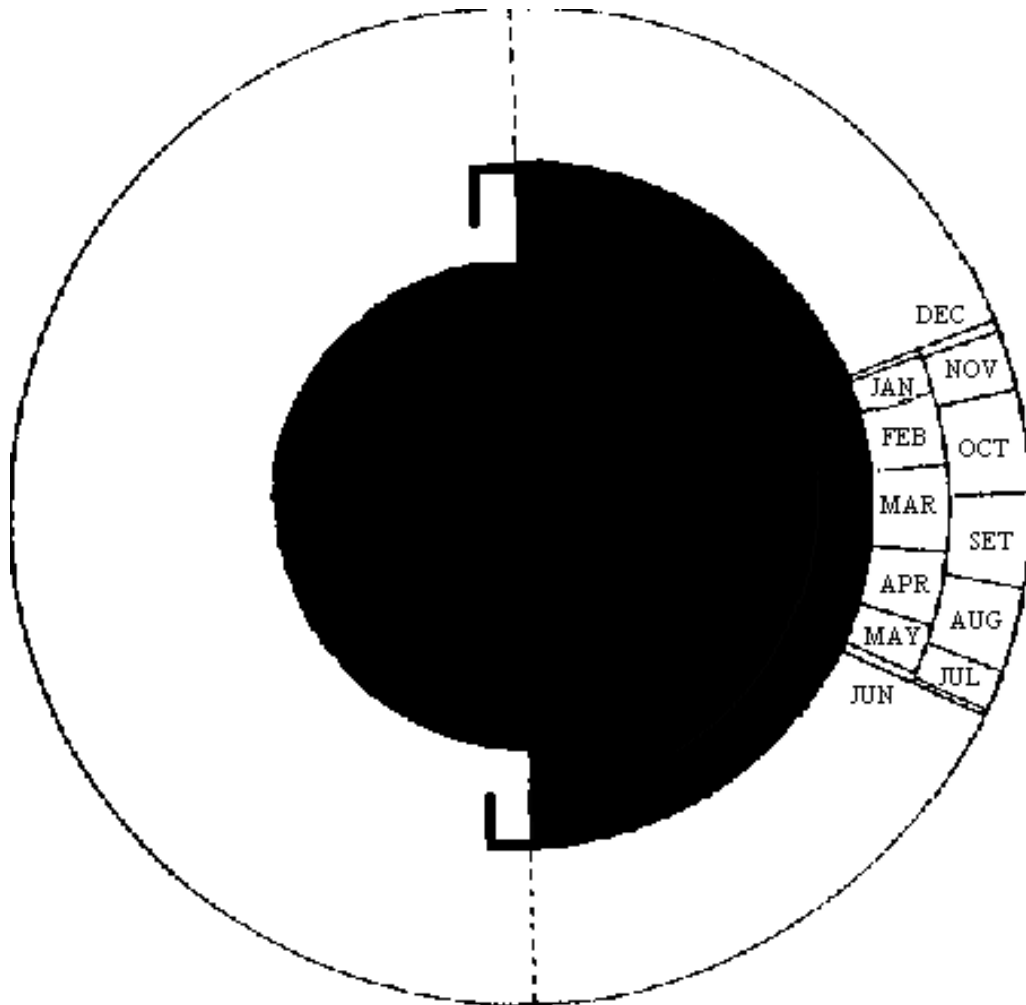


Fig. 30: Peça única del simulador on es fixa la pilota de taula, per a l'hemisferi sud. Es necessari enganxar aquesta fotocopia sobre ua cartolina una mica gruixuda per a tingui força per subjectar la pilota.

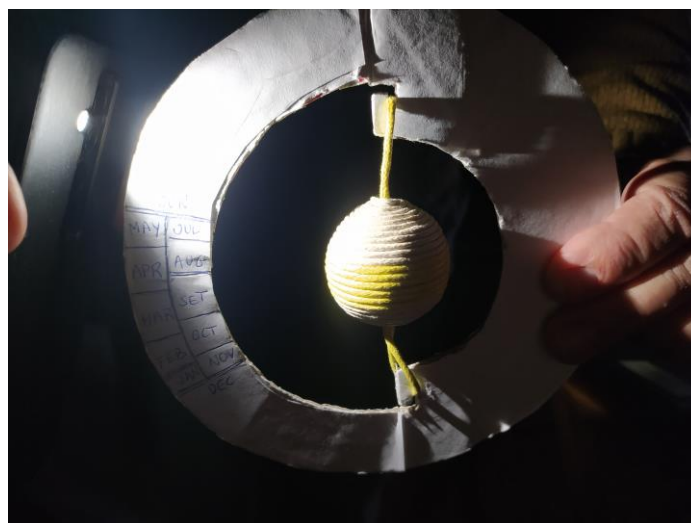


Fig. 31: Estiu a l'Hemisferi Nord i hivern a l'Hemisferi Sud.

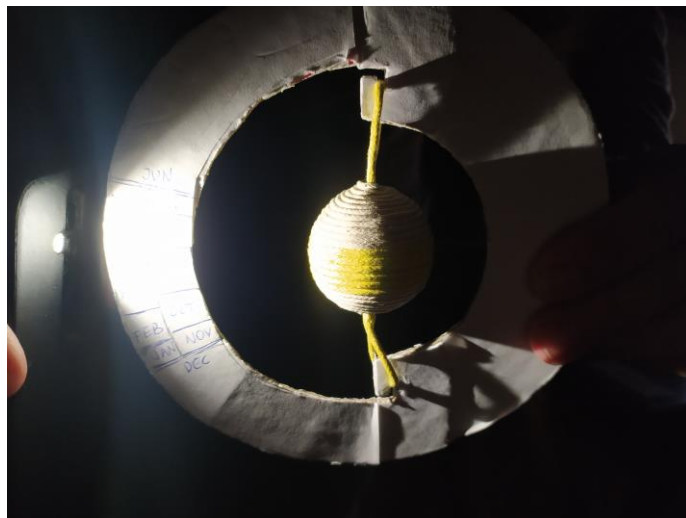


Fig. 32: Equinoccis als dos Hemisferis

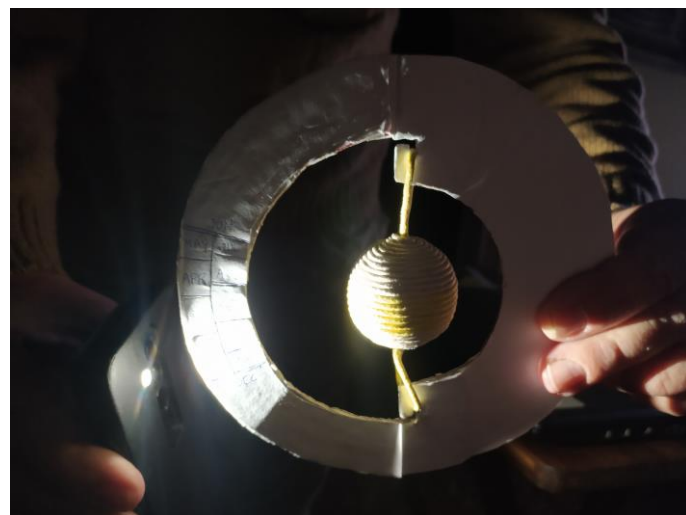


Fig. 33: Hivern a l'Hemisferi Nord i estiu a l'Hemisferi Sud.

Simulador lunar: Per què, de vegades, la Lluna somriu?

Quan treballem la Lluna amb estudiants, comencem explicant les característiques de la Lluna, les seves fases i també parlem dels eclipsis. Les fases de la Lluna són molt espectaculars i és fàcil explicar-per mitjà d'una esfera i d'una llanterna.

En conseqüència, els models com els de la figura 34 ofereixen una imatge de la Lluna creixent (al voltant del Quart creixent) i decreixent (entorn al Quart minvant). Recordem la regla mnemotècnica que dona la Lluna creixent com una "C" i la minvant o decreixent com una "D"

que és certa per als habitants de l'hemisferi sud, però que no es pot utilitzar en l'hemisferi nord on se sol dir que la Lluna és una "mentidera".

Models com el de la figura 35 ofereixen una visió de la Lluna creixent i decreixent com una "C" o "D" (depenent de les fases). Llavors podem imaginar-nos que en l'horitzó pot ser observat com la figura 35. Però segons els països és possible observar la Lluna com una "C inclinada", una "D" inclinada (figura 36a) o en altres casos com una "O" o com una "Lluna somrient" (figura 30b). Com podem donar una explicació senzilla i clara d'aquest fenomen? N'hi haurà prou un senzill simulador per entendre els diversos aspectes de la Lluna en les diverses latituds.



Fig. 34: Phases de la Lluna.



Fig. 35: Simulació de las fases de la Lluna en l'horitzó

Si volem estudiar els moviments de la Lluna, hem de tenir en compte també la seva posició respecte del Sol (que és el causant de les seves fases) i del seu declinació (ja que ella canvia també tots els dies, i molt més de pressa que la del Sol). Doncs, hem de construir un simulador que doni als estudiants la possibilitat de canviar fàcilment la posició de la Lluna, segons aquesta estigui més o menys propera a les successives posicions respecte al Sol, amb una declinació que varia considerablement al llarg d'un mes. En efecte, vista des de la Terra, i enmig de les estrelles, la Lluna descriu en un mes una trajectòria bastant pròxima a la del Sol en un any, seguint la línia de la "eclíptica" (amb una aproximació de 5° , en més o menys a causa de la inclinació de la seva òrbita).

La Lluna està "a la banda" del Sol quan és Lluna nova. Quan és Lluna plena està en un punt oposat de l'eclíptica, i la seva declinació és oposada a la del Sol (amb un error de 5°). Per exemple, en el solstici de juny, la Lluna plena es troba alguna cosa després d'on es trobaria el Sol en el solstici de desembre i la seva declinació és negativa (entre -18° i -29°). El moviment diürn de la Lluna plena al juny, és doncs proper a el de el Sol al desembre.

Si considerem el quart creixent, en forma de "D" a l'hemisferi nord, de "C" a l'hemisferi sud sabem doncs, que la Lluna està a 90° del Sol, més "lluny" sobre l'eclíptica, o si es vol, on es trobarà el Sol 3 mesos després: així, al juny, la lluna de la cambra creixent tindrà una declinació pròxima a la declinació del Sol al setembre (0°), al mes de setembre, una declinació pròxima a la del Sol a desembre ($-23,5^\circ$), etc ...

Si considerem el quart decreixent o minvant, en forma de "C" per a l'hemisferi nord, o de "D" a l'hemisferi sud, sabem que llavors, la Lluna aquesta també a 90° del Sol sobre la línia de l'eclíptica, però retardada respecte a ell, és a dir, estarà on es trobava el Sol 3 mesos abans. Així al juny, la Lluna decreixent tindrà una declinació pròxima a la declinació del Sol al mes de març (0°); al setembre, pròxima a la del Sol de juny ($+23,5^\circ$) etc ...



Fig. 36a: Quart de Lluna inclinada, Fig. 36b: Quart de Lluna somrient.

Construcció del simulador

El simulador lunar es realitza a partir del simulador solar. Com en l'anterior, cal un model per simular les observacions des de l'hemisferi nord, i un altre per a l'hemisferi sud (figures 13 i 14 per a l'hemisferi nord i 13 i 15 per a l'hemisferi sud). També és una bona idea construir-ne un d'ells que sigui dues vegades més gran per ús de professor o monitor.

Instal·larem, per exemple, sobre el simulador solar una Lluna en quart minvant, (en forma de "C" per a l'hemisferi nord, o en forma de "D" per a l'hemisferi sud) al lloc de el Sol i obtindrem un simulador lunar. Segons les instruccions següents.



Fig. 37a: Ús del simulador

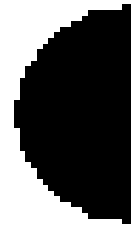


Fig 37b: Quart de Luna

Per situar la Lluna en el simulador, retalla la figura 37b (Lluna en quart) i enganxeu dos trossos de cinta transparent de manera que quedi la Lluna enmig d'ells ben orientada ("C" o "D" segons la fase escollida). Poseu aquesta franja transparent a l'àrea del mes de la figura 12 o 14. La idea és que sigui fàcil moure aquesta franja cap amunt i cap avall en aquesta àrea, per situar-la al mes desitjat.

Usos del simulador lunar

Per començar a utilitzar el simulador cal entrar la latitud desitjada. Viatjarem a la superfície de la Terra en un viatge imaginari usant el simulador.

Cal subjectar amb la mà esquerra la peça principal del simulador (figures 38a i 38b) per la zona que està en blanc (sota el quadrant de la latitud). Seleccionada la latitud, mogui el disc de l'horitzó fins que arribi a la latitud escollida. Escollir el dia per al qual volem simular el moviment del quart minvant o decreixent. Afegir 3 mesos a aquest valor i situar la Lluna en la fase del quart (figura 37b) de cara al mes obtingut: en aquest lloc és on es trobarà el Sol d'aquí a 3 mesos! Amb la mà dreta desplaçar el disc que subjecta la Lluna de l'Est cap a l'Oest.

Amb el simulador de el "hemisferi nord", es pot veure que segons sigui la latitud i el dia de l'any, la Lluna en el seu quart decreixent aparèixer sortint per l'horitzó (cap a la mitjanit) com una "C" o una "O" sobre l'horitzó (on hem situat un ninotet).

- Si introduïm una latitud de 70° podem veure la Lluna com una "C" mòbil de la zona Aquest cop a la zona Oest. No importa el període de l'any. A cada estació la Lluna sembla una "C" (figura 38a).
- Si la latitud és 20°, l'observador està proper a la línia tropical, i podem veure la Lluna que somriuen com un "O" alguna cosa inclinada. La Lluna s'està movent en una forma més perpendicular a l'horitzó que en l'exemple anterior (figura 38b). La forma d' "U" no canvia amb el mes.

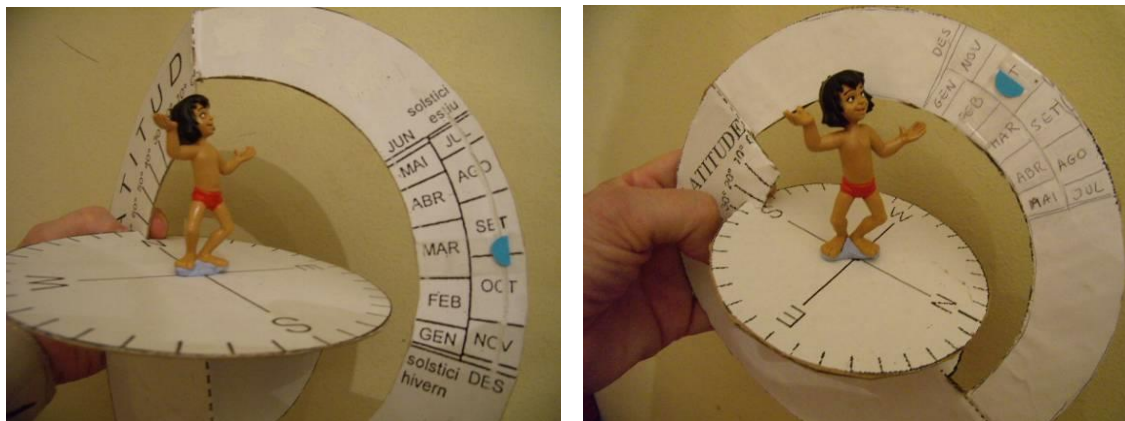


Fig. 38a: Simulador per 70° de latitud Nord, Fig. 38b: 20° de latitud Sud

- Si la latitud és + 90°, l'observador està en el Pol Nord i segons sigui el dia considerat:
 - Es pot veure la Lluna com una "C" que es mou en una trajectòria paral·lela a l'horitzó.
 - No es pot veure, doncs la seva trajectòria està per sota de l'horitzó.
- Si la latitud és 0°, l'observador està a l'equador, i podem veure la Lluna que somriuen com una "U". La Lluna surt i es posa perpendicular a l'horitzó. Ella s'amagarà (cap al migdia) en forma de "U" i tornarà: "∩"...

Per a altres observadors que visquin a les latituds intermèdies, les Llunes surten i es posen en una posició intermèdia entre "C" i "U" que sigui més o menys inclinada segons sigui la latitud de el lloc d'observació.

Els comentaris anteriors es poden repetir anàlogament per a la Lluna en forma de "D" recordant corregir el dia (en aquest cas caldrà treure-li 3 mesos) a l'situar-la en la posició del Sol.

-Si introduïm un -70 ° de latitud (o 70 ° sud) podem veure la Lluna decreixent com una "D" que es desplaça de la zona Est cap a la zona Oest. Això no depèn de l'època de l'any. En totes les estacions, la Lluna dibuixa una "D" (figura 38a).

-Si la latitud és de -20 °, (figura 38b) l'observador està en la zona intertropical i es pot veure la Lluna aixecar somrient com una "U", possiblement lleugerament inclinada. La Lluna es mou en una trajectòria més perpendicular a l'horitzó que en l'exemple anterior (figura 38b). La forma d' "U" no canvia depenent del mes.

- Si és de latitud - 90 °, l'observador està en el Pol Sud, i podrà, d'acord amb la data:
 - Veure la Lluna com una "D" que es mou en una trajectòria paral·lela a l'horitzó.
 - No ho veu, ja que la seva trajectòria està per sota de la horitzó.

-A latitud 0 °, a l'igual que en el simulador de l'hemisferi nord, l'observador està en l'equador, i nosaltres podem veure el somriure de la Lluna com una "U". La Lluna s'eleva perpendicular a l'horitzó i ella s'amagarà (feia el migdia) en forma d' "U" i reapareixerà: '∩'...

Per a altres observadors que viuen en latituds intermèdies, la fase de la Lluna s'eleva i s'oculta en una posició intermèdia entre la "D" i la "U" és més o menys inclinada d'acord amb la latitud de el lloc d'observació.

Aquests comentaris es poden establir d'una manera similar per a la Lluna en forma de "C", recordant corregir la data (en aquest cas, han de restar 3 mesos) al pensar en la posició del Sol.

"Agraïment: Els autors volen agrair a Joseph Snider seu instrument solar produït el 1992 que el va inspirar per produir els altres simuladors".

Bibliografia

- 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 Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.