

Horitzó local i Relotges de Sol

Rosa M. Ros

International Astronomical Union, Universitat Politècnica de Catalunya (Espanya)

Resum

L'estudi de l'horitzó és fonamental per poder facilitar les primeres observacions dels alumnes en un centre educatiu. Un model senzill, que s'ha de realitzar per a cada centre, ens permet facilitar l'estudi i la comprensió dels primers instruments astronòmics. El model construït es presenta al seu torn com un senzill model de rellotge equatorial i a partir d'ell es poden construir altres models (horitzontal i vertical).

Objectius

- Comprendre el moviment diürn i moviment anual del Sol.
- Comprendre el moviment de la volta del cel.
- Comprendre la construcció d'un rellotge de Sol elemental.

La Terra gira i es trasllada

Com és ben sabut la Terra gira sobre el seu eix el que dóna lloc a el dia i la nit. L'eix d'aquesta rotació és el que els antics astrònoms anomenaven l'eix del món ja que a tots nosaltres ens sembla que el cel gira al voltant d'aquest eix (el cel de dia i el cel de nit). Però a més la Terra té un moviment de translació segons una el·lipse on el Sol està en un dels seus focus, però en primera aproximació podem suposar que és un moviment circular (ja que l'excentricitat de l'el·lipse és gairebé nul·la, és a dir és gairebé una circumferència).

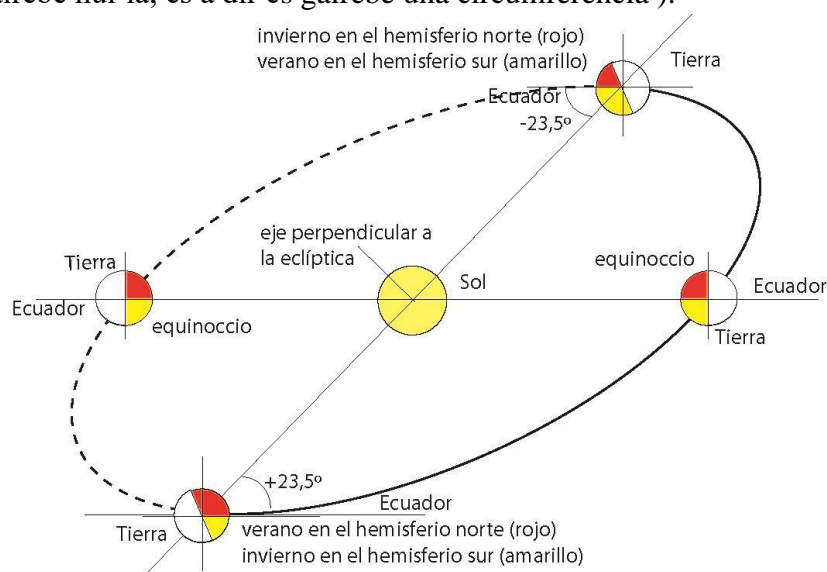


Fig. 1: Esquema del moviment de translació. L'angle entre el pla de l'equador terrestre i el pla de l'eclíptica és de $23,5^\circ$ així com l'angle entre l'eix de rotació terrestre i l'eix perpendicular a el pla de l'eclíptica x també de $23,5^\circ$.

La Terra necessita d'un any per donar la volta completa a el Sol, però ho fa sobre un pla, l'anomenat pla de l'eclíptica, que no és perpendicular a l'eix de rotació terrestre, sinó que està inclinat. Concretament l'angle entre l'eix de rotació terrestre i l'eix perpendicular a l'eclíptica és de $23,5^\circ$, o el que és el mateix l'angle entre el pla de l'equador terrestre i el pla de l'eclíptica és de $23,5^\circ$ (figura 1). Aquesta inclinació és la que dóna lloc a les estacions. Per poder visualitzar aquest fenomen construirem un petit model (figura 2).

Només cal disposar de 4 esferes (on és bo dibuixar la superfície terrestre distingint l'equador i els dos pols) i una bombeta que servirà de Sol i situarem en el centre. A continuació, es donen uns valors de distàncies relatius a la mida de les esferes que serveixen de model per a la Terra, en el nostre cas de 8 cm de diàmetre. Disposarem doncs d'un petit estovalles de paper o tela rodó d'uns 25 cm de diàmetre, o quadrat de 25 cm de diagonal. Situem les 4 esferes en forma de creu, cadascuna al davant de l'altra (figura 2) sobre uns palets d'altures 3, 15, 25 i 15 cm respectivament. Els valors esmentats estan calculats perquè la inclinació de l'equador respecte del plànol de l'eclíptica sigui d'aproximadament d'uns 23° .

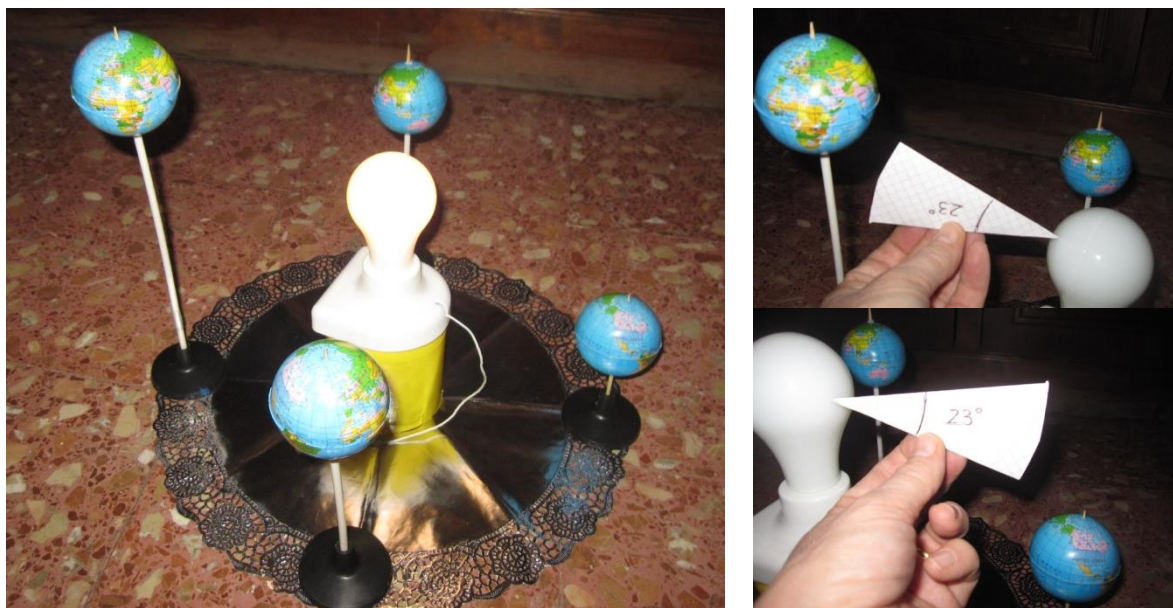


Fig. 2a, 2b i 2c: Disposició de les 4 esferes de la Terra amb la bombeta del Sol al mig. Cal distribuir les posicions relatives de manera que l'angle de la línia des del centre del Sol al centre de la Terra formi uns 23° amb el terra, que representa el pla de l'equador.

Situarem el model en una habitació a les fosques i amb la bombeta del Sol (també pot ser una espelma sempre que l'altura de la mateixa sigui equivalent) encesa. És evident que la Terra que ocupa la posició A rep més llum a l'hemisferi nord que la que està en el lloc C (figura 3). Mentre que la zona il·luminada de l'hemisferi sud és més gran en la C que a la A. En les posicions B i D tots dos hemisferis estan igualment il·luminats, aquests corresponen als equinoccis de primavera i tardor. Com quan hi ha més zona il·luminada diem que és estiu i quan hi ha menys és hivern, es dedueix que quan la Terra està en la posició A és estiu a l'hemisferi nord i hivern a l'hemisferi sud. Així mateix quan la Terra està en la posició C, és hivern a l'hemisferi nord i estiu a l'hemisferi sud.



Fig. 3: Model del moviment de translació que explica les estacions. Quan la Terra està en la posició A és estiu a l'hemisferi nord i hivern a l'hemisferi sud. Quan la Terra està en la posició C és hivern a l'hemisferi nord i estiu a l'hemisferi sud. Mentre que quan la Terra està en les posicions B i D estan igualment il·luminats i té lloc els equinoccis. Els dies tenen el dia i la nit iguals.

Aquest model, pot donar molt de joc ja que si imaginem que una persona viu en un dels hemisferis, veurem que visualitza el Sol a diferent alçada segons l'època de l'any. Imaginem, per fixar idees, que tenim una persona en l'hemisferi nord quan estem en la posició A, aquesta persona veu el Sol per sobre del pla de l'equador $23,5^\circ$ (figura 4a) en canvi si aquesta a l'hemisferi nord, però en la posició C veu el Sol per sota de l'equador $-23,5^\circ$ (figura 4b). Quan està en les posicions B i D el veu exactament sobre l'equador, això és a 0° sobre l'equador.



Fig. 4a. En la posició A és estiu a l'hemisferi nord i el Sol està $23,5^\circ$ per sobre de l'equador. En canvi a l'hemisferi sud és hivern.



Fig. 4b. En la posició C és hivern a l'hemisferi nord i el Sol està $23,5^\circ$ per sota de l'equador. En canvi a l'hemisferi sud és estiu.

La Terra paral·lela

La posició que gaudim en el model anterior "la Terra vista des de fora" no és senzilla d'observar des de la nostra ciutat. De fet sembla totalment impossible ja que estem enganxats a la Terra i només un astronauta des de la seva nau podria veure la Terra des de fora. Però hi ha una simple estratègia que permet veure la Terra des de fora i la part il·luminada que li correspon cada dia i cada hora. Anem a fer servir per a això una Terra paral·lela. És a dir, un globus terrestre il·luminat de la mateixa manera que la Terra pel mateix focus que és el Sol.

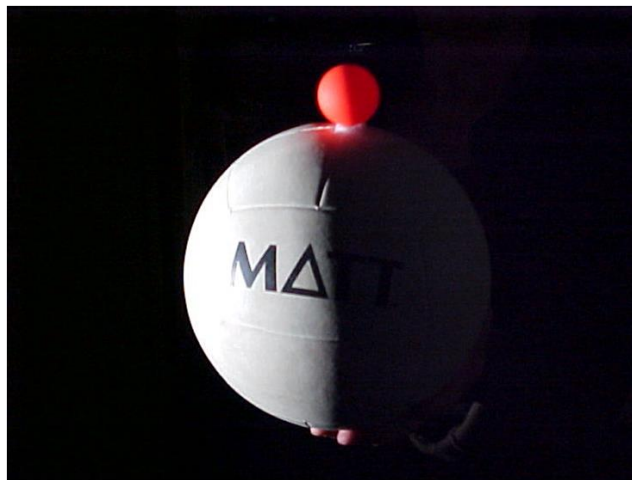


Fig. 5: Un focus il·lumina 2 esferes de la mateixa forma i produeix les mateixes zones de llum i ombra.

Si un focus il·lumina dues esferes produeix sobre elles les mateixes zones de llum i ombra (figura 5), així si orientem correctament el globus terrestre hi haurà la mateixa zona en el globus que ho està el nostre planeta i podrem veure-ho com si fóssim un astronauta situat més lluny del que aquesta la ISS.

Farem servir doncs un globus terrestre dels usuals, solament que li traurem el peu i el situarem sobre un got, amb l'eix de rotació del globus terrestre en la mateixa direcció que el té realment la Terra (podem ajudar-nos d'una brúixola que ens indiqués a direcció nord-sud). A més sabem que la posició de la nostra ciutat ha d'estar a la part superior del globus, ja que, qualsevol lloc de món on visquem, si ens movem en línia recta en qualsevol direcció durant molts km, és clar que sempre acabarem per baixar sobre la superfície del globus. Així doncs la nostra posició és sempre la superior.

En conseqüència, farem servir una brúixola que ens indiqui la direcció nord-sud per orientar l'eix de l'globus i situarem la nostra ciutat dalt de tot (figura 6a). Per comprovar que està ben col·locada podem deixar un llapis sobre la ciutat en equilibri, si està a dalt no caurà, si es cau el llapis cal corregir una mica la posició fins que quedi estable. Podem il·lustrar aquesta posició col·locant un ninotet que ens representi (figura 6b).

Amb trossets de "pastelina" podem marcar la línia sol / ombra i veurem que lentament s'anirà desplaçant per la superfície del globus a mesura que passen les hores i arribar a un moment en que serà de nit. Podem posar petits trossos d'escuradents a manera de gnòmon i veure com són

les ombres i com es desplacen al llarg del dia i visualitzar us efectes del moviment de rotació sobre la Terra (figura 6b).

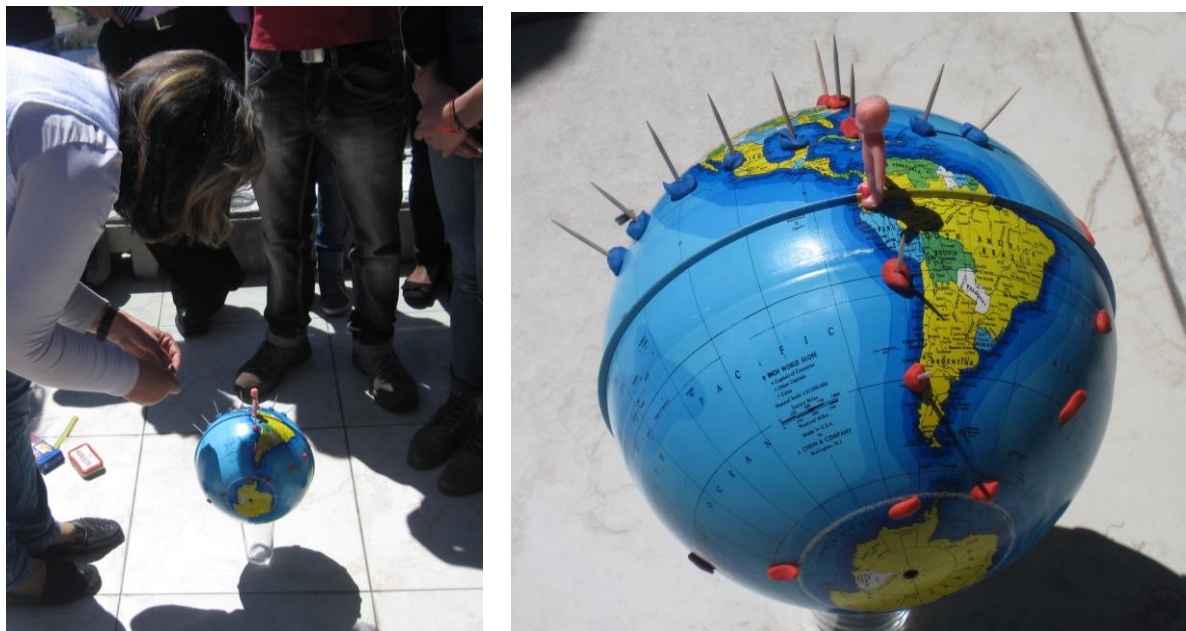


Fig. 6a: El globus terrestre, amb el suport usual, no serveix de model. El globus terrestre s'ha de situar a l'exterior, sobre un got i ben orientat, amb el lloc des d'on nosaltres observem en la part superior per ser un model perfecte. Fig.6b: Podem situar un ninot indicant la nostra posició i trossets de pastelina per indicar la línia de la zona llum / ombra. Amb el pas de les hores aquesta línia llum / ombra s'anirà corrent. També es poden situar alguns trossos d'escuradents per estudiar les seves ombres.



Fig. 7a: A l'hemisferi nord, el pol nord està en la zona assolellada per tant vol dir que és estiu per a aquest hemisferi i estem observant el fenomen del sol de mitjanit. A l'hemisferi sud, el pol sud està en l'ombra i és hivern. Fig. 7b: La zona de l'pol nord està dins de la zona de la nit, per tant a l'hemisferi nord és hivern. A l'hemisferi sud, el pol sud aquesta il·luminat i per tant és estiu per a ells. Fig 7c: La línia de separació del dia i la nit passa pels dos pols, és a dir, el primer dia de primavera o el primer dia de tardor.

Però el més interessant és visualitzar el moviment de translació, això és veure com es situa la línia sol / ombra al llarg de l'any. Així es pot observar que a l'estiu (figura 7a), hivern (figura 7b) i en els equinoccis (figura 7c) tal com es podia comprovar en el model inicial amb les quatre esfera terrestres (figura 3).

Però després de considerar aquests dos models creiem que és necessari introduir el model més "real" per a l'observador que està lligat a la Terra i que cada dia observa els astres moure respecte del seu horitzó. Construïrem un model relatiu a l'horitzó local de l'observador, UN MODEL REALMENT OBSERVACIONAL.

L'Observació de l'horitzó

Els professors de moltes branques de la ciència (mecànica, electricitat, química, biologia, etc.) poden dir que no és possible treballar de forma correcta en un centre de secundària si no es disposa d'un laboratori. En aquest sentit, els professors d'astronomia estan contents perquè ells sempre disposen d'un "laboratori d'astronomia". Tots els instituts i escoles té un lloc per als jocs dels seus alumnes: el pati. El pati no és només un punt d'esbarjo, és també un laboratori d'astronomia: és un lloc que ofereix la possibilitat de dur a terme en ell activitats pràctiques d'astronomia. Ja que si en tota escola o institut es disposa d'un laboratori, sembla oportú fer-lo servir!



Fig. 8: Representació clàssica de l'esfera celeste.

Un problema que sorgeix quan l'estudiant s'apropa al pati per desenvolupar des d'ell activitats pràctiques d'astronomia, és la diferent situació relativa de l'esfera celeste quan el professor explica dins el recinte d'una classe i quan explica fora d'ella, al pati del col·legi.

Quan el professor, sobre la pissarra, o en maquetes, parla de meridians i paral·lels, de coordenades de posició, presenta figures semblants a la figura 5. El que no representa major dificultat i els estudiants poden entendre sense problemes. Les figures que tenen els alumnes davant els seus ulls són anàlogues a les que han fet servir quan estudiaven geografia (figura 9).

Els problemes comencen quan estem observant i no apareix cap línia al cel. No es pot veure l'eix de rotació i no és senzill trobar referències en el firmament. El principal problema és que ara l'estudiant està situat a l'interior de l'esfera celeste mentre que hem presentat tota la informació a la classe mirant el cel des de l'exterior de l'esfera celeste. Llavors no resulta fàcil comprendre la nova situació vista des de dins (figura 10).

Òbviament després d'aquesta experiència podríem pensar en un canvi de la nostra presentació a l'aula. És possible fer a l'aula de classe una presentació des del punt de vista de l'interior de l'esfera. Aquesta forma de veure les coses és més similar a la situació real de l'observador, però no és bo només oferir aquesta presentació. Els estudiants han de ser capaços de poder llegir qualsevol llibre d'astronomia i poder entendre l'abstracció corresponent a l'observació de l'esfera celeste des de l'exterior, situació normal en la literatura científica. En aquestes circumstàncies, és possible pensar en construir un model per als estudiants de secundària que faci viable comparar els dos punts de vista i que també permeti "fer visibles" les línies del cel i una millor comprensió de l'propri horitzó.

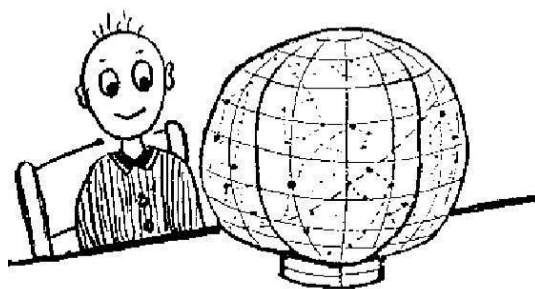


Fig. 9: L'esfera celeste des de l'exterior.

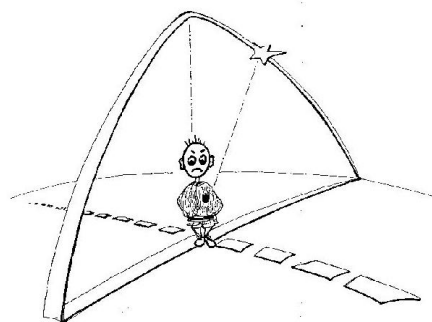


Fig. 10: L'esfera celeste des de l'interior

Model local de l'horitzó

Es comença fotografiant l'horitzó. Amb una càmera sobre un trípod, és molt senzill prendre un conjunt de fotografies de l'horitzó des d'algun lloc del pati de l'escola -si les edificacions confrontants ho permeten- o des d'una terrassa amb l'horitzó més clar. (Assenyalarem la posició del trípod marcant sobre el sòl amb pintura, per poder disposar de nou de forma exactament igual).

És molt important seleccionar molt bé el lloc perquè la idea és situar-hi el model durant cada observació. A l'agafar cada fotografia cal que l'enquadrament tingui una zona comuna en la següent fotografia, per disposar després les còpies sobre paper una sobre l'altra i obtenir l'horitzó com una cadena de fotografies amb continuïtat.

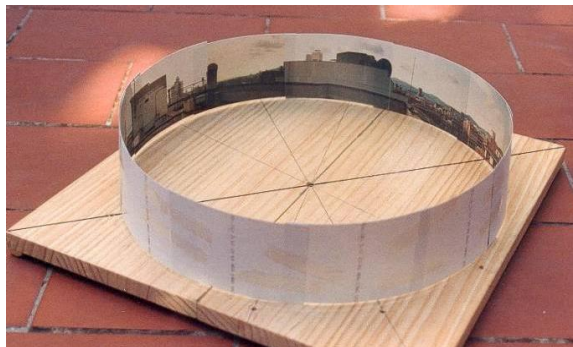


Fig. 11: L'horitzó local

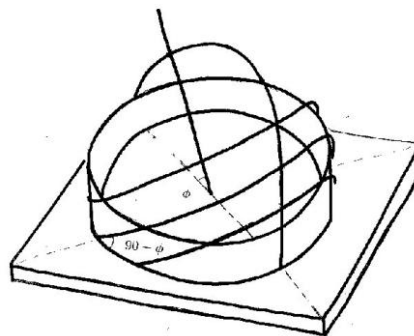


Fig. 12: Model mostrant amb la latitud i la colatitud

Quan tinguem les fotografies revelades podem fixar les còpies una a continuació de l'altra, formant un cilindre que després assentarem sobre una base quadrada de fusta en el mateix lloc on s'han realitzat les fotografies (figura 11). És molt important situar totes les fotografies acords amb l'horitzó real.

A continuació s'introdueix l'eix de rotació terrestre. Donant el valor de la latitud del lloc ϕ es pot introduir a la maqueta un filferro segons aquesta inclinació (figura 12).

Amb aquesta dada és possible fixar l'eix de rotació del model. Però com el model està orientat segons l'horitzó local, la prolongació de la corda fluixa serveix per ajudar a visualitzar l'eix real i localitzar el Pol Sud, i és útil també per imaginar la posició del punt cardinal Sud (figura 13).

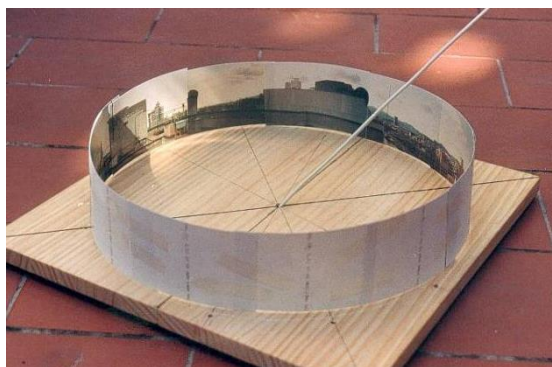


Fig. 13: Amb l'eix del món



Fig. 14: Amb el meridià del lloc

Òbviament introduir el punt cardinal Nord i el Pol Nord resulta fàcil. A continuació es pot traçar la recta Nord-Sud sobre el model i també sobre el terra del pati o la terrassa on es treballa (usant el procés normal de determinació de la recta Nord-Sud). És molt important perquè cada vegada que es vagi a utilitzar el model caldrà orientar-lo i és molt útil disposar

d'aquesta recta Nord-Sud real per facilitar la feina. (Amb una brúixola es pot comprovar aquesta direcció).

El següent objectiu consisteix a situar el meridià del lloc. El meridià local és molt fàcil de definir, però no resulta un concepte simple d'assimilar per als estudiants (potser, en part, perquè cada un té el seu meridià del lloc). Es pot fixar un filferro que passi pels punts cardinals Nord i Sud i l'eix de rotació de la Terra (figura 14). Aquest filferro és la visualització del meridià del lloc en el model, però permet imaginar sobre el cel la línia de meridià local. Ara és molt fàcil d'imaginar perquè comença en els mateixos llocs que l'estudiant pot veure en el model. El meridià local comença en el mateix edifici que a la fotografia, però a l'horitzó real, i després de passar per sobre del seu cap acabés en el mateix edifici que es visualitza gràcies a la corda fluixa en l'horitzó de fotografies.

Per introduir l'equador el procés és una mica més complicat. Una possibilitat consisteix línia Est-Oest. Aquesta solució és molt senzilla, però no aporta res des del punt de vista pedagògic. Per a la seva aplicació a l'ensenyament pot ser més convenient utilitzar de nou la fotografia. Es pot situar de nou la càmera sobre el trípede exactament en la mateixa posició en què es van prendre les fotografies de l'horitzó en la primera ocasió en què es va començar a desenvolupar la maqueta (per aquest motiu es pinta a terra les marques corresponents per poder situar el trípede de nou en el mateix lloc). Amb la càmera sobre el trípede es pren una foto de la sortida i la posta de Sol el primer dia de primavera o de tardor. En aquest cas, tindrem dues instantànies de la posició precisa dels punts cardinals Est i Oest respectivament, respecte a l'horitzó de les fotografies i òbviament sobre l'horitzó real.

L'equador es simula per mitjà d'un filferro perpendicular a l'eix de rotació terrestre que comença i acaba en els punts cardinals Est i Oest (sobre l'horitzó, a la recta perpendicular a la Nord-Sud). Però no és senzill fixar el cercle de filferro perpendicular a la corda fluixa que simbolitza l'eix de rotació, perquè l'eix de rotació està inclinat i òbviament l'equador també haurà estar-ho, però amb quina inclinació cal situar? Prendrem quatre o cinc fotografies de la sortida del Sol el primer dia de primavera o tardor. És perillós fotografiar el Sol quan aquest està bastant elevat, cal fer-ho només quan sigui possible mirar la sortida del Sol sense que ens molesti la vista. Quant molesti una mica cal deixar d'observar i de fotografiar, pot resultar perillós. Prendrem totes les fotografies realitzades amb el mateix enquadrament i fent servir un programari apropiat les sobre posem unes amb les altres (prendrem alguna referència de l'horitzó) i podrem distingir la inclinació de la mateixa Sol sobre l'horitzó. Aquesta fotografia ens servirà per introduir la inclinació apropiada a la corda fluixa que representa l'equador en el model (figura 18). Se sap els punts on fixar-lo i també la inclinació, així és que pot subjectar el filferro sobre la fusta i també subjectar amb el meridià local (figura 16).

Si es considera el Sol com una estrella més (el Sol és el més important per als observadors perquè està més pròxim, però el seu comportament no és diferent al de les altres estrelles) es pot obtenir la inclinació del moviment de les estrelles quan aquestes s'eleven o es posen respecte a l'horitzó. Per això, només cal que es captin dues fotografies d'aquest instant pròximes a el punt cardinal Est i a el punt cardinal Oest (figura 17).

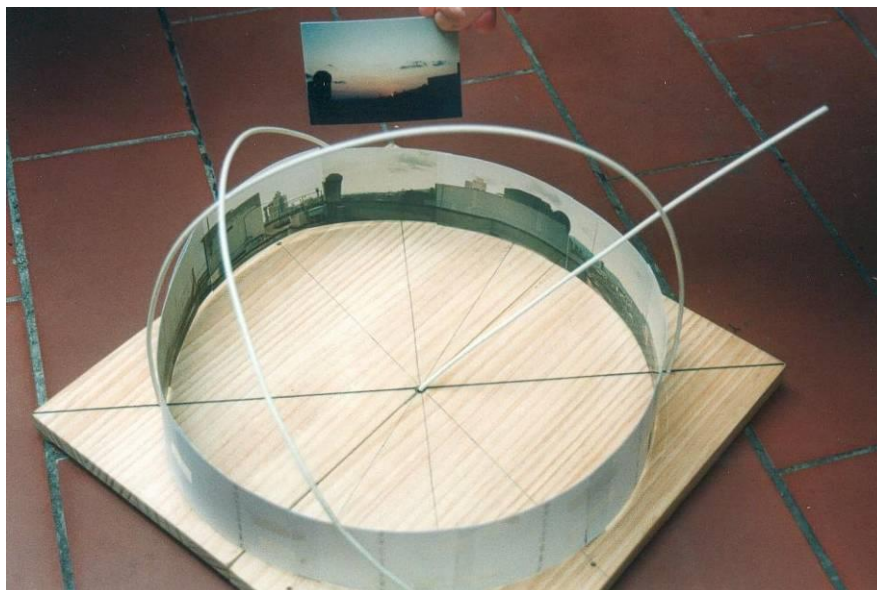


Fig. 15: Punt de posada del Sol el dia de l'equinocci de primavera o de tardor

No és possible prendre les fotografies esmentades en el paràgraf anterior si l'escola es a la ciutat. Cal sortir al camp, a un lloc prou apartat sense contaminació lluminosa. Cal captar les fotografies amb una càmera reflex, sobre un trípede i amb un disparador de cable. Uns 10 minuts de temps d'exposició són suficients. És molt important situar la càmera paral·lela a l'horitzó (es pot utilitzar un nivell per realitzar aquesta operació).



Fig. 16: Traza de la salida del Sol

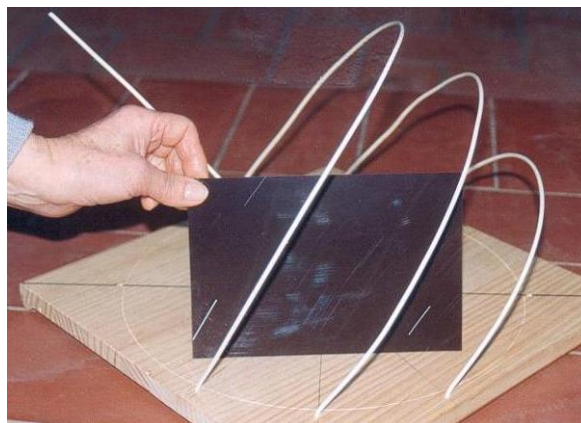


Fig. 17: Trazas de las estrellas en la zona este.

És important aprofitar aquesta ocasió per obtenir un petit repertori de fotografies. Per exemple es pot prendre una de la zona del pol donant uns 15 minuts d'exposició, una altra de la zona per sobre d'ella seguint el meridià local, una altra a continuació seguint també el mateix meridià i així successivament fins a aconseguir la fotografia que ja aquesta rasant a l'horitzó. La idea és fotografiar tot el meridià local des del Nord fins al Sud passant per sobre dels nostres caps. Evidentment el meridià local del lloc on s'ha decidit prendre les fotografies no

és el mateix que el de l'escola, però els alumnes poden comprendre aquesta petita diferència fàcilment.

Quan es tenen totes les fotografies podem construir una cinta del meridià amb totes elles. Amb aquesta cinta els estudiants poden comprendre millor el moviment de l'esfera celeste al voltant de l'eix de rotació de la Terra. És interessant veure que amb el mateix temps d'exposició la trajectòria dibuixada per una estrella canvia de longitud. És mínima en l'entorn del pol i és màxima a l'equador. També canvia de forma. A l'equador la trajectòria dibuixa una línia recta. A la zona propera a la polar les línies són corbes còncaves i per sota de l'equador són convexes. Si fem les còpies sobre paper de les fotografies prou grans, podem situar la cinta per sobre del cap de l'estudiant, el que li permetrà visualitzar i comprendre millor el moviment.

Usant les dues fotografies dels punts cardinals Est i Oest, és possible conèixer l'inclinació de les traces de les estrelles de l'equador, i per tant és possible situar el filferro que simbolitza l'equador sense problemes. Se sap els punts on fixar-lo i també la inclinació, així és que pot subjectar el filferro sobre la fusta i també subjectar amb el meridià local (figura 15).

Usant Les dues fotografies dels punts cardinals Est i Oest, és possible conèixer la inclinació de les traces de les estrelles de l'equador, i per tant és possible situar el filferro que simbolitza l'equador sense problemes. Es sap a els punts on fixar-ho i també la inclinació, Així és que es pot subjectar el filferro sobre la fusta i també subjectar amb el Meridià local (figura 15).

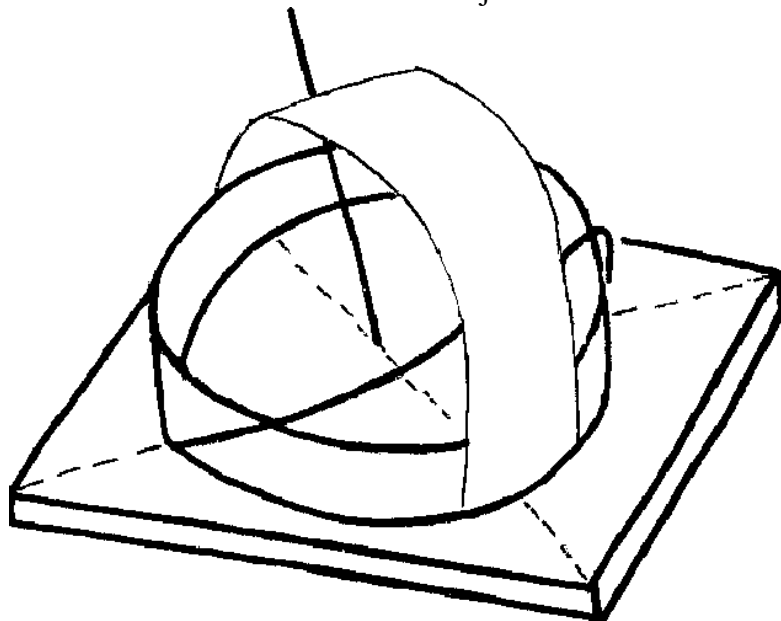


Fig. 18: El meridià local amb fotografies

Amb el model es pot oferir a l'estudiant les dues possibilitats de visualitzar l'esfera celeste des de l'interior i des de l'exterior.

Si es pren de nou dues fotografies del primer dia de l'hivern i de l'estiu quan el Sol surt i es posa, els alumnes podran veure que les situacions extremes a la seva ciutat són molt diferents.

És sorprenent la diferència que hi ha entre una i altra. També pot fixar-se els paral·lels de Càncer i de Capricorn amb les fotografies que proporciona la inclinació de l'equador, atès que els paral·lels segueixen aquesta mateixa inclinació. Amb un simple transportador és possible verificar que l'angle interior entre el paral·lel de Càncer i l'equador és aproximadament 23° , i que aquest angle és també el format entre l'equador i el paral·lel de Capricorn (figures 19 i 20)

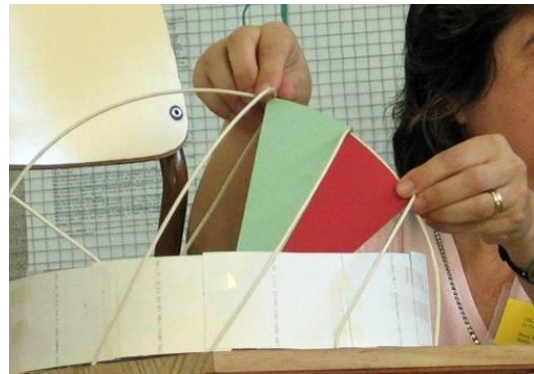
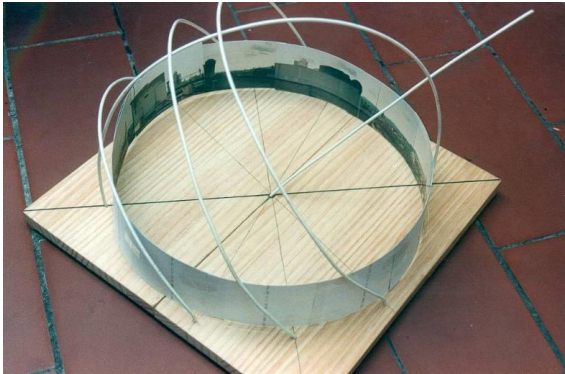


Fig. 19: Trajectòries del Sol el primer dia de cada estació. Els punts de sortida i ja no coincideixen llevat de dos dies: el dia dels equinoccis. Fig. 20: L'angle entre dues trajectòries del primer dia de dues estacions consecutives és de 23.5°

Per a la formació dels estudiants és interessant que ells puguin observar que el Sol no surt i es posa en la mateixa posició i que aquesta no sempre coincideix amb l'Est i l'Oest respectivament. Hi ha molts llibres que esmenten que el Sol surt per l'Est i es posa per l'Oest. Els estudiants poden veure que això només és cert dues vegades a l'any, però no ho és els dies restants (figures 19 i 20).

D'aquesta manera els alumnes veuen de forma pràctica i simultània, l'esfera des de l'interior (l'esfera real) i des de l'exterior (el model). Amb l'ajuda de la maqueta els estudiants poden entendre millor el seu entorn, i les activitats d'orientació realitzades des de l'escola es resolen de forma molt senzilla. També poden visualitzar la zona que correspon a el moviment del Sol, entre els paral·lels de la maqueta i imaginar-la sobre el cel i l'horitzó real de la ciutat. L'orientació es converteix en un joc de nens.

Relotges de Sol

Però hi ha altres possibilitats d'aplicació del model. La maqueta no és més que un rellotge de Sol, un gran rellotge de Sol. És fantàstic per explicar d'una manera senzilla i didàctica la construcció d'un rellotge considerant només l'horitzó i el moviment del Sol. En primer lloc és molt fàcil veure que l'eix de rotació de la Terra es converteix en l'estilet del rellotge. Si introduïm un pla en la direcció del plànol equatorial i movem una llanterna sobre el paral·lel de Càncer, es pot veure l'ombra de l'estilet (el filferro que representa l'eix de rotació terrestre) recorrent el pla del quadrant equatorial, però quan es transita amb la llanterna sobre el paral·lel de Capricorn llavors l'ombra apareix a la zona de sota el pla, i és evident que quan la llanterna se situa sobre l'equador no s'obté ombra. Així doncs resulta senzill comprovar que el rellotge equatorial funciona a l'estiu i primavera mostrant les hores sobre el pla del rellotge, a

l'hivern i tardor sota el mateix, i que hi ha dos dies a l'any en què no funciona: els dies de tots dos equinoccis.

Si es considera el pla equatorial, l'horitzontal i el vertical orientat (Est-Oest), es pot veure que la llanterna assenyala la mateixa hora en els tres quadrants (figura 21).

A més, pot observar-se quan són les hores del matí i de la tarda per al mateix estilet (l'eix de rotació terrestre). Òbviament és la mateixa hora en els tres rellotges. Es comprova fàcilment en quina zona cal dibuixar les hores del matí i de la tarda a cada rellotge. (Tots els professors han rebut alguna vegada les hores malament dibuixades en un rellotge solar; usant aquest model això ja no succeeix).

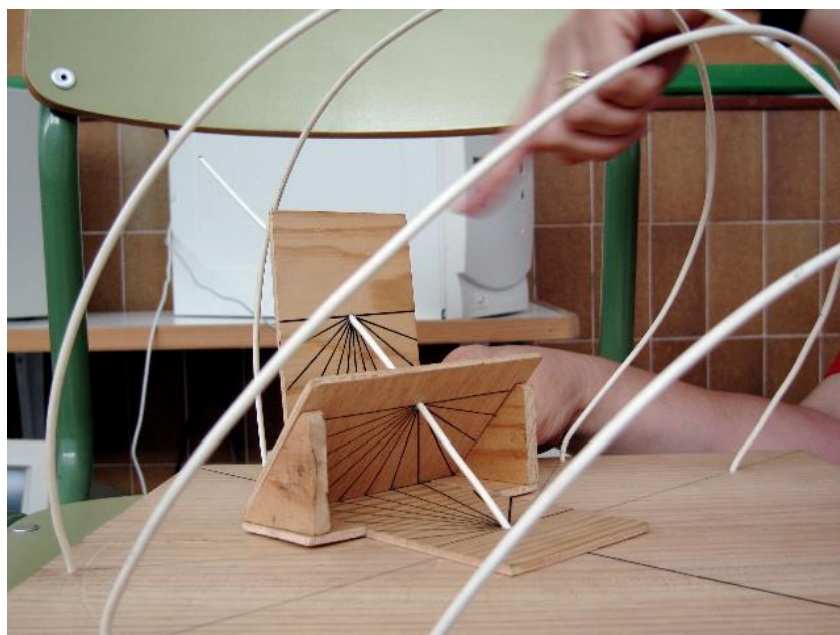


Fig. 21: El model és un enorme rellotge de Sol. Es poden considerar de tres tipus.

Al moure la llanterna sobre els paral·lels de Capricorn i Càncer es veu fàcilment que el raig de llum emès per la llum produeix sobre el pla una cònica diferent. En el primer cas (el primer dia d'estiu) la cònica és gairebé una circumferència i l'àrea tancada és clarament més petita que en el segon cas. Quan se segueix l'altre paral·lel (primer dia d'hivern) la secció és el·líptica i l'àrea tancada és molt més gran.

Lavors els alumnes poden comprendre que la radiació està més concentrada en la primera situació, és a dir, que la temperatura superficial és més gran a l'estiu, i com que també és evident en el model que el nombre d'hores d'insolació solar és més gran, la conseqüència natural és que a l'estiu fa més calor que a l'hivern (figura 22).

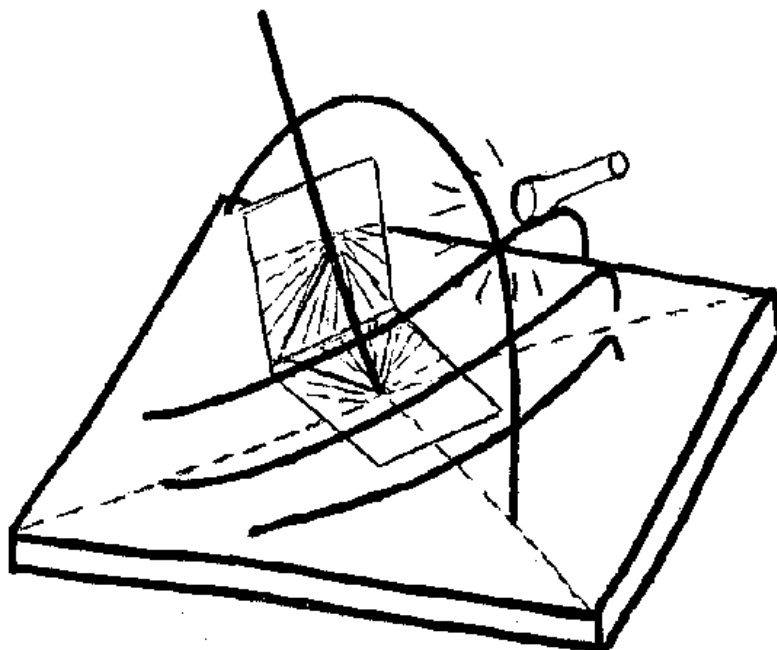


Fig. 22: Els rellotges i les estacions

Aprofitarem aquesta oportunitat per esmentar alguns elements que cal conèixer per poder construir un rellotge de Sol.

El rellotge equatorial és molt senzill de realitzar. Només cal situar l'estilet en la direcció de l'eix de rotació terrestre, és a dir en la direcció Nord-Sud (una brúixola ens pot ajudar a fer-ho) i amb una alçada sobre el pla de l'horitzó igual a la latitud de el lloc (figures 23 i 24). El estilet de qualsevol rellotge se situés sempre de la mateixa manera.

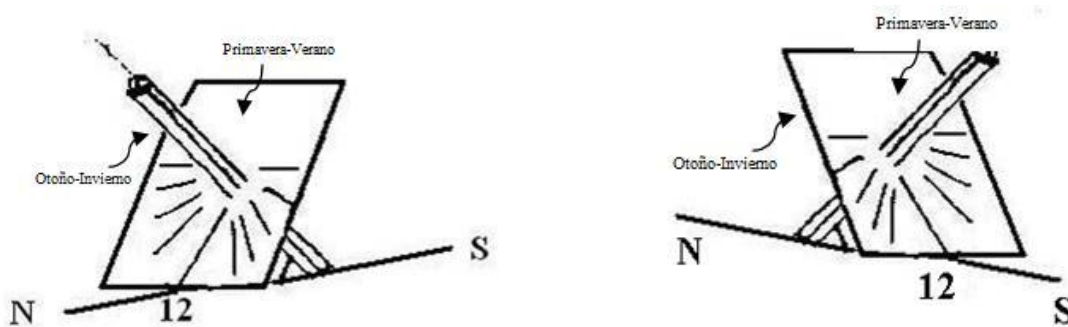


Fig. 23: Rellotge equatorial en estació (hemisferi nord). Fig. 24: Rellotge equatorial en estació (hemisferi sud).

Les línies horàries de el rellotge equatorial es dibuixessin a 15 graus (figura 25), ja que el Sol dóna una volta de 360° en 24 hores. Si dividim $360/24 = 15^\circ$ cada hora.

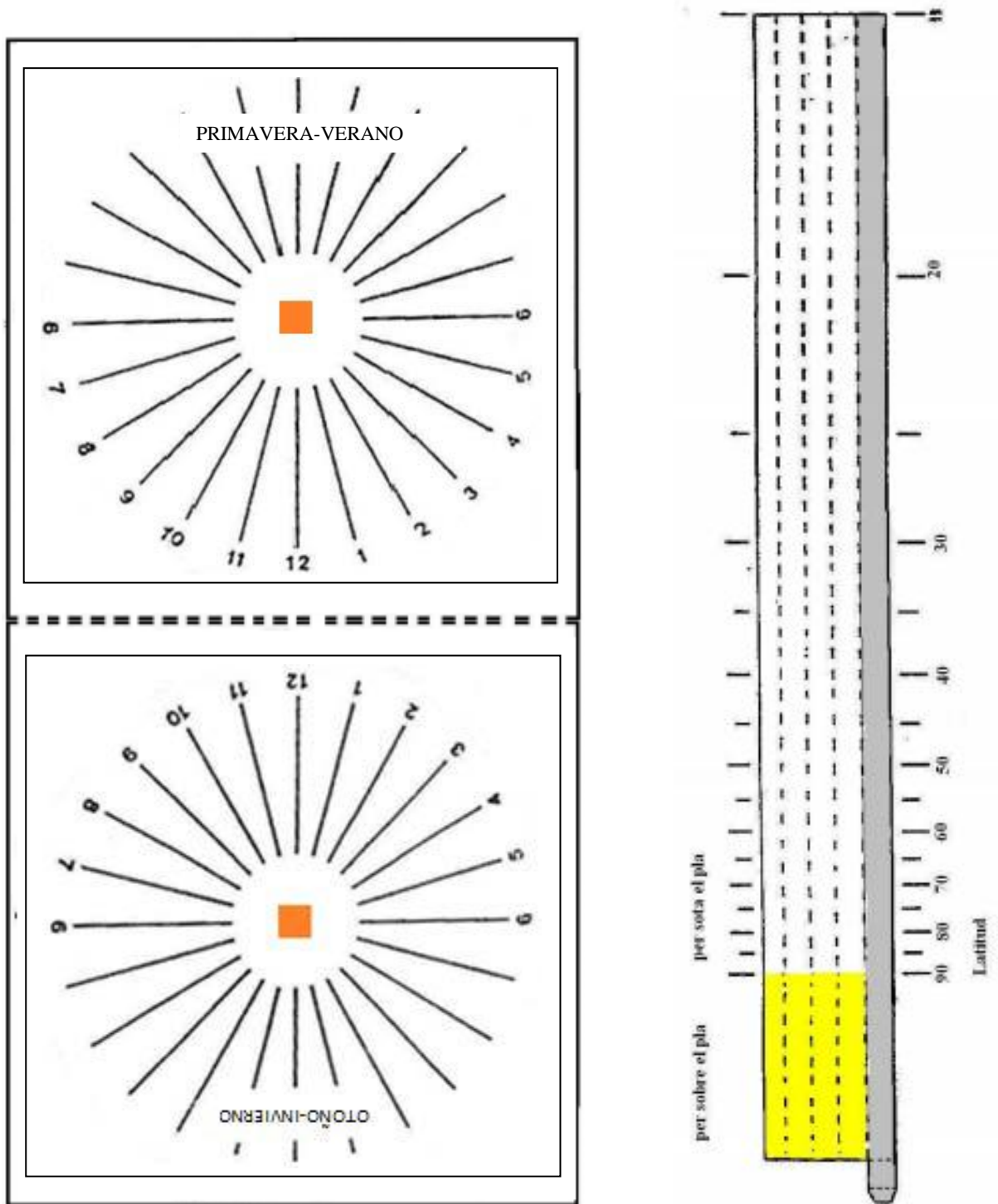


Fig. 25: Retallable del rellotge equatorial

Les línies horàries d'un rellotge horitzontal o vertical orientat s'obtenen per projecció de l'equatorial, sense més de considerar la latitud de el lloc (figures 26a, 26b, 26c i 26d).

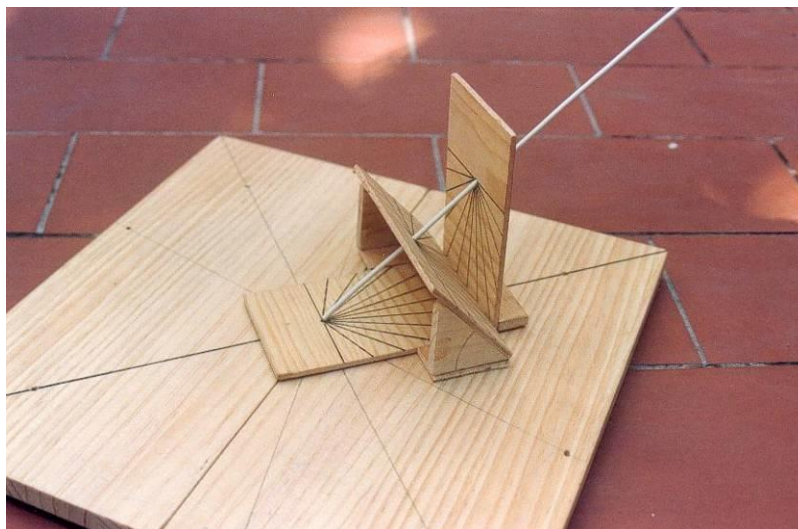
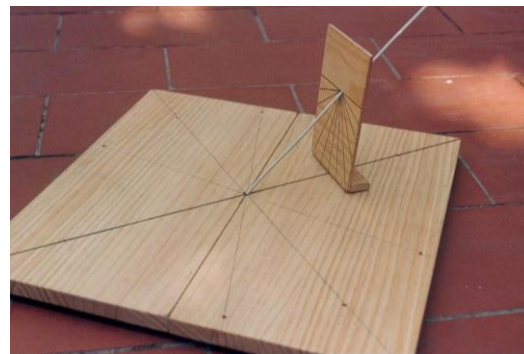
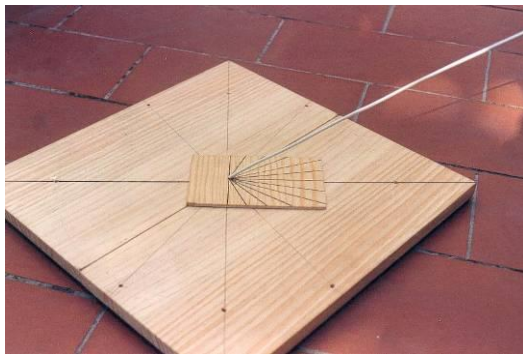
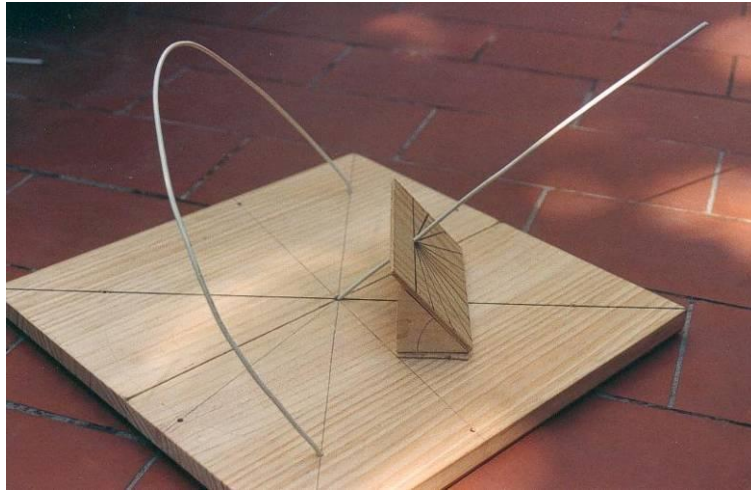


Fig. 26a, 26b, 26c y 26d: Diverses instantànies dels tres rellotges.

Temps solar i temps de el rellotge de "canell"

Els rellotges de Sol donen el temps solar, que no és el mateix que figura en els rellotges que tots fem servir en la nostra canell. Cal considerar diversos ajustos

Ajust de Longitud

El món es divideix en 24 zones de temps a partir del primer meridià o meridià de Greenwich. Per fer l'ajust de longitud cal conèixer la longitud local i la longitud del meridià "Standard" de la seva zona. S'afegeix amb signe + cap a l'Est i amb signe - cap a l'Oest. Cal expressar les longituds en hores minuts i segons (1 grau = 4 minuts de temps).

Ajust d'estiu / hivern.

Gairebé tots els països tenen el temps d'estiu i el d'hivern. Se sol afegir una hora a l'estiu. El canvi d'horari d'estiu / hivern és una decisió de govern de país.

Ajust de l'Equació de Temps

La Terra gira al voltant de el Sol segons la llei de les àrees, és a dir, no és un moviment constant, la qual cosa significa un seriós problema per als rellotges mecànics. Així doncs, es defineix el temps mitjà (dels rellotges mecànics) com la mitjana al llarg d'un any complet de el temps. L'Equació de Temps és la diferència entre el «Temps Solar Reial» i el «Temps Mitjà». Aquesta equació apareix tabulada a la taula 1.

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

Taula 1: Equació de Temps

Temps Solar + Ajust Total = Temps de el rellotge de canell

Exemple 1: Barcelona (Espanya) el 24 de Maig.

Ajust	Comentari	Resultat
1. Longitud	Barcelona es en la mateixa zona "Standard" que Greenwich. La longitud es $2^{\circ}10'E = 2.17^{\circ} E = -8.7m$ (1° es equivalent a 4 m)	-8.7 m
2. Horari d'estiu	Maig te horari d'estiu +1h	+ 60 m
3. Equació de Temps	Llegim la taula pel 24 de Maig	-3.6 m
Total		+47.7 m

Per exemple a les 12h de temps solar, els nostres rellotges de "canell" marquen
(*Temps solar*) $12h + 47.7 m = 12h 47.7 m$ (*Temps del rellotge de canell*)

Exemple 2: Tulsa Oklahoma (Estats Units) 16 de Novembre.

Ajust	Comentari	Resultat
1. Longitud	El meridià "Standard" de Tulsa esta a $90^{\circ} W$. La longitud es $95^{\circ}58'W = 96^{\circ} W$, llavors esta a $6^{\circ} W$ des del meridià "Standard" (1° es equivalent a 4 m)	+24 m
2. Horari d'estiu	Novembre no te horari d'estiu	
3. Equació de Temps	Llegim la taula pel 16 de Novembre	-15.3 m
Total		+ 8.7 m

Per exemple a las 12h de temps solar, els nostres rellotges de "canell" marquen
(*Temps solar*) $12h + 8.7 m = 12h 8.7 m$ (*Temps del rellotge de canell*)

L'orientació

Un altre problema que es pot observar en els alumnes és el vinculat a les seves dificultats d'orientació. En un curs d'astronomia general, cal aconseguir instruir-los en el sentit de l'orientació. És possible que els nostres alumnes mai estudiïn novament astronomia. El mínim resultat que cal esperar d'un curs (únic) d'astronomia consisteix en què els alumnes siguin capaços de reconèixer on és el Nord, saber que la trajectòria de el Sol està sobre l'horitzó sud i que els planetes es mouen sobre aquest horitzó, i en particular que puguin ubicar els diferents accidents geogràfics de la seva ciutat. Per exemple, sobre l'horitzó de Barcelona (figures 27a i 27b) els estudiants poden considerar diverses possibilitats relatives a la posició de el Sol, la Lluna i certes constel·lacions sobre l'horitzó. Les dues muntanyes que nosaltres veiem estan aproximadament en posició oposada. Però per als estudiants això no vol dir res i normalment els costa distingir que certs dibuixos són possibles mentre que altres no es poden donar mai. Ells coneixen la teoria, però la pràctica no és suficient si ells no entenen les diferents possibilitats.

La utilització del model pensat per resoldre els inconvenients esmentats a l'apartat anterior va resultar molt eficient per aclarir moltes qüestions relatives a l'orientació en l'horitzó local d'una manera que inicialment no estava prevista.

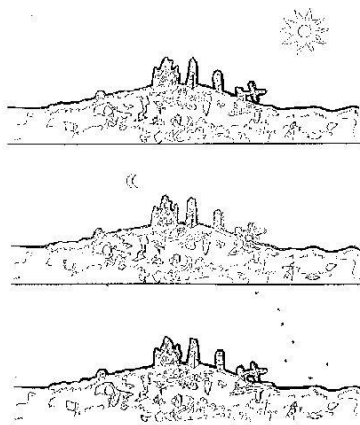


Fig. 27a: Horitzó Nord-oest de Barcelona.

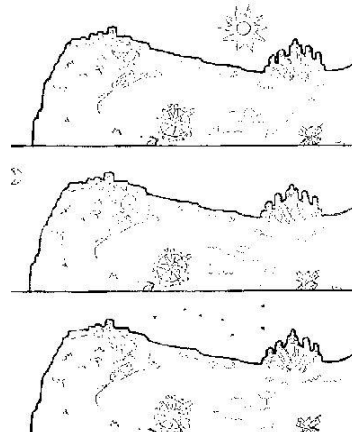


Fig. 27b: Horitzó Sud-oest de Barcelona.

És bo esmentar que aquest model és útil per explicar la situació local de l'esfera celeste durant el dia i durant la nit. Realment serveix per comprendre millor el moviment de el Sol (i d'altres membres de l'Sistema Solar que es mouen a la zona propera). Usant el model proposat, els alumnes entenen que un astre brillant a la zona de la Polar o de la Creu de Sud mai pot ser un planeta.



Fig. 28a: El model realitzat amb alumnes de primària.



Fig. 28b: El model a gran escala al Parc de les Ciències de Granada.

És una bona inversió produir un model com el explicat a gran escala. En aquest cas els alumnes, i fins i tot els adults poden ficar-se dins i verificar la posició de el Sol en comparació amb equador i els paral·lels que corresponen a el primer dia dels solsticis d'estiu i hivern (figura 28a). En alguns museus de la ciència ja s'han construït aquest tipus de model (figura 28b).

Després d'usar el model els alumnes poden destriar continguts que abans no se'ls haurien ocorregut. Els queda, per exemple, molt clar que el Sol no surt i es posa perpendicularment a l'horitzó excepte en l'equador.

Bibliografia

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