



Geometría de luces y sombras



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

Geometría de Luces y Sombras

Astronomía de posición para la vida cotidiana

NASE Network for Astronomy School Education

Red para la Educación Astronómica en la Escuela

Grupo de Trabajo de la Comisión de Educación y Desarrollo de la IAU

Auspiciado por el Grupo de Trabajo "Cosmic Light" de la IAU

IAU International Astronomical Union

Editoras: Rosa M. Ros y Beatriz García



Primera edición: Julio 2014

©: NASE

©: Francis Berthomieu, Beatriz García, Mary Kay Hemenway, Ricardo Moreno, Jay M. Pasachoff,, Rosa M. Ros, Magda Stavinschi, 2014 por el texto

Edición: Rosa M. Ros y Beatriz García

Diseño Gráfico: Maria Vidal

Impreso en la UE

ISBN: 978-84-15771-40-1

Imprime:
Albedo Fulldome, S.L



Índice

Introducción	3
Historia de la Astronomía	5
Sistema Solar	22
Horizonte Local y Relojes de Sol	45
Simuladores del Movimiento	62
Sistema Tierra-Luna-Sol: Fases y Eclipses	86
Maletín del Joven Astrónomo	100
Planetas y Exoplanetas	117
Preparación de Observaciones	139

Introducción

Enseñar no es transferir conocimiento, es crear la posibilidad de producirlo, Paulo Freire

La Red para la Enseñanza de la Astronomía en la Escuela (Network for Astronomy School Education, NASE) tiene por objetivo fundamental el desarrollo de cursos de formación de calidad en todos los países interesados por fortalecer la astronomía en diferentes niveles de educación. Para ello, propone incorporar temas vinculados con la disciplina en distintos espacios curriculares que permitan introducir a los jóvenes en las ciencias a través de la aproximación al estudio del Universo. La presencia de la astronomía en las escuelas es fundamental y va de la mano de la formación del profesorado.

En las actividades propuestas por NASE se potencia la participación activa, la observación, y la realización de modelos que permitan comprender mejor los contenidos científicos sobre tres premisas fundamentales: los talleres deben ser a coste cero, las actividades pueden completarse en el tiempo de una clase y no es necesario tener un laboratorio especial en la institución. Todas las escuelas tienen un patio, se propone usar este patio como “laboratorio de astronomía” para poder realizar observaciones y hacer que los estudiantes sean los grandes protagonistas en la tarea de aprender.

La base de la astronomía es el estudio científico de la luz, ya sea a partir de la radiación que llega de los objetos celestes (producida por ellos o reflejada) o bien a partir del estudio físico de la misma. Las aplicaciones de la energía electromagnética en la tecnología han significado un cambio fundamental en la vida de los seres humanos.

Una notable serie de hitos en la historia de la ciencia de la luz nos permiten asegurar que su estudio cruza transversalmente a las ciencias y la tecnología. En 1815, en Francia Fresnel expuso la teoría del carácter ondulatorio de la luz; en 1865, en Inglaterra Maxwell describió la teoría electromagnética de la luz, precursora de la relatividad; en 1915, en Alemania Einstein desarrolló la Relatividad General que confirmó el papel central de la luz en el espacio y en el tiempo, y en 1965, en Estados Unidos Penzias y Wilson descubrieron el fondo cósmico de microondas, remanente fósil de la creación del Universo. Por otra parte, en 2015 se cumplirán 1000 años desde que se publicaran los grandes trabajos de Ibn al-Haytham sobre la óptica, en la Edad de Oro islámica.

La luz, la energía electromagnética en general, condición necesaria y suficiente para la vida, ha marcado la evolución sobre el planeta, ha modificado nuestras vidas y constituye una herramienta poderosa que es necesario conocer para usarla adecuadamente.

NASE propone dos textos monográficos, ***Geometría de luces y sombras*** y ***Luces del Cosmos***, para poner en valor las posibilidades que brinda la luz a la hora de enseñar conceptos en distintas áreas de las ciencias exactas y naturales, desde las matemáticas a la biología y para crear conciencia sobre los grandes logros y descubrimientos de la Humanidad relacionados con la luz y la necesidad del uso responsable de esta energía para el balance sobre la Tierra.

Si bien los textos pueden ser trabajados de manera independiente, ambos abarcan todos los temas de astronomía y astrofísica que se encuentran en los programas de educación de todo el Globo.

Para saber más acerca de los cursos desarrollados en diferentes países, de las actividades y nuevos cursos que han surgido después del curso inicial, invitamos al lector a dirigirse a la página web de

NASE (<http://www.naseprogram.org>). El programa no se limita a dar los cursos básicos de formación, sino que promueve a la formación de grupos de trabajo con profesores locales, que es lo que mantiene la llama encendida de esta propuesta, crea nuevos materiales y nuevas actividades que se ponen a disposición de la red internacional en Internet. El material complementario de NASE ofrece un universo de posibilidades al profesor que ha seguido los cursos básicos, que le permite ampliar sus conocimientos y seleccionar nuevas actividades para desarrollar en sus propios cursos e instituciones.

El objetivo primordial de NASE es hacer astronomía entre todos para entender y disfrutar con el proceso de asimilación de nuevos conocimientos.

Finalmente, queremos agradecer a todos los autores su colaboración en la preparación de los materiales. También destacar la gran ayuda recibida para realizar traducciones y contrastar las dos versiones de este libro (español/ inglés), así como preparar y revisar figuras y gráficos a: Ligia Arias, Barbara Castanheira, Lara Eakins, Jaime Fabregat, Keely Finkelstein, Irina Marinova, Néstor Marinozzi, Erin Mentuch Cooper, Isa Oliveira, Cristina Padilla, Silvina Pérez, Claudia Romagnolli, Colette Salyk, Viviana Sebben, Oriol Serrano, Rubén Trillo y Sarah Tuttle.

Historia de la Astronomía

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

International Astronomical Union, Williams College (Massachusetts, USA),
Instituto Astronómico de la Academia Rumana (Bucarest, Rumania), Universidad
de Texas (Austin, USA)

Resumen

Esta breve reseña de la Historia de la Astronomía ofrece una descripción de la presencia en todos los pueblos de la astronomía desde sus orígenes, seguido de un resumen de los acontecimientos clave en el desarrollo de la astronomía en Europa occidental hasta la época de Isaac Newton.

Objetivos

- Dar una visión general de la historia de la astronomía en diferentes áreas del globo de una manera superficial, pero con el objetivo de mostrar que la astronomía ha sido y es de interés para todos los pueblos.
- Mencionar las grandes figuras de la historia de la astronomía que dieron un vuelco a la forma de enfocar dicha materia hasta llegar a Newton: Tycho-Brahe, Copérnico, Kepler y Galileo.
- La brevedad necesaria en una conferencia no permite desarrollar la historia de la astronomía en nuestros días, pero estos contenidos están presentes en otros capítulos de este libro.

Pre-Historia

Con el cielo oscuro, los pueblos antiguos podían ver las estrellas: se levantaban en la parte oriental del cielo, se movían hacia arriba, y se ponían en el oeste. En una dirección, las estrellas se movían en círculos diminutos. Hoy en día, cuando miramos hacia el norte, vemos una estrella en esa posición - la Estrella del Norte, o Polar. No es una estrella muy brillante: 48 estrellas en el cielo son más brillantes que ella, pero esta en un lugar interesante. En tiempos antiguos, otras estrellas se alinearon con el Polo Norte de la Tierra, o, a veces, no había estrellas en la vecindad del polo.

Desde que la gente comenzó a mirar el cielo, se dio cuenta de que algunos de los objetos más brillantes no salen y se ponen exactamente con las estrellas. Por supuesto, la Luna es, de lejos, el objeto más brillante del cielo nocturno. Se eleva casi una hora más tarde cada noche, y

aparece en un contexto diferente de las estrellas. Su forma también cambia, lo que ahora llamamos fases.

Pero algunas de estas luces en el cielo se mueven de forma diferente de las otras. Estas fueron llamadas errantes o planetas por los griegos. Prácticamente todas las civilizaciones de la Tierra se dieron cuenta, y nombraron, estos objetos.

Algunos pueblos antiguos construyeron monumentos como círculos, como Stonehenge en Inglaterra, o tumbas como las de Menorca, en España, que estaban alineadas con la Cruz del Sur en 1000 a.C. Los babilonios fueron grandes estudiosos de los fenómenos astronómicos, pero fueron los griegos los que construyeron la disciplina que trata de explicar el firmamento.

Los griegos

La mayoría de los griegos antiguos, como Aristóteles (384 a.C - 322 a.C), pensaban que la Tierra estaba en el centro del Universo, y que éste estaba hecho de cuatro elementos: Tierra, Aire, Fuego y Agua. Más allá de la Tierra estaba un quinto elemento, el éter (o quinta esencia), que constituía los puntos de la luz en el cielo.

Se dieron cuenta de que algunos de los objetos se movían de forma diferente al resto de las estrellas. Estos se bautizaron como "errantes" o planetas. En su mayoría, se mueven en la misma dirección que las estrellas: salen por el este y se dirigen hacia el oeste. Pero a veces, parece que hagan una pausa y vayan hacia atrás con respecto a las estrellas. Este movimiento hacia atrás se llama movimiento "retrógrado", para diferenciarlo del movimiento hacia adelante, llamado "directo".

El astrónomo griego Claudio Ptolomeo (90-168) trabajó en Alejandría en el norte de África en el siglo II d.C. Ptolomeo quería ser capaz de predecir las posiciones de los planetas y llegó a una solución matemática. Siguiendo a Aristóteles, puso a la Tierra en el centro del Universo. La Luna y los planetas estaban a su alrededor en círculos anidados que se hacían grandes con la distancia a la Tierra. ¿Qué pasaría si los planetas se movieran realmente en pequeños círculos cuyos centros estuvieran en los círculos grandes? Entonces, en algunos de los movimientos de los pequeños círculos, estarían moviendo más rápidamente hacia atrás que los centros de estos círculos se mueven hacia adelante. Para nosotros, desde la Tierra, veríamos que los planetas se mueven hacia atrás. Esos pequeños círculos se llaman "epiciclos", y los grandes círculos se llaman "deferentes". La idea de Ptolomeo de que los círculos se mueven en círculos tuvo influencia en la ciencia occidental por más de un millar de años. Yendo desde la observación a la teoría del uso de las matemáticas fue un paso único e importante en el desarrollo de la ciencia occidental.

A pesar de que no tenían los mismos nombres para los objetos que observaron, prácticamente todas las culturas en la Tierra miraban el cielo. Ellos usaron la información para establecer calendarios y predecir los ciclos de las estaciones para la siembra, la cosecha, o la caza, así como las ceremonias religiosas. Como los griegos, algunos de ellos desarrollaron las matemáticas muy sofisticadas para predecir los movimientos de los planetas o eclipses, pero esto no quiere decir que se trató, de lo que podríamos llamar, una teoría científica. He aquí algunos ejemplos:

África

Se situaron piedras de pie en Nabta, en el Desierto de Nubia, unos 1000 años antes de Stonehenge. Los egipcios utilizaron la astronomía para alinear sus pirámides, así como ampliar sus creencias religiosas al incluir la ciencia de las estrellas. Petroglifos en Namoratunga (Kenia) que comparten aspectos de marcas de ganado. La tradición de las estrellas viene de todas las áreas de África, de la región de Dogon de Malí, de África occidental, de Etiopía y de Sudáfrica.

Astronomía islámica

Muchos adelantos astronómicos se hicieron en el mundo islámico, especialmente durante la Edad de Oro Islámica (de los siglos VIII al XV), y en su mayoría escritos en su lengua árabe. Gran parte se desarrolló en el Oriente Medio, Asia Central, Al-Andalus, el norte de África, y más tarde en el Lejano Oriente y la India. Un número significativo de estrellas en el cielo, como Aldebarán y Altair, y términos astronómicos, tales como alidada, azimut, almucantar, todavía se mencionan por sus nombres árabes. Los árabes inventaron los números arábigos, incluyendo el uso del cero. Ellos estaban interesados en determinar la posición del Sol y la hora del día (ya que era útil para sus servicios religiosos). También hicieron muchos descubrimientos en óptica. Gran número de obras en griego se han conservado para la posteridad a través de sus traducciones al árabe.

Las primeras observaciones sistemáticas en el Islam se llevaron a cabo bajo el patrocinio de Al-Maamun (786-833). Aquí, y en muchos otros observatorios privados de Damasco a Bagdad, se midieron los grados del meridiano, se establecieron los parámetros solares y se emprendieron observaciones detalladas del Sol, la Luna y los planetas. Algunos instrumentos usados por la Astronomía Islámica fueron: globos celestes y esferas armilares, astrolabios, relojes de sol y cuadrantes.



Fig. 1: Astrolabio Árabe

Las Américas:

Norte América

Los pueblos nativos de América del Norte también dieron nombre a sus constelaciones del cielo y contaban historias que se transmitían a través de la tradición oral. Algunos artefactos, tales como ruedas de piedra o los alineamientos en la construcción, permanecen como evidencia de su uso de la astronomía en la vida cotidiana.

Astronomía maya

Los mayas fueron una civilización mesoamericana, que destaca por ser la única, que tuvo lengua escrita, totalmente desarrollada de la América precolombina, arte, arquitectura, matemáticas y sistemas astronómicos. Desde los primeros tiempos, durante el período Preclásico (c. 2000 a.C a 250 d.C), las ciudades mayas alcanzaron su más alto grado de desarrollo durante el periodo Clásico (c. 250 d.C a 900 d.C), y continuó durante todo el período post-clásico hasta la llegada de los españoles. Los pueblos mayas no desaparecieron, ni en el momento de la disminución del período Clásico, ni con la llegada de los conquistadores españoles y la posterior colonización española de las Américas.

La astronomía maya es una de las astronomías conocidas más antiguas en el mundo, sobre todo debido a su famoso calendario, mal interpretado ahora como la predicción del fin del mundo. La maya parece ser la única pre-telescópica civilización que demuestra el conocimiento de la Nebulosa de Orión como difusa, es decir, no un puntito estelar.



Fig. 2: Chichén Itzá (México) son unos importantes restos arqueológicos de la astronomía maya.

Los mayas estaban muy interesados en los pasajes cenitales, el momento en que el Sol pasa directamente sobre la cabeza del observador. Las latitudes de la mayoría de sus ciudades se encuentran por debajo del Trópico de Cáncer, estos pasajes cenitales tendrían lugar dos veces al año a igual distancia del solsticio. Para representar esta posición del Sol sobre sus cabezas,

los mayas tenían un dios llamado Dios Descendente.

Venus era el objeto astronómico más importante para los mayas, incluso más que el Sol. El calendario maya era un sistema de calendarios y almanaques utilizados en la civilización maya de la Mesoamérica precolombina, y en algunas comunidades mayas modernas en el altiplano de Guatemala y Oaxaca, México. Aunque el calendario mesoamericano no se originó con los mayas, sus posteriores ampliaciones y mejoras fueron las más sofisticadas. Junto con los de los aztecas, los calendarios mayas son los mejor documentados y más entendidos.

Astronomía azteca

Los aztecas eran grupos étnicos del centro de México, en particular los grupos que hablaban la lengua náhuatl y que dominaron gran parte de Mesoamérica en los siglos XIV, XV y XVI, en un período conocido como el post-clásico tardío en la cronología mesoamericana.

La cultura y la historia azteca son conocidas, principalmente, a través de las pruebas arqueológicas encontradas en excavaciones como la del famoso Templo Mayor en Ciudad de México y en muchas otras, también es conocida por los códices indígenas de corteza de papel, desde relatos de testigos por los conquistadores españoles o por descripciones de los siglos XVI y XVII de la cultura azteca y la historia escrita por clérigos españoles y letrados aztecas que sabían el idioma español o náhuatl.

El Calendario Azteca o Piedra del Sol, es el primer monolito de lo que queda de la cultura pre-hispánica en Centroamérica y Sudamérica. Se cree que fue tallado entorno al año 1479. Este es un monolito circular con cuatro círculos concéntricos. En el centro aparece el rostro de Tonatiuh (Dios Sol), adornado con Jade y sosteniendo un cuchillo en la boca. Los cuatro soles o "mundos" anteriores están representados por figuras de forma cuadrada que flanquean el Quinto Sol, en el centro. El círculo exterior consta de 20 áreas que representan los días de cada uno de los 18 meses que conformaron el calendario azteca. Para completar el año solar de 365 días, los aztecas incorporaron 5 días de sacrificio, o Nemontemi.

Al igual que casi todos los pueblos antiguos, los aztecas agruparon en asociaciones las estrellas aparentemente brillantes (las constelaciones): Mamalhuaztli (Cinturón de Orión), Tianquitzli (las Pléyades), Citlaltlactli (Géminis), Citlalcolotl (Escorpio) y Xonecuilli (La Osa Menor, o Cruz del Sur para otros, etc). Los cometas fueron llamados "las estrellas que fuman."

Los grandes períodos de tiempo en la cosmología azteca están definidos por las eras de soles diferentes, cada uno de los finales fue determinado por desastres cada vez más importantes, como la destrucción de los jaguares, huracanes, incendios, inundaciones o terremotos.

Astronomía Inca

La civilización Inca es una civilización pre-colombina del Grupo Andino. Empieza a principios del siglo XIII en la cuenca del Cuzco, en el actual Perú, y luego creció a lo largo del Océano Pacífico y los Andes, cubriendo la parte occidental de América del Sur. En su

apogeo, se extendió desde Colombia hasta Argentina y Chile, a través del Ecuador, Perú y Bolivia.

Los incas consideraban que su Rey, Sapa Inca, el "hijo del Sol". Sus miembros identificaban varias áreas oscuras o nebulosas oscuras en la Vía Láctea como animales, y se asociaba su aparición con las lluvias estacionales.

Los incas usaron un calendario solar para la agricultura y un calendario lunar para las fiestas religiosas. Según las crónicas de los conquistadores españoles, en las afueras de Cuzco, en el actual Perú había un gran calendario, que consistía en 12 columnas de 5 metros de altura cada una que se podían ver desde lejos. Con eso, la gente podía saber la fecha. Celebraban dos grandes fiestas, el Inti Raymi y Capac Raymi, el solsticio de invierno y verano, respectivamente.

Los incas tenían sus propias constelaciones: el Yutu (perdiz) era la zona oscura de la Vía Láctea que llamamos el Saco de Carbón. Llamaron a las Pléyades cúmulo Qollqa. Con las estrellas de la constelación de Lyra, hicieron un dibujo de uno de los animales más conocidos por ellos, y lo llamaron Pequeña Llama de Plata o Llama de color, cuya estrella más brillante (Vega) fue Urkuchillay, aunque según otros, ese era el nombre de toda la constelación. Por otra parte estaban los Machacuay (serpiente), la Hamp'atu (sapo), la Atoq (Fox), el Kuntur, etc.

Las grandes ciudades se elaboraron siguiendo las alineaciones celestes y el uso de los puntos cardinales.

En las afueras de Cuzco, había un importante templo dedicado al Sol (Inti), del que salían algunas líneas de forma radial que dividían el valle en 328 templos. Ese número es todavía un misterio, pero una posible explicación lo relaciona con la astronomía: coincide con los días que contienen doce meses lunares. Y los 37 días que faltan hasta los 365 días del año solar coincide con los días en que el cúmulo de las Pléyades no es observable desde el Cuzco.

India

La primera mención textual que se da en la literatura religiosa de la India (segundo milenio a.C) se convirtió en una tradición establecida por el primero milenio a.C, cuando las distintas ramas auxiliares de la educación comenzaron a tomar forma.

Durante los siguientes siglos, una serie de astrónomos indios estudiaron varios aspectos de las ciencias astronómicas, y siguieron un discurso global con otras culturas. Gnomons y esferas armilares eran instrumentos comunes.

El calendario hindú utilizado en la antigüedad ha sufrido muchos cambios en el proceso de regionalización, y hoy en día existen varios calendarios regionales de la India, así como un calendario nacional. En el calendario hindú, el día comienza con la salida del Sol local. Se le adjudicarán cinco "propiedades", llamada angas.

La eclíptica se divide en 27 nakshatras, que se llaman indistintamente casas lunares o

asterismos. Estas reflejan el ciclo de la luna contra las estrellas fijas, de 27 días y 72 horas, siendo la parte fraccionaria compensada intercalando un nakshatra 28. Los cálculos de los nakshatra parecen haber sido bien conocidos en época del Rig Veda (segundo y primer milenio a.C).

China

Los chinos podrían ser considerados como los observadores más persistentes y precisos de los fenómenos celestes en cualquier parte del mundo antes de los árabes. Hicieron registros detallados de las observaciones astronómicas que se iniciaron durante el período de los Reinos Combatientes (siglo IV a.C) y prosperaron a partir del período Han.

Algunos elementos de la astronomía india llegaron a China con la expansión del budismo después de la Dinastía Han (25-220), pero la incorporación más detallada de la Astronomía India ocurrió durante la dinastía Tang (618-907).

La astronomía se revitalizó bajo el estímulo de la cosmología y la tecnología occidental después de que los jesuitas establecieron sus misiones. El telescopio se introdujo en el siglo XVII. El equipo y la innovación utilizada por la astronomía China: esfera armilar, globo celeste, la esfera armilar de accionamiento hidráulico y la torre del globo celeste.

La astronomía china se centró más en las observaciones que en la teoría. Según los escritos de los jesuitas, que visitaron Pekín en el siglo XVII, los chinos tenían datos desde el año 4000 a.C, entre ellos la explosión de las supernovas, los eclipses y la aparición de cometas.

En el año 2300 a.C, desarrollaron el primer calendario solar conocido, y en el año 2100 a.C registraron un eclipse solar. En el año 1200 a.C describieron manchas solares, que llamaron "puntos oscuros" en el Sol. En el año 532 a.C, dejaron evidencia de la aparición de una estrella supernova en la constelación del Águila, y en los 240 y 164 a.C dejaron evidencia del paso del cometa Halley. En el 100 a.C los chinos inventaron la brújula con la que marcaron la dirección norte.

Y en tiempos más recientes, determinaron que la precesión de los equinoccios era de 1 grado cada 50 años, registraron más supernovas y encontraron que la cola de los cometas siempre apunta en la dirección opuesta a la posición del Sol.

En el año 1006 se observó la aparición de una supernova tan brillante que podía verse durante el día. Se trata de la supernova más brillante que ha sido reportada. Y en 1054, se observó una supernova, los restos de lo que más tarde se llamaría la Nebulosa del Cangrejo.

Su esfera celeste difiere de la occidental. El ecuador celeste se dividió en 28 partes, llamadas "casas", y hubo un total de 284 constelaciones con nombres como Osa, Tres Pasos, Palacio Supremo, trípode, lanza o arpón. El Año Nuevo Chino comienza el día de la primera luna nueva después de que el Sol entre en la constelación de Acuario.

El erudito científico chino Shen Kuo (1031-1095) no sólo fue la primera persona en la historia que describió la brújula de aguja, sino que también hizo una medición más precisa de la

distancia entre la Estrella Polar y el Norte verdadero que se podría utilizar para la navegación. Shen Kuo y Pu Wei también establecieron un proyecto de observación astronómica nocturna en un período de cinco años consecutivos, un intenso trabajo que incluso puede competir con el trabajo posterior de Tycho Brahe en Europa. Para este proyecto, también trazaron las coordenadas exactas de los planetas en un mapa de estrellas y crearon las teorías del movimiento planetario, incluyendo el movimiento retrógrado.

Europa Occidental

Después de la caída de Roma, el conocimiento recogido por los griegos fue apenas transmitido a través del trabajo de los monjes que con frecuencia copiaban manuscritos que no tenía ningún sentido para ellos. Con el tiempo, con el surgimiento de las escuelas de la catedral y las primeras universidades, los académicos comenzaron a hacer frente a los enigmas que la ciencia ofrecía. A través del comercio (y saqueo), manuscritos nuevos vinieron del oriente a través de las Cruzadas, y el contacto con los eruditos Islámicos (sobre todo en España) permitieron realizar las traducciones al Latín. Algunos eruditos intentaron extraer la información en un orden que se ajustara a un punto de vista cristiano.

Genio matemático: Nicolás Copérnico de Polonia

En el 1500, Nicolás Copérnico (1473-1543) llegó a la conclusión que el Universo sería más sencillo si el Sol, en lugar de la Tierra, fuese su centro. Entonces, el movimiento retrógrado de los planetas podría ocurrir incluso si todos los planetas simplemente orbitaran alrededor del Sol en círculos. El movimiento hacia atrás sería una ilusión óptica que se produciría cuando adelantamos a otro planeta. Del mismo modo, si nos fijamos en el coche que está a la derecha, mientras que ambos estamos detenidos en un semáforo, cuando usted comienza a moverse en primer lugar, podría pensar que el otro coche se está moviendo hacia atrás.

Copérnico compartió sus ideas con los matemáticos, pero no las publicó hasta que un joven científico, Georg Reticus, lo convenció y lo arregló para hacer la publicación en otra ciudad. Una copia impresa de *De revolutionibus orbium Coelestium* llegó justo cuando Copérnico estaba muriendo en 1543. Él podría no haber visto nunca el prefacio sin firmar escrito por el editor que sugería que el libro era una manera matemática para calcular la posición, no la verdad real. Siguiendo a Aristóteles, Copérnico usó círculos y añadió algunos epiciclos. Su libro siguió la estructura del libro de Ptolomeo, pero su devoción a la simplicidad matemática fue influenciada por Pitágoras.

El libro de Copérnico contiene (figura 3) tal vez el diagrama más famoso de la historia de la ciencia. Se muestra el Sol en el centro de una serie de círculos. Copérnico calculó las velocidades a las que los planetas giraban alrededor del Sol, ya que sabía cuales iban más rápido en el cielo. De este modo obtuvo los planetas en el orden correcto: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, y consiguió las distancias relativas de los planetas también correctas. Sin embargo, sus cálculos realmente no predecían las posiciones de los planetas mucho mejor que el método que Ptolomeo.

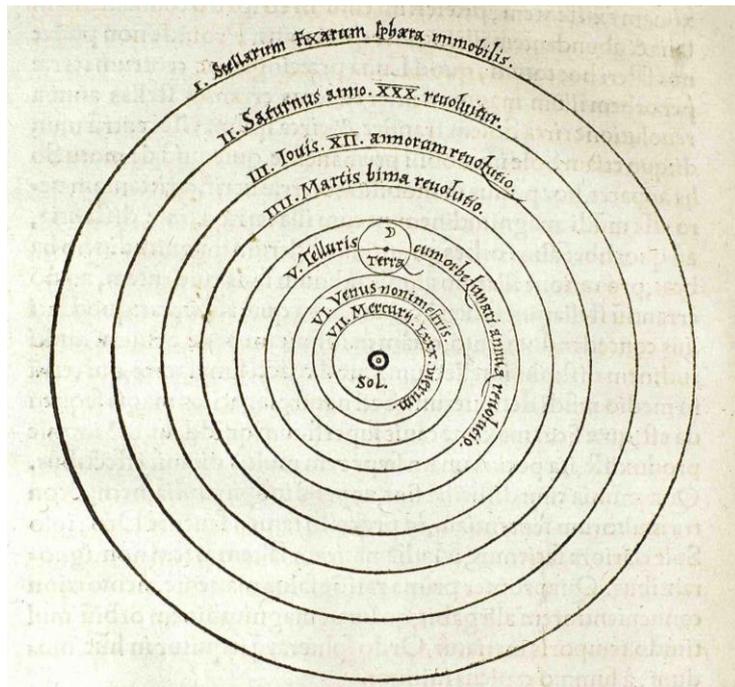


Fig. 3. El diagrama de Copérnico primero que muestra por primera vez el Sol en el centro de lo que ahora llamamos el Sistema Solar. Este diagrama está en la primera edición de *De revolutionibus orbium Coelestium* (Sobre las revoluciones de los orbes celestes), publicado en 1543.

En Inglaterra, Leonard Digges escribió un libro, en inglés, sobre la Tierra y el Universo. En 1576, su hijo Thomas escribió un apéndice en el que se describían las nuevas ideas de Copérnico. En el apéndice, una versión en inglés del diagrama de Copérnico apareció por primera vez (figura 4). Digges también mostró las estrellas a diferentes distancias del Sistema Solar, no sólo en una esfera celeste.

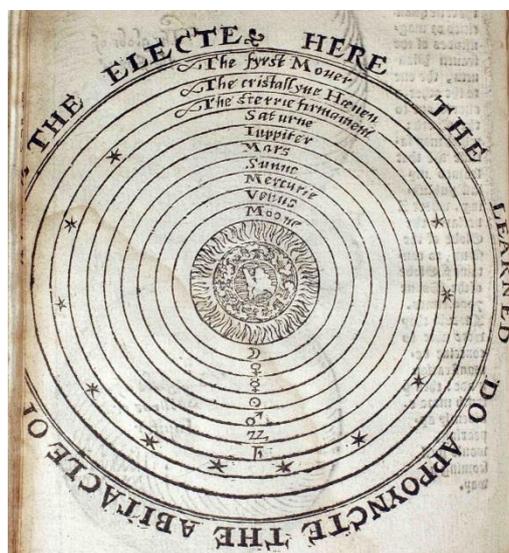


Fig. 4. El primer diagrama de Copérnico en inglés del Apéndice de Thomas Digges *A un pronóstico eterno*, un libro escrito por su padre, publicado por primera vez en 1556. Contenía sólo un diagrama de Ptolomeo. El Apéndice de Thomas Digges apareció por primera vez en 1576; este diagrama es 1596, fecha de la impresión.

Genio Observacional: Tycho Brahe de Dinamarca

El aristócrata danés Tycho Brahe (1546-1601) se hizo cargo de una isla frente a la costa de Copenhague, y recibió el alquiler de los residentes. En esta isla, Hven, utilizó su riqueza para construir un gran observatorio con los instrumentos más grandes y mejores. Aunque éstos fueron instrumentos pre-telescópicos, eran notables porque permitían mediciones más precisas de las posiciones de las estrellas y los planetas.

Tycho fue precursor de la universidad de hoy, con los científicos visitantes que iban a trabajar con él. Él hizo cada vez mejores dispositivos de observación para medir las posiciones de las estrellas y los planetas, y mantenía registros precisos.

Pero en su celo científico, se olvidó de algunas de sus responsabilidades hacia su monarca, y cuando los nuevos reyes llegaron, fue forzado a irse. Él optó por trasladarse a Praga, en el continente de Europa, llevándose con él sus máquinas de impresión y las páginas que ya habían sido impresas, sus registros y sus instrumentos móviles.

Tycho consiguió mejorar la exactitud de las observaciones científicas. Sus observaciones precisas de un cometa, a diferentes distancias, le mostraron que las esferas no tienen que estar anidadas con la Tierra en el centro. Por lo tanto, él hizo su propio modelo del Universo -un híbrido entre el modelo de Ptolomeo y Copérnico: el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, mientras que los otros planetas giran alrededor del Sol. Tycho todavía tenía círculos, pero a diferencia de Aristóteles, él permitió a los círculos que se cruzaran entre sí.

Valoramos a Tycho principalmente por el tesoro de observaciones de alta calidad de las posiciones entre las estrellas del planeta Marte. Tycho invitó, a unirse a él, a un joven matemático, Johannes Kepler. Es a través de Kepler que la fama de Tycho es largamente reconocida.

Utilizando Matemáticas: Johannes Kepler de Alemania

Como profesor en Graz, Austria, el joven Johannes Kepler (1571 - 1630) recordaba su infancia interesada en la astronomía, debido al cometa y al eclipse lunar que él había visto. Se dio cuenta de que hay cinco formas sólidas formadas por caras iguales, y pensó que si estos sólidos se anidan y separan por esferas, podrían corresponder a los seis planetas conocidos. Su libro, *Mysterium Cosmographicum* (Misterio del Cosmos), publicado en 1596, contenía uno de los esquemas más bellos de la historia de la ciencia (figura 5). En él, el anidó un icosaedro, un octaedro, un dodecaedro, un tetraedro y un cubo, con veinte, ocho, doce, cuatro y seis lados, respectivamente, para mostrar la distancia de los planetas entonces conocidos. El diagrama, aunque muy bello, es completamente erróneo. Sin embargo, la habilidad matemática de Kepler le valió una entrevista con Tycho.

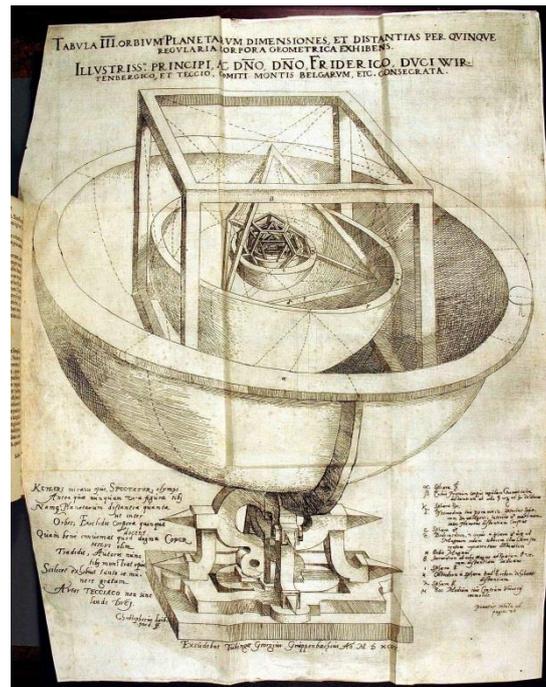


Fig. 5: Diagrama desplegable de Kepler de su *Cosmographicum Mysterium* (Misterio del Cosmos), publicado en 1596. Su pensamiento de la distribución geométrica del Sistema Solar fue sustituido en la década siguiente por sus arreglos de los planetas de acuerdo con las dos primeras de sus tres leyes del movimiento planetario, un sistema que es válido hasta hoy.

En 1600, se convirtió en uno de los asistentes de Tycho, e hizo cálculos con los datos que Tycho había acumulado. Después, Tycho fue a una cena formal y bebió abundantemente. Según la historia, el protocolo le impidió levantarse de la mesa, y terminó con un estallido de vejiga. Su muerte rápida y dolorosa fue seguida atentamente en su diario, y está bien documentada.

Pero Kepler no obtuvo los datos de inmediato. Por un lado, los datos eran una de las pocas cosas valiosas que los hijos de Tycho podían heredar, ya que Tycho se había casado con una plebeya y no se le permitió legar bienes reales. Pero Kepler pudo finalmente tener acceso a los datos de Tycho de Marte, y trató de hacer que encajaran sus cálculos. Para hacer sus cálculos precisos, incluso Kepler elaboró su propia tabla de logaritmos.

Los datos que Kepler tenía de Tycho eran de la posición de Marte en el cielo, sobre un fondo de estrellas. Trató de calcular el movimiento que debería ser real alrededor del Sol. Durante mucho tiempo, trató de encajar en un círculo o en una órbita con forma de huevo, pero él no pudo relacionar las observaciones con suficiente precisión. Finalmente, lo trató con una figura geométrica llamada elipse, una especie de círculo aplastado. ¡Se ajustaba! El descubrimiento es uno de los más grandes en la historia de la astronomía, y aunque Kepler lo aplicó por primera vez para Marte y para otros planetas de nuestro Sistema Solar, nosotros ahora lo aplicamos incluso para los cientos de planetas que hemos descubierto alrededor de otras estrellas.

El libro de Kepler de 1609, *Astronomia Nova* (Nueva astronomía), contenía las dos primeras de sus tres leyes del movimiento:

La primera ley de Kepler: La órbita de los planetas alrededor del Sol son elipses, con el Sol en un de sus focos.

La segunda ley de Kepler: Una línea que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Una elipse es una curva cerrada que tiene dos puntos clave en ella, que se conocen como focos. Para dibujar su propia elipse, se ponen dos puntos en una hoja de papel, cada uno es un foco. A continuación, tome un pedazo de cuerda más larga que la distancia entre los focos. Péguelos en los focos. A continuación, ponga un lápiz en la cuerda, tirando de ella (tensándola), y suavemente mueva el lápiz de lado a lado. La curva que se genere será un lado de una elipse, es evidente cómo mover el lápiz para dibujar el otro lado. Este experimento con la cuerda muestra uno de los puntos clave que definen una elipse: la suma de las distancias desde el punto de la elipse a cada foco se mantiene constante. Un círculo es un tipo especial de elipse donde los dos puntos están en uno encima del otro.

Kepler mantuvo la búsqueda de armonías en los movimientos de los planetas. Él asoció las velocidades de los planetas con notas musicales, las notas agudas que corresponden a los planetas que se desplazan más rápidamente, concretamente, Mercurio y Venus. En 1619, publicó su obra más importante *Harmonices Mundi* (La armonía de los mundos). En él (figura 6), él incluía no sólo pentagramas con las notas, sino también lo que llamamos su tercera ley del movimiento planetario:

Tercera Ley de Kepler del movimiento planetario: El cuadrado del periodo de la órbita de un planeta alrededor del Sol es proporcional al cubo del tamaño de su órbita.

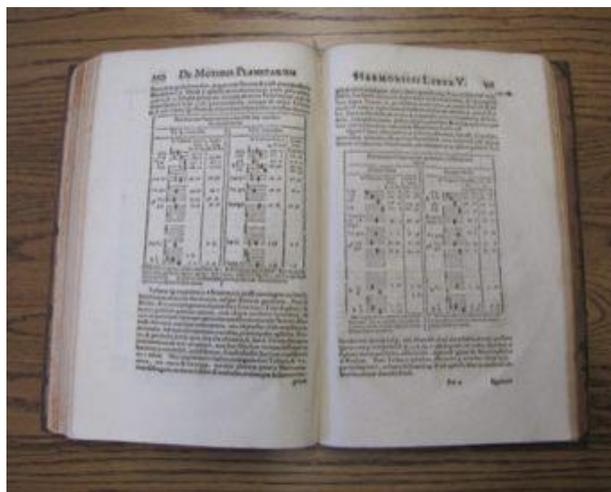


Fig. 6: De *Harmonices Kepler Mundi* (El armonía del mundo), publicado en 1619.

Los astrónomos suelen medir las distancias entre los planetas en términos de las Unidades Astronómicas, que corresponden a la distancia media entre la Tierra y el Sol, o 150 millones de kilómetros.

Mercury	0.387 AU	0.240 años
Venus	0.723 AU	0.615 años
Tierra	1 AU	1 año
Marte	1.523 AU	1.881 años
Júpiter	5.203 AU	11.857 años
Saturno	9.537 AU	29.424 años

Tabla 1: Distancias desde el Sol y periodos de los planetas en la época de Kepler.

Elevando al cuadrado la primera columna y al cubo la segunda columna, veremos que son bastante iguales. Las diferencias provienen de la aproximación, no del mundo real, aunque con más decimales las influencias de los otros planetas podrían ser detectadas.

Descubrimientos con el telescopio: Galileo Galilei de Italia

El año 2009 fue el Año Internacional de la Astronomía, declarado por primera vez por la Unión Astronómica Internacional, y luego por la UNESCO, y finalmente por la Asamblea General de las Naciones Unidas. ¿Por qué? Se conmemoró el uso del telescopio en el cielo por Galileo 400 años antes, en 1609.

Galileo (1564-1642) fue profesor en Padua, parte de la República de Venecia. Oyó hablar de un invento holandés que podría hacer que los objetos distantes parecieran estar más cerca. A pesar de que no había visto ninguno, descubrió lo que las lentes deberían contener y construyó uno. Mostró su dispositivo a los nobles de Venecia como un proyecto militar y comercial, lo que les permitiría ver a los barcos en el mar más lejos que nunca. Su invento fue un gran éxito.

Entonces tuvo la idea de apuntar un telescopio hacia arriba. A pesar de que el telescopio era difícil de usar, tenía un campo de visión muy estrecho, y era difícil de apuntar, él tuvo éxito en ver parte de la Luna y dándose cuenta de que había muchas estructuras en ella. Debido a su formación como pintor en la Italia del Renacimiento, se dio cuenta de que la estructura representaba la luz y la sombra, y que él estaba viendo montañas y cráteres. De la longitud de las sombras y la forma, de cómo cambiaban con la iluminación cambiante del Sol, incluso podía imaginar cuán altas eran. Unos meses antes, el inglés Thomas Harriot había señalado con un telescopio similar a la Luna, pero sólo había dibujado algunos garabatos y dibujos borrosos. Harriot, pero, no estaba interesado en la publicación o en la gloria, y su obra no se conoció hasta después de su muerte.

Una lente que Galileo utilizó para sus descubrimientos se conserva, agrietada, en el Museo de Historia de la Ciencia en Florencia, Italia, y dos telescopios completos, que han sobrevivido, también están allí (figura 7a). Galileo comenzó a escribir sus descubrimientos a finales de 1609. Encontró no sólo montañas y cráteres en la Luna, sino también que la Vía Láctea estaba hecha de muchas estrellas, al igual que ciertos asterismos. Luego, en enero de 1610, se encontró con cuatro 'estrellas' cerca de Júpiter que se movían con Júpiter y que cambiaban de posición de noche a noche. Eso marcó el descubrimiento de las lunas principales de Júpiter,

que ahora se llaman los satélites galileanos. Él escribió sus descubrimientos en un libro delgado llamado *Sidereus Nuncius* (El mensajero de los astros), que publicó en 1610 (figura 7b). Desde Aristóteles y Ptolomeo, se pensaba que la Tierra era el único centro de revolución. Aristóteles había sido considerado como infalible. Así que el descubrimiento de los satélites de Júpiter, mostrando que Aristóteles pudo haberse equivocado fue un golpe tremendo a la idea geocéntrica, y por lo tanto un punto fuerte a favor de la teoría heliocéntrica de Copérnico.



Fig. 7a: Uno de los dos telescopios supervivientes de Galileo llegaron al Instituto Franklin en Filadelfia en 2009, en su primera visita a los Estados Unidos. Nótese que la parte externa de la lente está cubierta con un anillo de cartón. Al ocultar la parte exterior de la lente, que fue la parte menos precisa, Galileo mejoró la calidad de sus imágenes (Foto: Jay M. Pasachoff). Fig. 7b: Una página del *Sidereus Nuncius* de Galileo (El mensajero de los astros), publicado en 1610, mostrando un grabado de la Luna. El libro fue escrito en latín, la lengua de los eruditos europeos. El libro incluye una amplia cobertura del movimiento relativo de las cuatro lunas principales de Júpiter.

Galileo intentó dar a las lunas el nombre de Cosme de Medici, su patrón, para ganarse su favor. Pero esos nombres no se conservaron. Después de unos años, Simon Marius propuso los nombres que se utilizan actualmente. (Marius, incluso pudo haber visto las lunas un poco antes que Galileo, pero lo publicó mucho más tarde.) De izquierda a derecha, son Io, Europa, Ganímedes y Calisto (figura 9). Incluso en un pequeño telescopio de aficionado, se pueden ver en una noche clara, y observar que durante horas se cambian de posición. Ellas orbitan Júpiter en períodos de unos pocos días.

Incluso con los mejores y más grandes telescopios terrestres, los astrónomos no pueden obtener una visión clara de la estructura de la superficie de los satélites galileanos. Sólo cuando la NASA con los satélites Pioneer 10 y 11, y a continuación, Voyager 1 y 2, voló cerca del sistema de Júpiter vimos con suficiente detalle los satélites como para poder caracterizarlos junto con sus superficies. A partir de observaciones terrestres y espaciales, los astrónomos todavía están descubriendo las lunas de Júpiter, a pesar de que los recién descubiertos son mucho más pequeños y más débiles que los satélites galileanos.

Galileo utilizó sus descubrimientos para conseguir un mejor trabajo con un salario más alto, en Florencia. Por desgracia, Florencia estaba más cerca de la autoridad papal en Roma, sirviendo como banqueros del Papa, y era menos liberal que la República de Venecia. Él continuó escribiendo sobre una variedad de temas científicos, tales como las manchas solares, cometas, cuerpos flotantes. Cada uno parecía señalar un argumento en contra de algún aspecto de los estudios de Aristóteles. Él descubrió que Venus tenía fases – lo que mostró que Venus orbita el Sol. Esto no probó que la Tierra orbitaba el Sol, ya que la cosmología híbrida de Tycho podría explicar estas fases. Sin embargo, Galileo lo vio como una prueba de Copérnico.



Fig. 8. En el año 2009, para conmemorar el 400 aniversario del primer uso por Galileo del telescopio en el cielo, una placa fue puesta en una columna en la parte superior del campanario, una torre del siglo XV (re-erigida en el siglo XX después de su colapso en 1902) en Venecia. La conmemoración aquí es de Galileo, demostrando su telescopio a los nobles de Venecia mediante la observación de barcos relativamente lejos en el mar, esto era antes de que él apuntara con su telescopio hacia arriba. La escritura en la placa puede ser traducida aproximadamente como "Galileo Galilei, con su catalejo, el 21 de agosto, de 2009, amplió los horizontes del hombre, hace 400 años." (Foto: Jay M. Pasachoff).



Fig. 9. El propio Galileo habría quedado sorprendido al ver lo que su nave homónima y sus predecesores mostraran desde los "Medician satellites" que él descubrió en 1609. Aquí muestran en imágenes su verdadera escala relativa. De izquierda a derecha, vemos Io, recientemente resurgió con dos docenas de volcanes en erupción continua. En segundo lugar está Europa, el principal sospechoso para la búsqueda de vida extraterrestre a causa de la mar que se encuentra bajo la capa de hielo suave que vemos. En tercer lugar es Ganímedes, la luna más grande del Sistema Solar, mostrando sobre todo una parte fascinante de su superficie acanalada. Y a la derecha es Calisto, más lejos que los otros y cubierto de hielo duro que conserva las cicatrices de la superposición de impactos de meteoritos que se han producido durante miles de millones de años. (NASA: Misión de Galileo, PIA01400).

En 1616, fue informado por funcionarios de la Iglesia de Roma para que no enseñara el copernicanismo, que el Sol y no la Tierra era el centro del Universo. Se las arregló para guardar silencio durante mucho tiempo, pero en 1632 publicó su Diálogo (Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo), donde había tres hombres que discutían los sistemas geocéntrico y heliocéntrico. Él tenía permiso oficial para publicar el libro, pero el libro hizo evidente su preferencia por el sistema heliocéntrico de Copérnico. Fue juzgado por su desobediencia y fue condenado a arresto domiciliario, donde permaneció por el resto de su vida.

La Nueva Física: Isaac Newton de Inglaterra

Muchos creen que los tres mejores físicos de todos los tiempos son: Isaac Newton, James Clerk Maxwell, y Albert Einstein. Un resumen: Newton descubrió la ley de la gravedad, Clerk Maxwell unificó la electricidad y el magnetismo, y Einstein descubrió la relatividad especial y general.

Según la historia, el joven Isaac Newton (1642-1727) fue enviado a casa desde la Universidad de Cambridge a Woolsthorpe, cerca de Lincoln, en Inglaterra, cuando las universidades inglesas estaban cerradas debido a una plaga. Una vez allí, vio a una manzana caerse del árbol, y se dio cuenta de que la misma fuerza que controlaba la caída de la manzana era, sin duda, la misma fuerza que controlaba el movimiento de la Luna.

Finalmente, Newton volvió al Trinity College de Cambridge. Mientras tanto, un grupo de científicos en Londres se reunieron en un café para formar una sociedad (en la actualidad la Royal Society), y el joven Edmond Halley fue enviado a Cambridge para conseguir los servicios de un brillante matemático, Isaac Newton, podría ayudarles con una cuestión científica importante. El viaje de Londres a Cambridge en diligencia era mucho más largo y difícil que la hora en tren que se tarda hoy en día.

Halley le preguntó a Newton que si hubiera una fuerza que atrajera según el cuadrado de la distancia, ¿qué forma tendría una órbita? Y Newton contestó que sería una elipse. Emocionado, Halley le preguntó si lo había probado, y Newton dijo que estaba en unos papeles que tenía. Él dijo que no podía encontrarlos, aunque tal vez no hacía más que ganar tiempo de espera para juzgar si realmente quería entregar su análisis. De todos modos, Newton fue invitado a escribir algunas de sus conclusiones matemáticas. En pocos años, todo ello el condujo a su libro más famoso, el *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principios matemáticos de filosofía natural), donde lo que entonces se llamaba Filosofía incluye lo que hoy llamamos ciencia.

El *Principia* de Newton apareció en 1687, en América. Newton era todavía un profesor de la universidad entonces, pasó mucho tiempo antes de que él fuera nombrado caballero por su trabajo posterior a la mención inglesa. Halley tuvo que pagar por la impresión del libro de Newton, y él lo defendió, incluso escribió un prólogo. El famoso *Principia* incluye la ley de Newton que mostraba cómo la gravedad disminuye con el cuadrado de la distancia, y su prueba de leyes de Kepler sobre las órbitas planetarias. El libro también incluye las leyes de Newton del movimiento, claramente se muestran como "leyes", en latín, mientras que las leyes de Kepler están enterradas en su texto.

Leyes de Newton del movimiento son:

- *La primera ley del movimiento de Newton: Un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento, y un cuerpo en reposo tiende a permanecer en reposo.*
- *La segunda ley de Newton del movimiento (versión moderna): fuerza = masa por aceleración*
- *La tercera ley de Newton del movimiento: Por cada acción hay una reacción igual y opuesta.*

Newton sentó las bases a través de la física matemática que llevaron a la ciencia a nuestro tiempo moderno.

Continúa la investigación en astronomía

Así como los pueblos antiguos tenían curiosidad sobre el cielo y quisieron encontrar su lugar en el Universo, los astrónomos de la época actual se han basado en los descubrimientos del pasado con la misma motivación. Descubrimientos teóricos y observaciones trasladaron la comprensión de nuestro lugar en el Universo de la visión geocéntrica de Ptolomeo, a la hipótesis heliocéntrica de Copérnico, al descubrimiento de que el Sistema Solar no estaba en el centro de nuestra galaxia, a nuestra comprensión de las galaxias distribuidas por todo el Universo.

La astronomía moderna se enfrenta a la búsqueda de la naturaleza de la materia oscura y la energía oscura. La teoría de la relatividad de Einstein indica que no sólo no es nuestra galaxia el centro del Universo, sino que el "centro" es algo sin sentido. Descubrimientos más recientes de cientos de exoplanetas que orbitan otras estrellas han puesto de manifiesto lo inusual de nuestro Sistema Solar. El camino del descubrimiento muestra que los astrónomos de la época moderna hacen lo mismo que hicieron los astrónomos de miles o cientos de años atrás.

Bibliografía

- Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
- Pasachoff, J and Filippenko A, *The Cosmos: Astronomy in the New Millennium, 4th ed.*, Cambridge University Press 2012.

Fuentes Internet

- www.solarcorona.com
- <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>
- <http://www2.astronomicalheritage.net>

Sistema Solar

Magda Stavinschi

International Astronomical Union, Instituto Astronómico de la Academia Rumana
(Bucarest, Rumania)

Resumen

Sin duda, en un Universo en el que hablamos acerca de los sistemas estelares y solares, de los planetas y de los exoplanetas, el sistema más conocido es el Sistema Solar. ¿Quién no sabe lo que es el Sol, cuáles son los planetas, los cometas, los asteroides? Pero, ¿es esto realmente así? Si queremos saber esto desde el punto de vista científico, tenemos que saber las reglas que definen un sistema.

¿Cuáles son estos cuerpos (de acuerdo con resolución de la Unión Astronómica Internacional, de 24 de agosto de 2006)

- planetas
- satélites naturales de los planetas
- planetas enanos
- otros cuerpos más pequeños: asteroides, meteoritos, cometas, polvo, los objetos del Cinturón de Kuiper, etc.

Por extensión, cualquier otra estrella rodeada por los cuerpos celestes de acuerdo a las mismas leyes se llama sistema estelar. ¿Cuál es el lugar del Sistema Solar en el Universo? Hay sólo un montón de preguntas que tratamos de responder en este capítulo.

Objetivos

- Saber qué lugar ocupa el Sol en el Universo.
- Conocer que objetos forman el Sistema Solar.
- Conocer detalles de los diferentes cuerpos del Sistema Solar, especialmente de los más destacados.

Sistema Solar

¿Qué es un sistema? Un sistema es, por definición, un conjunto de elementos (principios, normas, fuerzas, etc), que interactúan entre sí de acuerdo con una serie de principios o reglas.

¿Qué es un Sistema Solar? Para definirlo vamos a indicar los elementos del conjunto: el Sol y todos los cuerpos que lo rodean y que están unidos a él por la fuerza de gravedad.

¿Cuál es el lugar del Sistema Solar en el Universo? El Sistema Solar está situado en uno de los brazos exteriores de nuestra galaxia, también llamada Vía Láctea. Este brazo se llama el brazo de Orión. Está situado en una región de una densidad relativamente pequeña.

El Sol, junto con todo el Sistema Solar, está en un movimiento de revolución alrededor del centro de nuestra galaxia, situado a una distancia de 25.000-28.000 años luz (aprox. la mitad del radio de la galaxia), con un período de revolución de aproximadamente 225-250 millones de años (el año galáctico del Sistema Solar). La distancia a la que viaja a lo largo de esta órbita circular es de aproximadamente 220 km/s, mientras que la dirección está orientada a la posición actual de la estrella Vega.

Nuestra galaxia se compone de aproximadamente 200 mil millones de estrellas, junto con sus planetas, y de más de 1000 nebulosas. La masa de todo el conjunto es aproximadamente 750-1000 mil millones de veces mayor que la del Sol, y el diámetro es de unos 100.000 años luz.

Muy cerca está el sistema de Alfa Centauri (la estrella más brillante de la constelación del Centauro), compuesto de tres estrellas, es decir, un par de estrellas (Alfa Centauri A y B), similar a la del Sol, que gira alrededor de una enana roja, Alfa Centauri C, de una luminosidad relativamente pequeña a una distancia de 0,2 años luz. La última es la estrella más cercana al Sol, a una distancia de 4,24 años luz es por eso que también se llama "Proxima Centauri".

Nuestra galaxia es parte de un grupo de galaxias llamado Grupo Local, compuesto de tres galaxias grandes y una serie de otras 30 más pequeñas. Nuestra galaxia tiene la forma de una espiral enorme. Los brazos de esta espiral contienen, entre otras cosas, materia interestelar, nebulosas y estrellas jóvenes que nacen de forma permanente de esa materia. El centro de la galaxia está compuesto por viejas estrellas concentradas en grupos de forma esférica. Nuestra galaxia tiene aproximadamente unos 200 grupos de estos, de los que sólo 150 son más conocidos. Estos grupos se concentran sobre todo en el centro galáctico. Nuestro Sistema Solar está situado a 20 años luz por encima del plano de simetría ecuatorial y 28.000 años luz de distancia desde el centro galáctico. El centro de la galaxia se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario, a 25.000- 28.000 años luz de distancia desde el Sol.

El Sol

La edad del Sol es de aprox. 4,6 mil millones años. En la actualidad, el Sol ha completado cerca de la mitad de su ciclo de evolución y su núcleo de hidrógeno se transforma en helio a través de la fusión nuclear. Cada segundo, en el núcleo del Sol, más de cuatro millones de toneladas de materia se convierten en energía, generando así neutrinos y radiación solar.

El ciclo de la vida del Sol

En unos 5 mil millones de años, el Sol se convertirá en una gigante y luego en una enana blanca, un período en el que nacerá una nebulosa planetaria. Por último, se agotará el hidrógeno, que dará lugar a cambios radicales, incluida la destrucción total de la Tierra. La actividad solar, más exactamente su actividad magnética, se detecta a la vista por el número y la dimensión de las manchas en su superficie, así como por las erupciones solares y las variaciones del viento solar, que disipan la materia de la composición del Sol en el Sistema Solar e incluso más allá.

La mayor parte del Sol (74%) es hidrógeno, casi el 25% es helio, mientras que el resto son elementos pesados.

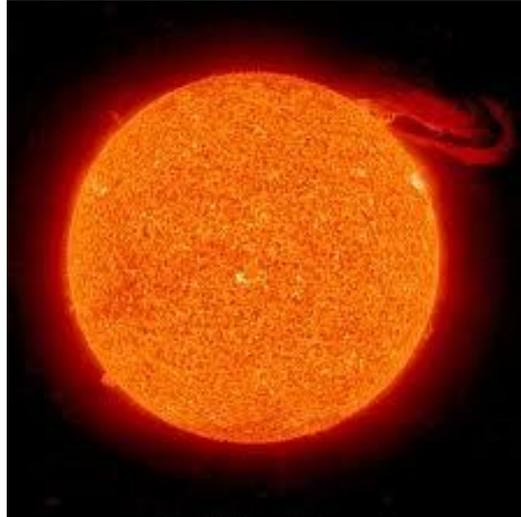


Fig. 1: El Sol

La formación y evolución del Sistema Solar

El nacimiento y la evolución del Sistema Solar han generado las teorías más extravagantes. Ni siquiera los descubrimientos de los últimos siglos han logrado acercarnos a la correcta comprensión de estos procesos. La era espacial, el conocimiento de otros mundos similares a nuestro Sistema Solar, así como la física nuclear, nos han ayudado a comprender mejor los procesos fundamentales que tienen lugar dentro de una estrella, que finalmente conducen a la adopción de modelos cercanos a la realidad.

Esta parece ser la hipótesis de una nebulosa primitiva, propuesta en 1755 por Emmanuel Kant y también por separado por Pierre-Simon Laplace. Según esta teoría, el Sistema Solar es el resultado de la acción del efecto de la gravitación en una nube gaseosa llamada nebulosa solar. Esta última tendría un diámetro de aprox. 100 UA y una masa de 2.3 veces mayor que la del Sol. Con el tiempo, una perturbación fuerte (posiblemente una supernova vecina) sacudió la nebulosa, arrojando la materia hacia el interior hasta que las fuerzas gravitacionales sobrepasaron la presión de los gases y el colapso comenzó. Mientras tanto, la nebulosa se estaba viniendo abajo sobre sí misma, aumentando la presión y por lo tanto la temperatura, y la conservación del momento cinético hizo que ésta comenzara a rotar cada vez más rápido. Esto tuvo lugar hace alrededor de 4,6 millones de años. Hoy en día se considera que el Sistema Solar aparece completamente diferente del original. Pero mejor vamos a echar una mirada nuestro sistema planetario tal como es hoy.

Planetas

Para este efecto, se utilizará la definición dada por la Unión Astronómica Internacional (UAI), en su 26a Asamblea General, que tuvo lugar en Praga, en 2006.

En el Sistema Solar un planeta es un cuerpo celeste que:

1. está en órbita alrededor del Sol,
2. tiene masa suficiente para mantener el equilibrio hidrostático (forma casi redonda), y
3. ha "limpiado la vecindad" alrededor de su órbita.

Un cuerpo no-satélite que cumpla sólo los dos primeros de estos criterios está clasificado como un "planeta enano".

Según la UAI, los planetas y los planetas enanos son dos clases distintas de objetos. Un no-satélite que cumpla sólo el primer criterio que se denomina un "pequeño cuerpo del Sistema Solar" (SSSB).

Los proyectos iniciales de reclasificación de cuerpos en el Sistema Solar, planearon incluir a los planetas enanos como una subcategoría de los planetas, pero como esto podría haber llevado a la adición de varias decenas de nuevos planetas en el Sistema, este proyecto fue abandonado finalmente. En 2006, sólo se añadieron tres planetas enanos (Ceres, Eris y Makemake) y la reclasificación de uno (Plutón). Así, el Sistema Solar tiene cinco planetas enanos: Ceres, Plutón, Makemake, Haumea y Eris, por el momento.

Según la definición, en la actualidad hay ocho planetas y cinco planetas enanos conocidos en el Sistema Solar. La definición distingue los planetas de los cuerpos más pequeños y no es útil fuera del Sistema Solar, donde los cuerpos más pequeños no se pueden detectar con la tecnología actual. Los planetas extrasolares, o exoplanetas, se tratan por separado en virtud de un proyecto complementario de 2003 de directriz para la definición de los planetas, que los distingue de las estrellas enanas que son más grandes.

Vamos a presentarlos uno por uno los cuerpos que integran el Sistema Solar:

MERCURIO

Mercurio es el planeta más cercano al Sol y el planeta más pequeño del Sistema Solar. Es un planeta telúrico¹ en el interior del Sistema Solar. Recibe su nombre del dios romano Mercurio.

No tiene ningún satélite natural. Es uno de los cinco planetas que pueden verse desde la Tierra a simple vista. Se ha observado con el telescopio sólo desde el siglo XVII. Últimamente, se estudió por dos sondas espaciales: Mariner 10 (tres veces en 1974-1975) y Messenger (dos veces en 2008).

Aunque puede ser visto a simple vista, no es fácilmente observable, precisamente porque es el planeta más cercano al Sol. Su lugar en la bóveda celeste se encuentra muy cerca del Sol y se puede también observar sólo alrededor de las elongaciones, un poco antes del amanecer y un poco después del atardecer. Sin embargo, las misiones espaciales nos han dado la información suficiente, lo que muestra sorprendentemente que Mercurio es muy similar a la Luna.

¹ Un planeta telúrico es un planeta que está compuesto principalmente de rocas de silicato. Dentro del Sistema Solar, los planetas terrestre (o telúrico) son los planetas interiores más cercanos al Sol.

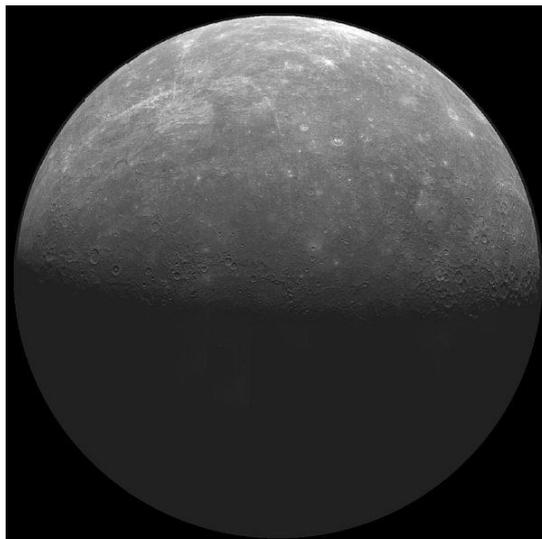


Fig. 2: Mercurio

Vale la pena mencionar algunas características del planeta: es el más pequeño del Sistema Solar y el más cercano al Sol. Tiene la órbita más excéntrica ($e = 0,2056$) y también la más inclinada en sentido contrario a la eclíptica ($i = 7^\circ 005$). Su período sinódico es de 115,88 días, lo que significa que tres veces al año se sitúa en una posición de máxima elongación oeste del Sol (también se le llama "la estrella de la mañana", y en las tres posiciones de máxima elongación al este del Sol se llama "la estrella de la tarde"). En cualquiera de estos casos, la elongación no excede los 28° .

Su radio de 2440 kilómetros hace que sea el planeta más pequeño del Sistema Solar, más pequeño incluso que dos de los satélites galileanos de Júpiter: Ganímedes y Calisto. La densidad de $5,427 \text{ g/cm}^3$ la convierte en la más espesa después de la de la Tierra ($5,5 \text{ g/cm}^3$). El hierro podría ser el principal elemento pesado (70% contra el 30 y materia rocosa), que contribuye a la gran densidad de Mercurio.

En general, se asegura que Mercurio no tiene atmósfera, lo cual no es correcto pero su atmósfera es muy poco común.

Mercurio es el único planeta (aparte de la Tierra) con un campo magnético significativo, que, aunque es del orden de $1/100$ de la del campo magnético terrestre, es suficiente para crear una magnetosfera, que se extiende hasta 1,5 radios planetarios, frente a 11,5 radios en el caso de la Tierra. Por último, hay otra analogía con la Tierra: el campo magnético es bipolar, con un eje magnético inclinado 11° , frente al eje de rotación.

En Mercurio las temperaturas varían enormemente. Cuando el planeta pasa por el perihelio, la temperatura puede llegar a 427°C en el ecuador, a mediodía, es decir, suficiente para provocar la fusión de un metal como el zinc. Sin embargo, inmediatamente después de la caída la noche, la temperatura puede bajar a -183°C , lo que hace que el aumento de la variación diurna sea de 610°C !. Ningún otro planeta sufre una diferencia tan grande, que puede ser debida a la intensa radiación solar durante el día, la ausencia de una atmósfera densa y la duración del día de Mercurio (el intervalo entre el amanecer y el atardecer es de

casi tres meses terrestres, es decir, tiempo suficiente para almacenar calor o, análogamente, frío durante una noche de igual longitud).

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	69,816,900 km, 0.466 697 AU
Perihelio	46,001,200 km, 0.307 499 AU
Semi-eje mayor	57,909,100 km, 0.387 098 AU
Excentricidad	0.205 630
Período orbital	87.969 1 d, (0.240 846 a), 0.5 día solar de Mercurio
Período sinódico	115.88 d
Velocidad media orbital	47.87 km/s
Anomalía media	174.796°
Inclinación	7.005° sobre la eclíptica
Longitud del nodo ascendente	48.331°
Argumento del perihelio	29.124°
Satélite	Ninguno

Características físicas			
Radio medio	2,439.7 ± 1.0 km; 0.3829 Tierras		
Achatamiento	0		
Superficie	7.48 × 10 ⁷ km ² ; 0.147 Tierras		
Volumen	6.083 × 10 ¹⁰ km ³ ; 0.056 Tierras		
Masa	3.3022 × 10 ²³ kg; 0.055 Tierras		
Densidad media	5.427 g/cm ³		
Gravedad superficial en el ecuador	3.7 m/s ² ; 0.38 g		
Velocidad de escape	4.25 km/s		
Período sideral	58.646 días; 1407.5 <i>h</i>		
Albedo	0.119 (bond); 0.106 (geom.)		
Temperatura de la superficie	Min	medio	max
0° N, 0° W	100 K	340 K	700 K
85° N, 0° W	80 K	200 K	380 K
Magnitud Aparente	-2.3 to 5.7		
Momento angular	4.5" – 13"		

Atmósfera

Traza de la presión en la superficie

Composición: 42% oxígeno molecular, 29,0% sodio, 22,0% hidrógeno, 6,0% helio, 0,5% potasio. Trazas de argón, nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua, xenón, cripton y neón.

Tenemos que decir algunas cosas sobre la superficie del planeta.

Los cráteres de Mercurio son muy similares a los de la Luna en la morfología, la forma y estructura. El más notable es el de la cuenca de Caloris, testimonio de una gran catástrofe.

Los impactos que generan cuencas son los acontecimientos más catastróficos que pueden afectar la superficie de un planeta. Pueden causar el cambio de la corteza planetaria, e incluso

desórdenes internos. Esto es lo que sucedió cuando se formó el cráter Caloris con un diámetro de 1.550 kilómetros.

El avance del perihelio de Mercurio

El avance del perihelio de Mercurio está confirmado. Al igual que cualquier otro planeta, el perihelio de Mercurio no es fijo, sino que tiene un movimiento regular alrededor del Sol. Mucho tiempo se consideró que este movimiento era de 43 segundos de arco por siglo más rápido comparado con las previsiones de la mecánica celeste clásica "newtonianas". Este avance del perihelio fue predicho por la teoría general de la relatividad de Einstein, siendo la causa la curvatura del espacio debido a la masa solar. La coincidencia entre el avance observado del perihelio y el predicho por la relatividad general fue la prueba en favor de la validez de la hipótesis de esta última.

VENUS

Venus es uno de los ocho planetas del Sistema Solar y uno de los cuatro planetas del sistema telúrico en el sistema interno, el segundo en distancia al Sol. Lleva el nombre de la diosa romana del amor y la belleza.

Su cercanía al Sol, la estructura y la densidad de la atmósfera de Venus hace que sea uno de los cuerpos más calientes en el Sistema Solar. Cuenta con un campo magnético muy débil y no tiene satélites naturales. Es uno de los planetas con un movimiento de revolución retrógrada y el único con un período de rotación mayor que el período de la revolución. Es el cuerpo más brillante en la bóveda celeste después del Sol y la Luna.

Es el segundo planeta más distante del Sol (situado entre Mercurio y la Tierra), a aproximadamente 108,2 millones kilómetros del Sol. La trayectoria de Venus alrededor del Sol es casi un círculo: su órbita tiene una excentricidad de 0,0068, es decir, la más pequeña del Sistema Solar. Un año de Venus es algo más corto que un día sideral de Venus, en una proporción de 0,924.

Su tamaño y estructura geológica es similar a la de la Tierra. La atmósfera es muy densa. La mezcla de CO₂ y densas nubes de dióxido de azufre crean el mayor efecto invernadero del Sistema Solar, con temperaturas de aprox. 460 ° C. Temperatura de la superficie de Venus es mayor que la de Mercurio, aunque Venus se encuentra casi dos veces más alejado del Sol que Mercurio, y sólo recibe aproximadamente el 25% de la radiación solar que Mercurio. La superficie del planeta tiene un relieve casi uniforme. Su campo magnético es muy débil, pero que arrastra una cola de plasma de 45 millones kilómetros de largo, observada por primera vez por el SOHO en 1997.

Las característica más notable de Venus es su rotación retrógrada; gira alrededor de su eje muy lentamente y en sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que los planetas del Sistema Solar lo hace menudo en sentido horario (hay otra excepción: Urano). Su período de rotación se ha conocido sólo de 1962. Esta rotación - lenta y retrógrada - produce días solares mucho más cortos que el día sideral, siendo estos días más largos en los planetas con rotación en sentido horario. En consecuencia, hay menos de 2 días completos en un año solar de Venus. Las causas de la rotación retrógrada de Venus no se han aclarado todavía. La

explicación más probable sería una colisión gigante con otro cuerpo de grandes dimensiones en la formación de los planetas del Sistema Solar. También podría ser que la atmósfera de Venus influyera en la rotación del planeta debido a su gran densidad.

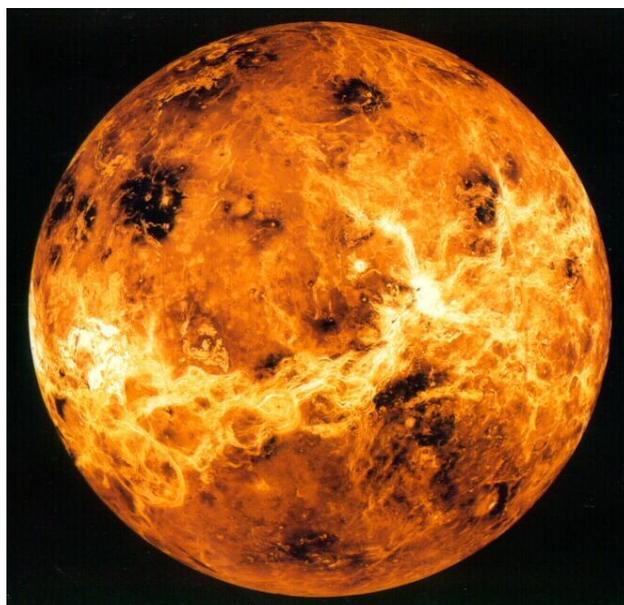


Fig. 3: Venus

Venus – la hermana gemela de la Tierra. Analogía.

- Nacieron al mismo tiempo, desde el mismo gas y nubes de polvo, hace 4,6 millones de años.
- ambos son planetas del Sistema Solar interno
- sus superficies tienen un terreno variado: montañas, campos, valles, altiplanos, volcanes, cráteres de impacto, etc
- ambos tienen un número relativamente pequeño de los cráteres, un signo de una superficie relativamente joven y de una atmósfera densa
- tienen parecidas composiciones químicas.

Propiedades	Venus	Tierra	Relación Venus/Tierra
Masa	$4,8685 \times 10^{24}$ kg	$5,9736 \times 10^{24}$ kg	0,815
Radio Ecuatorial	6 051 km	6 378 km	0,948
Densidad media	$5,204 \text{ g/cm}^3$	$5,515 \text{ g/cm}^3$	0,952
Semieje mayor	108 208 930 km	149 597 887 km	0,723
Velocidad orbital media	35,02 km/s	29,783 km/s	1,175
Gravedad superficial	$8,87 \text{ m/s}^2$	$9,780327 \text{ m/s}^2$	0,906

Tránsito de Venus

El tránsito de Venus se produce cuando el planeta pasa entre la Tierra y el Sol, y la sombra de Venus cruza el disco solar. Debido a la inclinación de la órbita de Venus, frente a la terrestre, este fenómeno es muy raro en nuestra escala de tiempo. Tiene lugar dos veces cada 8 años, a este doble tránsito le separa del siguiente más de un siglo (105,5 y 121,5 años). Los últimos tránsitos tuvieron lugar el 8 de junio de 2004 y el 6 de junio de 2012 y para el siguiente habrá de esperar hasta el 11 de diciembre 2117.

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	108,942,109 km, 0.728 231 28 AU
Perihelio	107,476,259 km, 0.718 432 70 AU
Semieje mayor	108,208,930 km, 0.723 332 AU
Excentricidad	0.006 8
Periodo orbital	224.700 69 día, 0.615 197 0 yr, 1.92 Venus día solar
Periodo sinódico	583.92 días
Velocidad orbital media	35.02 km/s
Inclinación	3.394 71° sobre elíptica, 3.86° Ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	76.670 69°
Argumento del perihelio	54.852 29°
Satélites	None

Características físicas	
Radio medio	6,051.8 ± 1.0 km, 0.949 9 Tierras
Achatamiento	0
Superficie	4.60 × 10 ⁸ km ² , 0.902 Tierras
Volumen	9.38 × 10 ¹¹ km ³ , 0.857 Tierras
Masa	4.868 5 × 10 ²⁴ kg, 0.815 Tierras
Densidad media	5.204 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	8.87 m/s ² , 0.904 g
Velocidad de escape	10.46 km/s
Período sideral	-243.018 5 day
Albedo	0.65 (geom) or 0.75 (bond)
Temperature en la superficie (media)	461.85 °C
Magnitud aparente	up to -4.6 (creciente), -3.8 (lleno)
Momento angular	9.7" – 66.0"

Atmósfera

Presión en la superficie 93 bar (9,3 MPa)

Composición: ~96,5% dióxido de carbono, ~3,5% nitrógeno, 0,015% dióxido de sulfuro, 0,007% argón, 0,002% vapor de agua, 0,001 7% monóxido de carbono, 0,0012% helio, 0,0007% neón.

LA TIERRA

La Tierra es el tercer planeta más distante del Sol en el Sistema Solar, y es el quinto en dimensiones. Pertenece a los planetas interiores. Es el planeta telúrico más grande y el único en el Universo conocido donde logró adaptarse la vida. La Tierra se formó aprox. 4,57 mil millones años atrás. Su único satélite natural, la Luna, comenzó su órbita poco después de la de la Tierra, hace unos 4533 millones años. La edad del Universo es de aproximadamente 13,7 millones de años. 70,8% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, el resto del 29,2% es sólido y "seco". La zona cubierta de agua se divide en los océanos y la tierra se divide en los continentes.

Entre la Tierra y el resto del Universo existe una interacción permanente. Así, la Luna es la causa de las mareas. Además, ha influido de forma continua en la velocidad del movimiento de rotación de la Tierra. Todos los cuerpos del globo terrestre, son atraídos por la Tierra, la fuerza de atracción se llama gravedad y la aceleración con la que estos cuerpos caen en el campo gravitacional se llama aceleración gravitatoria (se denota con una "g" = 9,81 m/s²). Se

cree que la razón de la aparición de los océanos fue una "lluvia" de los cometas en un período temprano de la Tierra. Más tarde, los impactos de asteroides ayudaron a modificar el medio ambiente de manera decisiva. Los cambios en la órbita del planeta pueden considerarse como los responsables de las edades de hielo que tuvieron lugar en la historia, que cubrieron la superficie terrestre con una capa de hielo.



Fig. 4: La Tierra

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	152,097,701 km; 1.0167103335 AU
Perihelio	147,098,074 km; 0.9832898912 AU
Semi-eje mayor	149,597,887.5 km; 1.0000001124 AU
Excentricidad	0.016710219
Periodo orbital	365.256366 días; 1.0000175 yr
Velocidad orbital media	29.783 km/s; 107,218 km/h
Inclinación	1.57869
Longitud del nodo ascendente	348.73936°
Argumento del perihelio	114.20783°
Satélites	1 (la Luna)

Características físicas	
Radio medio	6,371.0 km
Radio ecuatorial	6,378.1 km
Radio polar	6,356.8 k
Achatamiento	0.003352
Superficie	510,072,000 km ²
Volumen	1.0832073 × 10 ¹² km ³
Masa	5.9736 × 10 ²⁴ kg
Densidad media	5.515 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	9.780327 m/s ² [9]; 0.99732 g
Velocidad de escape	11.186 km/s
Período sideral	0.99726968 d; 23 ^h 56 ^m 4.100 ^s
Albedo	0.367
Temperatura superficial (media)	min medio max -89 °C 14 °C 57.7 °C

Atmósfera

Presión en la superficie 101,3 kPa

Composición: 78,08% nitrógeno (N₂), 20,95% oxígeno (O₂), 0,93% argón, 0,038% dióxido de carbono; sobre un 1% vapor de agua (varía con el clima).

MARTE

Marte es el cuarto planeta en distancia al Sol en el Sistema Solar y el segundo en dimensiones después del Mercurio (que es el más pequeño). Pertenece al grupo de los planetas telúricos. Lleva el nombre del dios romano de la guerra, Marte, debido a su color rojizo. Varias misiones espaciales lo han estudiado desde 1960 para averiguar lo más posible acerca de su geografía, clima, así como otros detalles.

Marte puede ser observado a simple vista. Es menos brillante que Venus y sólo rara vez más brillante que Júpiter. Sobrepasa al último durante sus configuraciones más favorables (oposiciones). De entre todos los cuerpos del Sistema Solar, el planeta rojo es el que más ha atraído la mayoría de los autores de ciencia ficción. La razón principal de esto son sus famosos canales, así llamados por primera vez en 1858 por Giovanni Schiaparelli y considerados el resultado de construcciones. El color rojo de Marte se debe al óxido de hierro III (también llamado hematites), que se encuentra en los minerales en su superficie. Marte tiene un relieve muy abrupto, tiene la montaña más alta del Sistema Solar (el volcán Monte Olympus), con una altura de aprox. 25 km, así como el mayor cañón (Valles Marineris), con una profundidad media de 6 km.

Marte tiene en el centro un núcleo de hierro con un diámetro de aprox. 1700 kilómetros, cubierto con un manto olivino y una corteza basáltica, con una anchura media de 50 km. Marte está rodeado por una atmósfera densa, compuesta principalmente de dióxido de carbono. Solía tener una hidrosfera activa, es decir, hubo agua en Marte alguna vez. Tiene dos satélites naturales, Fobos y Deimos, probablemente asteroides capturados por el planeta. El diámetro de Marte es dos veces menor que el de la Tierra y su superficie es igual a la de los continentes. Su masa es sólo un poco más pequeña que la décima parte de la terrestre. Su masa volumen es la más débil entre los planetas telúricos, lo que hace que su gravedad sea sólo algo menor que la de Mercurio, aunque su masa sea dos veces mayor.

La inclinación del eje de Marte es similar a la de la Tierra, es por eso que en Marte hay estaciones como en la Tierra. Las dimensiones de los casquetes polares varían enormemente durante las estaciones a través del intercambio de dióxido de carbono y agua con la atmósfera. Otro punto en común, el día marciano es sólo 39 minutos mayor que el terrestre. Por el contrario, debido a su relativa lejanía del Sol, el año marciano tiene algo más de 322 días que el año terrestre.

Marte es el planeta más cercano exterior a la Tierra. Esta distancia es menor cuando Marte está en oposición, es decir, cuando se encuentra enfrente del Sol, visto desde la Tierra. Dependiendo de elipticidad y de la inclinación de las órbitas, el momento exacto del cierre puede variar en un par de días.

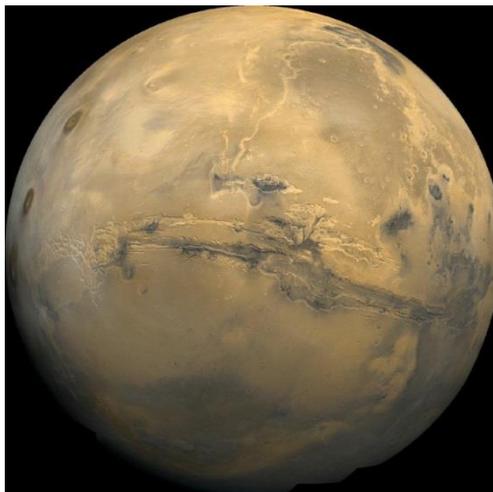


Fig. 5: Marte

El 27 de agosto de 2003 Marte estaba sólo a 55,758 millones de km de distancia de la Tierra, es decir, a sólo 0,3727 UA, la distancia más pequeña registrada en los últimos 59.618 años. Tal evento, dió paso a todo tipo de fantasías, por ejemplo, que Marte podría haber sido visto tan grande como la Luna. Sin embargo, con un diámetro aparente de 25.13 segundos de arco, Marte puede verse a simple vista como un punto, mientras que la Luna se extiende sobre un diámetro aparente de aprox. 30 minutos de arco. Una cercanía similar tendrá lugar el 28 de agosto 2287, cuando la distancia entre los dos planetas sea de 55.688 millones de km.

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	249,209,300 km; 665 861 AU
Perihelio	206,669,000 km; 381 497 AU
Semi-eje mayor	227,939,100 km; 1.523 679 AU
Excentricidad	0.093 315
Período orbital	686.971 días; 1.8808 años Julianos
Período sinódico	779.96 días; 2.135 años Julianos
Velocidad orbital media	24.077 km/s
Inclinación	1.850° a la eclíptica; 5.65° al ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	49.562°
Argumento del perihelio	286.537°
Satélites	2

Características físicas	
Radio ecuatorial	3,396.2 ± 0.1 km; 0.533 Tierras
Radio polar	3,376.2 ± 0.1 km; 0.531 Tierras
Achatamiento	0.005 89 ± 0.000 15
Superficie	144,798,500 km ² ; 0.284 Tierras
Volumen	1.6318 × 10 ¹¹ km ³ ; 0.151 Tierras
Masa	6.4185 × 10 ²³ kg; 0.107 Tierras
Densidad media	3.934 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	3.69 m/s ² ; 0.376 g
Velocidad de escape	5.027 km/s
Período sideral	1.025 957 día
Albedo	0.15 (geom) or 0.25 (bond)
Temperatura superficial	min medio max -87 °C -46 °C -5 °C
Magnitud aparente	+1.8 to -2.91
Diámetro angular	3.5—25.1"

Atmósfera

Presión en la superficie 0.6–1.0 kPa

Composición 95.72% dióxido de carbono; 2.7% nitrógeno; 1.6% argón; 0.2% Oxígeno; 0.07% monóxido de carbono; 0.03% vapor de agua; 0.01% óxido nítrico; 2.5 ppm neón; 300 ppb cripton; 130 ppb formaldeído; 80 ppb Xenón; 30 ppb ozono; 10 ppb metano.

JÚPITER

Júpiter es el quinto planeta en distancia al Sol y el más grande de todos los planetas de nuestro Sistema Solar. Su diámetro es 11 veces mayor que el de la Tierra, su masa 318 veces mayor y su volumen de 1300 veces mayor.

- órbita: 778.547.200 kilómetros del Sol
- diámetro: 142.984 kilómetros (Ecuatorial)
- masa: 1.8986×10^{27} kg

Júpiter es el cuarto objeto más brillante del cielo (tras el Sol, la Luna, Venus y a veces Marte). Se conoce desde tiempos prehistóricos. El descubrimiento de sus cuatro grandes satélites: Io, Europa, Ganimedes y Calisto (conocidos como los satélites galileanos) por Galileo Galilei y Simon Marius en 1610 fue el primer descubrimiento de un centro de movimiento aparente no centrado en la Tierra. Fue un punto importante a favor de la teoría heliocéntrica del movimiento planetario de Nicolás Copérnico. La comprobación por Galileo de la teoría del movimiento de Copérnico le trajo problemas con la Inquisición. Antes de las misiones Voyager, se conocían sólo 16 de sus satélites.

La composición de Júpiter tiene probablemente un núcleo de material sólido, que asciende hasta 10 o incluso 15 veces la masa de la Tierra. Por encima de este núcleo está la parte principal del planeta, compuesta de hidrógeno metálico líquido. Debido a la temperatura y la presión dentro de Júpiter, el hidrógeno es un líquido y no un gas. Esto es un conductor eléctrico y la fuente del campo magnético de Júpiter. Esta capa contiene algo de helio y algunos restos de "deriva de hielo".

La capa de la superficie está compuesta principalmente de hidrógeno molecular y helio, líquido dentro y gaseoso fuera. La atmósfera que vemos es sólo la parte superior de esta profunda capa. El agua, el dióxido de carbono, el metano, así como otras moléculas simples también están presentes en pequeñas cantidades.

La atmósfera de Júpiter se compone de aprox. 86% de hidrógeno y helio 14% (según el número de átomos, aprox. 75/25% en masa) con rastros de metano, agua, amoníaco y "piedra". Esto es muy parecido a la estructura original de la nebulosa solar, de la que todo el Sistema Solar se formó. Saturno tiene una composición similar, mientras que Urano y Neptuno tienen menos hidrógeno y helio.

La Gran Mancha Roja (GRS) se observó por primera vez por los telescopios terrestres, más de 300 años atrás. Es un óvalo de aproximadamente 12.000 por 25.000 kilómetros, lo suficientemente grande como para abarcar dos Tierras. Es una región de alta presión, cuyas nubes superiores son mucho más altas y más frías que las zonas circundantes. Estructuras

similares se han observado en Saturno y Neptuno. La forma en que este tipo de estructuras resisten tanto tiempo no se ha dilucidado aún.



Fig. 6: Júpiter

En Júpiter y otros planetas gaseosos soplan vientos a gran velocidad en grandes bandas de latitud. Los vientos soplan en direcciones opuestas en dos bandas adyacentes. La temperatura de las pequeñas o las diferencias de composición química son responsables de la diferente coloración de las bandas, un aspecto que domina la imagen del planeta. La atmósfera de Júpiter es muy turbulenta. Esto demuestra que los vientos son impulsados, en gran medida, por el calor interno del planeta y que no provienen del Sol, como pasa en la Tierra.

La Magnetosfera de Júpiter tiene un campo magnético enorme, 14 veces más fuerte que el de la Tierra. Su magnetosfera se extiende sobre unos 650 millones de km (más allá de la órbita de Saturno). Los satélites de Júpiter se incluyen en su atmósfera, lo que explica parcialmente la actividad en Io. Un gran inconveniente para los viajes espaciales del futuro, así como un problema para los diseñadores de las sondas Voyager y Galileo, es que en el medio circundante de Júpiter hay grandes cantidades de partículas capturadas por el campo magnético de Júpiter. Esta "radiación" es similar, pero mucho más intensa que la observada en los cinturones de Van Allen de la Tierra. Sería letal para cualquier ser humano sin protección. La sonda Galileo descubrió una radiación nueva e intensa entre los anillos de Júpiter y los estratos superiores de la atmósfera. Este nuevo cinturón de radiación tiene una intensidad de aprox. 10 veces mayor que la de los cinturones de Van Allen en la Tierra. Sorprendentemente, este nuevo cinturón contiene iones de helio de alta energía, de origen desconocido.

Júpiter tiene anillos como Saturno, pero mucho más escuálidos y pequeños. A diferencia de los de Saturno, los anillos de Júpiter son oscuros. Es probable que se compongan de pequeños granos de material rocoso. A diferencia de los anillos de Saturno, éstos no parecen contener hielo. Probablemente, las partículas de los anillos de Júpiter no permanecen allí por mucho tiempo (a causa de la atmósfera y la atracción magnética). La sonda Galileo encontró pruebas claras que indican que los anillos son continuamente alimentados por el polvo formado por los impactos de los micro meteoritos con el interior, que son muy energéticos, debido al tamaño del campo gravitacional de Júpiter.

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	816,520,800 km (5.458104 AU)
Perihelio	740,573,600 km (4.950429 AU)
Semi-eje mayor	778,547,200 km (5.204267 AU)
Excentricidad	0.048775
Periodo orbital	4,331.572 días; 11.85920 yr; 10,475.8 días solares de Júpiter
Periodo sinódico	398.88 días
Velocidad orbital media	13.07 km/s
Anomalía media	18.818°
Inclinación	1.305° de la eclíptica; 6.09° del ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	100.492°
Argumento del perihelio	275.066°
Satélites	67

Características físicas	
Radio ecuatorial	71,492 ± 4 km; 11.209 Tierras
Radio polar	66,854 ± 10 km; 10.517 Tierras
Achatamiento	0.06487 ± 0.00015
Superficie	6.21796 × 10 ¹⁰ km ² ; 121.9 Tierras
Volumen	1.43128 × 10 ¹⁵ km ³ ; 1321.3 Tierras
Masa	1.8986 × 10 ²⁷ kg; 317.8 Tierras; 1/1047 Sol
Densidad media	1.326 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	24.79 m/s ² ; 2.528 g
Velocidad de escape	59.5 km/s
Período sideral	9.925 h
Albedo	0.343 (bond); 0.52 (geom.)
Magnitud aparente	-1.6 to -2.94
Diámetro angular	29.8" — 50.1"

Atmósfera

Presión en la superficie 20–200 kPa (capas de nubes)

Composición: 89.8±2.0% hidrogeno (H₂), 10,2±2.0% helio, ~0,3% metano, ~0,026% amoniaco, ~0,003% hidrogeno deutero (HD), 0,0006% etano, 0,0004% agua. Hielos de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio (NH₄SH).

SATURNO

Saturno es el sexto planeta más distante del Sol en el Sistema Solar. Es un planeta gigante gaseoso, el segundo en masa y volumen después de Júpiter. Tiene un diámetro aproximado de nueve veces mayor que el de la Tierra y está compuesto sobre todo de hidrógeno. Lleva el nombre del dios romano Saturno.

Masa y dimensiones: Saturno tiene la forma de esferoide aplanado: es achatado en los polos e hinchado en el ecuador. Su diámetro ecuatorial y polar difieren aprox. en un 10%, como consecuencia de su rápida rotación alrededor de su eje y de una composición interna muy fluida. Los otros planetas gaseosos gigantes del Sistema Solar (Júpiter, Urano, Neptuno) también son aplanados, pero menos evidente.

Saturno es el segundo planeta más masivo del Sistema Solar, 3,3 veces más pequeño que Júpiter, pero 5,5 más grande que Neptuno y 6,5 veces más grande que Urano. Es 95 veces más masivo que la Tierra. Su diámetro es de casi 9 veces mayor que el de la Tierra.

Saturno es el único planeta del Sistema Solar, cuyo promedio masa-volumen es menor que la del agua: 0,69 g/cm. Esto significa que su atmósfera, compuesta sobre todo de hidrógeno, es menos densa que el agua, pero su núcleo es mucho más denso.

La atmósfera: Al igual que Júpiter, la atmósfera de Saturno se organiza en bandas paralelas, aunque estas son menos visibles y más grandes en el ecuador. En realidad, los sistemas de nubes de Saturno (así como las tormentas de larga duración) fueron observadas por primera vez por las misiones Voyager. La nube observada en 1990 es un ejemplo de una mancha blanca grande, un fenómeno efímero de Saturno que tiene lugar cada 30 años. Si la periodicidad sigue siendo la misma, la próxima tormenta tendrá lugar probablemente en 2020. La atmósfera de Saturno se somete a una rotación diferencial.

En 2006 la NASA observó una tormenta de las dimensiones de un huracán, estacionado en el polo Sur, que tenía un ojo bien definido. Es el único ojo observado en otro planeta salvo en la Tierra.

Los anillos de Saturno: dan uno de los espectáculos más hermosos del Sistema Solar, que constituyen su principal característica. A diferencia de los otros dos planetas gaseosos gigantes, que son muy brillantes (albedo de entre 0,2 y 0,6), los anillos de Saturno pueden verse a través de un par de binoculares. Poseen una actividad permanente: colisiones, acumulaciones de materia, etc

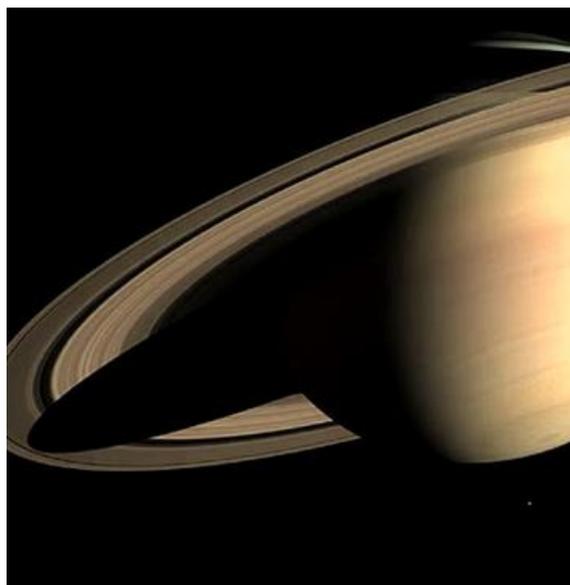


Fig. 7: Saturno

Saturno tiene un gran número de satélites. Es difícil decir cuántos hay, cualquier trozo de hielo de los anillos se puede considerar un satélite. En 2009 se identificaron 62 satélites. 53 fueron confirmados y se les dio nombres. La mayoría de son pequeños: 31 tienen un diámetro de menos de 10 km, mientras que 13 son de menos de 50 km. Sólo siete son lo suficientemente grandes para asumir una forma esférica bajo la influencia de su propia gravedad. Titán es el mayor de ellos, más grande que Mercurio y Plutón y el único satélite del Sistema Solar con una atmósfera densa.

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	1,513,325,783 km; 10.115 958 04 AU
Perihelio	1,353,572,956 km; 9.048 076 35 AU
Semi-eje mayor	1,433,449,370 km; 9.582 017 20 AU
Excentricidad	0.055 723 219
Período orbital	10,759.22 días; 29.4571 yr
Período sinódico	378.09 días
Velocidad media orbital	9.69 km/s
Anomalía media	320.346 750°
Inclinación	2.485 240° a la eclíptica; 5.51° al ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	113.642 811°
Argumento del perihelio	336.013 862°
Satélites	~ 200 observados (61 con órbita fija)

Características físicas	
Radio ecuatorial	60,268 ± 4 km; 9.4492 Tierras
Radio polar	54,364 ± 10 km; 8.5521 Tierras
Achatamiento	0.097 96 ± 0.000 18
Superficie	4.27 × 10 ¹⁰ km ² ; 83.703 Tierras
Volumen	8.2713 × 10 ¹⁴ km ³ ; 763.59 Tierras
Masa	5.6846 × 10 ²⁶ kg; 95.152 Tierras
Densidad media	0.687 g/cm ³ ; (menor que el agua)
Gravedad superficial en el ecuador	10.44 m/s ² ; 1.065 g
Velocidad de escape	35.5 km/s
Período sideral	10.57 horas; (10 hr 34 min)
Velocidad de rotación ecuatorial	9.87 km/s; 35 500 km/h
Inclinación axial	26.73°
Albedo	0.342 (bond); 0.47 (geom.)
Magnitud aparente	+1.2 to -0.24
Diámetro angular	14.5" — 20.1" (excluidos los anillos)

Atmósfera

Escala de altura: 59.5 km

Composicion: ~96% hidrógeno (H₂), ~3% helio, ~0.4% metano, ~0.01% amoniaco, ~0.01% Deuterio de hidrógeno (HD), 0.000 7% etano, hielo de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio ((NH₄SH)

URANO

Urano es un planeta gigante gaseoso. Es el séptimo más alejado del Sol en el Sistema Solar, el tercero en dimensiones y el cuarto en masa. Lleva el nombre del padre de Cronos (Saturno) y del abuelo de Zeus (Júpiter). Es el primer planeta descubierto en la época moderna. Aunque puede ser visto a simple vista como los otros 5 planetas clásicos, debido a su débil luminosidad que no era fácilmente identificable como planeta. William Herschel anunció su descubrimiento el 13 de marzo de 1781, ampliando así las fronteras del Sistema Solar por primera vez en la época moderna. Urano es el primer planeta descubierto por medio del telescopio.

Urano y Neptuno tienen composiciones internas y atmosféricas diferentes de la de los otros grandes planetas gaseosos, Júpiter y Saturno. Por eso, los astrónomos a veces los colocan en una categoría diferente, la de los gigantes helados o subgigantes.

La atmósfera de Urano, aunque se compone principalmente de hidrógeno y helio, también contienen grandes cantidades de hielo de agua, amoníaco y metano, así como huellas de

hidrocarburos. Urano presenta la atmósfera más fría del Sistema Solar, que alcanza un mínimo de -224 C. Tiene una estructura compleja de nubes, las de los estratos más bajos podrían estar formados de agua y en los estratos superiores de metano. Como los otros planetas gigantes gaseosos, Urano tiene un sistema de anillos, una magnetosfera y numerosos satélites naturales. El sistema de Urano es único en el Sistema Solar, porque su eje de rotación está prácticamente en la órbita de su plano de revolución alrededor del Sol. Sus polos Norte y Sur están donde los otros planetas tienen su ecuador. En 1986, la Voyager 2 dio imágenes de Urano, que muestran un planeta sin características especiales en la luz visible, sin capas de nubes o nubes como en los otros planetas gaseosos. Sin embargo, observaciones recientes han mostrado signos de cambio de estación y un aumento de la actividad meteorológica, cuando Urano se acercaba a su equinoccio de diciembre de 2007. El viento puede alcanzar la velocidad de 250 m/s en su superficie.

Órbita y rotación: El período de revolución de Urano alrededor del Sol es de 84 años terrestres. Su distancia media al Sol es de aprox. 3 mil millones de kilómetros. La intensidad del flujo solar en Urano es de aprox. $1/400$ de la que recibe la Tierra.

El período de rotación de las capas interiores de Urano es de 17 horas y 14 minutos. Sin embargo, en la atmósfera superior tienen lugar vientos violentos en el sentido de rotación, como ocurre con todos los planetas gigantes gaseosos. En consecuencia, alrededor de los 60° de latitud, las partes visibles de la atmósfera viajan más rápido y hacen una rotación completa en menos de 14 horas.

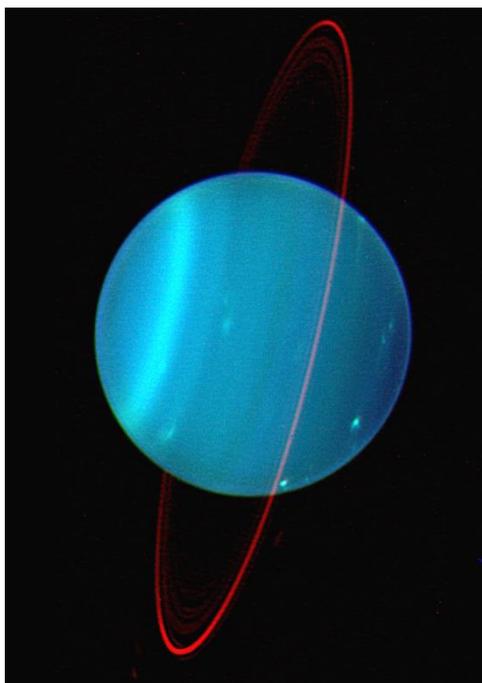


Fig. 8 Urano.

Urano es un planeta gigante, como Júpiter, Saturno y Neptuno. Aunque sabemos muy pocas cosas acerca de su composición interna, sabemos con certeza que es diferente de la de Júpiter o Saturno. En teoría, debería tener un núcleo sólido de silicatos de hierro, con un diámetro de aprox. 7.500 km, rodeado por un escudo formado por hielo de agua mezclado con helio, metano y amoníaco, de 10.000 km de ancho, seguido de un estrato superficial de hidrógeno y

helio líquido, de aprox. 7.600 kilómetros, que se derrite lentamente en la atmósfera. A diferencia de Júpiter y Saturno, Urano no es tan masiva como para conservar el hidrógeno en estado metálico alrededor de su núcleo. El color verde azulado se debe a la presencia de metano en la atmósfera, que absorbe todo el rojo y el infrarrojo. Urano tiene al menos 13 anillos principales.

A diferencia de cualquier otro planeta del Sistema Solar, Urano presenta un eje de rotación muy inclinado, casi paralelo a su plano orbital. Podríamos decir que rueda en su órbita y expone al Sol su polo Norte y su polo Sur sucesivamente. Una consecuencia de esta orientación es que las regiones polares reciben más energía del Sol que las ecuatoriales. Sin embargo, Urano permanece más cálido en el ecuador que en los polos, un mecanismo aún no explicado. Ninguna teoría sobre su inclinación puede pasar por alto la idea de una colisión catastrófica con otro cuerpo antes de su formación actual. Urano tiene al menos 27 satélites naturales. Los dos primeros fueron descubiertos por William Herschel el 13 de marzo de 1787 y fueron llamados Titania y Oberón.

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	3,004,419,704 km, 20.083 305 26 AU
Perihelio	2,748,938,461 km, 18.375 518 63 AU
Semi-eje mayor	2,876,679,082 km, 19.229 411 95 AU
Excentricidad	0.044 405 586
Periodo orbital	30,799.095 días, 84.323 326 yr
Periodo sinódico	369.66 día
Velocidad orbital media	6.81 km/s
Anomalía media	142.955 717°
Inclinación	0.772 556° a la eclíptica, 6.48° al Ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	73.989 821°
Argumento del perihelio	96.541 318°
Satélites	27

Características físicas	
Radio ecuatorial	25,559 ± 4 km, 4.007 Tierras
Radio polar	24,973 ± 20 km, 3.929 Tierras
Achatamiento	0.022 9 ± 0.000 8
Superficie	8.115 6 × 10 ⁹ km ² , 15.91 Tierras
Volumen	6.833 × 10 ¹³ km ³ , 63.086 Tierras
Masa	(8.6810 ± 0.0013) × 10 ²⁵ kg, 14.536 Tierras
Densidad media	1.27 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	8.69 m/s ² , 0.886 g
Velocidad de escape	21.3 km/s
Período sideral	−0.718 33 día, 7 h 14 min 24
Velocidad de rotación ecuatorial	2.59 km/s, 9,320 km/h
Inclinación axial	97.77°
Albedo	0.300 (bond), 0.51 (geom.)
Magnitud aparente	5.9 to 5.32
Diámetro angular	3.3"–4.1"

Atmósfera

Composición (por debajo 1,3 bar): 83 ± 3% hidrógeno (H₂), 15 ± 3% helio, 2,3% metano, 0,009% (0,007–0,015%) deuterio de hidrógeno (HD). Hielos de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio (NH₄SH), metano (CH₄).

NEPTUNO

Neptuno es el octavo y el planeta más alejado del Sol en el Sistema Solar. Es también el último planeta gigante gaseoso. Fue descubierto por el astrónomo alemán Johann Gottfried Galle, el 23 de septiembre de 1847, siguiendo las indicaciones de Urbano Le Verrier, quien, como el astrónomo inglés John Couch Adams, había previsto a través del cálculo, que en esa región del cielo, podía ser encontrado. Lleva el nombre del dios romano de los mares.

Neptuno no es visible a simple vista y aparece como un disco de color verde azulado a través del telescopio. Ha sido visitado sólo una vez por la sonda espacial Voyager 2, que pasó cerca de él el 25 de agosto de 1989. Su satélite mayor es Tritón. Su composición interna es similar a la de Urano. Se cree que tiene un núcleo sólido formado de silicatos y hierro, casi tan grande como la masa de la Tierra. Su núcleo, al igual que Urano, está supuestamente cubierto con una composición bastante uniforme (rocas en fusión, hielo, el 15% de hidrógeno y algo de helio), no tiene ningún tipo de estructura en "capas" como Júpiter y Saturno.

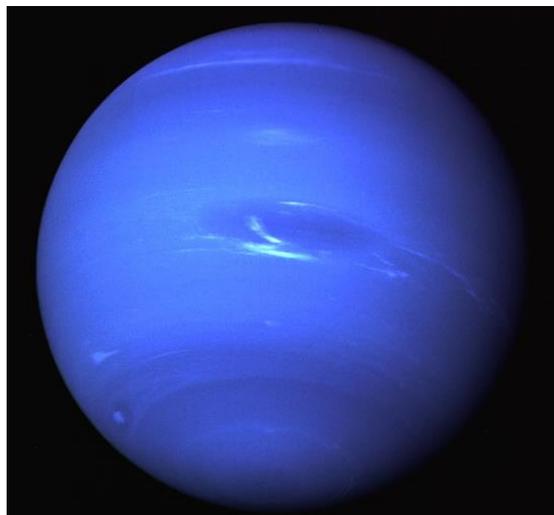


Fig. 9: Neptuno

Su color azulado proviene principalmente del metano, que absorbe la luz en las longitudes de onda del rojo. Parece que otra composición da a Neptuno su característico color azulado, pero que no se ha definido todavía.

Como los otros planetas gigantes gaseosos, tiene un sistema eólico formado de vientos muy rápidos en bandas paralelas al ecuador, de fuertes tormentas y vórtices. Los vientos más rápidos en Neptuno soplan a más de 2.000 km/h. Durante la visita de la Voyager 2, la formación más interesante observada fue la "Gran Mancha Oscura", que podría ser del tamaño de la "Gran Mancha Roja" de Júpiter. No se advirtió antes, durante las observaciones realizadas con el telescopio espacial Hubble. Los vientos pueden soplar allí a 300 m/s (1.080 km/h) o incluso hasta 2.500 km/h. Esta mancha podría ser un huracán gigante oscuro que supuestamente viaja a unos 1.000 km/h. Los anillos planetarios de Neptuno son poco visibles. Son oscuros, y su origen es aún desconocido. Neptuno tiene al menos 14 satélites naturales, entre los cuales el más importante es Tritón, descubierto por William Lassell sólo 17 días después del descubrimiento de Neptuno.

Características físicas	
Radio ecuatorial	24,764 ± 15 km, 3.883 Tierras
Radio polar	24,341 ± 30 km, 3.829 Tierras
Achatamiento	0.0171 ± 0.0013
Superficie	7.6408 × 10 ⁹ km ² , 14.98 Tierras
Volumen	6.254 × 10 ¹³ km ³ , 57.74 Tierras
Masa	1.0243 × 10 ²⁶ kg, 17.147 Tierras
Densidad media	1.638 g/cm ³
Gravedad superficial en el ecuador	11.15 m/s ² , 1.14 g
Velocidad de escape	23.5 km/s
Período sideral	0.6713 day, 16 h 6 min 36 s
Velocidad de rotación ecuatorial	2.68 km/s, 9,660 km/h
Inclinación axial	28.32°
Albedo	0.290 (bond), 0.41 (geom.) ^[7]
Magnitud aparente	8.0 to 7.78
Diámetro angular	2.2"-2.4

Características Orbitales, Época J2000	
Afelio	4,553,946,490 km, 30.44125206 AU
Perihelio	4,452,940,833 km, 29.76607095 AU
Semi-eje mayor	4,503,443,661 km, 30.10366151 AU
Excentricidad	0.011214269
Período orbital	60,190 días, 164.79 años
Período sinódico	367.49 día
Velocidad orbital media	5.43 km/
Anomalía media	267.767281°
Inclinación	1.767975° a la eclíptica, 6.43° al Ecuador del Sol
Longitud del nodo ascendente	131.794310°
Argumento del perihelio	265.646853°
Satélites	14

Atmósfera

Composición: 80±3,2% hidrógeno (H₂), 19±3,2% helio, 1,5±0,5% metano, ~0,019% hidrógeno deuterio (HD), ~0,00015 Etano. Hielos de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio (NH₄SH), metano.

Otros Cuerpos en el Sistema Solar

El medio interplanetario

Además de la luz, el Sol irradia un flujo continuo de partículas cargadas (plasma) llamado viento solar. Este flujo se disipa a una velocidad de 1,5 millones de km/h, creando así la heliosfera, una fina atmósfera que baña el Sistema Solar hasta aprox. 100 UA (marcado la heliopausa). La materia que constituye la heliosfera se llama medio interplanetario. El ciclo solar de 11 años, así como las frecuentes erupciones solares y eyecciones de masa coronal, perturban la heliosfera y crear un clima espacial. La rotación del campo magnético solar actúa sobre el medio interplanetario, creando la capa de heliosférica actual, que es la mayor estructura del Sistema Solar.

El campo magnético terrestre protege a la atmósfera del viento solar. La interacción entre el viento solar y el campo magnético terrestre provoca las auroras boreales. La heliosfera asegura una protección parcial del Sistema Solar de los rayos cósmicos, que es mayor en los planetas con un campo magnético.

El medio interplanetario tiene al menos dos regiones de polvo cósmico bajo la forma de disco. La primera, la nube de polvo zodiacal, está en el Sistema Solar interior y produce la luz zodiacal. Probablemente se formó a través de una colisión en el interior del cinturón de asteroides causado por las interacciones con los planetas. La segunda se extiende entre 10 y 40 UA y probablemente se formó durante colisiones similares en el Cinturón de Kuiper.

EL CINTURON DE ASTEROIDES

Los asteroides son principalmente pequeños cuerpos del Sistema Solar formados por rocas y minerales metálicos no volátiles. El cinturón de asteroides ocupa una órbita situada entre Marte y Júpiter, a una distancia de 2,3 y hasta 3,3 UA del Sol. Podrían ser restos del Sistema Solar en formación, que no han logrado hacer un cuerpo celeste mayor, debido a las interferencias gravitatoria de Júpiter.

El tamaño de los asteroides varía entre varios cientos de kilómetros hasta microscópicas motas de polvo. Todos, excepto el más grande, Ceres, se consideran pequeños cuerpos, aunque algunos de ellos como Vesta y Hygeia podrían ser clasificados como planetas enanos, si se demuestra que alcanzan equilibrio hidrostático. El cinturón de asteroides contiene miles, incluso millones de cuerpos con un diámetro de más de un kilómetro. Sin embargo, la masa total del cinturón no es mayor que la milésima parte de la de la Tierra.

Ceres (2,77 UA) es el mayor cuerpo en el cinturón de asteroides y el único planeta enano (clasificado así en 2006). Con un diámetro de casi 1.000 km, es suficiente para su gravedad le confiera su forma esférica.

COMETAS

Los cometas son pequeños cuerpos del Sistema Solar, con diámetros del orden de kilómetros, generalmente compuestos de hielos volátiles. Tienen órbitas muy excéntricas, con el perihelio a veces en el Sistema Solar interior, mientras que el afelio está más allá de Plutón. Cuando un cometa entra en el Sistema Solar interior, su proximidad al Sol lleva a la sublimación e ionización de su superficie, creando una cola: una larga cola formada de gas y polvo.

Cometas de periodo corto (por ejemplo, el cometa Halley) completan su órbita en menos de 200 años y parece que se originan en el Cinturón de Kuiper. Cometas de periodo largo (por ejemplo, el cometa Hale-Bopp) tienen una periodicidad de varios miles de años y parecen originarse en la nube de Oort. Por último, hay algunos cometas que tienen una trayectoria hiperbólica y parecen provenir de fuera del Sistema Solar. Cometas viejos que han perdido la mayor parte de sus componentes volátiles se consideran hoy asteroides.

Los Centauris, situados entre las 9 y 30 UA, son cuerpos de hielo similar a los cometas, que orbitan entre Júpiter y Neptuno. El mayor centauro conocido, Chariklo, tiene un diámetro de entre 200 y 250 km. El primer centauro descubierto, Quirón, fue considerado en un principio

un cometa, ya que desarrolló una cola como estos. Algunos astrónomos clasifican a los centauros como cuerpos del cinturón de Kuiper.



Fig. 10: Cometa

El cinturón de Kuiper es un gran anillo formado por los desechos provenientes de los escombros de un gran anillo, similar a la del cinturón de asteroides, pero se compone principalmente de hielo. La primera parte del cinturón de Kuiper se extiende entre 30 y los 50 UA del Sol y se detiene en "el acantilado Kuiper", donde comienza su segunda parte hasta 100 UA. Esta región se cree que es la fuente de cometas de corto período. Se componen principalmente de los pequeños cuerpos, así como de algunos más grandes, como Quaoar, Varuna o Orcus, que pueden ser clasificados como planetas enanos. El cinturón de Kuiper podría dividirse mayormente en los objetos "clásicos" y los objetos en resonancia con Neptuno. Un ejemplo en este efecto serían los plutinis que completan dos órbitas mientras que Neptuno ha completado tres.

PLUTÓN Y CARONTE

Plutón (39 UA de distancia media), un planeta enano, es el mayor cuerpo del cinturón de Kuiper conocido. Descubierta en 1930, fue considerado un planeta y re-clasificado en agosto de 2006. Plutón tiene una órbita excéntrica inclinada 17° en contra de su plano eclíptico. Su perihelio se extiende hasta las 29,7 UA y el afelio hasta las 49,5 UA.

El satélite más grande de Plutón, Caronte, es lo suficientemente grande para que el conjunto gravite entorno a un centro de gravedad situado por encima de la superficie de cada uno de los cuerpos. Otros dos pequeños satélites, Nix e Hydra, orbitan entorno a la pareja Plutón-Caronte. Plutón está en resonancia orbital de 3:2 con Neptuno (el planeta orbita dos veces el Sol, mientras Neptuno lo hace tres). Los cuerpos de cinturón de Kuiper que participan en esta resonancia se llaman plutinis (es decir pequeños Plutos).

Bibliografía

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.

Horizonte local y Relojes de Sol

Rosa M. Ros

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

Resumen

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

Objetivos

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

La Tierra rota y se traslada

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

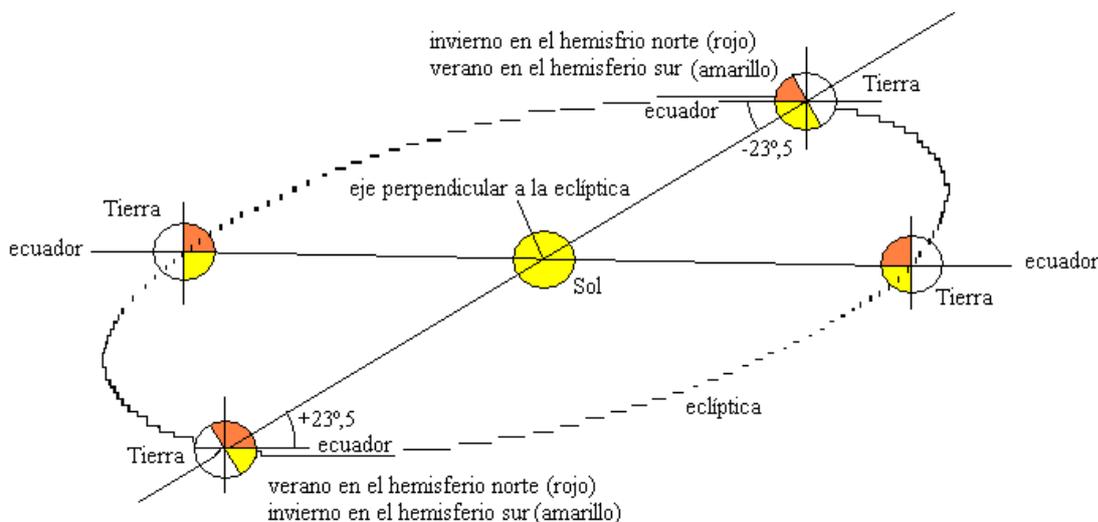


Fig. 1: Esquema del movimiento de traslación. El ángulo entre el plano del ecuador terrestre y el plano de la eclíptica es de $23,5^\circ$ así como el ángulo entre el eje de rotación terrestre y el eje perpendicular al plano de la eclíptica x también de $23,5^\circ$.

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

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

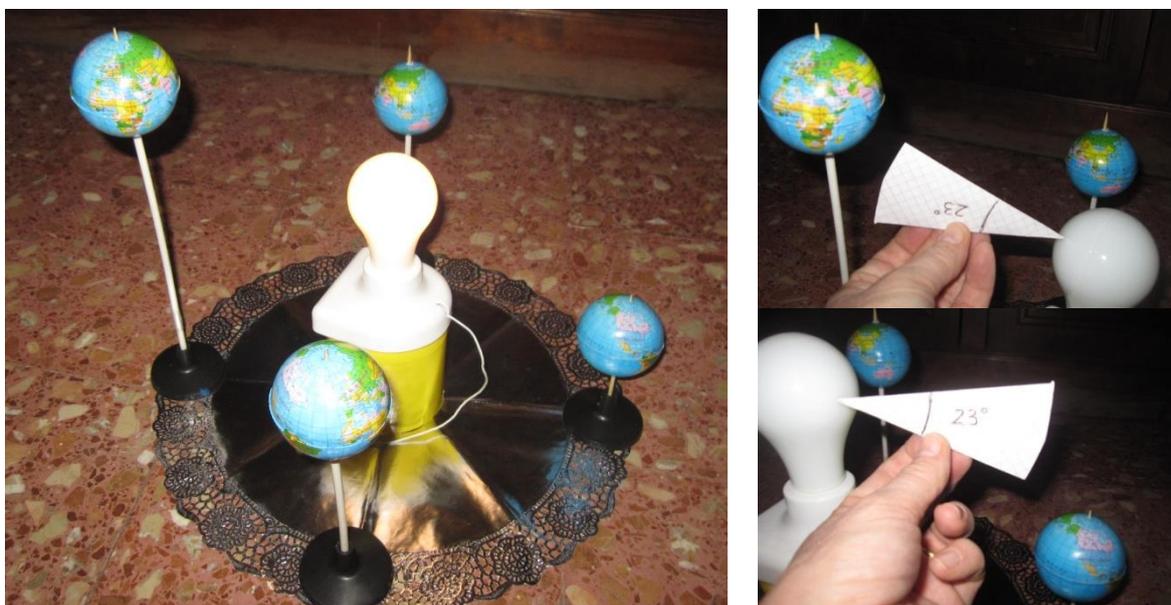


Fig. 2a, 2b y 2c: Disposición de las 4 esferas de la Tierra con la bombilla del Sol en medio. Hay que distribuir las posiciones relativas de forma que el ángulo de la línea desde el centro del Sol al centro de la Tierra forme unos 23° con el suelo, que representa el plano del ecuador.

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

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



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

Este modelo, puede dar mucho juego ya que si imaginamos que una persona vive en uno de los hemisferios, veremos que visualiza el Sol a diferente altura según la época del año. Imaginemos, para fijar ideas, que tenemos una persona en el hemisferio norte cuando estamos en la posición A, esta persona ve el Sol por encima del plano del ecuador $23,5^\circ$ (figura 4a) en cambio si esta en el hemisferio sur, pero en la posición C ve el Sol por debajo del ecuador $-23,5^\circ$ (figura 4b). Cuando está en las posiciones B y D lo ve exactamente sobre el ecuador, esto es a 0° sobre el ecuador. No es sencillo imaginarnos como se puede ver este modelo visto desde la Tierra, así que lo que haremos es construir otro modelo más “real” para el observador que está ligado a la Tierra y que no tiene la opción de ver este esquema visto desde fuera de la órbita terrestre. Construiremos un modelo relativo al horizonte local del observador, UN MODELO RELAMENTE OBSERVACIONAL.



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



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

La Observación

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



Fig. 5: Representación clásica de la esfera celeste.

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

Cuando el profesor, sobre la pizarra, textos o maquetas, habla de meridianos y paralelos, de coordenadas de posición, presenta figuras parecidas a la figura 5. Lo que no representa mayor dificultad y los estudiantes pueden entender sin problemas. Las figuras que tienen los alumnos ante sus ojos son análogas a las que han usado cuando estudiaban geografía (figura 6).

Los problemas comienzan cuando estamos observando y no aparece ninguna línea en el cielo. No se puede ver el eje de rotación y no es sencillo encontrar referencias en el firmamento. El principal escollo es que ahora el estudiante está situado en el interior de la esfera celeste mientras que hemos presentado toda la información en la clase mirando el cielo desde el exterior de la esfera celeste. Entonces no resulta fácil comprender la nueva situación vista desde dentro (figura 7).

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

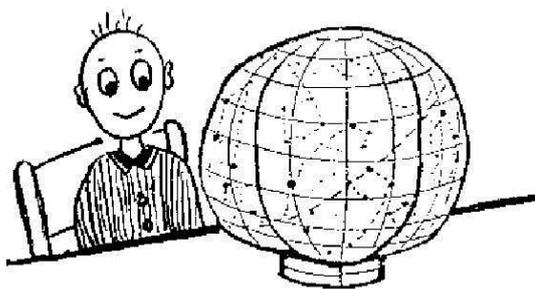


Fig. 6: La esfera celeste desde el exterior.

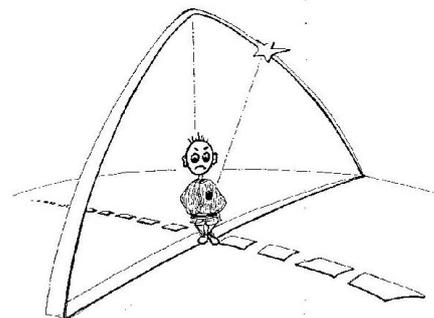


Fig. 7: La esfera celeste desde el interior

Modelo local del horizonte

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

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

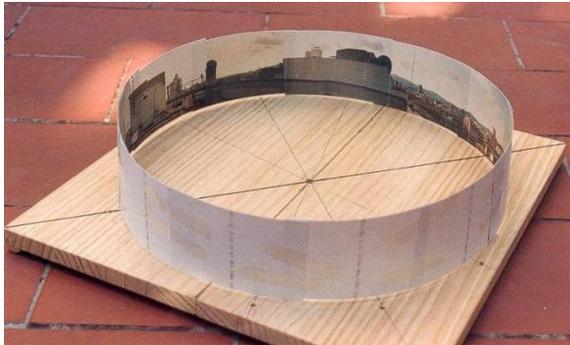


Fig. 8: El horizonte local

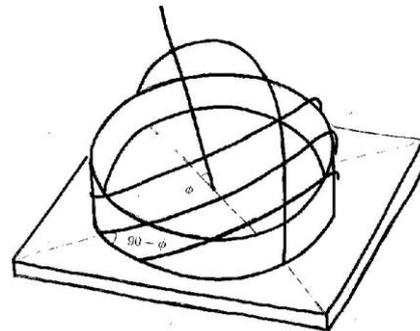


Fig. 9: Modelo mostrando con la latitud y la colatitud

Cuando tengamos las fotografías reveladas podemos fijar las copias una a continuación de la otra, formando un cilindro que después asentaremos sobre una base cuadrada de madera en el mismo lugar donde se han realizado las fotografías (figura 8). Es muy importante situar todas las fotografías acordes con el horizonte real.

A continuación se introduce el eje de rotación terrestre. Dando el valor de la latitud del lugar ϕ se puede introducir en la maqueta un alambre según esta inclinación (figura 9).

Con este dato es posible fijar el eje de rotación del modelo. Pero como el modelo está orientado según el horizonte local, la prolongación del alambre sirve para ayudar a visualizar el eje real y localizar el Polo Sur, y es útil también para imaginar la posición del punto cardinal Sur (figura 10).

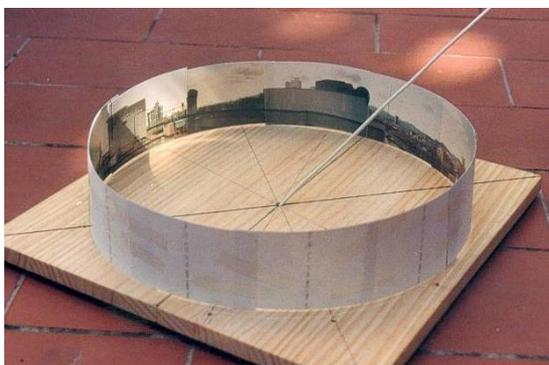


Fig. 10: Con el eje del mundo



Fig. 11: Con el meridiano del lugar

Obviamente introducir el punto cardinal Norte y el Polo Norte resulta fácil. A continuación se puede trazar la recta Norte-Sur sobre el modelo y también sobre el suelo del patio o la terraza donde se trabaja (usando el proceso normal de determinación de la recta Norte-Sur). Es muy importante porque cada vez que se vaya a usar el modelo habrá que orientarlo y es muy útil

disponer de esta recta Norte-Sur real para facilitar el trabajo. (Con una brújula se puede comprobar dicha dirección).

El siguiente objetivo consiste en situar el meridiano del lugar. El meridiano local es muy fácil de definir, pero no resulta un concepto simple de asimilar para los estudiantes (quizá, en parte, porque cada uno tiene su meridiano del lugar). Se puede fijar un alambre que pase por los puntos cardinales Norte y Sur y el eje de rotación de la Tierra (figura 11). Este alambre es la visualización del meridiano del lugar en el modelo, pero permite imaginar sobre el cielo la línea del meridiano local. Ahora es muy fácil de imaginar porque empieza en los mismos lugares que el estudiante puede ver en el modelo. El meridiano local empieza en el mismo edificio que en la fotografía, pero en el horizonte real, y después de pasar por encima de su cabeza acabará en el mismo edificio que se visualiza gracias al alambre en el horizonte de fotografías.

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

El ecuador se simula por medio de un alambre perpendicular al eje de rotación terrestre que empieza y acaba en los puntos cardinales Este y Oeste (sobre el horizonte, en la recta perpendicular a la Norte-Sur). Pero no es sencillo fijar el círculo de alambre perpendicular al alambre que simboliza el eje de rotación, porque el eje de rotación está inclinado y obviamente el ecuador también deberá estarlo, pero ¿con qué inclinación hay que situarlo? Tomaremos cuatro o cinco fotografías de la salida del Sol el primer día de primavera u otoño. Es peligroso fotografiar el Sol cuando este está bastante elevado, hay que hacerlo solo cuando sea posible mirar la salida del Sol sin que nos moleste la vista. En cuanto moleste un poco hay que dejar de observar y de fotografiar, puede resultar peligroso. Tomaremos todas las fotografías realizadas con el mismo encuadre y usando un software apropiado las sobreponemos unas con otras (tomaremos alguna referencia del horizonte) y podremos distinguir la inclinación del mismo Sol sobre el horizonte. Esta fotografía nos servirá para introducir la inclinación apropiada en el alambre que representa el ecuador en el modelo (figura 13). Se sabe los puntos donde fijarlo y también la inclinación, así es que puede sujetarse el alambre sobre la madera y también sujetarlo con el meridiano local (figura 13).

Si se considera el Sol como una estrella más (el Sol es el más importante para los observadores porque está más próximo, pero su comportamiento no es diferente al de las otras estrellas) puede obtenerse la inclinación del movimiento de las estrellas cuando éstas se elevan o se ponen respecto al horizonte. Para ello, basta con que se capten dos fotografías de este instante próximas al punto cardinal Este y al punto cardinal Oeste (figura 14).

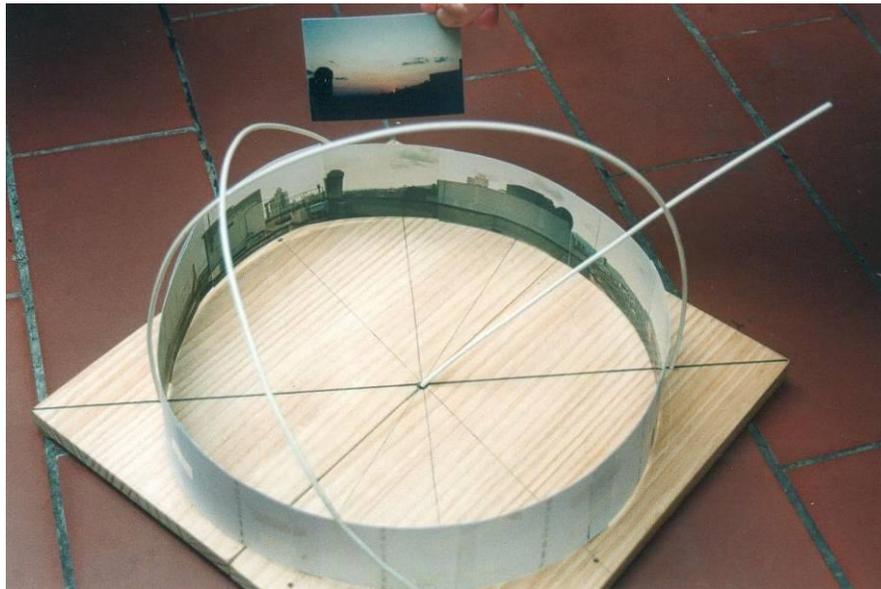


Fig. 12: Punto de puesta del Sol el día del equinoccio de primavera o de otoño

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



Fig. 13: Traza de la salida del Sol

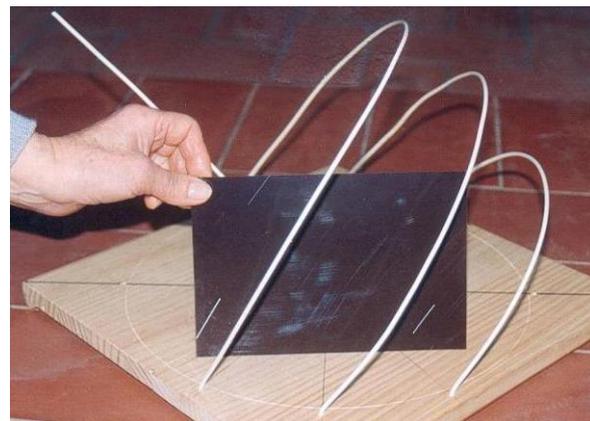


Fig. 14: Trazas de las estrellas en la zona este.

Es importante aprovechar esta ocasión para obtener un pequeño repertorio de fotografías. Por ejemplo se puede tomar una de la zona del polo dando unos 15 minutos de exposición, otra de la zona por encima de ella siguiendo el meridiano local, otra a continuación siguiendo también el mismo meridiano y así sucesivamente hasta conseguir la fotografía que ya esta rasante al horizonte. La idea es fotografiar todo el meridiano local desde el Norte hasta el Sur pasando por encima de nuestras cabezas. Evidentemente el meridiano local del lugar donde ha

decidido tomar las fotografías no es el mismo que el de la escuela, pero los alumnos pueden comprender esta pequeña diferencia fácilmente.

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

Usando las dos fotografías de los puntos cardinales Este y Oeste, es posible conocer la inclinación de las trazas de las estrellas en el ecuador, y por lo tanto es posible situar el alambre que simboliza el ecuador sin problemas. Se sabe los puntos donde fijarlo y también la inclinación, así es que puede sujetarse el alambre sobre la madera y también sujetarlo con el meridiano local (figura 12).

Evidentemente es posible introducir la cinta de fotografías del meridiano local sobre el modelo. Es suficiente hacer algunas fotocopias y agujerearlas por el punto que indica la polar para poder introducir el eje de rotación. Se observa que el alambre del ecuador se corresponde con las trazas en línea recta que se tienen en la cinta (figura 15).

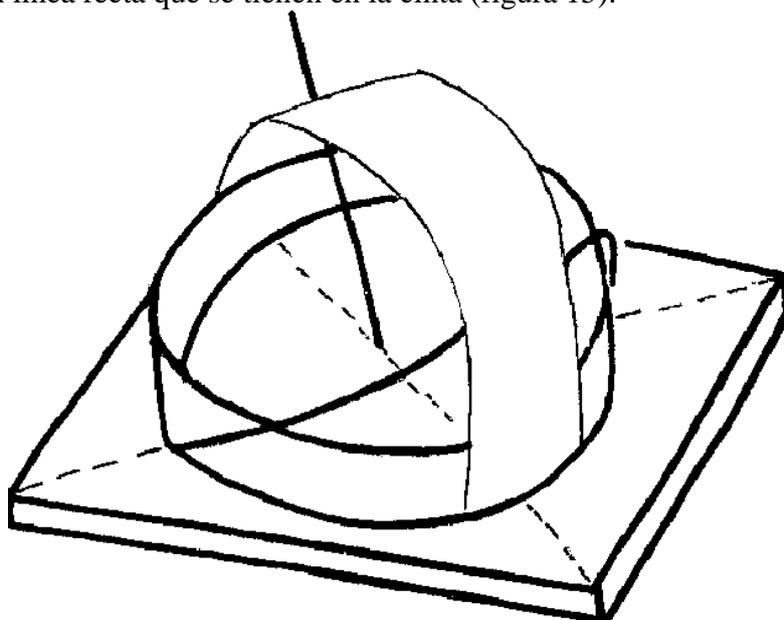


Fig. 15: El meridiano local con fotografías

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

Si se toma de nuevo dos fotografías del primer día del invierno y del verano cuando el Sol sale y se pone, los alumnos podrán ver que las situaciones extremas en su ciudad son muy diferentes. Es sorprendente la diferencia que hay entre una y otra. También puede fijarse los paralelos de Cáncer y de Capricornio con las fotografías que proporciona la inclinación del ecuador, dado que los paralelos siguen esta misma inclinación. Con un simple transportador es posible verificar que el ángulo interior entre el paralelo de Cáncer y el ecuador es aproximadamente 23° , y que este ángulo es también el formado entre el ecuador y el paralelo de Capricornio (figuras 16 y 17).



Fig. 16: Trayectorias del Sol el primer día de cada estación. Los puntos de salida y puesto no coinciden salvo dos días: el día de los equinoccios. Fig. 17: El ángulo entre dos trayectorias del primer día de dos estaciones consecutivas es de 23.5°

Para la formación de los estudiantes es interesante que ellos puedan observar que el Sol no sale y se pone en la misma posición y que ésta no siempre coincide con el Este y el Oeste respectivamente. Hay muchos libros que mencionan que el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Los estudiantes pueden ver que esto sólo es cierto dos veces al año, pero no lo es los días restantes (figuras 16 y 17).

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

Relojes de Sol

Pero hay otras posibilidades de aplicación del modelo. La maqueta no es más que un reloj de Sol, un gran reloj de Sol. Es fantástico para explicar de una forma sencilla y didáctica la construcción de un reloj considerando sólo el horizonte y el movimiento del Sol. En primer lugar es muy fácil ver que el eje de rotación de la Tierra se convierte en el estilete del reloj. Si introducimos un plano en la dirección del plano ecuatorial y movemos una linterna sobre el paralelo de Cáncer, se puede ver la sombra del estilete (el alambre que representa el eje de rotación terrestre) recorriendo el plano del cuadrante ecuatorial, pero cuando se transita con la linterna sobre el paralelo de Capricornio entonces la sombra aparece en la zona de debajo del

plano, y es evidente que cuando la linterna se sitúa sobre el ecuador no se obtiene sombra. Así pues resulta sencillo comprobar que el reloj ecuatorial funciona en verano y primavera mostrando las horas sobre el plano del reloj, en invierno y otoño debajo del mismo, y que hay dos días al año en que no funciona: los días de ambos equinoccios.

Si se considera el plano ecuatorial, el horizontal y el vertical orientado (Este-Oeste), se puede ver que la linterna señala la misma hora en los tres cuadrantes (figura 18). Además, puede observarse cuando son las horas de la mañana y de la tarde para el mismo estilete (el eje de rotación terrestre). Obviamente es la misma hora en los tres relojes. Se comprueba fácilmente en que zona hay que dibujar las horas de la mañana y de la tarde en cada reloj. (Todos los profesores han recibido alguna vez las horas mal dibujadas en un reloj solar; usando este modelo esto ya no sucede).

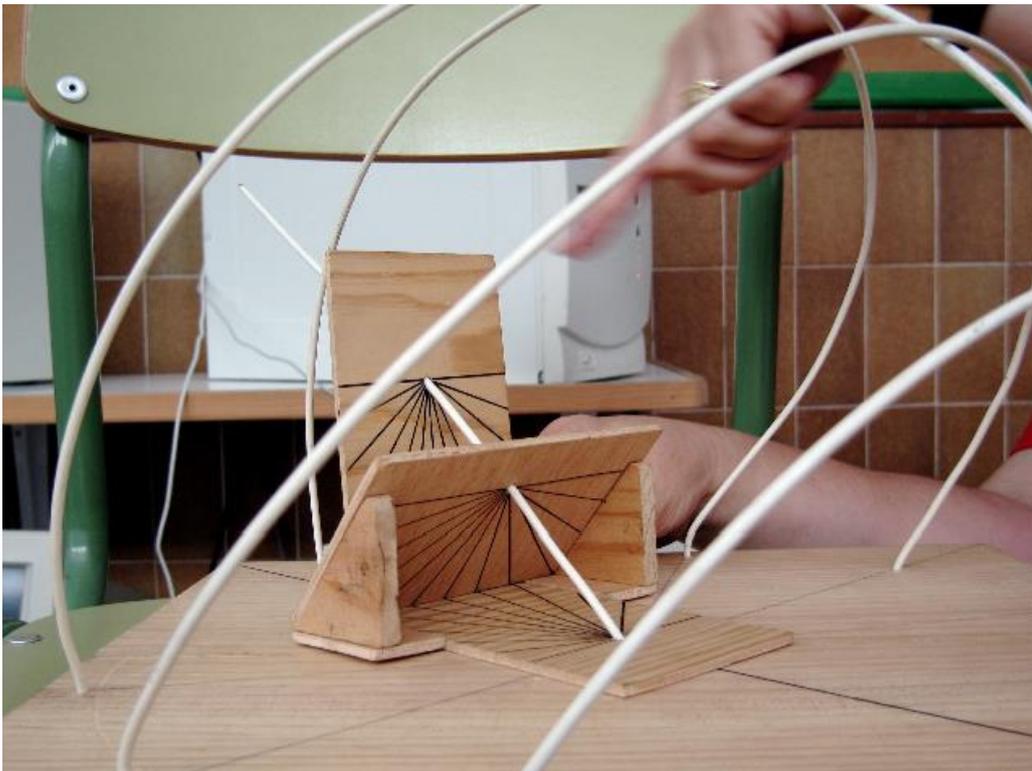


Fig. 18: El modelo es un enorme reloj de Sol. Se pueden considerar de tres tipos.

Al mover la linterna sobre los paralelos de Capricornio y Cáncer se ve fácilmente que el rayo de luz emitido por la lámpara produce sobre el plano una cónica diferente. En el primer caso (el primer día de verano) la cónica es casi una circunferencia y el área encerrada es claramente más pequeña que en el segundo caso. Cuando se sigue el otro paralelo (primer día de invierno) la sección es elíptica y el área encerrada es mucho mayor. Entonces los alumnos pueden comprender que la radiación está más concentrada en la primera situación, es decir, que la temperatura superficial es mayor en verano, y como que también es evidente en el modelo que el número de horas de insolación solar es mayor, la consecuencia natural es que en verano hace más calor que en invierno (figura 19).

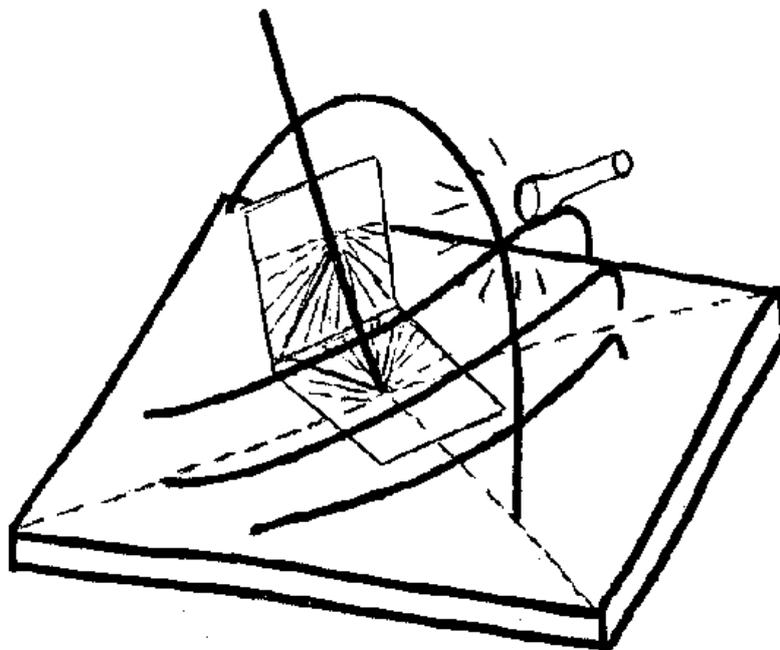


Fig. 19: Los relojes y las estaciones

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

El reloj ecuatorial es muy sencillo de realizar. Basta situar el estilete en la dirección del eje de rotación terrestre, esto es en la dirección Norte-Sur (una brújula nos puede ayudar a hacerlo) y con una altura sobre el plano del horizonte igual a la latitud del lugar (figuras 20 y 21). El estilete de cualquier reloj se situara siempre de la misma manera.

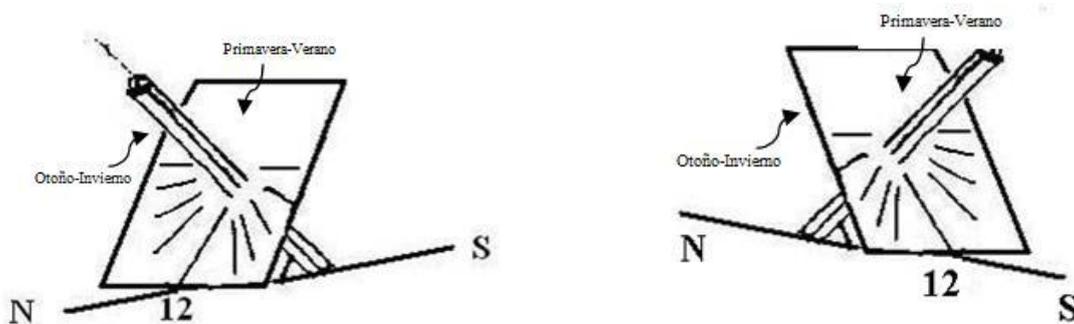


Fig. 20: Reloj ecuatorial en estación (hemisferio norte). Fig. 21: Reloj ecuatorial en estación (hemisferio sur).

Las líneas horarias del reloj ecuatorial se dibujaran a 15 grados (figura 22), ya que el Sol da una vuelta de 360° en 24 horas. Si dividimos $360/24 = 15^\circ$ cada hora.

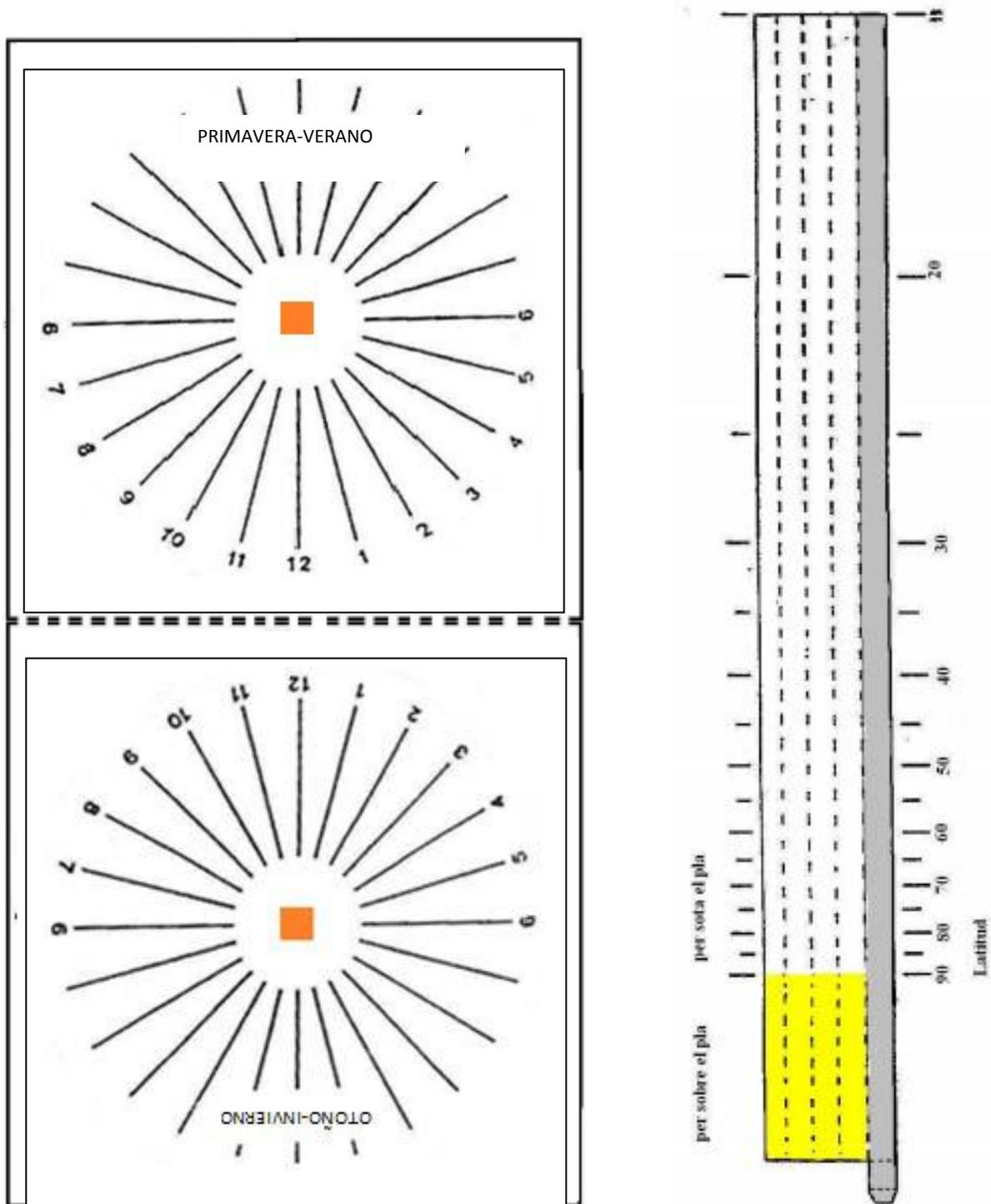


Fig. 22: Recortable del reloj ecuatorial

Las líneas horarias de un reloj horizontal o vertical orientado se obtienen por proyección del ecuatorial, sin más que considerar la latitud del lugar (figuras 23a, 23b, 23c y 23d)

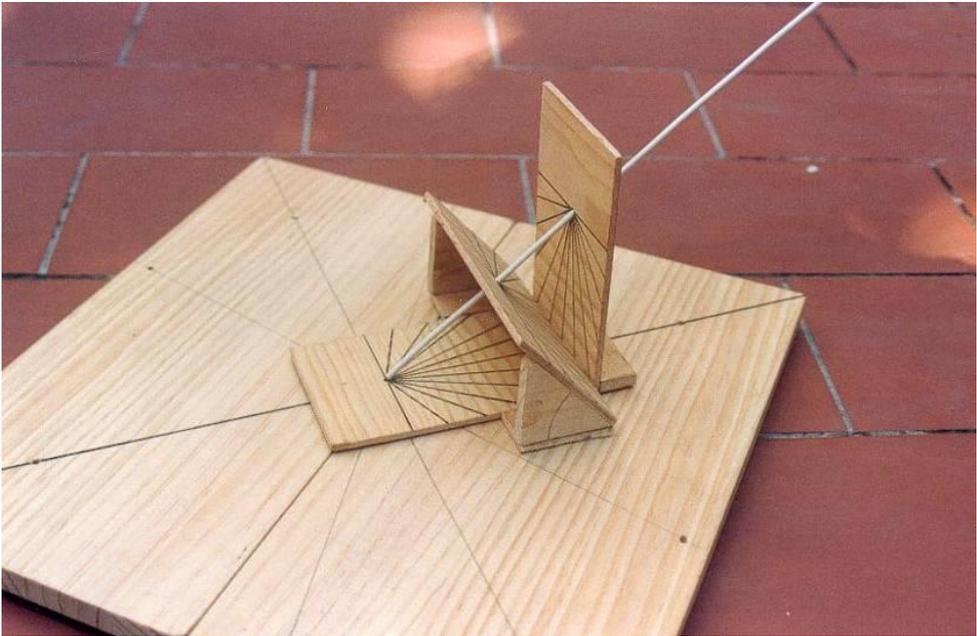
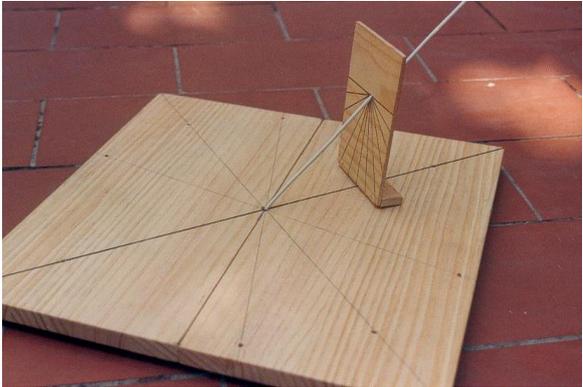
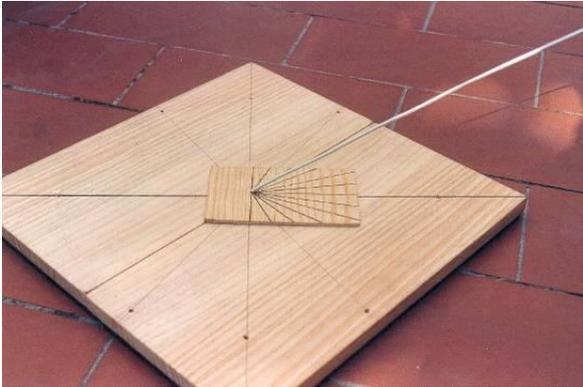
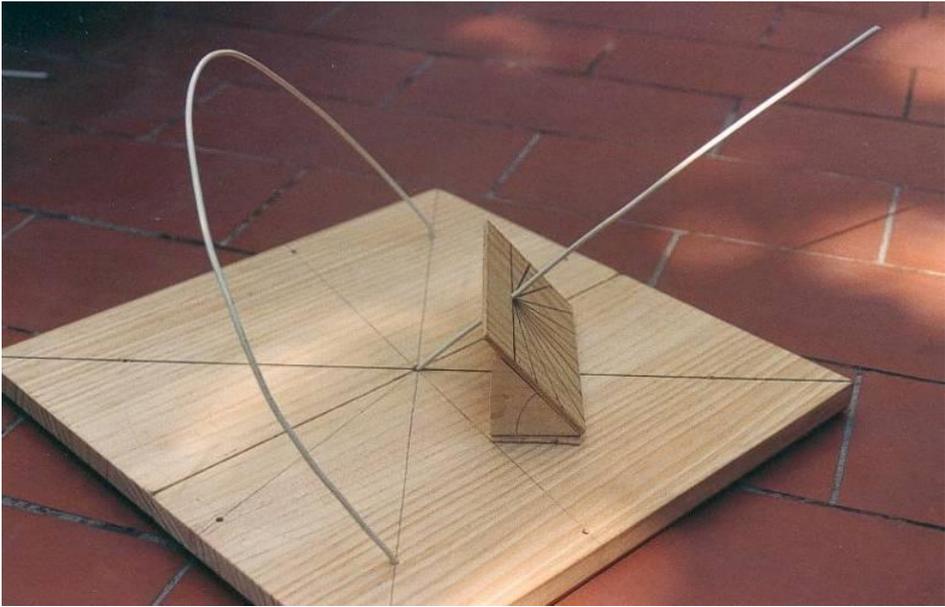


Fig. 23a, 23b, 23c y 23 d: Diversas instantáneas de los tres relojes.

Tiempo solar y tiempo del reloj de “pulsera”

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

Ajuste de Longitud

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

Ajuste de verano/invierno.

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

Ajuste de la Ecuación de Tiempo

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

días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	+3.4	+13.6	+12.5	+4.1	-2.9	-2.4	+3.6	+6.3	+0.2	-10.1	-16.4	-11.2
6	+5.7	+5.1	+11.2	+2.6	-3.4	-1.6	+4.5	+5.9	-1.5	-11.7	-16.4	-9.2
11	+7.8	+7.3	+10.2	+1.2	-3.7	-0.6	+5.3	+5.2	-3.2	-13.1	-16.0	-7.0
16	+9.7	+9.2	+8.9	-0.1	-3.8	+0.4	+5.9	+4.3	-4.9	-14.3	-15.3	-4.6
21	+11.2	+13.8	+7.4	-1.2	-3.6	+1.5	+6.3	+3.2	-6.7	-15.3	-14.3	-2.2
26	+12.5	+13.1	+5.9	-2.2	-3.2	+2.6	+6.4	+1.9	-8.5	-15.9	-12.9	+0.3
31	+13.4		+4.4		-2.5		+6.3	+0.5		-16.3		+2.8

Tabla 1: Ecuación de Tiempo

Tiempo Solar + Ajuste Total = Tiempo del reloj de pulsera

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

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

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

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

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

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

La orientación

Otro problema que se puede observar en los alumnos es el vinculado a sus dificultades de orientación. En un curso de astronomía general, hay que conseguir instruirlos en el sentido de la orientación. Es posible que nuestros alumnos jamás estudien nuevamente astronomía. El mínimo resultado que hay que esperar de un curso (único) de astronomía consiste en que los alumnos sean capaces de reconocer dónde está el Norte, saber que la trayectoria del Sol está sobre el horizonte sur y que los planetas se mueven sobre este horizonte, y en particular que puedan ubicar los diferentes accidentes geográficos de su ciudad. Por ejemplo, sobre el horizonte de Barcelona (figuras 24a y 24b) los estudiantes pueden considerar diversas posibilidades relativas a la posición del Sol, la Luna y ciertas constelaciones sobre el horizonte. Las dos montañas que nosotros vemos están aproximadamente en posición opuesta. Pero para los estudiantes esto no significa nada y normalmente les cuesta distinguir que ciertos dibujos son posibles mientras que otros no se pueden dar jamás. Ellos conocen la teoría, pero la práctica no es suficiente si ellos no entienden las diferentes posibilidades.

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

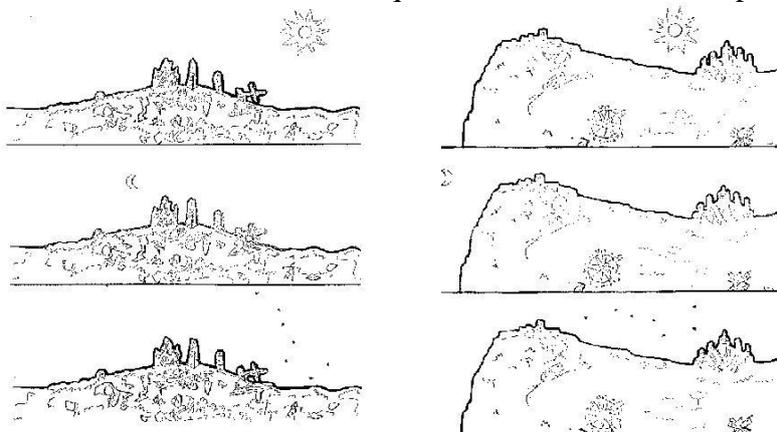


Fig. 24a: Horizonte Noroeste de Barcelona.

Fig. 24b: Horizonte Sudoeste de Barcelona.

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



Fig. 25a: El modelo realizado con alumnos de primaria. Fig. 25b: El modelo a gran escala en el Parque de las Ciencias de Granada.

Es una buena inversión producir un modelo como el explicado a gran escala. En ese caso los alumnos, e incluso los adultos pueden meterse dentro y verificar la posición del Sol en comparación con ecuador y los paralelos que corresponden al primer día de los solsticios de verano e invierno (figura 25a). En algunos museos de la ciencia ya se han construido este tipo de modelo (figura 25b).

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

Bibliografía

- 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.

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.

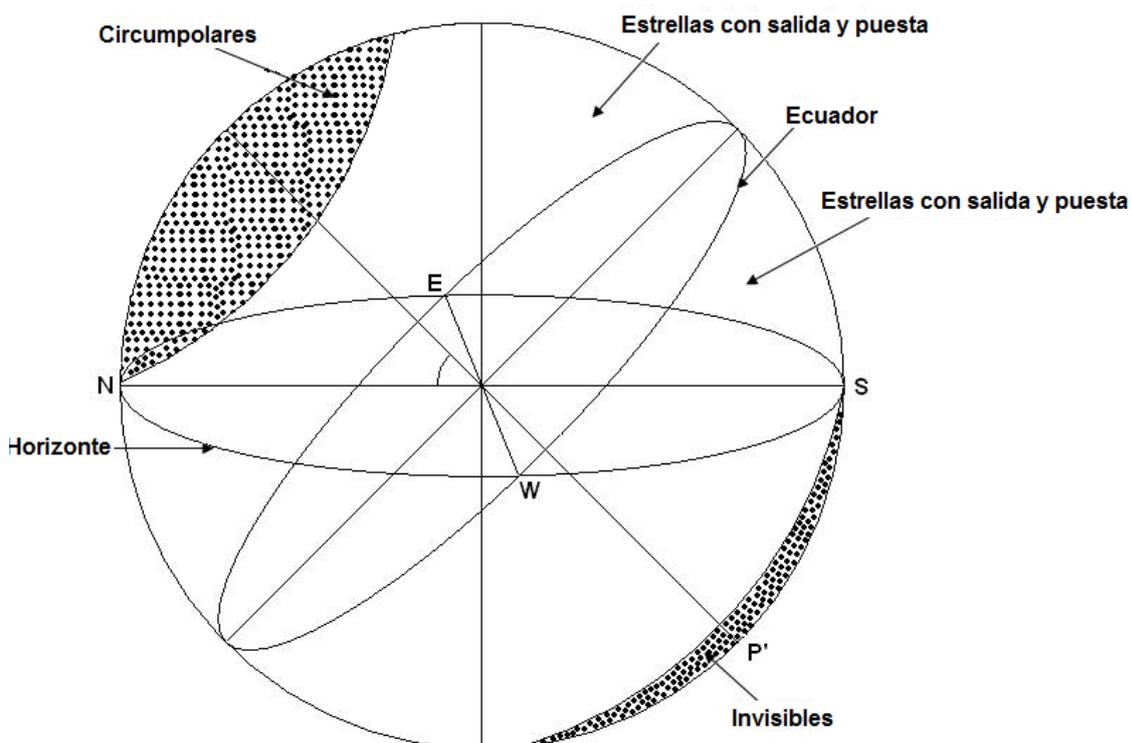


Fig. 1: Las tres diferentes categorías de estrellas (para cada latitud).

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 45° 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).

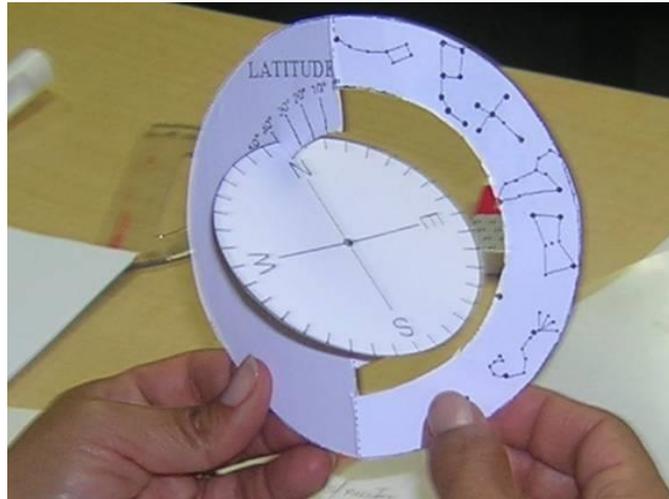


Fig. 2: Usar el manifestante. Éste es un ejemplo de simulador para el hemisferio norte según la tabla 1.

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).

<i>Constelación</i>	<i>Máximo declinación</i>	<i>Mínimo declinación</i>
Osa Menor	+90°	+70°
Osa Mayor	+60°	+50°
Cisne	+50°	+30°
Leo	+30°	+10°
Orión y Sirius	+10°	-10°
Escorpión	-20°	-50°
La Cruz del Sur	-50°	-70°

Tabla 1: Constelaciones que aparecen en el simulador considerado.

Si decidimos considerar solamente una estación, puede ser difícil seleccionar una constelación entre, por ejemplo, 90°N y 60°N, otra entre 60°N y 40°N, otra entre 40°N y 20°N, y otra entre 20°N y 20°S y así sucesivamente sin solaparse hasta alcanzar la final entre 60°S y 90°S. 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 3), 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.

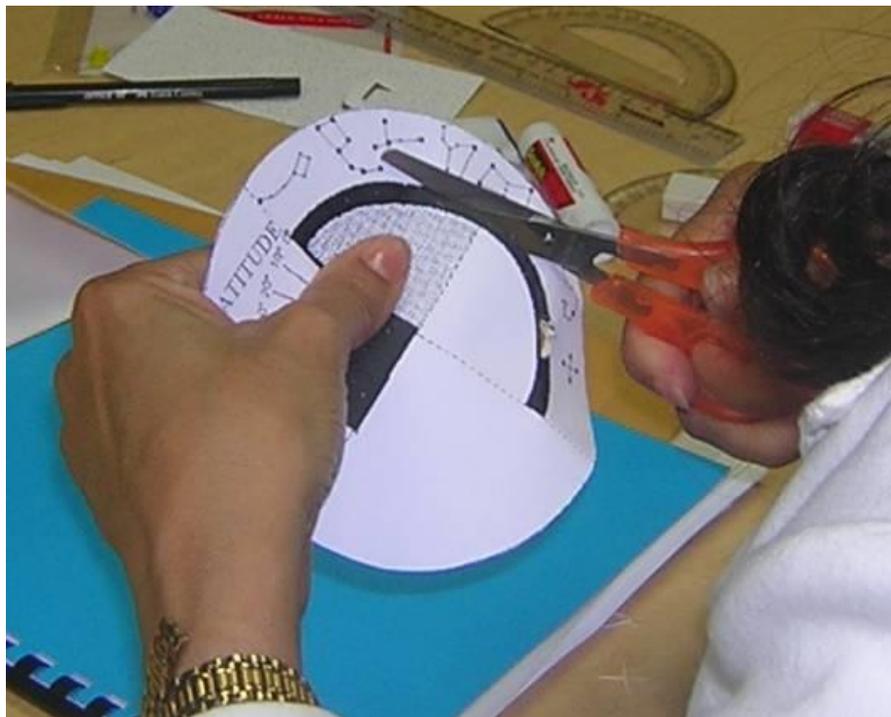


Fig. 3: Construcción del simulador estelar

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 90° .
- 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.

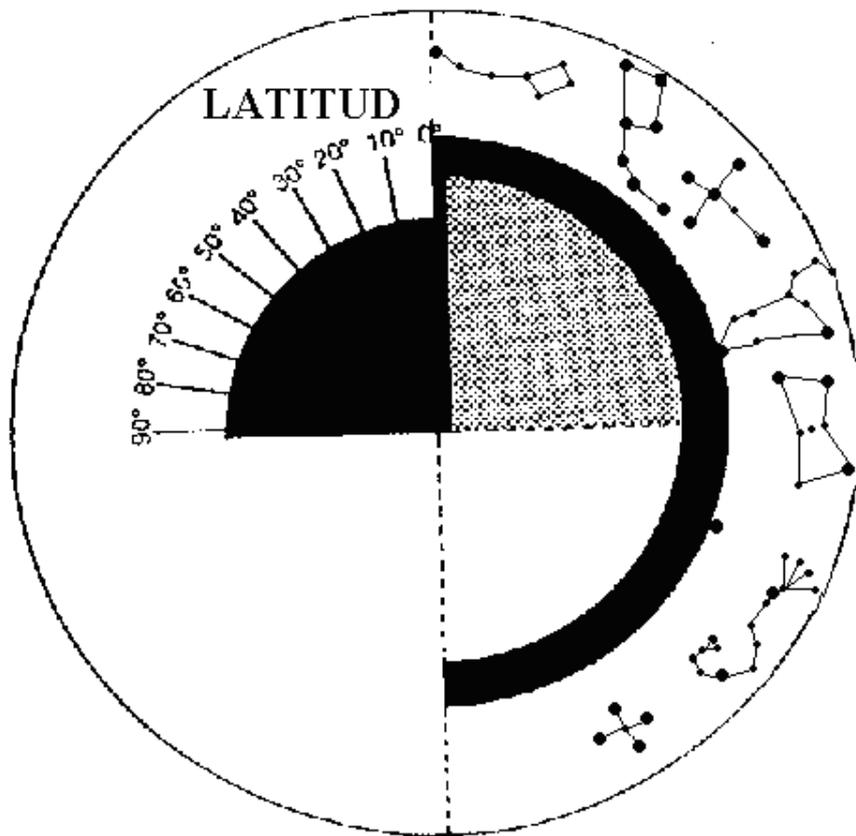


Fig. 4: Pieza principal del simulador estelar para el hemisferio norte.

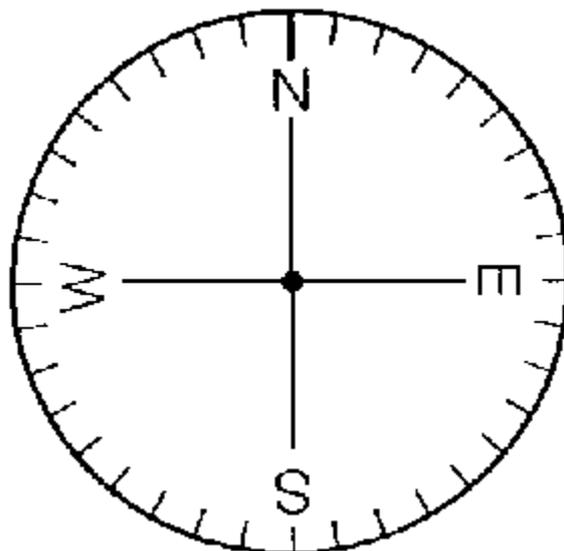


Fig. 5: Disco del horizonte.

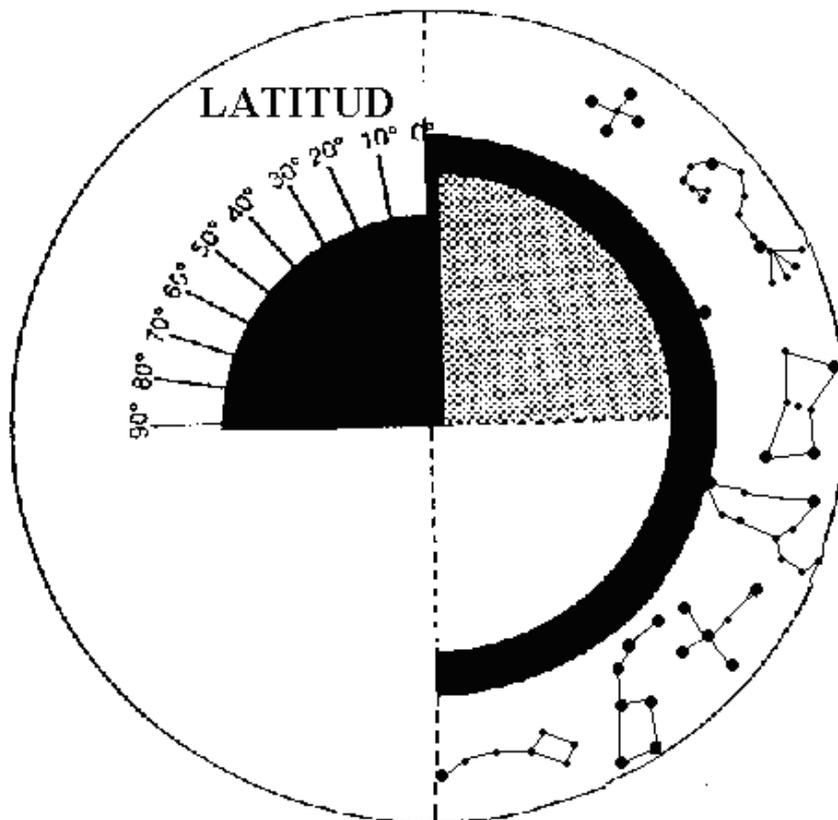


Fig. 6: Pieza principal del simulador estelar para el hemisferio sur.

Simulador para el Hemisferio Sur

- Haga una fotocopia de las figuras 5 y 6 sobre cartulina.
- Recorte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 5 y 6).
- Quite el área negra de la pieza principal (figura 6).
- 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.
- Corte una muesca pequeña en la **S** del disco del horizonte (figura 5). Debe ser bastante grande para que la cartulina pase por ella.
- 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 90°.
- 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.
- 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 10°.

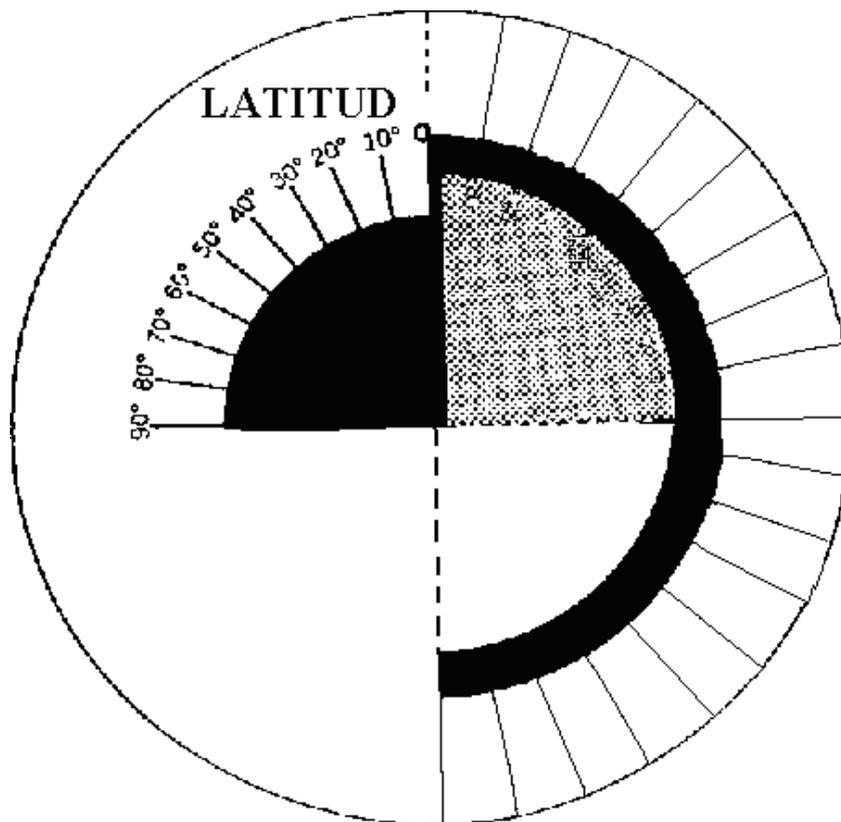


Fig. 7: Pieza principal del simulador estelar para cualquier hemisferio.

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 0°) este ángulo es de 90°. Si el observador vive en el Polo Norte o el Polo Sur (latitud 90°N o 90°S), 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 9a fue tomada 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 90° -latitud (la colatitud). (Foto: Rosa M. Ros, España).

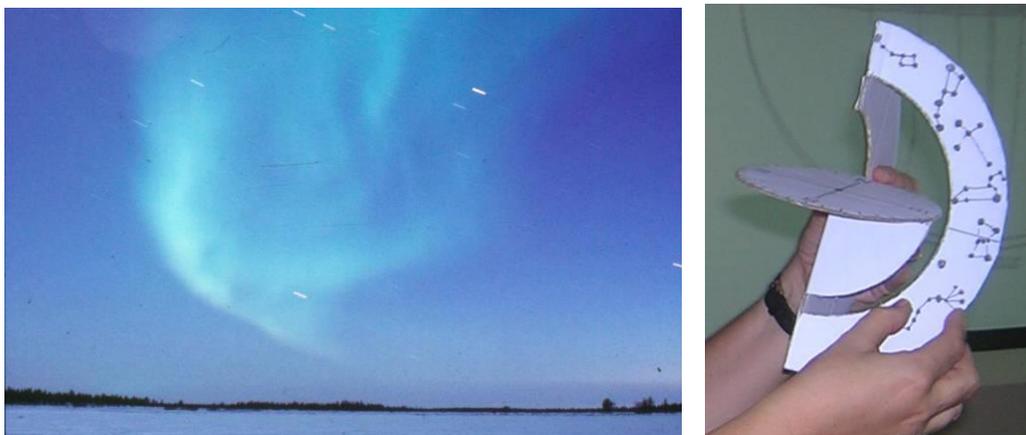


Fig. 9a y 9b: Trazas de las estrellas próximas a la puesta en Laponia (Finlandia), el ángulo de las trayectorias de las estrellas sobre el horizonte es 90° -latitud (la colatitud). Hay que observar que las trazas de las estrellas son más cortas que en la foto anterior, ya que la presencia de auroras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

Usando el simulador se pueden realizar diversas actividades:

- 1) Si introducimos una latitud igual a 90°N , 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 90°S y el Polo Sur.
- 2) Si la latitud es 0° , 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 20° (N o S), hay menos constelaciones circumpolares que si la latitud es 40° (N o S). Pero hay mucho más estrellas que salen y se ponen.

- 4) Si la latitud es 60° (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 40° (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.

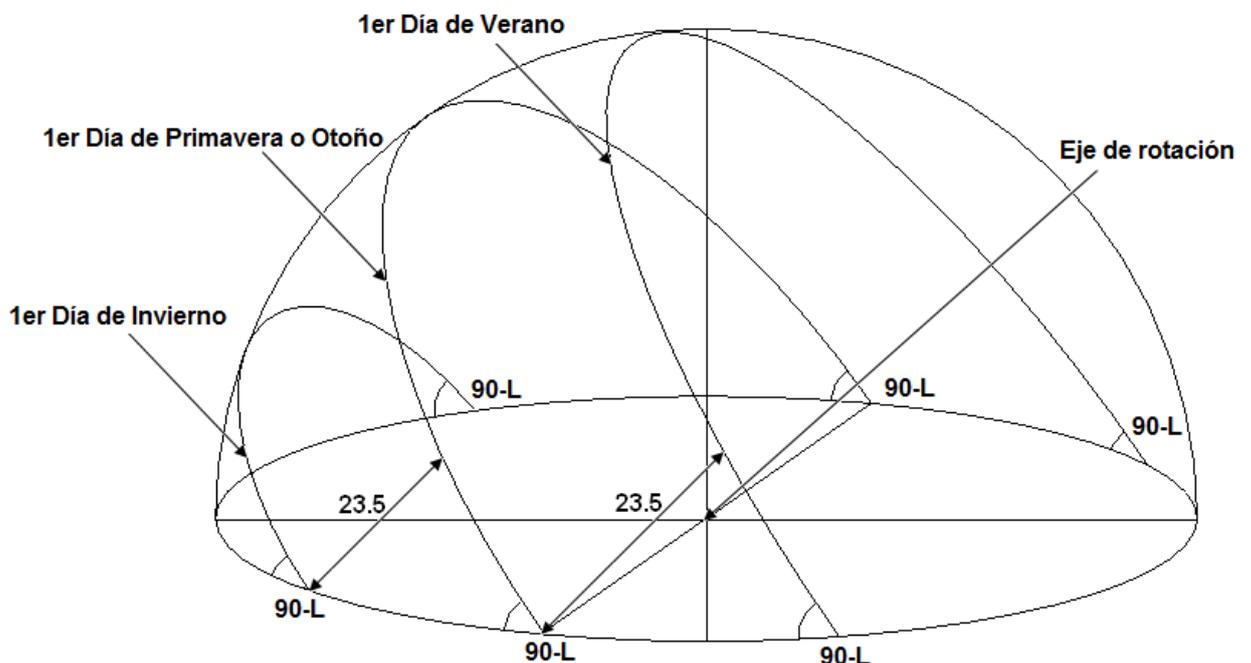


Fig. 10: Tres trayectorias diferentes del Sol (1er día de primavera u otoño, 1er día de verano y 1er día de invierno)

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).

Para el primer día de primavera y de otoño, su declinación es 0° , el Sol se está moviendo en el ecuador. El primer día del verano, la declinación del Sol es positiva $+23.5^\circ$ y el primer día

del invierno es negativa -23.5° (figura 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 más grande para uso del profesor o monitor (así se podrán seguir mejor las explicaciones aunque se esté situado un poco más lejos).

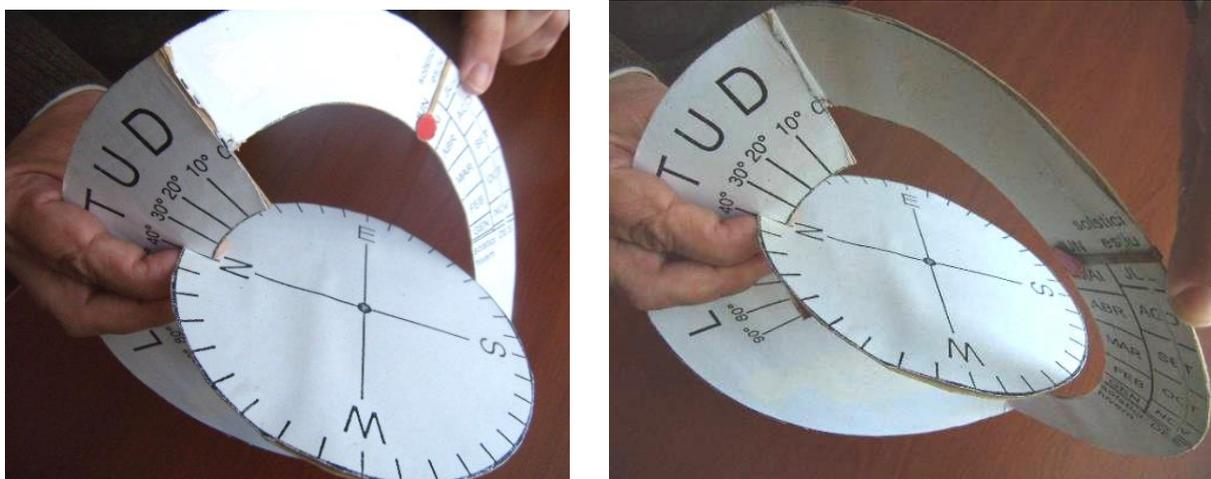


Fig. 11a y 11b: Preparación del simulador para el hemisferio norte con la latitud $+40^\circ$

Las instrucciones de construirlo aparecen seguidamente.

Simulador para el hemisferio norte:

- Haga una fotocopia de las figuras 12 y 13 sobre cartulina.
- Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 12 y 13).
- Quite el área negra del pedazo principal (figura 12).
- 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.
- 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.
- 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 90° .
- 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.
- Es muy importante pegar las piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.
- Para poner el Sol en el simulador, pinte un círculo rojo sobre un pedazo de papel. Córtele y fíjelo entre dos pedazos de cinta transparente adhesiva. Ponga esta franja transparente 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.

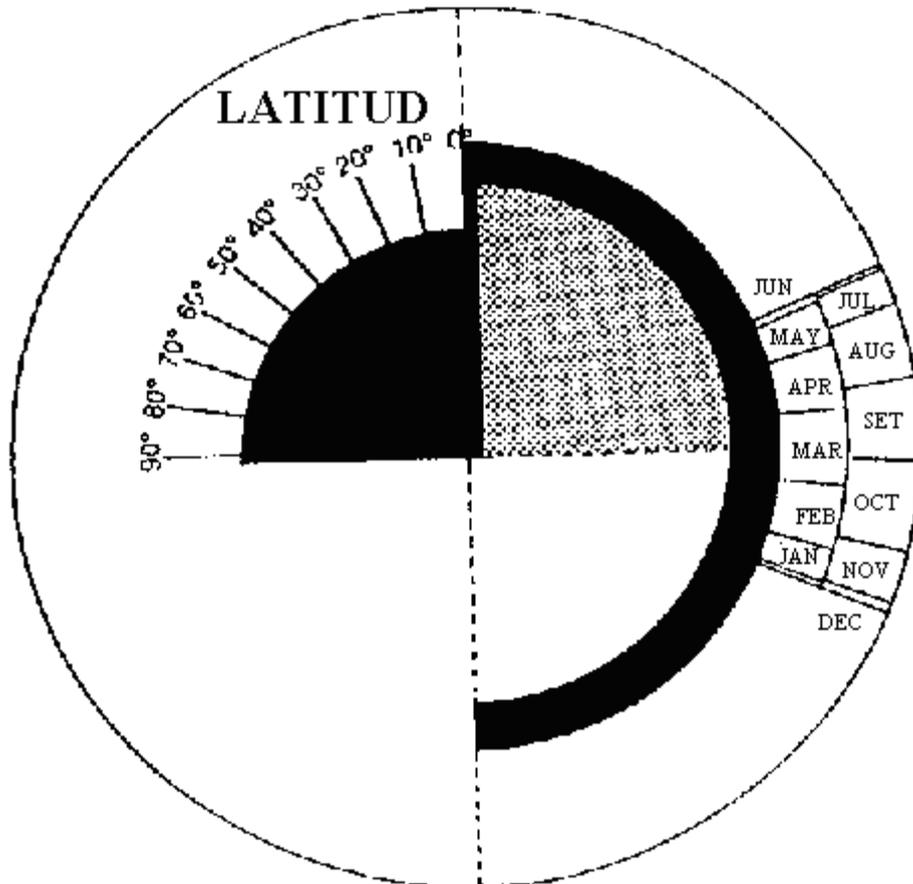


Fig. 12: Pieza principal del simulador solar para el hemisferio norte.

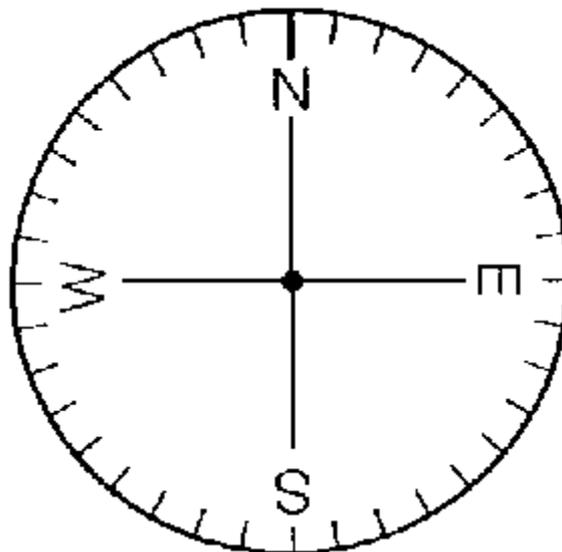


Fig. 13: Disco del horizonte.

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.

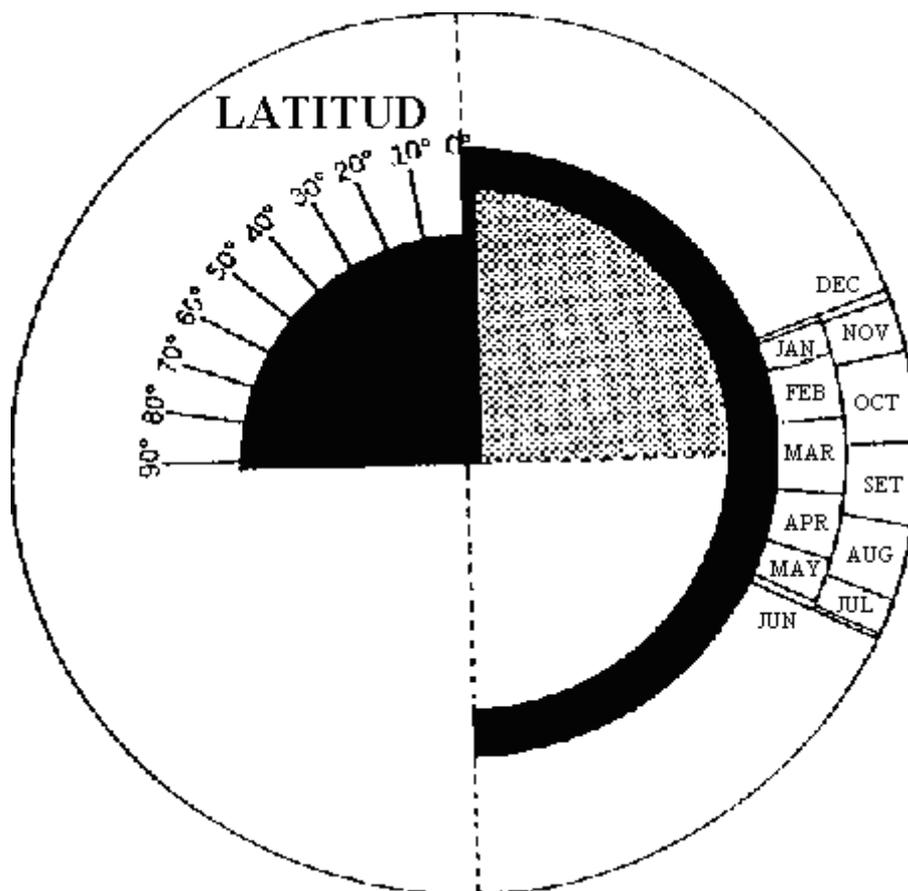


Fig. 14: Pieza principal del simulador para el hemisferio sur.

Simulador para el hemisferio sur

- Haga una fotocopia de las figuras 13 y 14 sobre cartulina.
- Corte ambas piezas a lo largo de la línea continua (figuras 13 y 14).
- Quite el área negra de la pieza principal (figura 14).
- 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.
- 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.
- 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 90° .
- 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.
- Es muy importante pegar las diversas piezas cuidadosamente para obtener la precisión máxima.
- Para poner el Sol en el simulador, pinte un círculo rojo en un pedazo de papel. Córtele 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 0°) este ángulo es 90° . Si el observador está viviendo en Polo Norte o Polo Sur (latitud 90° o -90°), la trayectoria del Sol es paralela al horizonte. Generalmente si el observador vive en una ciudad de la latitud L , la inclinación de la trayectoria del Sol en el horizonte es $90-L$ cada día. En las figuras 15a y 15b 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.

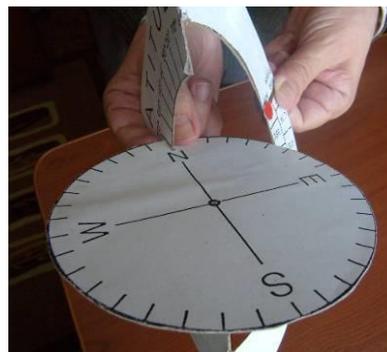


Fig. 15a y 15b: Salida del Sol en Enontekiö en Laponia (Finlandia), el ángulo de la trayectoria del Sol sobre el horizonte es el colatitud (90 -latitud). (Foto: Sakari Ekko, Finlandia).

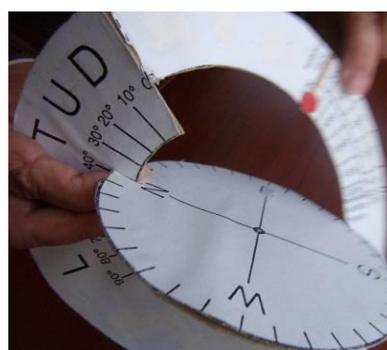


Fig. 16a y 16b: Salida del Sol en Gandia (España) con latitud de $+40^\circ$, el ángulo de la trayectoria solar sobre el horizonte es 50° . Moviendo rápidamente el simulador es posible mostrar la inclinación de la trayectoria del Sol. (Foto: Rosa M. Ros, España).

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

1a) Para el hemisferio norte.

Usando el demostrador para su ciudad (entre la latitud de su ciudad), es fácil verificar que la altitud del Sol sobre del horizonte cambia de acuerdo con la estación. Por ejemplo, el primer día de primavera, la declinación del Sol es 0° . Si situamos el Sol en el 21 de marzo y movemos el Sol, exactamente sobre el ecuador, desde el horizonte del Este al Sur y al Oeste, podemos ver que la trayectoria del Sol 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 $+23^\circ.5$), cuando movemos el Sol según el paralelo respectivo desde la zona del Este en el horizonte al Sur y al Oeste, podemos observar que la trayectoria del 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 $-23^\circ.5$). Podemos ver que en este caso la trayectoria del Sol es por debajo. El primer día del otoño la declinación es 0° y la trayectoria del Sol será según el ecuador de manera similar a la del primer día de primavera.

Por supuesto si cambiamos la latitud, la altitud de las trayectorias del Sol cambia, pero la 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 0° . Si situamos el Sol en el 23 de septiembre y movemos el Sol, exactamente sobre el ecuador, desde el horizonte del Este al Norte y al Oeste, podemos ver que la trayectoria del Sol tiene una altitud determinada sobre el horizonte.

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

Por supuesto si cambiamos la latitud, la altitud de las trayectorias del 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 período 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 la 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 (figuras 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 (figuras 19a, 19b y 19c).

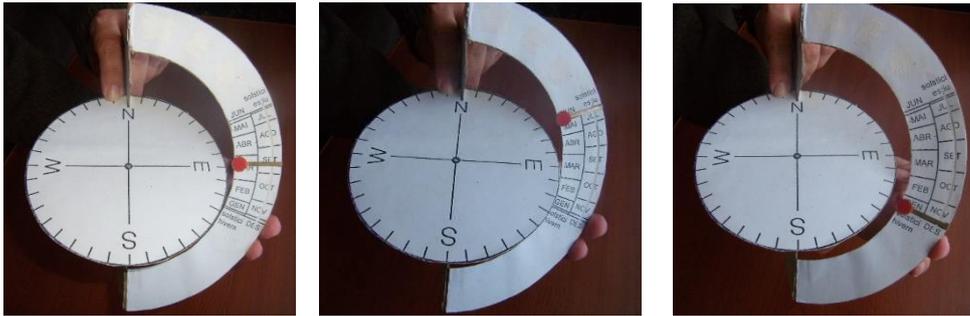


Fig. 19a: El Sol sale el primer día de primavera y/o otoño, Fig. 19b: El Sol sale el primer día de verano y Fig. 19c: El Sol sale el primer día de invierno.

Las fotografías presentadas (figuras 18a y 18b) corresponden al hemisferio norte pero la situación es similar en el hemisferio sur (figuras 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 ($+90^\circ$ o -90° 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 0° , el Sol se está moviendo en el horizonte que es también el ecuador.

Si la declinación corresponde al primer día de verano, el Sol se está moviendo en un paralelo al horizonte. Realmente tenemos el Sol moviéndose en varios paralelos sobre el horizonte desde el segundo día de primavera hasta el último día de verano. Eso significa medio año de luz solar.

El primer día 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 $+70^\circ$ para el hemisferio norte (o -70° en el hemisferio sur) podemos simular el Sol de la medianoche sin ningún problema. Si situamos el Sol el primer día de verano, el 21 de junio en el hemisferio norte (o el 21 de diciembre en el hemisferio sur), podemos ver que el Sol no sale ni se pone este día.

La trayectoria del Sol es tangente al horizonte, pero nunca esta por debajo de él. Este fenómeno se llama “Sol de la medianoche”, porque es posible observar el Sol también en la medianoche (figuras 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 ($+90^\circ$ o -90°) el Sol aparece sobre el horizonte durante la mitad del año y por debajo del mismo la otra mitad. Usando el simulador es muy fácil entender esta situación (figuras 22a y 22b).

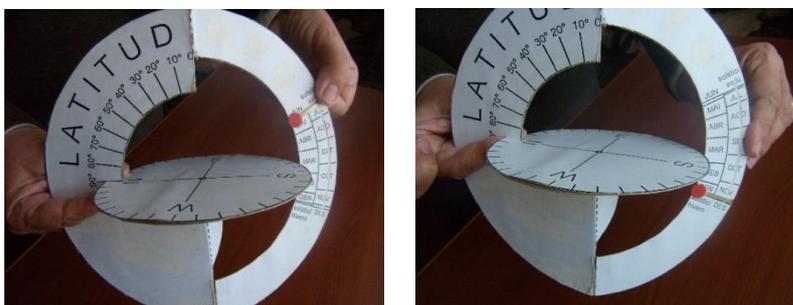


Fig. 22a y 22b: Simulador con el Sol por encima del horizonte para medio año y por debajo para la otra mitad.

3.- Lugares en el área ecuatorial: PASO DE CENTAL 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 (figuras 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 $23^\circ.5$, la oblicuidad de la eclíptica. Para latitudes mayores las trayectorias solares se inclinan y las distancias entre las tres salidas del Sol aumentan (figuras 18^a, 18b, 20a y 20b).

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).

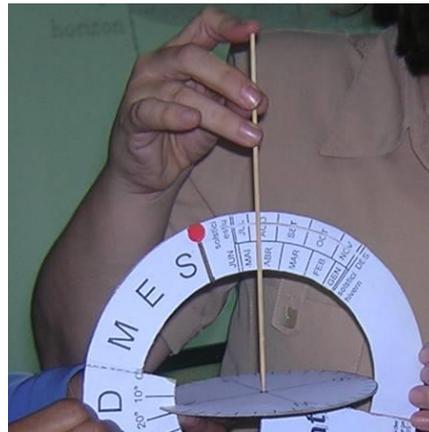


Fig. 24a: Sombra reducida (próxima al cenit) Fig. 24b: Simulando el paso solar para el cenit en Honduras (latitud 15°).

A modo de ejemplo (figura 24b), si simulamos un lugar de la latitud 15°N , 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 varía 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 eclíptica, y su declinación es opuesta a la del Sol (con un error de 5°). 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 -18° y -29°). El movimiento diurno de la Luna llena en junio, es pues próximo 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 está a 90° del Sol, más “lejos” sobre la eclíptica, 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 declinación del Sol en septiembre (0°), en el mes de septiembre, una declinación próxima a la del Sol en diciembre ($-23,5^\circ$), 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 está también a 90° del Sol sobre la línea de la eclíptica, 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 ($+23,5^\circ$) 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: Cuarto de Luna

Para situar la Luna en el simulador, recorte la figura 29b (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 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 encontrarra 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 70° 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 20° , 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.

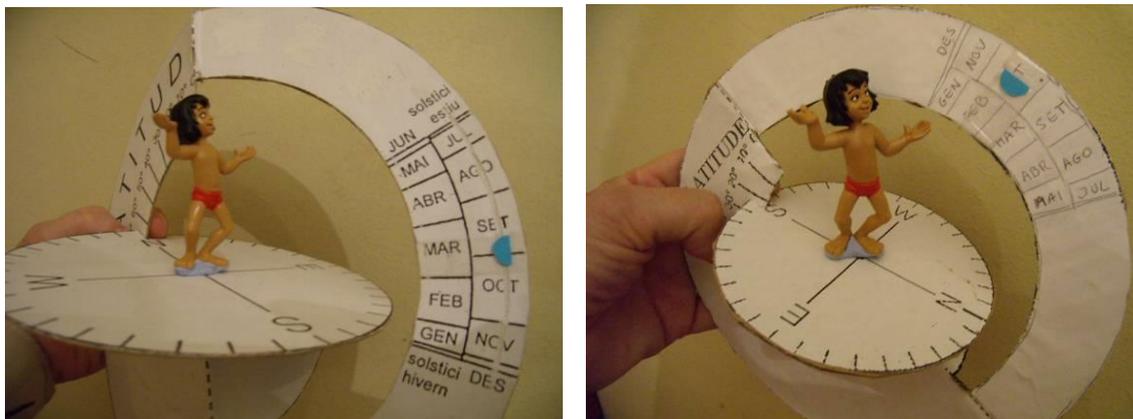


Fig. 30a: Simulador para 70° la latitud Norte, Fig. 30b: 20° de la latitud Sur

- Si la latitud es $+90^\circ$, 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 0° , 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 esta 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 (hacia el mediodía) 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.

Agradecimiento: Los autores desean agradecer a Joseph Snider su instrumento solar producido en 1992 que les 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 Demonstrator*, Proceedings of 4th EAAE International Summer School, 117, 130, Barcelona, 2000.

Sistema Tierra-Luna-Sol: Fases y eclipses

Rosa M. Ros

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

Resumen

Se presentan algunos modelos sobre las fases de la Luna y los eclipses de Sol y de Luna. También se utilizan los eclipses para determinar distancias y diámetros en el sistema Tierra-Luna-Sol.

Finalmente se presenta una actividad sencilla que permite medir longitudes y alturas sobre la superficie lunar y se explica el origen de las mareas.

Objetivos

- Comprender por qué la Luna tiene fases.
- Comprender la causa de los eclipses de Luna.
- Comprender el motivo de los eclipses de Sol.
- Determinar distancias y diámetros del sistema Tierra- Luna-Sol
- Comprender el origen de las mareas.

Posiciones relativas

El termino “eclipse” se utiliza para fenómenos muy diferentes, sin embargo en todos los casos este fenómeno tiene lugar cuando la posición relativa de la Tierra y la Luna (cuerpos opacos) interrumpe el paso de la luz solar.

Un eclipse de Sol sucede cuando el Sol es cubierto por la Luna que se sitúa entre el Sol y nuestro planeta. Este tipo de eclipses siempre tienen lugar en Luna nueva (figura 1).

Los eclipses de Luna se producen cuando la Luna pasa a través de la sombra de la Tierra. Es decir, cuando la Luna esta en el lugar opuesto del Sol, por lo tanto, los eclipses lunares se dan siempre en la fase de Luna llena (figura 1).

La Tierra y la Luna se mueven siguiendo órbitas elípticas que no están en el mismo plano. La órbita de la Luna esta inclinada 5° respecto al plano de la eclíptica (plano de la órbita de la Tierra entorno al Sol). Ambos planos se intersectan en una recta llamada la Línea de los Nodos. Los eclipses tienen lugar cuando la Luna esta próxima a la Línea de los Nodos. Si ambos planos no formaran un ángulo, los eclipses serían mucho más frecuentes.

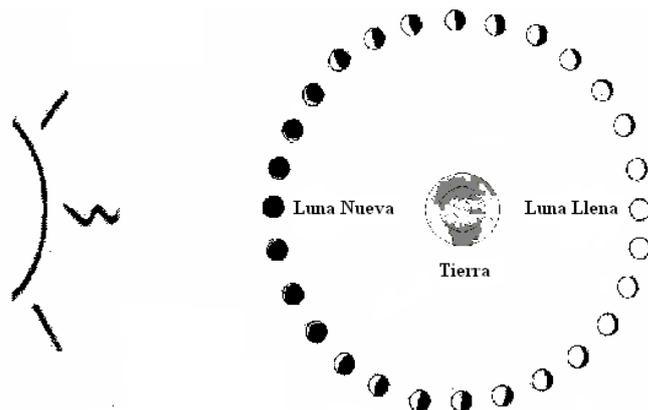


Fig.1: Los eclipses de Sol tienen lugar cuando la Luna está situada entre el Sol y la Tierra (Luna nueva). Los eclipses de Luna suceden cuando la Luna cruza el cono de sombra de la Tierra, entonces la Tierra está situada entre el Sol y la Luna (Luna llena).

Modelo con linterna

Para explicar las fases de la Luna lo mejor es usar un modelo con una linterna o con un retroproyector (que servirá de Sol) y un mínimo de 5 voluntarios. Uno de ellos estará situado en el centro representando la Tierra y los otros 4 se situarán alrededor del mismo de forma equidistante para simular las diferentes fases de la Luna. Para que sea más vistoso es una buena idea que lleven una máscara blanca que servirá para visualizar la Luna. Colocaremos la linterna encendida detrás de uno de los voluntarios que simula la Luna (algo por encima para que no tape la luz) y comenzaremos por visualizar las 4 fases (vistas desde la Tierra que está en el centro). Es muy fácil descubrir que a veces se ve la máscara completa, a veces sólo un cuarto y otras veces no se ve nada porque deslumbra la luz de la linterna (es decir, del Sol).

Este modelo también sirve para visualizar que sólo podemos ver una sola cara de la Luna debido a que el movimiento de rotación de la Luna y de translación alrededor del Sol tiene la misma duración. Comenzamos situando el voluntario que hace de Tierra y sólo un voluntario para la Luna. Situamos el voluntario que hace de Luna de cara a la Tierra antes de comenzar a moverse. Así si la Luna avanza 90° en su órbita entorno a la Tierra, también deberá girar 90° sobre sí misma y por lo tanto seguirá mirando de cara a la Tierra y así sucesivamente (figura 2).



Fig. 2: Modelo de la Tierra y la Luna con voluntarios (para explicar las fases y la cara visible de la Luna)

Modelo Tierra-Luna

Comprender de forma clara las fases de la Luna y la geometría que encierra el fenómeno de los eclipses de Sol y de Luna no es sencillo. Para ello, se propone un sencillo modelo que ayuda a hacer más inteligibles todos estos procesos.

Basta clavar dos clavos (de unos 3 ó 4 cm) a un listón de madera de 125 cm. Los clavos estarán separados 120 cm y en cada uno fijaremos dos bolas de 4 y 1 cm (figura 3).

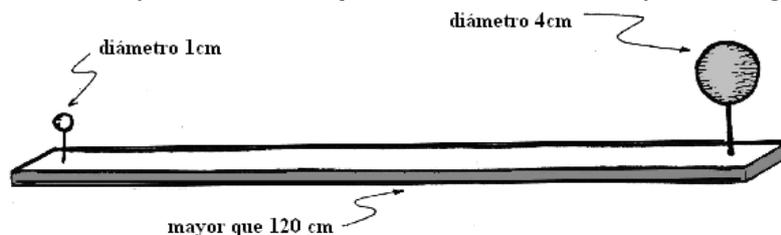


Fig. 3: Modelo con la Tierra y la Luna

Es importante respetar estas medidas porque son las que corresponden a un modelo a escala del sistema Tierra-Luna respetando las proporciones de distancias y diámetros.

Diámetro Tierra	12800 Km.	→	4 cm.
Diámetro Luna	3500 Km.	→	1 cm.
Distancia Tierra-Luna	384000 Km.	→	120 cm.
Diámetro Sol	1400000 Km.	→	440 cm. = 4.4 m.
Distancia Tierra-Sol	150000000 Km.	→	4700 cm. = 0.47 Km.

Tabla 1: Distancias y diámetros del sistema Tierra-Luna-Sol

Reproducción de las fases de la Luna

En un lugar soleado, cuando sea visible la Luna, se apunta con el listón dirigiendo la pelotita de la Luna hacia ésta (figura 4). El observador debe situarse detrás de la bola de la Tierra. La esfera de la Luna se ve del mismo tamaño aparente que la Luna y con la misma fase que la real. Variando la orientación del listón se consiguen reproducir las diferentes fases de la Luna al variar la iluminación que recibe del Sol. Hay que mover la Luna para conseguir la secuencia de todas las fases.

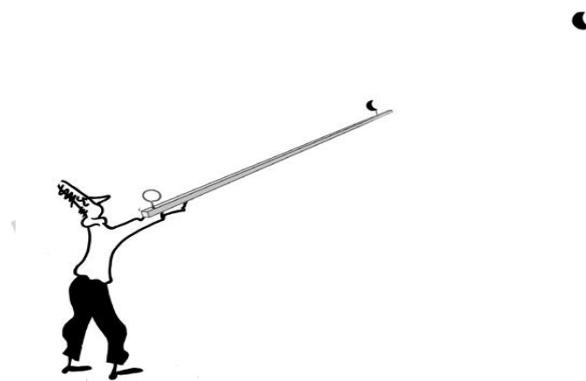


Fig. 4: Usando el modelo en el patio de la escuela.

Esta actividad es mejor llevarla a cabo en el patio, pero si está nublado también se puede hacer con un retroproyector o una linterna.

Reproducción de los eclipses de Luna

Se sujeta el listón de manera que la pelotita de la Tierra esté dirigida hacia el Sol (es mejor usar un retroproyector para evitar mirar al Sol) y se hace entrar la Luna (figura 5a y 5b) dentro de la sombra de la Tierra, que es mucho mayor que la Luna: así se visualiza fácilmente un eclipse de Luna.

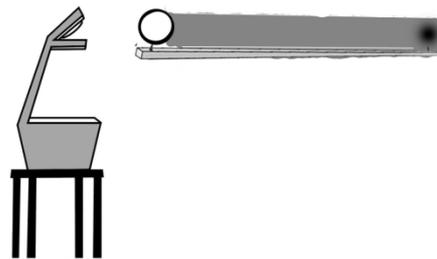


Fig. 5a y 5b: Simulación de un eclipse de Luna



Fig. 6: Composición fotográfica de un eclipse de Luna. Nuestro satélite cruzando el cono de sombra producido por la Tierra.

Reproducción de los eclipses de Sol

Se toma el listón de forma que la Luna esté dirigida hacia el Sol (es mejor usar el retroproyector o la linterna) y se hace que la sombra de la Luna se proyecte sobre la esfera

terrestre. De esta forma se consigue visualizar un eclipse de Sol. Se puede ver que la sombra de la Luna da lugar a una pequeña mancha sobre una región de la Tierra (figura 8).

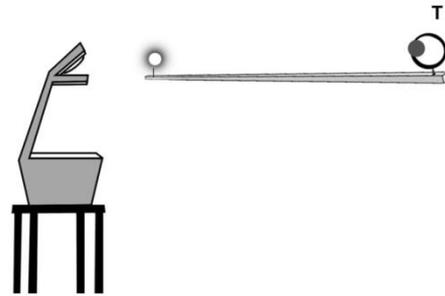


Fig. 7a y 7b: Simulación eclipse solar

No es fácil conseguir esta situación porque la inclinación del listón debe ser muy ajustada (esta es la causa de que haya menos eclipses de Sol que de Luna).



Fig.8: Detalle de la figura previa 5a.



Fig. 9: Fotografía tomada desde la ISS del eclipse de Sol de 1999 sobre una zona de la superficie terrestre.

Observaciones

- Sólo puede tener lugar un eclipse de Luna cuando es Luna llena y un eclipse de Sol cuando hay Luna nueva.
- Un eclipse solar sólo se ve en una zona reducida de la Tierra.
- Es muy difícil que la Tierra y la Luna estén “bien alineadas” para que se produzca un eclipse cada vez que sea Luna nueva o Luna llena.

Modelo Sol-Luna

Con el fin de visualizar el sistema Sol-Tierra-Luna haciendo especial hincapié en las distancias, vamos a considerar un nuevo modelo, teniendo en cuenta el punto de vista terrestre del Sol y de la Luna. En este caso vamos a invitar a los estudiantes a dibujar y a pintar un gran Sol de diámetro 220 cm (más de 2 metros de diámetro) en una sábana y vamos a demostrar que pueden cubrir este gran Sol con una pequeña Luna de 0,6 cm de diámetro (menos de 1 cm de diámetro). Se puede sustituir la bola Luna por un agujero en una tabla de madera para que sea más manejable.

Es importante la utilización de las dimensiones mencionadas anteriormente para mantener las proporciones de los diámetros y las distancias (tabla 2).

En este modelo, el Sol se sitúa a 235 metros de la Luna y el observador estará a 60 cm desde la Luna. Los estudiantes se sienten muy sorprendidos de que puedan cubrir el gran Sol con esta pequeña luna. Realmente esta relación de un Sol 400 veces mayor que la Luna no es fácil de imaginar. Es bueno por lo tanto para mostrarlo con un ejemplo para entender la magnitud de las distancias y el tamaño real en el Universo. Todos estos ejercicios y actividades les ayudan (y puede que a nosotros también) para comprender cuáles son las relaciones espaciales entre los cuerpos celestes durante un eclipse solar. Este método es mucho mejor que leer una serie de números en un libro.



Fig. 10: Modelo de Sol

Diámetro Tierra	12 800 km	2.1 cm
Diámetro Luna	3 500 km	0.6 cm
Distancia Tierra-Luna	384 000 km	60 cm
Diámetro Sol	1400 000 km	220 cm
Distancia Tierra-Sol	150 000 000 km	235 m

Tabla 2: Distancias y diámetros del sistema Tierra-Luna-Sol



Fig. 11: Mirando el Sol a través del agujero de la Luna.

Determinación del Diámetro del Sol

Se puede medir el diámetro del Sol de diversas formas. A continuación presentaremos un sencillo método usando una cámara oscura. Se puede hacer con una caja de zapatos o con un tubo de cartón que sirve de eje central para el papel de aluminio o transparente de la cocina, pero si se hace con un tubo de mayores dimensiones se consigue obtener más precisión.

1. Tapamos uno de los extremos con papel vegetal milimetrado semitransparente y el otro extremo con un papel recio, donde haremos un agujero con un alfiler fino (figuras 12 y 13).
2. Hay que dirigir el extremo con el pequeño agujero hacia el Sol y mirar por el otro extremo donde hay el papel milimetrado. Medimos el diámetro d de la imagen del Sol en este papel milimetrado.



Fig. 12 y 13: Modelos de cámara oscura

Para calcular el diámetro del Sol, basta considerar la figura 14, donde aparecen dos triángulos semejantes

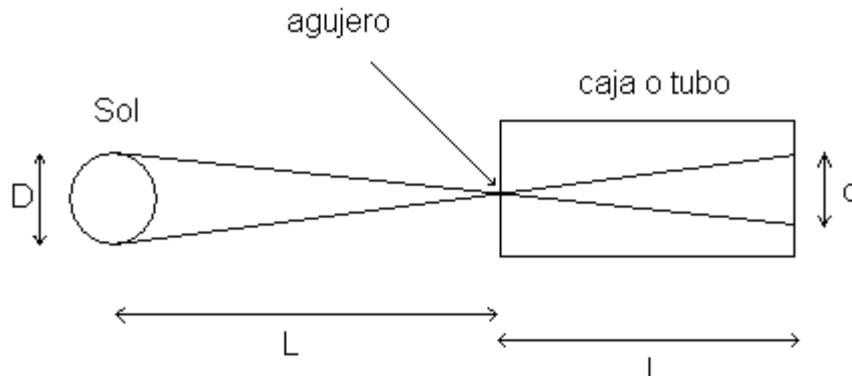


Fig. 14: Problema geométrico subyacente

Donde podemos establecer la relación:

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$

De donde se puede despejar el diámetro del Sol, D:

$$D = \frac{d \cdot L}{l}$$

Conocida la distancia del Sol a la Tierra $L = 150.000.000$ Km. podemos calcular, conocida la longitud del tubo l y el diámetro d de la imagen del Sol sobre la pantalla de papel milimetrado semi-transparente, el diámetro D del Sol. (Recordad que el diámetro solar es de 1392000 Km.)

Se puede repetir el ejercicio con la Luna llena sabiendo que esta se encuentra a unos 400.000 Km. de la Tierra.

Tamaños y Distancias en el sistema Tierra-Luna-Sol

Aristarco (310-230 a.C) dedujo algunas proporciones entre las distancias y los radios del sistema Tierra-Luna-Sol. Calculó el radio del Sol y de la Luna, la distancia desde la Tierra al Sol y la distancia de la Tierra a la Luna en relación al radio de la Tierra. Algunos años después Eratóstenes (280-192 a.C) determinó el radio de nuestro planeta y fue posible calcular todas las distancias y radios del sistema Tierra-Luna-Sol.

La propuesta de esta actividad consiste en repetir con estudiantes ambos experimentos. La idea es repetir el proceso matemático diseñado por Aristarco y Eratóstenes a la vez que, en la medida de lo posible, repetir las observaciones.

El experimento de Aristarco de Nuevo

Aristarco determinó que el ángulo bajo el que se observa desde la Tierra la distancia Sol-Luna cuando ésta en el instante del cuarto era de $\alpha = 87^\circ$.

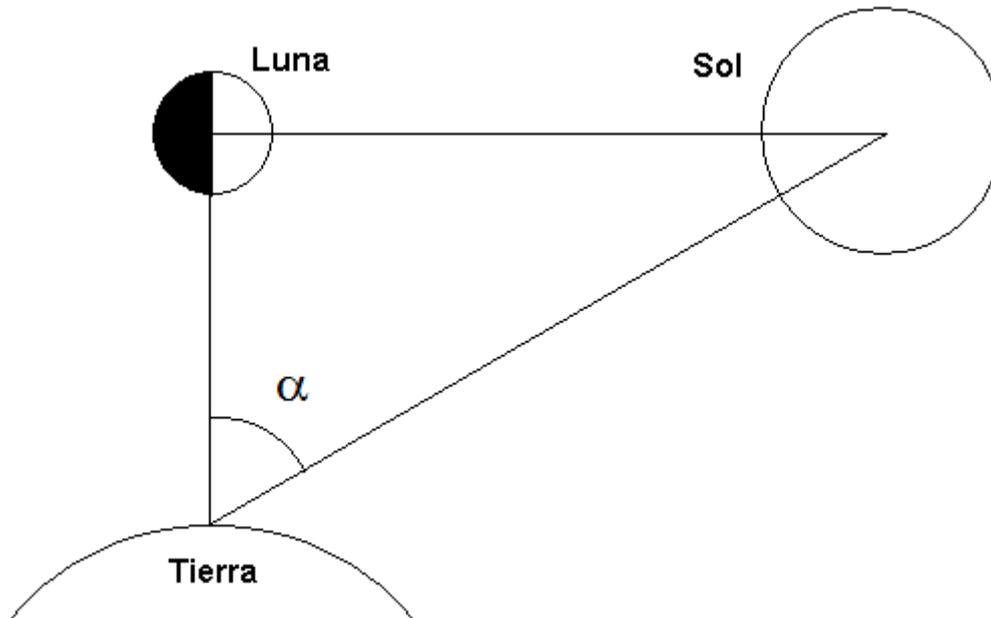


Fig.15: Posición relativa de la Luna en el cuarto

En la actualidad, se sabe que cometió un error, posiblemente debido a que le resultó muy difícil determinar el preciso instante del cuarto de fase. De hecho $\alpha = 89^\circ 51'$, pero el proceso usado por Aristarco es perfectamente correcto. En la figura 15, si se usa la definición de coseno, se puede deducir que,

$$\cos \alpha = \frac{TL}{TS}$$

donde TS es la distancia desde la Tierra al Sol, y TL es la distancia de la Tierra a la Luna. Entonces aproximadamente,

$$TS = 400 TL$$

(aunque Aristarco dedujo $TS = 19 TL$).

Relación entre el radio de la Luna y del Sol

La relación entre el diámetro de la Luna y del Sol debe ser similar a la fórmula previamente obtenida, porque desde la Tierra se observan ambos diámetros iguales a 0.5° . Por lo tanto ambos radios verifican

$$R_S = 400 R_L$$

Relación entre la distancia de la Tierra a la Luna y el radio lunar o entre la distancia de la Tierra al Sol y el radio solar

Dado que el diámetro observado de la Luna es de 0.5° , con 720 veces este diámetro es posible recubrir la trayectoria circular de la Luna en torno a la Tierra. La longitud de este recorrido es 2π veces la distancia Tierra-Luna, es decir $2 R_L \cdot 720 = 2 \pi TL$, despejando,

$$TL = \frac{720R_L}{\pi}$$

y por un razonamiento similar,

$$TS = \frac{720R_S}{\pi}$$

Esta relación es entre las distancias a la Tierra, el radio lunar, el radio solar y el radio terrestre.

Durante un eclipse de Luna, Aristarco observó que el tiempo necesario para que la Luna cruce el cono de sombra terrestre era el doble del tiempo necesario para que la superficie de la Luna fuera cubierta (figura 16). Por lo tanto, dedujo que la sombra del diámetro de la Tierra era doble que el diámetro de la Luna, esto es, la relación de ambos diámetros o radios era de 2:1. Realmente se sabe que este valor es de 2.6:1.

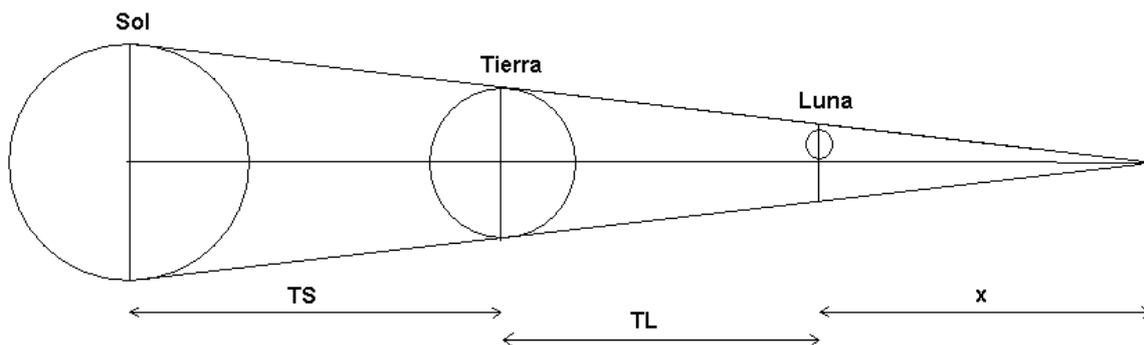


Fig. 16: Cono de sombra y posiciones relativas del sistema Tierra-Luna-Sol.

Entonces, (figura 16) se deduce la siguiente relación

$$\frac{x}{2.6R_L} = \frac{x+TL}{R_T} = \frac{x+TL+TS}{R_S}$$

donde x es una variable auxiliar.

Introduciendo en esta expresión las relaciones $TS = 400 TL$ y $R_S = 400 R_L$, se puede eliminar x y simplificando se obtiene,

$$R_L = \frac{401}{1440} \cdot R_T$$

que permite expresar todas las dimensiones mencionadas con anterioridad en función del radio de la Tierra, así

$$R_s = \frac{2005}{18} R_T \quad TS = \frac{80200}{\pi} R_T \quad TL = \frac{401}{2\pi} R_T$$

Donde sólo hay que sustituir el radio de nuestro planeta para obtener todas las distancias y radios del sistema Tierra-Luna-Sol.

Medidas con los estudiantes

Es una buena idea repetir las medidas realizadas por Aristarco con los estudiantes. En particular, primero hay que calcular el ángulo entre el Sol y la Luna en el cuarto. Para realizar esta medida sólo es necesario disponer de un teodolito y saber el exacto instante del cuarto. Así se verificará si este ángulo mide $\alpha = 87^\circ$ ó $\alpha = 89^\circ 51'$ (es esta una medida realmente difícil de obtener).

En segundo lugar, durante un eclipse de Luna, usando un cronómetro, es posible calcular la relación entre los tiempos siguientes: “el primer y el último contacto de la Luna con el cono de sombra terrestre”, es decir, medir el diámetro del cono de sombra de la Tierra (figura 17a) y “el tiempo necesario en cubrir la superficie lunar”, esto es la medida del diámetro de la Luna (figura 17b). Finalmente es posible verificar si la relación entre ambos tiempos es 2:1 ó es de 2.6:1.

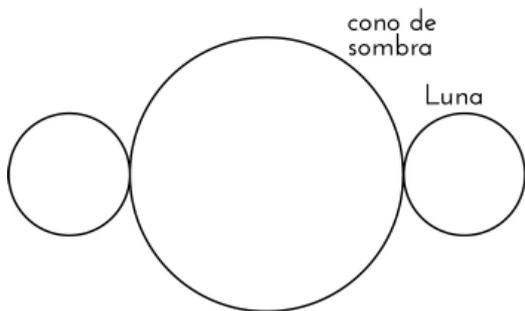


Fig. 17a: Midiendo el cono de sombra



Fig.17b: Midiendo el diámetro de la Luna

El objetivo más importante de esta actividad, no es el resultado obtenido para cada radio o distancia. Lo más importante es hacer notar a los estudiantes que, si ellos usan sus conocimientos e inteligencia, pueden obtener interesantes resultados disponiendo de pocos recursos. En este caso el ingenio de Aristarco fue muy importante para conseguir obtener alguna idea acerca del tamaño del sistema Tierra-Luna-Sol.

Es también una buena idea medir con los estudiantes el radio de la Tierra siguiendo el proceso usado por Eratóstenes. Aunque el experimento de Eratóstenes es muy conocido, presentamos aquí una versión reducida del mismo de cara a completar la experiencia anterior.

El experimento de Eratóstenes, de nuevo

Considere dos estacas introducidas perpendicularmente en el suelo, en dos ciudades de la superficie terrestre sobre el mismo meridiano. Las estacas deben estar apuntando hacia el centro de la Tierra. Normalmente es mejor usar una plomada donde se marca un punto del hilo para poder medir las longitudes. Se debe medir la longitud de la plomada desde el suelo hasta esa marca, y la longitud de su sombra desde la base de la plomada hasta la sombra de la marca.

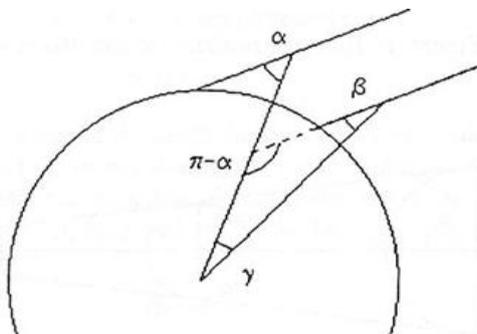


Fig. 18: Situación de plomadas y ángulos en el experimento de Eratóstenes

Se considera que los rayos solares son paralelos. Esos rayos solares producen dos sombras, una para cada plomada. Se miden las longitudes de la plomada y su sombra y usando la definición de tangente, se obtienen los ángulos α y β (figura 18). El ángulo central γ puede calcularse imponiendo que la suma de los ángulos de un triángulo es igual a π radianes. Entonces $\pi = \pi - \alpha + \beta + \gamma$ y simplificando

$$\gamma = \alpha - \beta$$

donde α y β se han obtenido a partir de medir la plomada y su sombra.

Finalmente estableciendo una proporcionalidad entre el ángulo γ , la longitud de su arco d (determinado por la distancia sobre el meridiano entre las dos ciudades), y 2π radianes del círculo meridiano y su longitud $2\pi R_T$, es decir,

$$\frac{2\pi R_T}{2\pi} = \frac{d}{\gamma}$$

entonces se deduce que:

$$R_T = \frac{d}{\gamma}$$

donde γ se ha obtenido a partir de la observación, en radianes, y d es la distancia en km entre ambas ciudades. Se puede hallar d a partir de un buen mapa.

También hay que mencionar que el objetivo de esta actividad no es la precisión de los resultados. Solo se desea que los estudiantes descubran que pensando y usando todas las posibilidades que puedan imaginar son capaces de obtener resultados sorprendentes.

Mareas

Las mareas son el ascenso y descenso del nivel del mar causado por los efectos combinados de la rotación de la Tierra y las fuerzas gravitacionales ejercidas por la Luna y el Sol. La forma del fondo y de la orilla en la zona costera también influye en menor medida. Las mareas se producen con un período de aproximadamente 12 horas y media .



Fig. 19: El efecto de las mareas Fig. 20: Efecto, sobre el agua, de la aceleración diferenciada de la Tierra en diferentes áreas del oceano.

Las mareas se deben principalmente a la atracción entre la Luna y la Tierra. Del lado de la Tierra que está de frente a la Luna y en el lado opuesto ocurren las mareas altas (figura 19). En los puntos intermedios se dan las mareas bajas.

El fenómeno de las mareas ya era conocido en la antigüedad, pero su explicación sólo fue posible después de conocerse la Ley de Newton de la Gravitación Universal (1687).

$$F_g = \frac{m_T \cdot m_L}{d^2}$$

La Luna ejerce una fuerza gravitacional sobre la Tierra. Cuando hay una fuerza gravitacional se puede considerar que existe una aceleración gravitacional que, de acuerdo con la segunda ley de Newton ($F = m \cdot a$). Así la aceleración de la Luna sobre la Tierra viene dada por

$$a_g = G \frac{m_L}{d^2}$$

Donde m_L es la masa de la Luna y d es la distancia de la Luna a un punto de la Tierra.

La parte sólida de la Tierra es un cuerpo rígido y, por eso, se puede considerar toda la aceleración sobre esta parte sólida aplicada en el Centro de la Tierra. Sin embargo, el agua es líquida y sufre una aceleración diferenciada que depende de la distancia a la Luna. Así la aceleración del lado más próximo a la Luna es mayor que la del lado más alejado. En consecuencia, la superficie del océano va a generar un elipsoide (figura 20).

Ese elipsoide queda siempre con la zona más alargada hacia la Luna (figura 19) y la Tierra va a girar por debajo. Así cada punto de la Tierra tendrá 2 veces al día una marea alta seguida de

una marea baja. Realmente el período entre mareas es un poco superior a 12 horas y la razón es que la Luna gira respecto a la Tierra con un período sinódico de cerca de 29,5 días. Lo que significa que recorre 360° en 29,5 días, así la Luna va a avanzar en el cielo cerca de $12,2^\circ$ cada día o sea $6,6^\circ$ cada 12 horas. Como en cada hora la Tierra gira sobre sí misma cerca de 15° ,

6.6° equivalen a 24 minutos, por lo que cada ciclo de marea es de 12 horas y 24 minutos. Como el intervalo de tiempo entre marea alta y marea baja es la mitad, el tiempo que comprendido desde la marea alta hasta la marea baja o de la marea baja hasta la marea alta será de unas 6h 12 min.

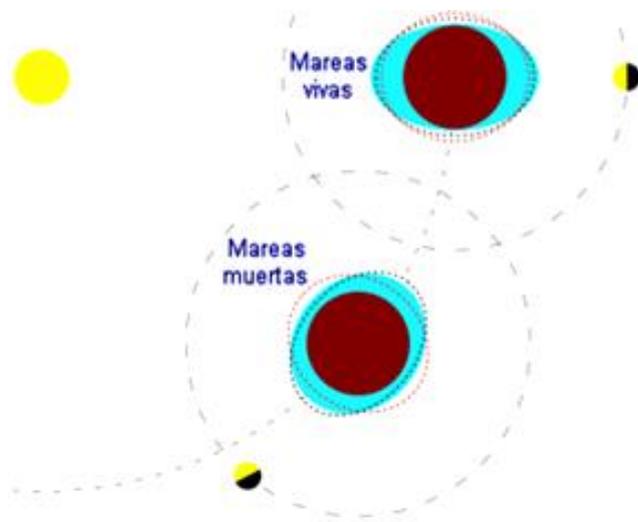


Fig 21: Mareas vivas y mareas muertas.

La Luna es la que mas influye en las mareas debido a su proximidad. Pero el Sol también influye en las mareas. Cuando la Luna y el Sol están en conjunción (Luna nueva) o en oposición (Luna llena) se dan las mareas vivas. Cuando la Luna y el Sol ejercen atracciones gravitacionales perpendiculares (Cuarto creciente y Cuarto menguante) se dan las mareas muertas (figura 21).

Bibliografía

- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., “*Experimentos de Astronomía. 27 pasos hacia el Universo*”, Editorial Alambra, Madrid, 1988.
- Broman, L., Estalella, R., Ros, R.M., “*Experimentos de Astronomía*”, Editorial Alambra, México, 1997.
- Fucili, L., García, B., Casali, G., “A scale model to study solar eclipses”, *Proceedings of 3rd EAAE Summer School*, 107, 109, Barcelona, 1999
- Reddy, M. P. M., Affholder, M., “*Descriptive physical oceanography: State of the Art*”, Taylor and Francis, 249, 2001.
- Ros, R.M., “*Lunar eclipses: Viewing and Calculating Activities*”, *Proceedings of 9th EAAE International Summer School*, 135, 149, Barcelona.

Maletín del Joven Astrónomo

Rosa M. Ros

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

Resumen

Para promover la observación es necesario que los alumnos dispongan de un conjunto de sencillos instrumentos. Se propone que ellos mismos realicen algunos de ellos y después los empleen en la observación del cielo desde el propio centro educativo.

Es muy importante que los alumnos entiendan de forma básica cómo se han introducido varios instrumentos a lo largo de los siglos. Como han nacido y se han hecho necesarios. Hacen falta conocimientos astronómicos, gran habilidad para construirlos y destreza para tomar las medidas o hacer las lecturas correspondientes de las observaciones. Estos requisitos no es fácil desarrollarlos si tratamos de hacer prácticas con los alumnos; por ese motivo se proponen aquí instrumentos muy sencillos.

Objetivos

- Comprender la importancia de realizar observaciones cuidadosas.
- Comprender el uso de diversos instrumentos gracias a la construcción por parte de los propios alumnos.

La Observación

Se puede adquirir cierta práctica en la medida del tiempo y de posiciones de los cuerpos celestes con artefactos preparados para ello. Aquí damos alguna información con el fin de hacernos con una colección de artefactos, metidos todos juntos en una maleta: el equipo indispensable para las observaciones. La maleta y el contenido son hechos en general con cartón usando pegamento, tijeras, etc. El tópico puede ofrecer la posibilidad de investigar otros muchos instrumentos antiguos y modernos.

La habilidad artística y fantasiosa de los alumnos permitirá obtener unas maletas muy personales.

Esta actividad puede modificarse fácilmente y adaptarla a los alumnos dependiendo de la edad de éstos, con instrumentos más o menos sofisticados.

En particular, esta maleta contiene:

- Una regla para medir ángulos
- Un cuadrante simplificado
- Un goniómetro horizontal

- Un planisferio
- Un espectroscopio
- Un mapa de la Luna
- Un reloj ecuatorial

Nosotros proponemos una maleta con instrumentos muy sencillos. La pequeña maleta puede llevarse fácilmente a la escuela o en el tiempo libre, siempre dispuesta para ser usada. Es muy importante que no sea muy grande ni frágil (especialmente si ha de ser utilizada por estudiantes muy jóvenes). Insistimos en que el esmero en las medidas no es el fin de esta actividad.

Contenidos

Nosotros obviamente solo podemos simular esto en un patio durante el verano. La idea es adquirir práctica con los utensilios que ahora vamos a hacer aquí.

En primer lugar necesitamos una caja de cartón como las que recibes por correo con un gran libro dentro (esta será la maleta). Es necesario únicamente colocarle un asa en el lado estrecho y que el lado ancho pueda abrirse. Dentro de la caja, colocaremos los siguientes instrumentos:

- ❖ Una **regla para medir ángulos** que puede usarse para darnos la distancia angular entre dos estrellas de la misma constelación. Es muy sencilla de usar si no queremos introducir las coordenadas.
- ❖ Un **cuadrante simplificado** que puede usarse para obtener la altura de las estrellas. Cuando los alumnos ven un objeto por el visor la cuerda indica la posición angular referida a su horizonte.
- ❖ Un **goniómetro horizontal** simple que puede usarse para determinar el acimut de las estrellas. Obviamente se necesita usar una brújula para orientar el instrumento en la dirección Norte-Sur.
- ❖ Un **planisferio** con las constelaciones del cielo fotocopias muy claras en un disco de papel blanco y una bolsa de cartón con el “agujero” de la latitud para meter el disco del cielo dentro. Girando el disco se encuentra la fecha y la hora de observación para reconocer las constelaciones más importantes para la latitud del “agujero” que usamos.
- ❖ Un **espectroscopio** para descomponer la luz solar en los siete colores que la componen.
- ❖ Un **mapa de la Luna** con los nombres de los mares y algunos cráteres que sean fácilmente reconocibles con unos prismáticos.
- ❖ Un **reloj ecuatorial** es uno de los relojes de Sol más sencillos de construir y también son los más fáciles de orientar. Usaremos el reloj ecuatorial diseñado en el taller del horizonte local y relojes que forma parte de este mismo curso.
- ❖ Una **linterna** (de luz roja), para iluminar los mapas antes de mirar al cielo real. La luz estropea las observaciones. Si los alumnos llevan una linterna en la maleta, es necesario que pongan un “papel de celofán” sobre la lámpara fijado con celo. Un grupo de alumnos con linternas que no sean de luz roja pueden producir mucha polución lumínica dificultando la observación.
- ❖ Una **brújula** para orientar los diferentes instrumentos.

Y naturalmente, todos los accesorios que necesita todo alumno: libreta de notas, lápiz, un reloj y, si se dispone, de una cámara fotográfica.

Siguiendo las instrucciones y los dibujos podemos hacernos nuestros instrumentos de una forma muy sencilla y usarlos al aire libre. Durante el día mediremos, por ejemplo, con el cuadrante la posición (altura) de la copa de un árbol, una colina, etc. Por la noche, podemos medir la posición de dos estrellas distintas o de la Luna con el fin de entender el ciclo periódico de sus fases. Invitamos a los alumnos a tomar los datos.

Para abordar por primera vez una noche de observación es mejor utilizar mapas sencillos preparados de antemano (¡alguna cartulina planetario sujetado con un alfiler!) y el planisferio para familiarizarse con las constelaciones más importantes. Naturalmente los mapas astronómicos son muy precisos pero la experiencia de los profesores sugiere que en ocasiones no son fáciles de usar sin ayuda por los alumnos.

Una regla para medir ángulos

Considerando una simple proporción podemos construir un instrumento básico para medir ángulos en cualquier situación. Nuestro principal objetivo es contestar la siguiente pregunta: “¿Cuál es la distancia (radio R) que necesito con el fin de obtener un artilugio que 1° sea equivalente a 1 cm?”.

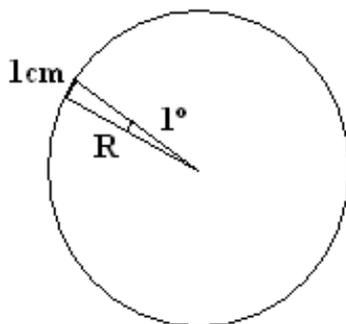


Fig. 1: El radio R con el fin de obtener un instrumento que 1° sea equivalente a 1 cm.

En la figura 1 consideramos la relación entre la circunferencia de longitud $2\pi R$ en centímetros, para 360° , con 1 cm para 1° :

$$\frac{2\pi R \text{ cm}}{360^\circ} = \frac{1 \text{ cm}}{1^\circ}$$

Por lo tanto,

$$R = \frac{180}{\pi} = 57 \text{ cm}$$

Para construir el instrumento

Cogemos una regla, donde fijamos una cuerda de 57 cm de longitud. Es muy importante que la cuerda no sea extensible.

Cómo se usa:

- Miramos con el final de la cuerda casi tocando nuestro ojo “en la mejilla, debajo del ojo”
- Podemos medir usando la regla y la equivalencia es $1\text{cm} = 1^\circ$, si la cuerda está estirada (figura 2).

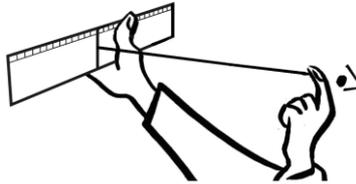


Fig. 2: Usando la herramienta (una regla y un trozo de cuerda de 57 cm de longitud), se puede medir ángulos con la equivalencia “ $1\text{cm} = 1^\circ$ ”.

Ejercicios propuestos:

¿Cuál es la distancia angular entre dos estrellas de la misma constelación?

Usa el “medidor de ángulos” para calcular cuál es la distancia (en grados) entre Merak y Dubne de la Osa Mayor.

Un cuadrante simplificado: el cuadrante “pistola”

Una versión muy simplificada del cuadrante puede ser muy útil para medir ángulos. Aquí presentamos la versión “pistola” que es de fácil uso lo que favorece su utilización por los alumnos ante otros formatos más clásicos.

Para construirlo: Se necesita una pieza rectangular de cartón duro (de unos 12x20 cm). Se recorta un área rectangular como en la figura 1, con el fin de colocar ahí la mano. Se colocan dos escarpas redondas en el lado (figura 3).

En un cuadrante de papel (figura 4) con los ángulos indicados se pega (figura 3) de forma que una de las escarpas esté sobre la posición 0° (figura 3). Se ata una cuerda en la parte de arriba y, en la otra punta, se fija un pequeño peso.

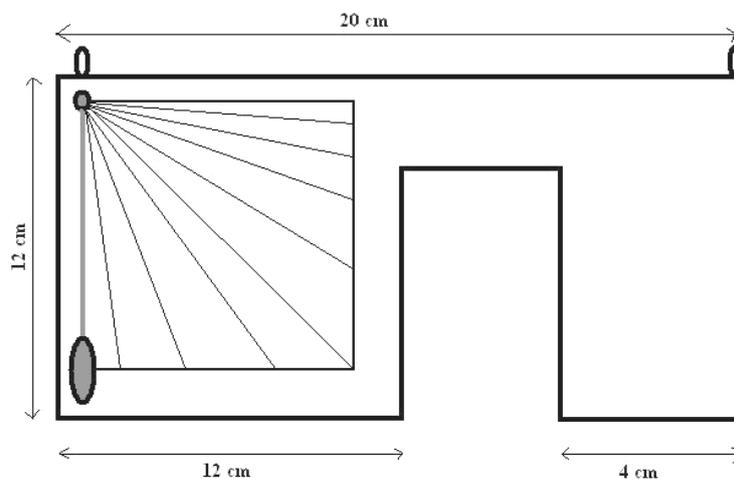


Fig. 3: Cuadrante “Pistola”.

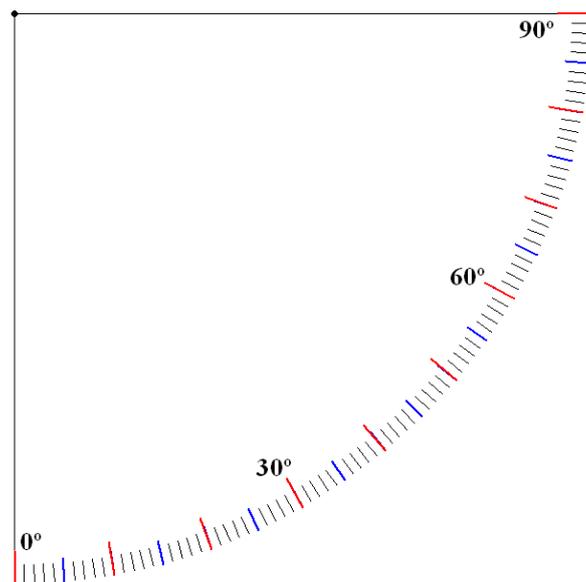


Fig. 4: Graduación de 90° para pegarlo en el cuadrante.

¿Cómo usarlo?:

- Cuando se ve el objeto a través de las dos escarpías la cuerda indica la posición angular referida a los 0° del horizonte (figura 5b).
- Una pajita que pase a través de las escarpías es un visor excelente que nos permitirá medir la altura del Sol proyectando la imagen en un trozo de cartón blanco. ATENCIÓN: NO MIRAR NÚNCA AL SOL DIRECTAMENTE!!!

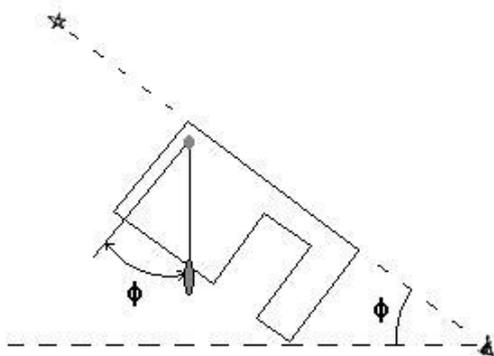


Fig. 5a y 5b: Usando el cuadrante de “pistola”.

Ejercicios que se propone:

¿Cuál es la latitud de la escuela?

Usaremos el cuadrante para conocer la altura de la estrella Polar. La latitud de un lugar es igual a la altura de la Polar en dicho lugar (figura 6).

También se puede usar el cuadrante para calcular (en la clase de mates) la altura de la escuela o de cualquier otro edificio cercano.

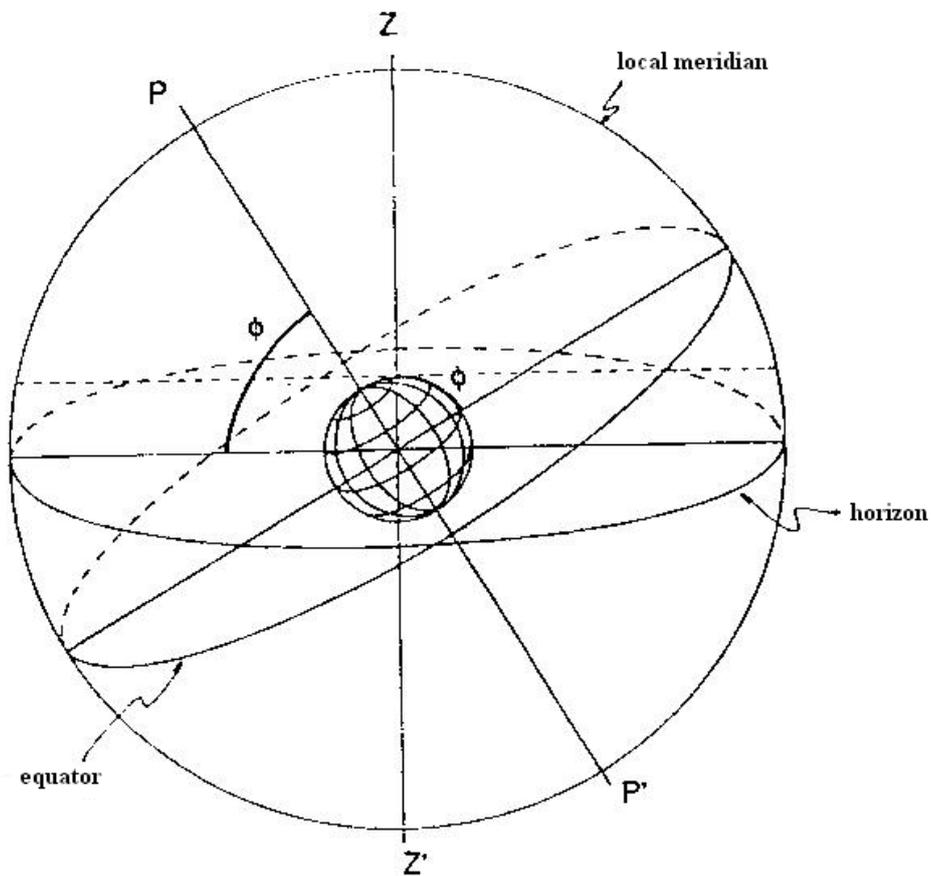


Fig. 6: La latitud del lugar ϕ es igual a la altura de la Polar.

Goniómetro Horizontal

Una versión simplificada del goniómetro horizontal se puede utilizar para conocer la segunda coordenada necesaria para determinar la posición de un cuerpo celeste.

Para construir la herramienta

Se corta un rectángulo de cartón de unos 12x20 (figura 7a). Se pega un semicírculo de papel (figura 8) con los ángulos indicados de forma que el diámetro del semicírculo esté en paralelo con el lado mayor del rectángulo. Utilizando tres “agujas” podemos marcar dos direcciones en el goniómetro (figura 7b).

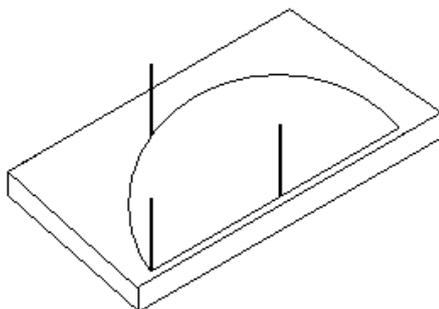


Fig. 7a y 7b: Como se usa el goniómetro horizontal

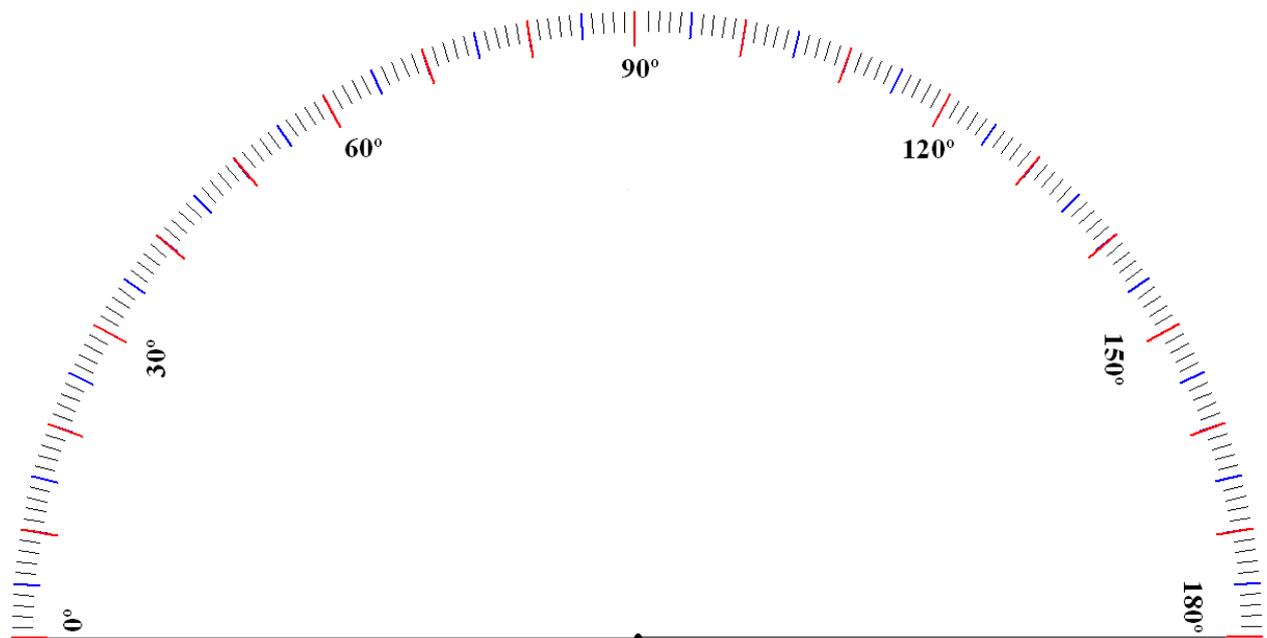


Fig. 8: Graduación de 180° para pegar en el goniómetro horizontal.

Cómo se usa:

- Si queremos medir el acimut de una estrella tenemos que orientar la línea de partida del semicírculo en la dirección Norte-Sur.
- El acimut es el ángulo entre la línea Norte-Sur y la línea por el centro del círculo y la dirección del cuerpo.

Ejercicios propuestos:

¿Cuál es la posición de la Luna esta noche?

Usa el cuadrante y el goniómetro horizontal para calcular la altura y acimut de la Luna. Con el fin de estudiar el movimiento de la Luna durante la noche, se pueden determinar las dos coordenadas tres veces cada hora. De esta manera se puede comparar el movimiento de la Luna con el de las estrellas en el cielo.

El planisferio

Para reconocer las constelaciones se usan mapas de estrellas que dependen de la latitud del lugar. Construiremos uno de ellos aunque recomendamos ampliarlo con una fotocopiadora.

Para construir el planisferio

Usaremos una fotocopia de las constelaciones del cielo en un disco de “fondo blanco” y lo situaremos dentro de una bolsa según sea su latitud próxima al ecuador o no, y según sea el hemisferio.

Hemisferio norte

Para lugares situados en el hemisferio norte con latitudes comprendidas entre 0 y 20 grados es conveniente preparar dos planisferios, uno para cada horizonte. Para el horizonte norte recortaremos la ventana de la figura 9a por la línea de latitud continua correspondiente y doblaremos por la línea de puntos hasta conseguir una bolsa. En ella introduciremos el

planisferio de la figura 10a. Con esta operación tendremos el planisferio del horizonte norte del lugar.

Procedemos de forma análoga para tener el planisferio del horizonte sur. Recortando y doblando, como antes, la ventana de la figura 9b en introduciendo en su interior el mapa de estrellas de la figura 10a. Una vez terminados ambos planisferios usaremos los dos según estemos observando hacia el horizonte norte o sur.

Cuando deseemos observar en el hemisferio norte con latitudes comprendidas entre 30 y 70 grados basta recortar la ventana de la figura 9e por la línea continua y doblar por la línea de puntos hasta obtener una bolsa donde se introducirá el círculo de estrellas que hemos recortado anteriormente (figura 10a).

Hemisferio sur

Para lugares situados en el hemisferio sur con latitudes comprendidas entre 0 y 20 grados es conveniente preparar dos planisferios, uno para cada horizonte. Para el horizonte norte recortaremos la ventana de la figura 9c por la línea de latitud continua correspondiente y doblaremos por la línea de puntos hasta conseguir una bolsa. En ella introduciremos el planisferio de la figura 10b. Con esta operación tendremos el planisferio del horizonte sur del lugar.

Procedemos de forma análoga para tener el planisferio del horizonte sur. Recortando y doblando, como antes, la ventana de la figura 9d en introduciendo en su interior el mapa de estrellas de la figura 10b. Una vez terminados ambos planisferios usaremos los dos según estemos observando hacia el horizonte norte o sur.

Cuando deseemos observar en el hemisferio sur con latitudes comprendidas entre 30 y 70 grados basta recortar la ventana de la figura 9f por la línea continua y doblar por la línea de puntos hasta obtener una bolsa donde se introducirá el círculo de estrellas que hemos recortado anteriormente (figura 10b).

Cómo se usa:

Se coloca la fecha del día en que vamos a observar alineada con la hora de observación girando el círculo de estrellas y se usa el planisferio mirando al cielo en la dirección indicada. La parte del cielo que puede verse aparece no tapada por el papel.

Atención: Un planisferio se usa como un paraguas. Es un mapa del cielo y debemos situarlo por encima de nuestra cabeza para poder reconocer las constelaciones.

Ejercicios propuestos:

¿Qué cielo podemos ver esta noche?

Usa el planisferio que has hecho para la latitud de tu escuela, solo tienes que girar el disco estelar hasta que la fecha de hoy coincida con la hora que planeas salir a observar.

Ten en cuenta que el planisferio es un “mapa de estrellas” y que tienes que levantarlo sobre tu cabeza “como un paraguas” (no es un mapa de tu ciudad!).

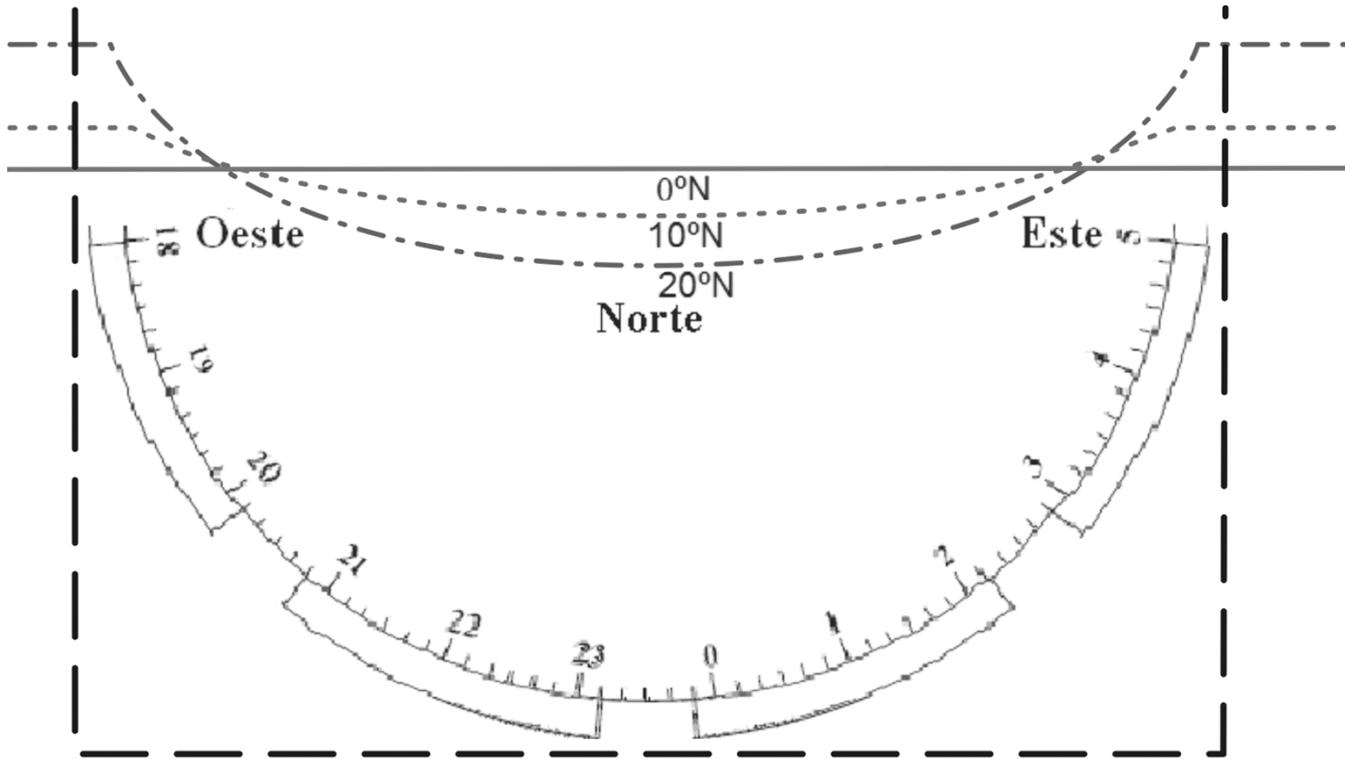


Fig. 9a: Bolsa para el horizonte norte (latitud 0, 10 y 20 Norte).

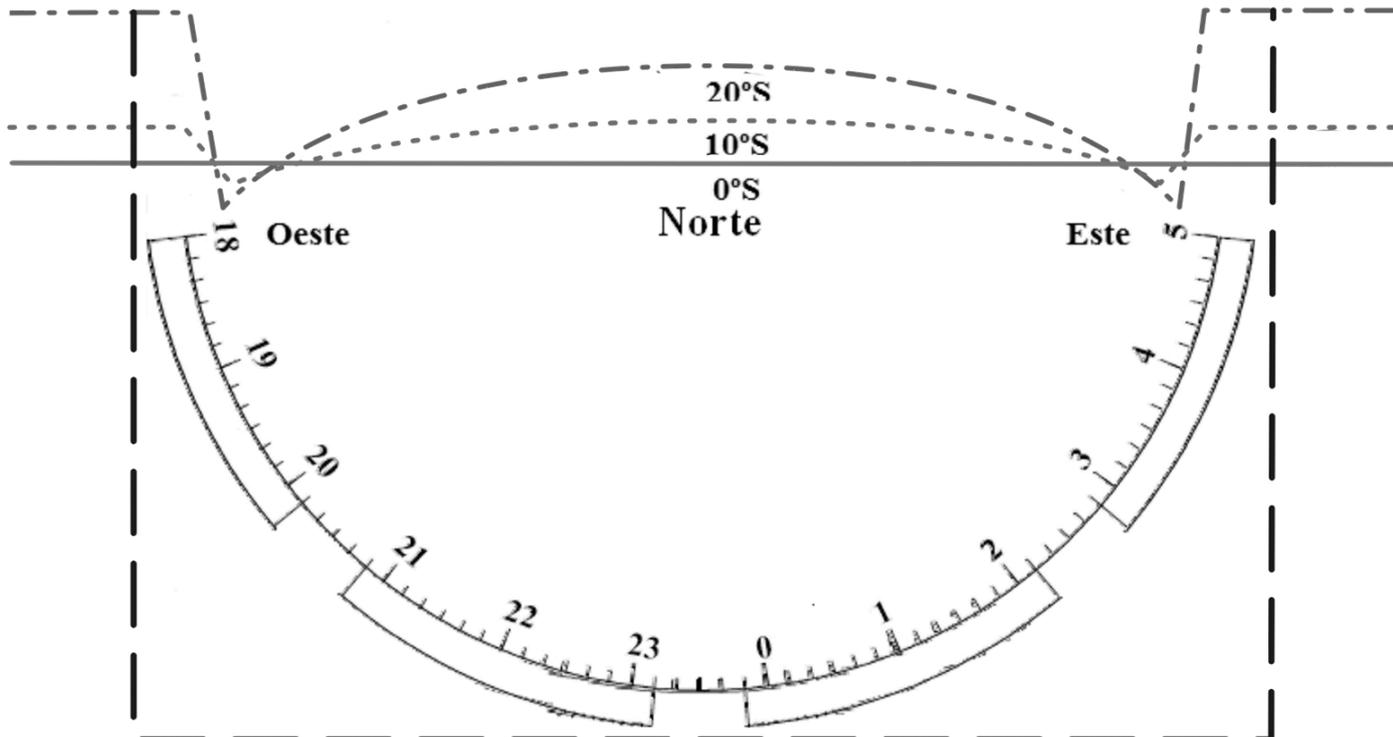


Fig. 9b: Bolsa para el horizonte sur (latitud 0, 10 y 20 Norte).

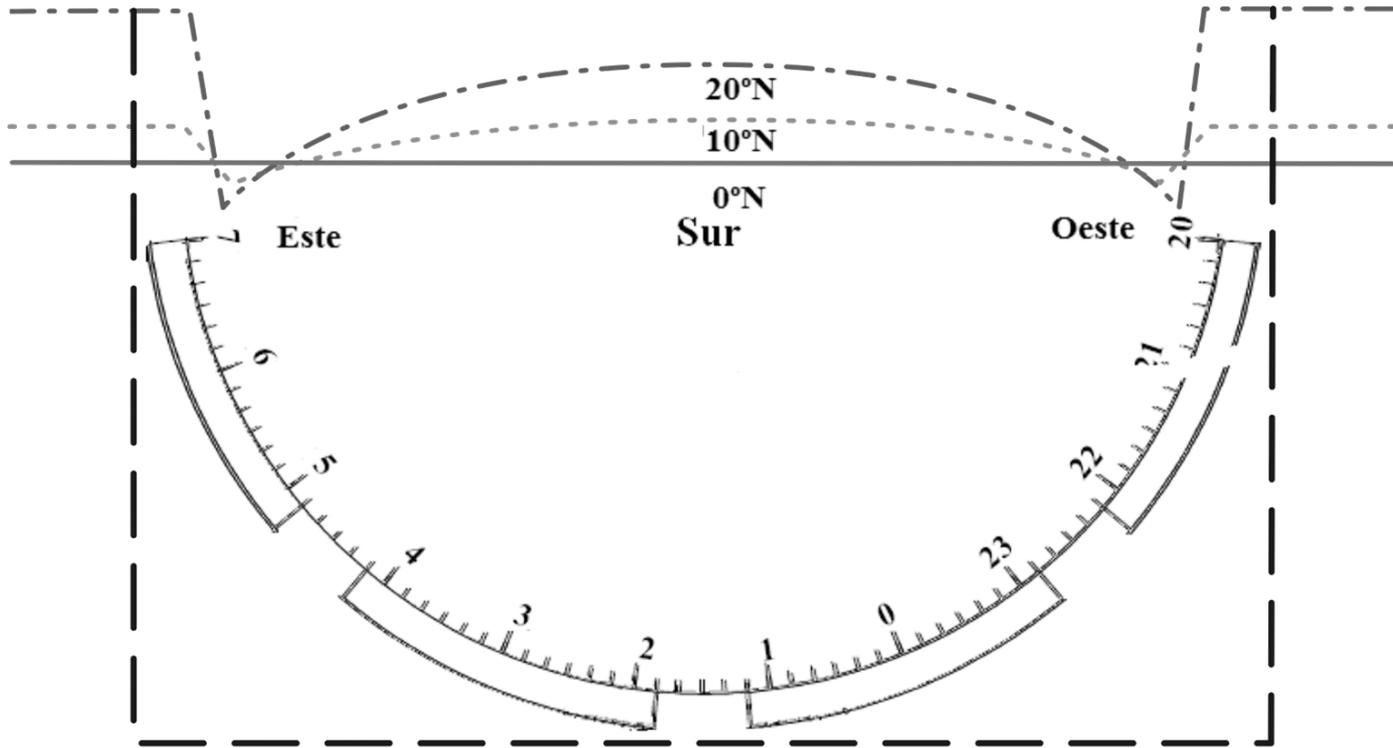


Fig. 9c: Bolsa para el horizonte norte (latitud 0, 10, 20 Sur).

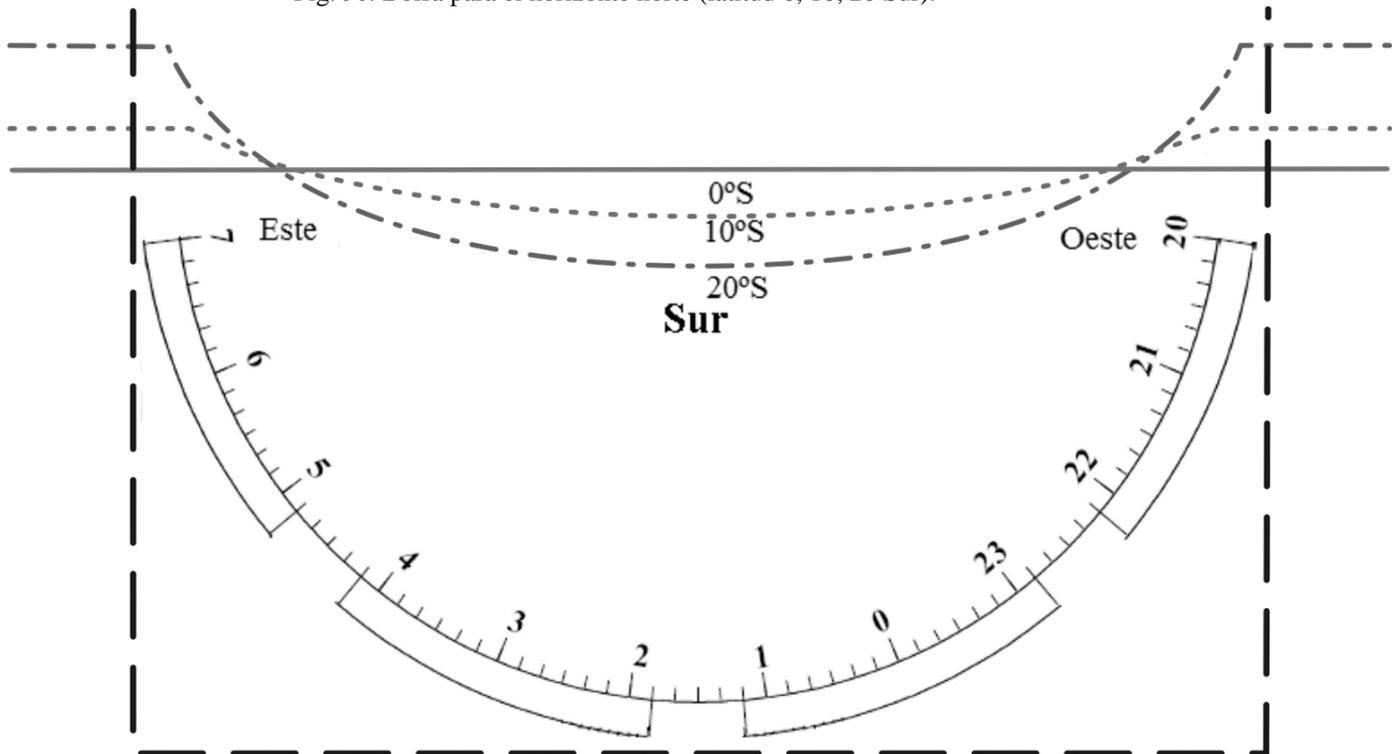


Fig. 9d: Bolsa para el horizonte sur (latitud 0, 10, 20 Sur).

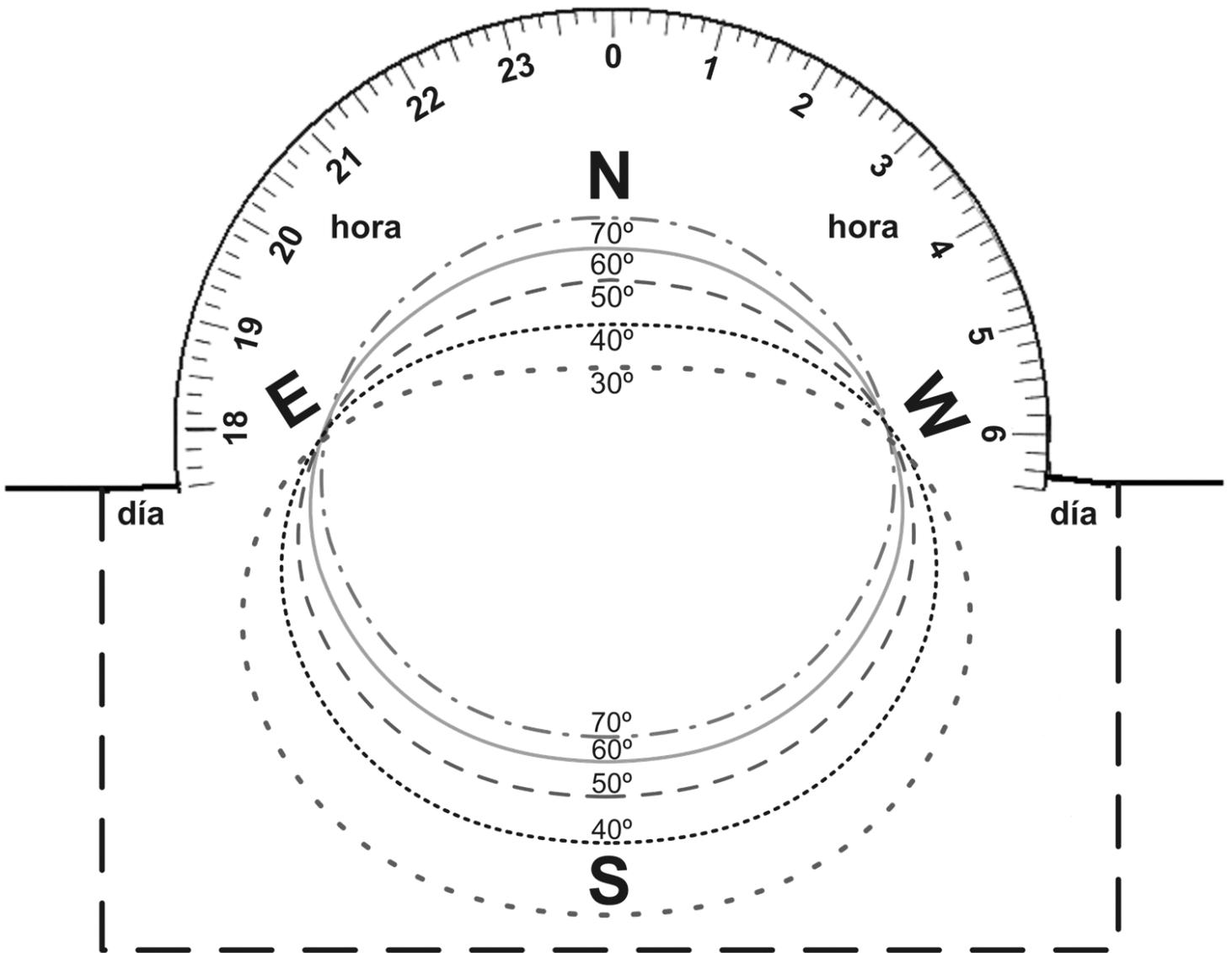


Fig. 9e: Bolsa para el hemisferio norte para ambos horizontes. Latitudes de 30° a 70° Norte.

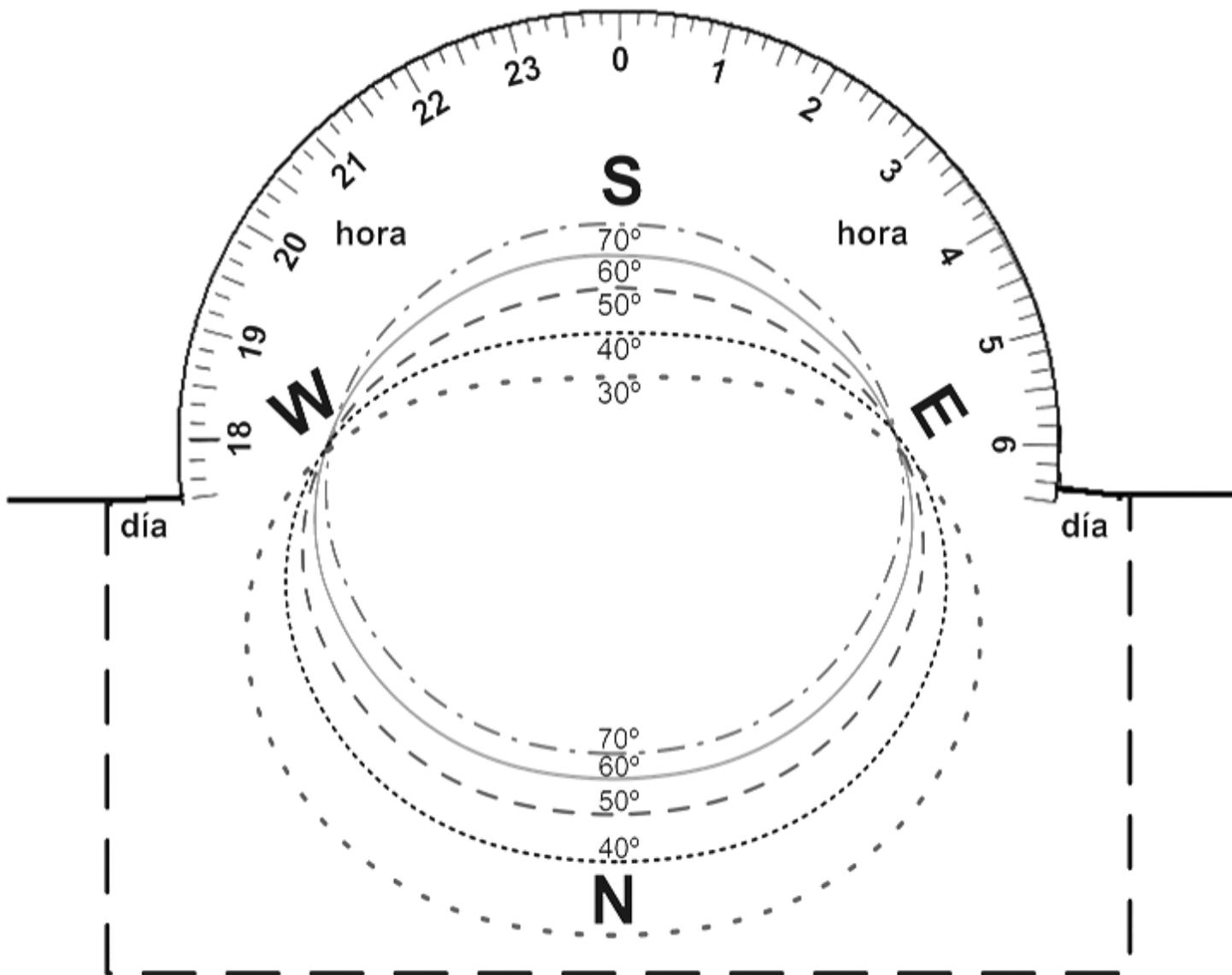


Fig. 9f: Bolsa para el hemisferio sur para ambos horizontes. Latitudes de 30° a 70° Sur.

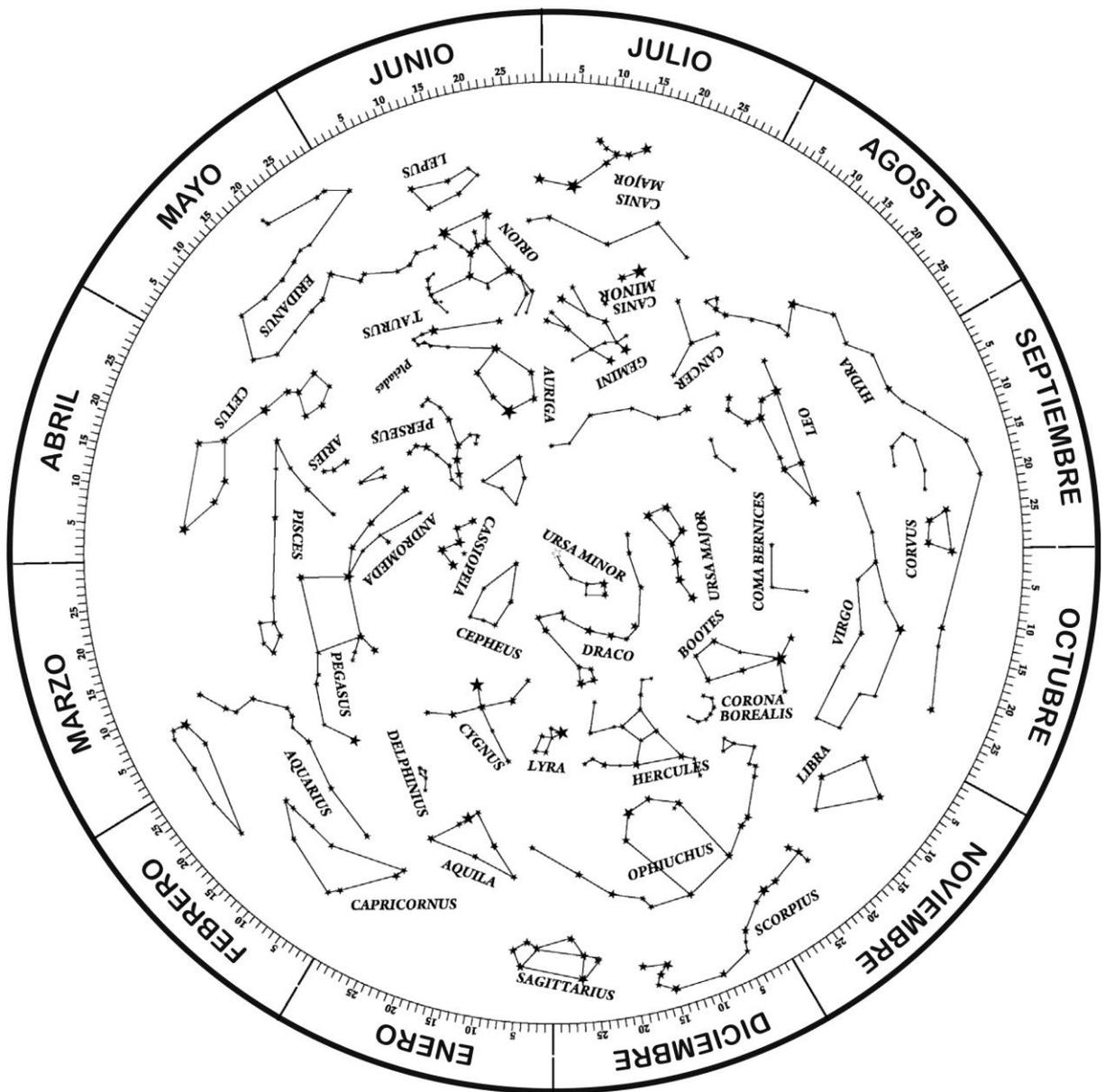


Fig. 10a: El disco o mapa estelar que se pone dentro de la bolsa. Hemisferio norte.

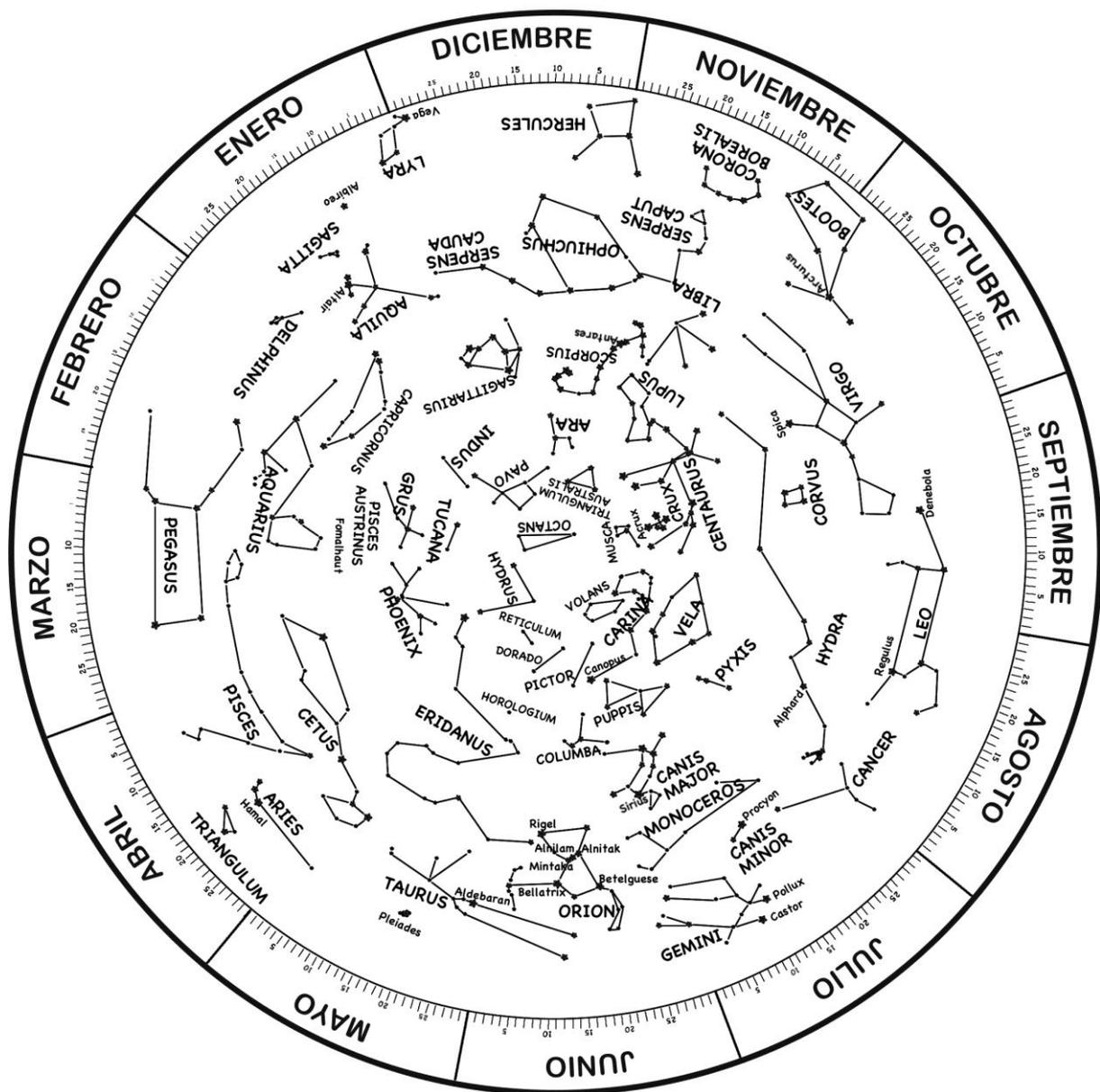


Fig. 10b: El disco o mapa estelar que se pone dentro de la bolsa. Hemisferio sur.

Espectroscopio

Al pasar la luz del Sol por este sencillo instrumento el alumno podrá visualizar la descomposición de la luz. Es una forma sencilla de observar el espectro solar con un instrumento construido por los propios alumnos.

Construcción del espectroscopio

Pintad el interior de una caja grande de cerillas (tamaño usual para las cerillas de cocina). Haced un corte longitudinal (figura 11b) por donde el observador pueda mirar el espectro en el interior de la caja. Cortar un CD inservible en ocho partes iguales y pegar una de dichas partes en el fondo del interior de la caja de cerilla, con la zona de la grabación hacia arriba.

Cerrad la caja dejando sólo una rendija abierta en la zona opuesta de donde habéis abierto el visor.

¿Cómo se usa?:

- Dirigid la caja de cerillas de forma que la luz del Sol se cuele por la rendija abierta y observar por el visor (figura 11a).
- Veréis en el interior de la caja de cerillas la descomposición de la luz solar en los colores del espectro.

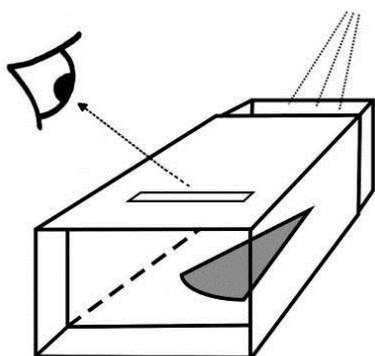


Fig. 11a y 11b: Como se usa el espectroscopio.

Ejercicio propuesto:

Comparad el espectro solar con el de un fluorescente u otras lámparas que haya en la escuela. Podréis observar las variaciones que aparecen en el espectro según el tipo de lámpara que estéis considerando.

Mapa de la Luna

Es bueno incluir una versión simplificada de un mapa lunar que incluya el nombre de los mares y de algunos de los cráteres que pueden observarse con prismáticos o con un pequeño telescopio.

Para construirlo

Se necesita una pieza cuadrada de cartón duro (de unos 20x20 cm) donde se pega la figura 12 o la 13.

¿Cómo usarlo?:

El mapa de la Luna deberéis usarlo tal como esta aquí o al revés dependiendo de si estéis utilizando unos prismáticos o un telescopio (invierte la imagen) y también depende de si estéis observando desde el hemisferio norte o sur. En cualquier caso, lo más sencillo es empezar por identificar los mares, comprobar que la posición es correcta y después seguir identificando los demás accidentes lunares.

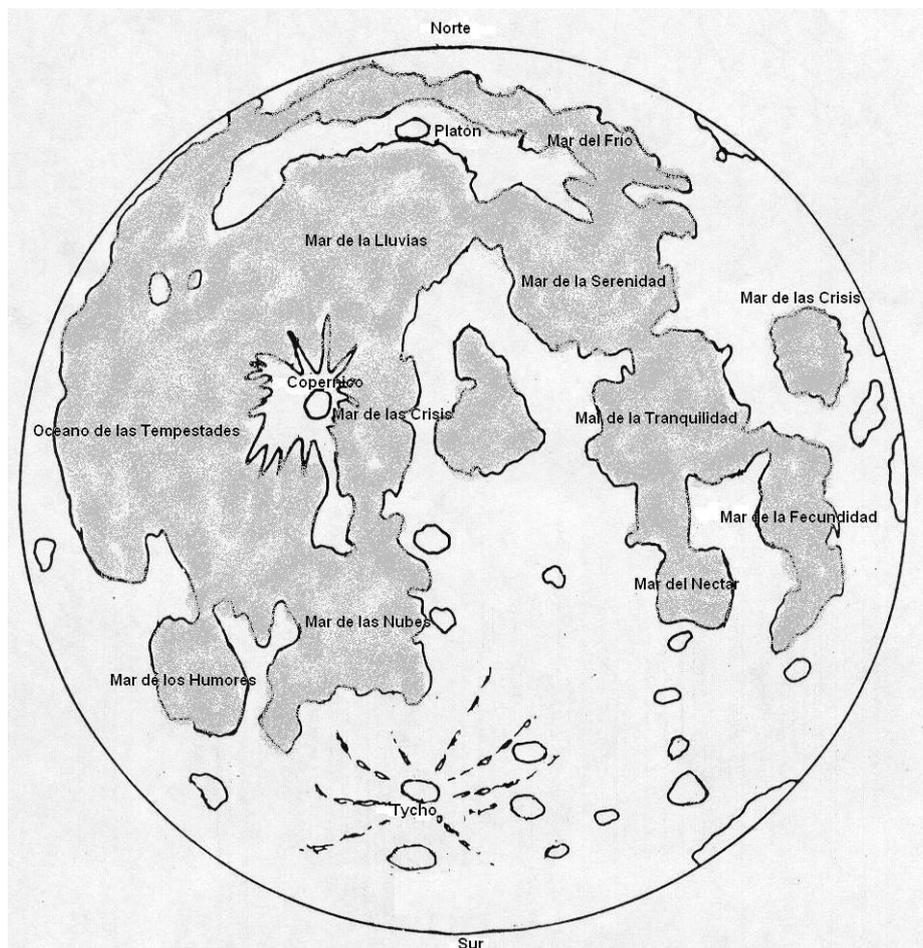


Fig. 12: Mapa esquemático de la Luna, tal como se observa desde el hemisferio norte.

Ejercicio que se propone:

¿Cuál es el cráter de Tycho?

Observa la Luna un día que este más de la mitad iluminada e identifica en la zona central un cráter con un gran sistema de radiantes (líneas que salen del cráter y se dirigen en todas direcciones cruzando la superficie del satélite).

La colocación en el maletín

Preparamos una bolsa de papel con una hoja en el lado superior de la caja abierta para poner el planisferio, el mapa de la Luna, el reloj solar etc.

En la parte profunda de la caja colocamos los instrumentos de forma que no pueden moverse, usando clips, alfileres, pequeños cinturones y cintos. El tornillo del cuadrante debe fijarse en torno al centro porque la maleta contiene instrumentos delicados y pueden balancearse al manejarla. Un grupo de alumnos propuso colocar una lista en el exterior de la maleta indicando el contenido de ésta, así se estaría seguro de haber recogido todo al finalizar la actividad. Además, de la etiqueta con su nombre y cuantos adornos se les ocurra con el fin de personalizar el maletín.

Planetas y exoplanetas

Rosa M. Ros

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

Resumen

Este taller se divide en dos partes. En primer lugar se presentan actividades para ayudar a comparar los diferentes planetas entre sí. Se pretende dar contenido a las tablas de datos para que no queden como fríos datos sin más. Para ello se presentan modelos del Sistema Solar desde diferentes tipos de vista: distancias, diámetros, densidades, gravedades superficiales, etc.

En la actualidad, varios métodos se utilizan para encontrar exoplanetas, más o menos indirectamente. Ha sido posible detectar más de 30 sistemas planetarios múltiples. Vamos a compararlos, de alguna manera, con el Sistema Solar y los satélites galileanos de Júpiter.

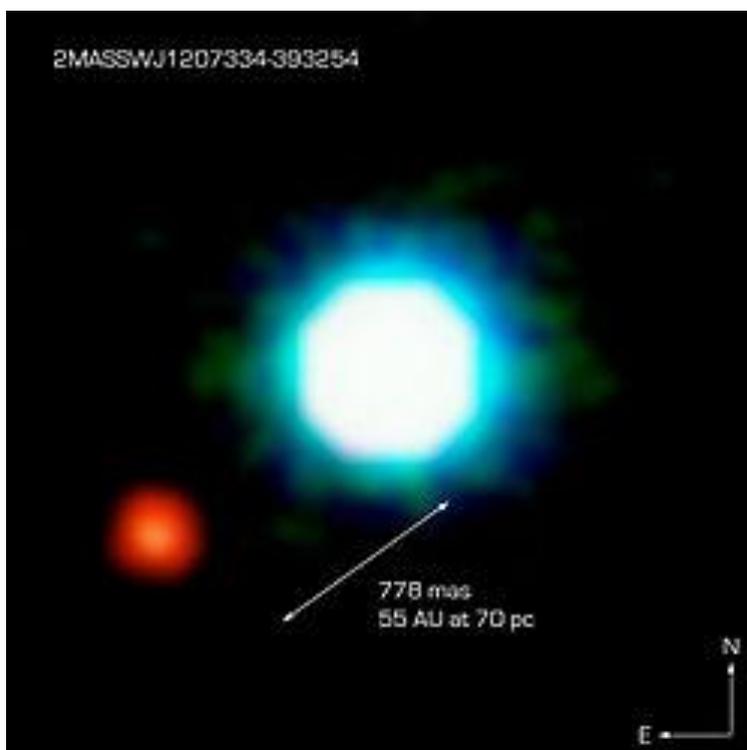


Fig. 1: El primer planeta 2M1207b observado directamente. Fotografiado el 16 de marzo de 2003. Tiene una masa de 3,3 veces la masa de Júpiter y orbita a 41 UA de la enana marrón. En 2006, un disco de polvo se encuentran alrededor de la estrella madre, proporcionando evidencia de una formación de los planetas sobre el mismo que una estrella normal (Foto: ESO).

Objetivos

- Comprender que significan los valores numéricos que resumen las tablas de datos de los planetas del Sistema Solar
- Deducir el radio y el periodo de rotación de los satélites galileanos de Júpiter mediante el uso de un conjunto de observaciones fotográficas.
- Calcular la masa de Júpiter usando la tercera ley de Kepler.
- Entender las principales características de los sistemas planetarios extra-solares mediante un paralelismo establecido con Júpiter y sus satélites galileanos.

El Sistema solar y las tablas de datos

El Sistema Solar permite aventurar a los alumnos a realizar comparaciones entre los diferentes planetas lo que les llevara a elaborar maquetas comparando diferentes aspectos. Para poder llevar a cabo este cometido hay que usar los datos de la tabla 1.

Planeta	Diámetro (km)	Distancia al Sol (km)
Sol	1 392 000	
Mercurio	4 878	57.9 10^6
Venus	12 180	108.3 10^6
Tierra	12 756	149.7 10^6
Marte	6 760	228.1 10^6
Júpiter	142 800	778.7 10^6
Saturno	120 000	1 430.1 10^6
Urano	50 000	2 876.5 10^6
Neptuno	45 000	4 506.6 10^6

Tabla 1: Datos de los cuerpos del Sistema Solar

En todas las ocasiones el principal objetivo del modelo es hacer que sean comprensibles los datos. Los millones de km no son fácilmente imaginables, en cambio si se traducen a distancia y tamaño que ellos suelen manejar son más asequibles.

Varias Maquetas del Sistema Solar

Maquetas de diámetros

En un papel suficientemente grande de color amarillo, se recorta un círculo que representará el Sol. Los diferentes planetas se recortaran en cartulina y se dibujaran sus características morfológicas. Finalmente se pegaran todos ellos sobre el disco solar.

A continuación figuran los resultados obtenidos con una escala de 1cm por cada 10.000 km.: Sol 139 cm, Mercurio 0.5cm, Venus 1.2 cm, la Tierra 1.3 cm, Marte 0.7 cm, Júpiter 14.3 cm, Saturno 12.0 cm, Urano 5.0 cm y Neptuno 4.9 cm.

Sugerencia: la maqueta anterior puede realizarse pintando las planetas sobre una camiseta, eso sí siempre a escala. Resulta más atractivo si se pintan algunos detalles.



Fig. 2a y 2b: Ejemplos de camiseta

Maqueta de distancias

Si atendemos solo a las distancias entre los planetas se puede elaborar otra maqueta que es fácil situar en cualquier pasillo de la escuela. Basta cortar una cartulina a tiras de 10 cm de ancho, que iremos uniendo hasta tener una larga cinta de varios metros (figura 3). A continuación, se pegan a la distancia que les corresponde el nombre de los diferentes planetas.

Si se usa una escala de 1cm para cada 10 millones de km los resultados obtenidos son Mercurio 6 cm, Venus 11 cm, la Tierra 15 cm, Marte 23 cm, Júpiter 78 cm, Saturno 143 cm, Urano 288 cm y Neptuno 450 cm.



Fig. 3: Maqueta de distancias.

Una opción simpática para este modelo consiste en usar un rollo de papel higiénico utilizando las porciones señaladas en el mismo como unidades. Por ejemplo, se puede tomar como escala 1 porción de papel para cada 20 millones de km.

Maqueta de diámetros y distancias

El siguiente desafío consiste en intentar hacer una maqueta que represente los cuerpos a escala y a la distancia correspondiente. El problema es que no es tan sencillo como puede parecer encontrar una escala que permita representar los planetas por objetos no demasiado

pequeños y que las distancias entre ellos no sean exageradamente grandes, ya que en ese caso no son representables y el modelo es poco útil para los alumnos porque no puede asimilarse suficientemente bien. A título de sugerencia es una buena idea usar el patio del centro para hacer el modelo y usar pelotas para los planetas ya que hay de cualquier diámetro.



Fig. 4: El Sol y los planetas de la maqueta de diámetros y distancias.

A modo de ejemplo damos una posible solución. En un extremo del patio situamos una pelota de baloncesto de unos 25 cm de diámetro que representa el Sol. Mercurio será la cabeza de una aguja de picar (1 mm de diámetro) situado a 10 m del Sol. La cabeza, algo mayor, de otra aguja de picar (2 mm de diámetro) será Venus a 19 m del Sol, La Tierra es la cabeza de otra aguja como la anterior (2 mm) a 27 m del Sol. Marte es otra cabeza de aguja, algo menor (1mm) situado a 41 m del Sol. Normalmente aquí se acaba el patio de la escuela, si es que no se terminó antes. Los siguientes planetas habrá que situarlos en otros lugares fuera del patio, pero al ser próximo a la escuela los alumnos conocen bien las distancias. Una pelota de ping-pong (2.5 cm de diámetro) corresponde a Júpiter a 140 m del Sol. Otra pelota de ping-pong (2 cm de diámetro) será Saturno a 250 m del Sol, una canica de cristal (1 cm de diámetro) representará Urano a 500m del Sol y otra canica (1 cm) situada a 800m será Neptuno.

Hay que hacer hincapié en que este sistema planetario no cabe en ninguna escuela. Pero hay que considerar que si reducimos las distancias, los planetas serían más pequeños que la cabeza de una aguja de picar y prácticamente serían imposibles de visualizar. Para terminar podéis calcular cual es la escala que se ha utilizado para elaborar este modelo.

Maqueta en el plano de la ciudad

La idea es sencilla, usar la escala de un mapa para imaginar en la ciudad donde esta situada la escuela la posición de los diferentes planetas si el Sol esta situado en la puerta del centro escolar. A modo de ejemplo se presenta el plano de Barcelona con diferentes objetos (concretamente frutas y legumbres) que estarían situados en las diferentes calles para así poder imaginar mejor las dimensiones. Como ejercicio se sugiere hacer el mismo trabajo con el plano de la propia ciudad.

Maqueta de distancias-luz

En astronomía, es usual usar el año luz como unidad de medida. Esta misma idea puede ser ilustrativa para un modelo del Sistema Solar. Basta considerar la velocidad de la luz $c = 300.000 \text{ km/s}$. Por lo tanto, la distancia que corresponde a 1 segundo luz es de 300.000 km. Por ejemplo, para la Luna que esta situada a 384.000 km, el tiempo que tarda la luz en llegar de la Luna a la Tierra es de $384.000/300.000 = 1,3$ segundos.

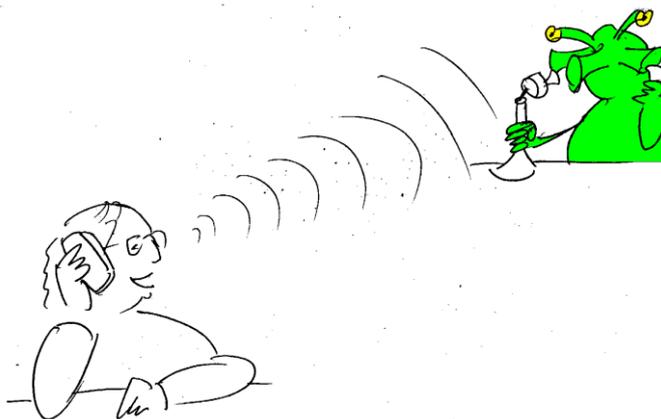


Fig. 7: Otro ejemplo de modelo

Usando estas unidades se solicitará a los alumnos que calculen el tiempo necesario para que la luz del Sol llegue a cada uno de los planetas del Sistema Solar. (A modo de solución añadimos el tiempo que tarda la luz del Sol en llegar a Mercurio es de 3,3 minutos, a Venus 6,0 minutos, a la Tierra 8,3 minutos, a Marte 12,7 minutos, a Júpiter 43,2 minutos, a Saturno 1,32 horas, a Urano 2,66 horas y a Neptuno 4,16 horas).

Podemos proponerles que se imaginen como sería una conversación por video-conferencia entre el Sol y cualquier planeta.

Modelo de tamaños aparentes del disco solar desde cada planeta

Desde un planeta, por ejemplo la Tierra, el Sol se ve bajo un ángulo α (figura 8). Para valores de α muy pequeños, se toma $\tan \alpha \approx \alpha$ (en radianes)

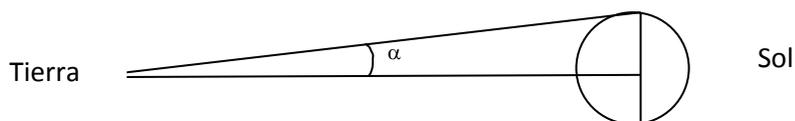


Fig. 8: Desde la Tierra el Sol se ve bajo un ángulo α .

Sabiendo que el diámetro solar es de $1,4 \cdot 10^6 \text{ km}$ o sea un radio de $0,7 \cdot 10^6 \text{ km}$, y que la distancia Tierra-Sol es $150 \cdot 10^6 \text{ km}$, se deduce:

$$\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 0,0045 \text{ radianes}$$

Y en grados:

$$\frac{0,0045 \cdot 180}{\pi} = 0,255^\circ$$

Es decir, desde la Tierra, el Sol se ve del tamaño 2 veces $0,255^\circ = 0,51^\circ$, esto es, aproximadamente, medio grado. Repitiendo el mismo proceso para cada planeta se obtienen los resultados de la siguiente tabla 2 y se puede representar su tamaño (figura 9).

Planetas	$\tan \alpha$	α (°)	α (°) aprox.
Mercurio	0,024	1,383	1,4
Venus	0,0129	0,743	0,7
Marte	0,006	0,352	0,4
Júpiter	0,0018	0,1031	0,1
Saturno	0,000979	0,057	0,06
Urano	0,00048	0,02786	0,03
Neptuno	0,0003	0,0178	0,02

Tabla 2: Resultados para los distintos planetas.

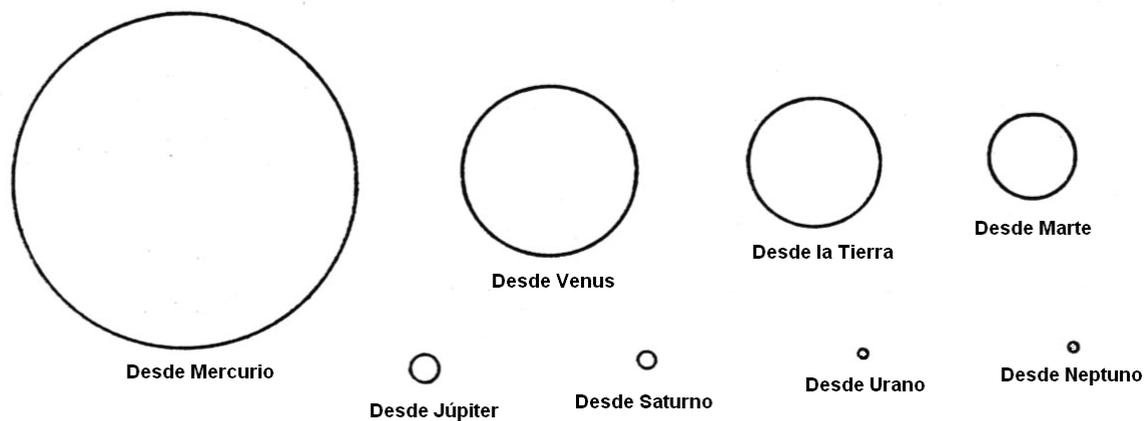


Fig. 9: El Sol visto desde cada planeta: Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

Modelo de densidades

El objetivo de este modelo consiste en buscar muestras de materiales que sean fácilmente manipulables y que tengan una densidad similar a cada uno de los cuerpos del Sistema Solar, para así poder “sentirlos en las manos”.

	Densidad (g/cm ³)
Sol	1.41
Mercurio	5.41
Venus	5.25
Tierra	5.52
Luna	3.33
Marte	3.9
Júpiter	1.33
Saturno	0.71
Urano	1.3
Neptuno	1.7

Tabla 3: Densidades de los cuerpos del Sistema Solar



Fig. 10 Modelo de densidades

Partiendo de la tabla 3 de densidades de los planetas, basta comparar con las densidades de diversos minerales (en todas las escuela suele haber una colección de materiales) o en algunos casos usar muestras de otros materiales fáciles de encontrar como el vidrio, cerámica, madera, plásticos, etc. A continuación presentamos la tabla 4 con algunos ejemplos de densidades orientativas de algunos materiales.

Minerales	Densidad	Otros materiales	Densidad
Yeso	2.3	Glicerina	1.3
Ortosa	2.6	Corcho	0.24
Azufre	1.1-2.2	Aluminio	2.7
Alita	2	Hierro	7.86
Cuarzo	2.65	Cemento	2.7 – 3.1
Bórax	1.7	Vidrio	2.4 – 2.8
Blenda	4	Estaño	7.3
Pirita	5.2	Arcilla	1.8 – 2.5
Hematíes	5.4	Baquelita	1.25
Calcita	2.7	Madera de roble	0.90
Galena	7.5	Madera de pino	0.55

Tabla 4: Ejemplos de densidades de algunos materiales

En caso de utilizar otro tipo de material que no figure en esta tabla 4, es muy fácil calcular su densidad. Basta tomar una porción de este material, pesarlo para conocer m e introducirlo en un recipiente de agua y medir su volumen V . La densidad d del material será,

$$d = \frac{m}{V}$$

Por cierto hay que hacer notar a los alumnos que Saturno “flotaría” en el agua, su densidad es menor que 1.

Modelo de achatamiento de los planetas

Para visualizar la deformación (achatamiento) de los planetas gaseosos debido a la fuerza centrífuga generada por su rotación construiremos un sencillo modelo.

Tal como se puede ver en la figura 11, con un palo y unas tiras de cartulina se puede construir este sencillo modelo que al girar reproduce el achatamiento que tiene lugar en los planetas del Sistema Solar.

1. Recortad unas tiras de cartulina de 35 x 1 cm.
2. Las sujetáis a un palo cilíndrico de 50 cm de largo y 1 cm de diámetro, procurando que por la parte superior no puedan subir o bajar, mientras que en la parte inferior puedan desplazarse con libertad a lo largo del palo.
- 3.

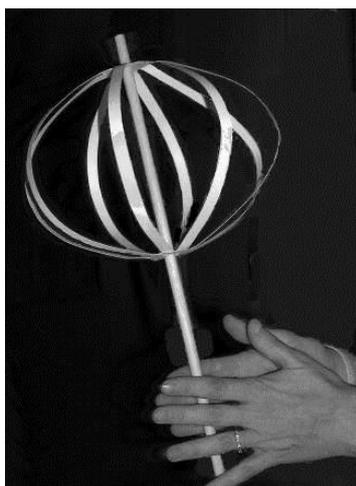


Fig. 11: Modelo para simular el achatamiento

4. Hacedlo girar situándolo entre las dos manos y haciendo un rápido movimiento de rotación en un sentido y otro. Veréis como la fuerza centrífuga deforma las bandas de cartulina (figura 11) de la misma forma que actúa sobre los planetas.

Modelo sobre velocidades de rotación.

Es bien sabido que no todos los planetas recorren su órbita con la misma velocidad (tabla 5).

Planeta	Velocidad de orbital media (km/s)	Distancia al Sol (km)
Mercurio	47.87	57.9 10 ⁶
Venus	35.02	108.3 10 ⁶
Tierra	29.50	149.7 10 ⁶
Marte	24.13	228.1 10 ⁶
Júpiter	13.07	778.7 10 ⁶
Saturno	9.67	1 430.1 10 ⁶
Urano	6.84	2 876.5 10 ⁶
Neptuno	5.48	4 506.6 10 ⁶

Tabla 5: Datos de los cuerpos del Sistema Solar

El más rápido es Mercurio y el más lento Neptuno, el más alejado. Ya los romanos habían observado que Mercurio era el más rápido de todos y por eso lo identificaron con el mensajero de los dioses y lo representaban con alas en los pies. Observado a simple vista, el desplazamiento de los planetas observables sin ayuda óptica es fácil comprobar que Júpiter y Saturno se mueven mucho más lentamente sobre las constelaciones zodiacales que lo puede hacer Venus o Marte por ejemplo.

De la tercera ley de Kepler $P^2/a^3 = K$, se deduce que la velocidad de traslación decrece al incrementar la distancia.

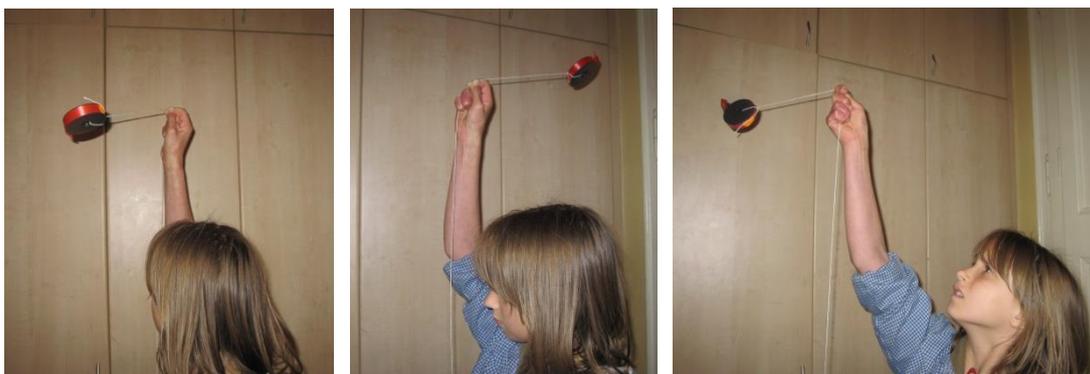


Fig. 12a, 12b y 12c: Simulando el movimiento circular de los planetas.

Para poder visualizar esta relación se pueden usar algunas simulaciones que se pueden encontrar en la web, pero hay una forma sencilla de experimentar esta situación. Bastara con usar un trozo de cuerda y atar al final de ella un objeto algo pesado, por ejemplo una tuerca. Si sujetamos la cuerda por el otro extremo al que hemos fijado la tuerca y lo hacemos girar como una onda por encima de nuestra cabeza, veremos que al ir soltando cuerda irá perdiendo velocidad de la misma forma que si vamos retirando cuerda la velocidad irá aumentado. De hecho, es también un problema de conservación de la cantidad de movimiento.

En particular, podemos preparar un modelo de Sistema Solar con tuercas y trozos de cuerda de longitud semejantes al radio de la órbita (seguiremos suponiendo un movimiento circular para todos ellos) más unos 20 cm. Haremos un nudo en el punto que diste de la tuerca

exactamente el radio mencionado. De esta forma podemos sujetar la cuerda por la zona del nudo y hacerla girar con la longitud deseada.

Para usar el modelo hay que sujetar una de las cuerdas por la zona del nudo y hacerla girar por encima de nuestra cabeza en un plano paralelo al suelo con la velocidad mínima para que sea posible. Veremos que esta velocidad es mayor en los casos en que el radio será menor.

Modelo de gravedades superficiales

La fórmula de la fuerza gravitacional $F = G \frac{Mm}{d^2}$ permite calcular la gravedad superficial que actúa sobre la superficie de cualquier planeta. Basta considerar la masa unidad ($m = 1$) sobre la superficie del planeta ($d = R$), obtenemos $g = \frac{GM}{R^2}$ donde basta sustituir la masa del planeta por $M = 4/3 \pi R^3 \rho$, entonces:

$$g = \frac{4}{3} \pi \cdot G \cdot \rho \cdot R$$

donde $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ es la constante de la gravitación universal, ρ la densidad i R el radio del planeta. Substituyendo estos dos últimos por los valores que figuran en la tabla 1 se puede calcular el valor de la gravedad superficial, g , para todos los planetas.

Planeta	R Radio ecuatorial (km)	g Gravedad sup.	ρ Densidad
Mercurio	2439	0.378	5.4
Venus	6052	0.894	5.3
Tierra	6378	1.000	5.5
Marte	3397	0.379	3.9
Júpiter	71492	2.540	1.3
Saturno	60268	1.070	0.7
Urano	25559	0.800	1.2
Neptuno	25269	1.200	1.7

Tabla 6: Gravedad superficial y densidades de los cuerpos del Sistema Solar

Veamos un par de ejemplos,

$$g_{\text{mercurio}} = \frac{4}{3} \pi \cdot G \cdot 5.4 \cdot 2439 = 3.7$$

$$g_{\text{venus}} = \frac{4}{3} \pi \cdot G \cdot 5.3 \cdot 6052 = 8.9$$

de forma análoga se pueden calcular los demás. (Los resultados son Marte 3.7, Júpiter 24.9, Saturno 10.5, Urano 7.8 y Neptuno 11.8 que son del orden de magnitud de los valores aceptados).

Modelo de las básculas de baño

En este caso el modelo consiste en preparar un conjunto de 9 básculas de baño (8 planetas y la Luna) para que los estudiantes, al pesarse en ellas, pueden saber que es lo que pesarían en cada uno de los planetas.

Evidentemente que es preciso repetir exactamente el mismo proceso para cada planeta así es que solamente se explicará una de ellos. La idea, esencialmente, es abrir una báscula de baño y sustituir el disco de los pesos por otro con los nuevos pesos que se marcaran sobre el círculo calculando el peso equivalente al terrestre mediante una simple proporción.

1. Primero hay que abrir la báscula. En la mayoría de modelos hay dos muelles que fijan la base. Recordad que hay que volver a montarlo de nuevo (figuras 13a y 13b).
2. Una vez abierta hay que sustituir, o poner encima, el disco de pesos “terrestre” por el que habréis dibujado después de hacer los cálculos de los pesos equivalentes en el otro planeta.
3. En la tabla siguiente hay las gravedades superficiales de la Luna y los diferentes planetas del Sistema Solar. En una columna figuran en valores absolutos ($m \cdot s^{-2}$) i en la otra en valores relativos respecto a la gravedad terrestre. Estos valores son los que hay que aplicar a las unidades de peso “terrestres” de la báscula para convertirlos en los valores correspondientes a otro planeta (solo hay que hacer una proporción o regla de tres).
4. Finalmente, hay que volver a cerrar la báscula y ya podéis comprobar lo que pesáis en la Luna.

	Gravedad ($m \cdot s^{-2}$)	Gravedad (T=1)
Luna	1,62	0,16
Mercurio	3,70	0,37
Venus	8,87	0,86
Tierra	9,80	1,00
Marte	3,71	0,38
Júpiter	23,12	2,36
Saturno	8,96	0,91
Urano	8,69	0,88
Neptuno	11,00	1,12

Tabla 7: Gravedades superficiales para cada cuerpo del Sistema Solar

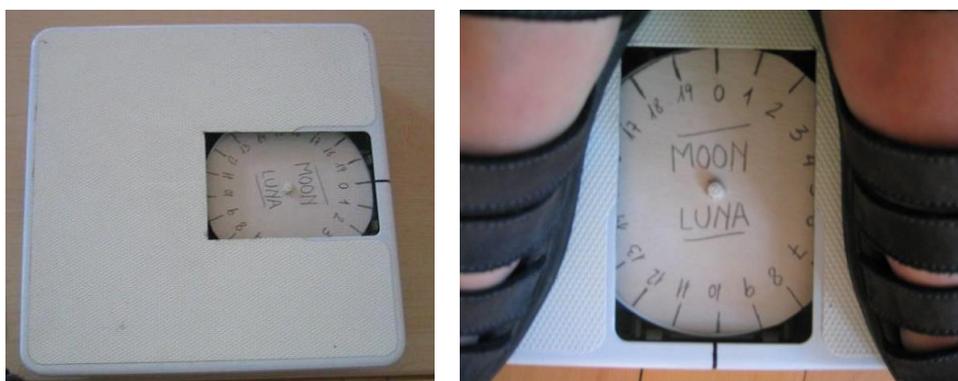


Fig.13a y 13 b: Báscula de baño con el disco substituido



Fig. 14: Modelo del Sistema Solar con básculas de baño

Modelos de cráteres

La mayoría de cráteres del Sistema Solar no tienen origen volcánico sino que son resultado de la caída de fragmentos sólidos del espacio sobre la superficie de los planetas y satélites.

1. Primero ha que recubrir el suelo con periódicos viejos, para no ensuciar el suelo.
2. Poner dentro de una bandeja una capa de 2-3 cm de harina, distribuyéndola con un colador para que la superficie quede muy lisa.
3. Poner una capa de unos pocos milímetros de cacao en polvo sobre la harina con la ayuda de un colador (figura 15a).
4. Desde una altura de unos 2 metros dejamos caer el proyectil: una cucharada sopera de cacao en polvo. Al caer dejara marcas similares a los cráteres de impacto (figura 15b).
5. Se puede experimentar variando la altura. El tipo, la forma o la masa de los proyectiles, etc. Se puede conseguir incluso el pico central.



Fig. 15a: Simulando cráteres



Fig. 15b: Cráteres resultantes

Modelos de velocidades de escape

Si la velocidad de lanzamiento de un cohete no es muy grande, la fuerza de atracción del propio planeta lo hace caer de nuevo sobre su superficie. Si la velocidad de lanzamiento es suficientemente grande se escapa del campo gravitatorio del planeta. Veamos cual es la velocidad límite por encima de la cual el cohete podrá escapar, es decir la velocidad mínima de lanzamiento o velocidad de escape.

Considerando las fórmulas del movimiento uniformemente acelerado,

$$e = \frac{1}{2} at^2 + v_0 t$$

$$v = at + v_0$$

si sustituimos la aceleración por g y se considera la velocidad inicial v_0 nula, tenemos que sobre la superficie del planeta se verifica $R = \frac{1}{2} gt^2$ y, como además, $v = gt$. Eliminando el tiempo entre ellas,

$$v = \sqrt{2gR}$$

Donde se sustituyen los valores de g y R por los que figuran en la tabla 8 para calcular la velocidad de escape del planeta considerado.

Planeta	R Radio ecuatorial. (km)	g Gravedad superficial reducida
Mercurio	2439	0,378
Venus	6052	0,894
Tierra	6378	1,000
Marte	3397	0,379
Júpiter	71492	2,540
Saturno	60268	1,070
Urano	25559	0,800
Neptuno	25269	1,200

Tabla 8: Radios y gravedades superficiales de los cuerpos del Sistema Solar

A modo de ejemplo calculemos las velocidades de escape de algunos planetas. Por ejemplo:

para la Tierra, $v_{tierra} = \sqrt{2gR} = (2 \cdot 9.81 \cdot 6378)^{1/2} = 11.2$ km/s.

para el menor planeta, Mercurio, $v_{mercurio} = (2 \cdot 9.81 \cdot 0.378 \cdot 2439)^{1/2} = 4,2$ km/s.

y para el mayor planeta, Júpiter, $v_{jupiter} = (2 \cdot 9.81 \cdot 2.540 \cdot 71492)^{1/2} = 60,9$ km/s.

Resulta evidente que en Mercurio es más fácil lanzar un cohete, que desde la Tierra, pero donde es más difícil es en Júpiter donde la velocidad de escape es de unos 60 km/s.

(Para poder comparar los resultados añadiremos que los valores aceptados para cada cuerpo el Sistema Solar son los siguientes, Mercurio 4,3 km/s, Venus 10,3 km/s, Tierra 11,2 km/s, Marte 5,0 km/s, Júpiter 59,5 km/s, Saturno 35,6 km/s, Urano 21,2 km/s y Neptuno 23,6 km/s, como se ve nuestros sencillos cálculos dan unos resultados aceptables.)

Modelo de cohete con una pastilla efervescente

A modo de ejemplo de cohete para poder lanzar en el aula sin ningún peligro proponemos el que sigue que usa como propulsor los gases de una aspirina o pastilla efervescente. Basta recortar el modelo por las líneas continuas y pegar en las líneas de puntos de acuerdo con la fotografía.

Usamos una capsula de plástico de las que sirven para guardar los rollos de películas (es necesario comprobar que la longitud de la circunferencia del cilindro central del cohete puede contener la capsula de plástico sin problemas). También pegamos los tres triángulos como soportes del cuerpo del cohete y añadimos finalmente el cono en la parte superior del cilindro (figuras 16a, 16b, 16c, 16d, 17, 18, 19a, 19b y 19c).



Fig. 16a, 16b, 16c y 16d: El proceso en cuatro instantáneas.

Cuando se haya terminado el cuerpo del cohete hay que realizar el lanzamiento. Para ello pondremos agua dentro de la cápsula de películas. $\frac{1}{3}$ de su altura es suficiente (aproximadamente 1 cm). Añadimos $\frac{1}{4}$ de la aspirina efervescente (u otra pastilla efervescente). Ponemos la tapa y el cohete encima. Después de aproximadamente 1 minuto el cohete despegue. Evidentemente podemos repetir tantas veces como se desee el proceso (todavía restan $\frac{3}{4}$ de aspirina, así que a disfrutar lanzando cohetes...).

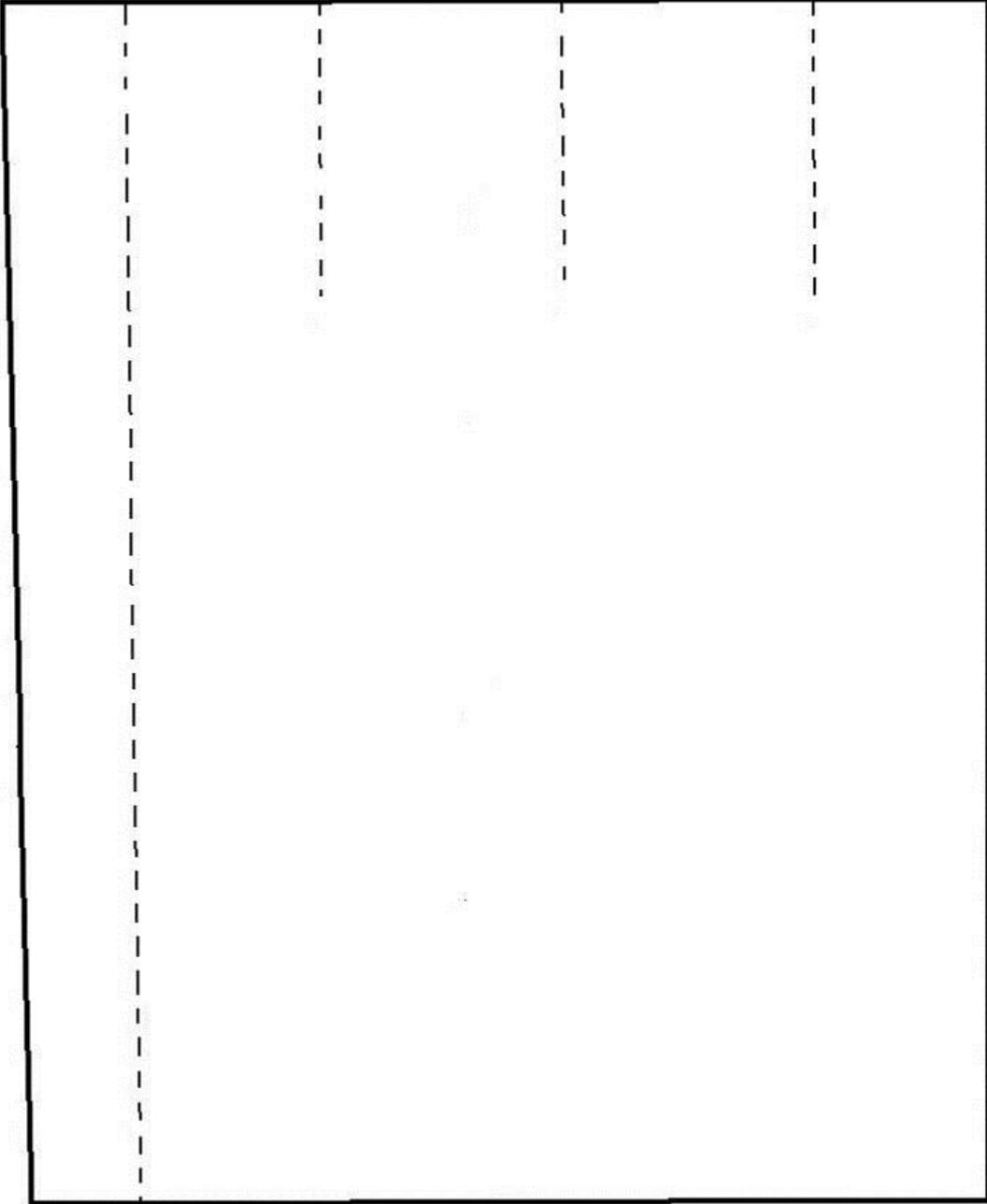


Fig. 19a: Cuerpo del cohete. Hay que pegar las aletas en la zona punteada.

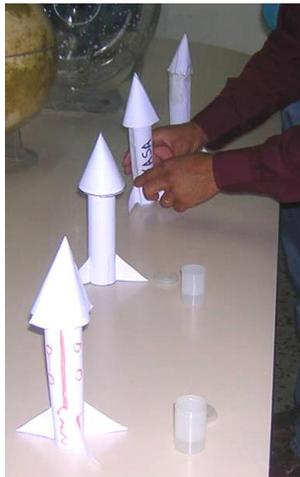


Fig. 17: Varios cohetes.

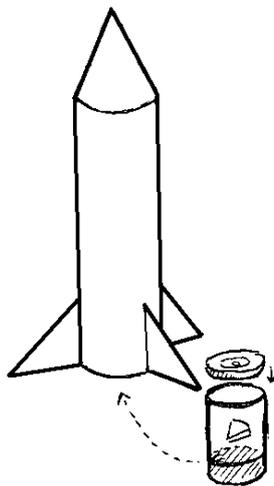


Fig. 18: Esquema simplificado

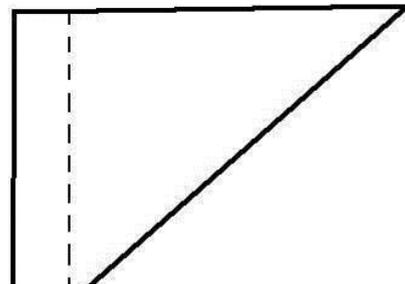


Fig. 19b: Modelo para las tres aletas

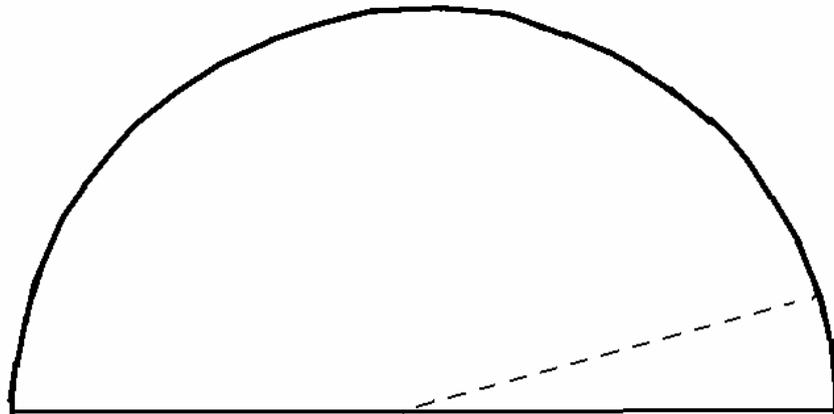


Fig.19c: Parte conoidal en la zona superior del cohete

Modelos de sistemas exoplanetarios

El Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>) mantiene un catalogo de objetos de tamaño planetario descubiertos fuera de nuestro Sistema Solar. En el momento de la edición de este documento, hay más de 1800 planetas confirmados y varios miles de candidatos. Ellos son los llamados exoplanetas y, con pocas excepciones, todos son grandes, más masivos que Júpiter, que es el mayor planeta de nuestro Sistema Solar. Esta es la razón por la que a menudo se comparan las masas de los planetas extra-solares con la masa de Júpiter ($1,9 \cdot 10^{27}$ kg). Sólo unos pocos de ellos son similares de masa y tamaño a la Tierra, pero la razón de este sesgo hay que buscarla en nuestras propias limitaciones tecnológicas.

En este trabajo se tendrá en cuenta los sistemas planetarios con múltiples planetas, concretamente se consideraran algunos sistemas con más de tres planetas conocidos.

La nomenclatura de los exoplanetas es simple. Una letra minúscula se coloca después del nombre de la estrella a partir de la letra "b" para el primer planeta hallado en el sistema (por

ejemplo: 51 Pegasi b). El siguiente planeta detectado en el sistema es etiquetado con la siguiente letra del alfabeto c, d, e, f, etc (por ejemplo: 51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e ó 51 Pegasi f).

Nombre del Planeta	Distancia media, ua	Periodo orbital, días	Masa mínima*, Masas de Júpiter	Descubierto, año	Diámetro **, km
Ups And b	0,059	4,617	0,69	1996	Júpiter 124 000
Ups And c	0,83	241,52	1,98	1999	Júpiter 176 000
Ups And d	2,51	1274,6	3,95	1999	Júpiter 221 000
<i>Gl 581 e</i>	<i>0,03</i>	<i>3,149</i>	<i>0,006</i>	<i>2009</i>	<i>Terrestre 16000</i>
<i>Gl 581 b</i>	<i>0,04</i>	<i>5,368</i>	<i>0,049</i>	<i>2005</i>	<i>Terrestre 32 000</i>
<i>Gl 581 c</i>	<i>0,07</i>	<i>12,929</i>	<i>0,016</i>	<i>2007</i>	<i>Terrestre 22 000</i>
<i>Gl 581g(no confirmado)</i>	<i>0,14</i>	<i>36,562</i>	<i>0,009</i>	<i>2005</i>	<i>Terrestre 18 000</i>
<i>Gl 581 d</i>	<i>0,22</i>	<i>68,8</i>	<i>0,024</i>	<i>2010</i>	<i>Terrestre 25000</i>
<i>Gl 581f(no confirmado)</i>	<i>0,76</i>	<i>433</i>	<i>0,021</i>	<i>2010</i>	<i>Terrestre 24000</i>

Tabla 9: Par de sistemas extra-solares con múltiples planetas Datos tomados del Extra-solar Planets Catalog² (excepto la última columna). * Método de velocidades radiales solo da la masa mínima del planeta. ** El diámetro que aparece en la última columna de esta tabla, ha sido calculado suponiendo que la densidad del planeta es igual a la densidad de Júpiter (1330 kg /m³) para el caso de planetas gaseosos y que la densidad es igual a la de la Tierra (5520 kg/ m³) para un planeta rocoso.

Algunos exoplanetas que están muy cerca de la estrella central (Gliese 876 con una órbita más cercana a la estrella que Mercurio esta del Sol). Otros tienen planetas más lejanos (HD 8799 tiene un sistema planetario con tres planetas más o menos tan lejos como Neptuno esta del Sol). Una de las posibilidades para visualizar estos datos consiste en construir modelos a escala del sistema planetario elegido. Esto nos permitirá comparar fácilmente unos con otros y con nuestro Sistema Solar.

Nombre del Planeta	Distancia Media, au	Periodo Orbital, años	Masa, Masas de Júpiter	Diámetro, km
Mercurio	0,3871	0,2409	0,0002	4879
Venus	0,7233	0,6152	0,0026	12 104
la Tierra	1,0000	1,0000	0,0032	12 756
Marte	1,5237	1,8809	0,0003	6794
Júpiter	5,2026	11,8631	1	142 984
Saturno	9,5549	29,4714	0,2994	120 536
Urano	19,2185	84,04	0,0456	51 118
Neptuno	30,1104	164,80	0,0541	49 528

Tabla 10: Planetas del Sistema Solar

Actualmente sabemos que hay exoplanetas en diferentes tipos de estrellas. En 1992 los radioastrónomos anunciaron el descubrimiento de planetas alrededor del púlsar PSR 1257 +12. En 1995 se anunció la primera detección de exoplanetas alrededor de una estrella de tipo G, 51 Pegasi y después han sido detectados exoplanetas en órbita en torno a: una estrella enana roja (Gliese 876 en 1998), una estrella gigante (Edasich en 2001), una enana marrón estrella (2M1207 en 2004), una estrella de tipo K (HD40307 en 2008) y una estrella de clase A (Fomalhaut en 2008), entre otras.

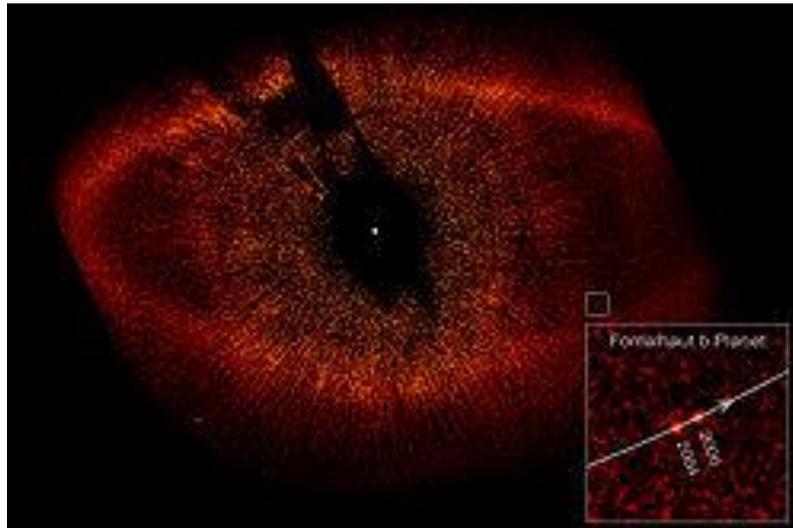


Fig. 21: Planeta Fomalhaut b dentro de la nube de polvo interplanetario de Fomalhaut en una imagen del Hubble Space Telescope (Foto: NASA).

Determinación del diámetro de exoplanetas

En primer lugar, vamos a calcular el diámetro de un par de exoplanetas incluidos en la tabla 9. Es sencillo conocida la densidad del planeta (suponiendo que es igual a la densidad de Júpiter para los exoplanetas gaseosos o a la densidad de la Tierra para los exoplanetas terrestres). Por definición densidad de verifica $\rho = m / V$

La masa m del exoplaneta aparece en la tabla 9, y el volumen V se puede obtener considerando el planeta como una esfera $V = 4 \pi R^3 / 3$. Si sustituimos esta fórmula en la anterior, se puede obtener el radio del exoplaneta,

$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}}$$

Proponemos al lector calcular el diámetro de Gliese 581d (exoplaneta terrestre) suponiendo $\rho = 5520 \text{ kg/m}^3$ (la densidad de la Tierra). El resultado esperado aparece en la tabla 9. Se pueden repetir los cálculos para un exoplaneta no terrestre. Por ejemplo, para el primer sistema planetario múltiple que se descubrió alrededor de una estrella de la secuencia principal, Upsilon Andromedae. Consta de tres planetas, todos ellos son similares a Júpiter: planetas Upsilon b, c y d. Calcular sus diámetros asumiendo $\rho = 1330 \text{ kg/m}^3$ (la densidad de Júpiter) y comparar los resultados con los de la tabla 9.

Usando estos resultados y la distancia media que aparece en la tabla 9, se puede producir un modelo en la siguiente sección.

Determinación de la masa de la estrella central

Haciendo uso de los valores de la tabla 9 y la tercera de las leyes de Kepler, se puede estimar la masa de la estrella central M . Es bien sabido que $a^3 / P^2 = \text{const}$ y podemos demostrar que esta constante es la masa de la estrella central, expresada en masas solares. Asumiendo que el movimiento de los exoplanetas alrededor de la estrella en una órbita circular de radio a , se puede escribir:

$$m \cdot \frac{v^2}{a} = \frac{G \cdot M \cdot m}{a^2}$$

Para este movimiento circular, la velocidad v verifica, $v^2 = G M / a$. El periodo P , para un movimiento circular, es $P = 2 \pi a/v$, donde al introducir el valor de la velocidad v anterior, se deduce:

$$P^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{G \cdot M}$$

Y, para cada exoplaneta, usando la tercera ley de Kepler se despeja,

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2}$$

Escribiendo la relación anterior para la Tierra que gira en torno al Sol, usando $P=1$ año y $a=1$ ua, deducimos la siguiente relación

$$1 = \frac{G \cdot M_s}{4 \cdot \pi^2}$$

Si dividimos las dos últimas igualdades, y usando la masa del Sol como unidad, obtenemos

$$\frac{a^3}{P^2} = M$$

donde sabemos que a es el radio de la órbita (en ua), P el período de revolución (en años) y podemos determinar la masa de la estrella central dada en masas solares).

Usando los valores de la tabla 9 para el radio de la órbita a y el periodo P para cualquiera de los exoplanetas se puede calcular la masa de la estrella madre (en masas solares). Se utiliza fórmula anterior pero cambiaremos las unidades a utilizar en sus miembros. En primer lugar, tenemos en cuenta que 1 ua es equivalente a 150 millones de km y además expresaremos el período en días,

$$M = 0,0395 \cdot 10^{-18} \frac{a^3}{P^2}$$

donde a es el radio de la órbita del exoplaneta (en km), P es el período de revolución del exoplaneta (en días) y M es la masa de la estrella central (en masas solares).

Por ejemplo, calcular la masa de la estrella de Ups And y Gl 581 en masas solares (el resultado debe ser 1,03 y 0,03 masas solares).

Modelo a escala de un sistema exoplanetario

En primer lugar, vamos a elegir la escala del modelo. Para las distancias, la escala apropiada es: 1 ua = 1 m. En este caso todos los exoplanetas se pueden poner en una clase de tamaño normal, así como los cinco primeros planetas de nuestro Sistema Solar. Si la actividad se realiza al aire libre (por ejemplo, en el patio de la escuela) puede construirse un modelo completo. En lo que respecta al tamaño del planeta, debe ser utilizada una escala diferente, por ejemplo: 10 000 km = 0.5 cm. En este caso, el planeta más grande de nuestro sistema, Júpiter, tendrá 7 cm de diámetro y el más pequeño, Mercurio, tendrá 0,2 cm de diámetro.

Ahora podemos construir el Sistema Solar, el sistema de Upsilon Andromedae, (el primer sistema extrasolar descubierto con más de un planeta) y el sistema Gliese 581 (donde parece

que existe un planeta con condiciones de habitabilidad) usando los valores de distancia media incluidos en las tablas 9 y 10 y los diámetros calculados antes.

Las configuraciones de los sistemas planetarios son muy diferentes. Algunos exoplanetas giran alrededor de sus estrellas mucho más cerca que cualquier otro planeta en nuestro propio Sistema Solar orbita en torno al Sol. Muchos planetas están más cerca de su estrella que Mercurio lo está del Sol. Esto significa que son muy calientes. Otra diferencia es que muchos grandes planetas están cerca de sus estrellas. La parte interna del Sistema Solar está ocupada por los pequeños planetas rocosos y el primero de los planetas gaseosos y gigantes, Júpiter, dista 5,2 ua del Sol. Sabemos que estas diferencias son debidas a un efecto de selección consecuencia del tipo de observación y los métodos empleados en la actualidad para la detección de exoplanetas. El método de la velocidad radial, por ejemplo, es más sensible cuando los planetas están en órbitas más pequeñas y son más masivos. Parece plausible considerar que en la mayoría de los sistemas de exoplanetas, hay uno o dos planetas gigantes con órbitas de dimensiones comparables a las de Júpiter y Saturno en nuestro Sistema Solar.

Consideremos ahora la habitabilidad de los exoplanetas. La zona habitable de una estrella es la región alrededor de la misma en donde un planeta alcanza una presión atmosférica suficiente como para mantener agua en estado líquido en su superficie. Esta es una definición conservadora y restringida a la vida como la conocemos en la Tierra. En la actualidad se está extendiendo este concepto a otro tipo de compuestos orgánicos como amoníaco y metano. Cálculos aproximados indican que en la zona habitable del Sistema Solar, donde el agua líquida puede existir (el rango de temperatura de 0° a 100° C) se extiende desde 0,56 a 1,04 ua. El borde interno de esta zona está entre las órbitas de Mercurio y Venus y el borde exterior es justo fuera de la órbita de la Tierra. Sólo dos planetas del Sistema Solar, Venus y la Tierra son habitables en el interior (zona azul de la figura 21). Como sabemos sólo la Tierra está habitada, Venus es demasiado caliente (pero sólo a causa de un fuerte efecto invernadero en el planeta). En la actualidad, Gliese 581d es un ejemplo de exoplaneta rocoso que orbita dentro de la zona habitable de su estrella y aparece como un potencial candidato para contener vida extraterrestre. Gliese 581c también estaría dentro de la zona habitable de la estrella anfitriona. Su órbita es muy rápida (13 días) y está situado 14 veces más cerca de su estrella que la Tierra respecto al Sol. Pese a ello, el menor tamaño de la estrella hace que esta distancia sea la propicia para que el planeta pudiera albergar agua líquida y ofrecer la posibilidad de vida. Su radio es 1,5 veces el de la Tierra e indica que es un cuerpo rocoso. Su temperatura oscila entre 0°C y 40°C, lo que hace que sea posible la existencia de agua líquida abundante. El problema es que presenta siempre la misma cara a la estrella. Estos datos sugieren, según los modelos, que el planeta podría ser rocoso como la Tierra o bien estar cubierto por océanos. Pero algunos estudios indican que este planeta probablemente sufre de un importante efecto invernadero similar al de Venus.

Gliese 581 g es el primer exoplaneta que se ha encontrado dentro de la zona habitable, con la gravedad suficiente para mantener una atmósfera (3 a 4 veces la masa de la Tierra) y la temperatura adecuada para albergar agua líquida (-31°C a -12°C).

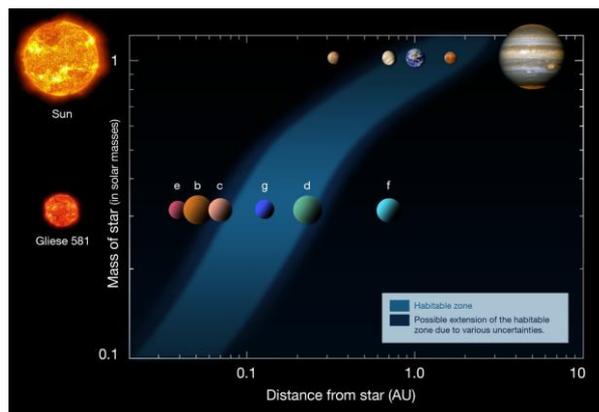


Fig. 21: Zona de habilidad planetaria. Comparación entre el Sistema Solar y el sistema de exoplanetas de Gliese 581. La banda azul indica la zona donde la vida como la conocemos podría existir en sistemas extraterrestres.

Gliese 581e es uno de los exoplanetas más pequeños descubiertos hasta la fecha. Tiene una masa aproximada de 1.7 masas terrestres, por lo que es hasta el momento el planeta más pequeño descubierto y el más cercano en tamaño al planeta Tierra, aunque tiene una órbita muy cercana a su estrella madre en 0.03ua lo que hace difícil que posea una atmósfera y hace que esté por fuera de la zona habitable, pues la cercanía a su estrella madre hace que tenga temperaturas superiores a los 100°C en las cuales es imposible la vida y la presencia de agua líquida.

Todavía hay muchas preguntas sin respuesta acerca de las propiedades de los exoplanetas y hay mucho que estudiar acerca de sus propiedades y características.

Bibliografía

- Berthomieu, F., Ros, R.M., Viñuales, E., “*Satellites of Jupiter observed by Galileo and Roemer in the 17th century*”, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona, 2006.
- Gaitsch, R., “*Searching for Extrasolar Planets*”, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.
- Ros, R.M., “*A simple rocket model*”, Proceedings of 8th EAAE International Summer School, 249, 250, Barcelona, 2004.
- Ros, R.M., “*Estudio de la Superficie Lunar*”, Universo, 39, 62, 67, Barcelona, 1998.
- Ros, R.M., “*Measuring the Moon’s Mountains*”, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, 137, 156, Barcelona, 2003.
- Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., “*Sistema Solar Actividades para el Aula*”, Antares, Barcelona, 2005.
- Ros, R.M., Viñuales, E., “*Determination of Jupiter’s Mass*”, Proceedings of 1st EAAE International Summer School, 223, 233, Barcelona, 1997.
- Ros, R.M., Viñuales, E., Saurina, C., “*Astronomía: Fotografía y Telescopio*”, Mira Editores, Zaragoza, 1993.
- Vilks I., “*Models of extra-solar planetary systems*”, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Barcelona 2006.

Preparación de observaciones

Francis Berthomieu, Ricardo Moreno, Beatriz García, Rosa M. Ros
International Astronomical Union, CLEA (Niza, Francia), Colegio Retamar (Madrid, España), Universidad Tecnológica Nacional (Mendoza, Argentina), Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España)

Resumen

Una salida para observar el cielo es siempre una ocasión de aprender y de pasarlo bien, sobre todo si se hace con un grupo de amigos aficionados. Hay que preparar esta salida con tiempo, especialmente si se va a llevar instrumental. Sin embargo, no hay que despreciar las salidas más sencillas para ver a simple vista el cielo, con unos binoculares o prismáticos.

Objetivos

- Explicar cómo elegir una fecha y lugar adecuado para realizar observaciones astronómicas, qué material hay que llevar y cómo planificar la salida.
- Aprender a utilizar el programa Stellarium.

Elección del lugar y la fecha

La iluminación ambiental influye mucho en nuestra percepción del cielo estrellado. En las ciudades sólo se pueden observar el Sol, la Luna, los planetas que son visibles a simple vista, y unas pocas estrellas y satélites artificiales. Sin embargo, para un primer contacto con la Astronomía puede concretarse la observación en un ambiente no demasiado oscuro, con la ventaja de poder hacerlo en la escuela o en casa, sin desplazamientos.

Si se quieren observar más estrellas y nebulosas, es necesario irse a un sitio alejado de carreteras y pueblos, ya que, debido a la iluminación pública, envían al cielo un “globo” de luz que impide la correcta visión del cielo estrellado. Este fenómeno se conoce como “contaminación lumínica”. También hay que evitar la cercanía de farolas o luces aisladas. No debe haber cerca árboles grandes, ni carreteras por donde circulen coches que nos deslumbren con sus faros.

En cuanto a la fecha, es preferible que haga buen tiempo, con buena temperatura y pocas posibilidades de nubes (se recomienda consultar el pronóstico del clima en internet). La fase de la Luna es muy importante. Los peores días son cuando la Luna está llena, pues producirá mucha luz ambiental y veremos sólo las estrellas más brillantes. Cuando está en fase decreciente, saldrá tarde, no la veremos a menos que nos quedemos observando hasta la madrugada, pero la oscuridad del cielo estará asegurada. Quizá los días más interesantes son cuando está algo menos de cuarto creciente, ya que las primeras horas de la noche podemos dedicarlas a ver los cráteres de nuestro satélite, y en cuanto se ponga debajo del horizonte, a

Comida. Hay que tener en cuenta que el tiempo total de la actividad será de varias horas, contando viaje, preparación del material, observación, recogida y viaje de regreso. La actividad será más agradable si compartimos algo de comer y de beber (frío o caliente en función del clima).

Puntero láser verde, es útil para señalar constelaciones, estrellas, etc. Hay que ser muy cuidadoso con este tipo de punteros. Nunca debe apuntarse a los ojos de los participantes de la observación ni a los de nadie, pues puede dañarlos. Esta herramienta sólo debe ser manipulada por adultos.

Ropa de abrigo. Aunque sea en verano, al anochecer siempre baja la temperatura, con frecuencia se levanta viento, y hay que tener en cuenta que vamos a estar parados unas cuantas horas seguidas. No debe tomarse como referencia la temperatura durante el día.

Prismáticos, telescopios, cámara de fotos (ver más abajo), según la observación que vayamos a hacer.

Alternativa por si hay nubes. Un cielo nublado nos puede trastocar todo el plan. Sin embargo podemos tener previsto algún plan alternativo: contar historias sobre los personajes de las constelaciones o hablar sobre algún tema de astronomía. Si disponemos de Internet, podemos disfrutar del popular Google-Earth, pero aplicado a la esfera celeste (Google Sky) o Marte o la Luna, o de cualquier otro programa de simulación del cielo. Si disponemos de una casa cercana, podemos ver algún video sobre algún tema astronómico.

Observación a simple vista

Es fundamental conocer el cielo a simple vista. Eso significa conocer los nombres de las principales constelaciones y de las estrellas más brillantes, para lo que sólo se necesita un plano del cielo, y de ser posible, un puntero láser verde. También son muy útiles aplicaciones para el iPhone o Android que te muestra en la pantalla las constelaciones y planetas al apuntarlo hacia cualquier parte del cielo, usando el GPS del teléfono. Como no le afectan las nubes, puede servir de alternativa si el cielo se cubre.

Las estrellas que se pueden ver dependen del lugar donde estemos: cerca del Polo Norte sólo veríamos el 50% de las estrellas de todo el cielo, las que están en el hemisferio norte celeste. En las proximidades del ecuador podremos ver todas, sólo dependerá de la época del año. Cerca del Polo Sur volvemos a ver sólo la mitad, en este caso las que hay en el hemisferio sur celeste.

Las constelaciones y estrellas que habría que conocer son:

HEMISFERIO NORTE

Constelaciones: Osa Menor, Osa Mayor, Casiopea se ven siempre. En verano se ven también Cygnus, Lyra, Hércules, Bootes, Corona Boreal, Leo, Sagitario y Escorpio. Las que se ven en invierno son: Orión, Can Maior, Taurus, Auriga, Andrómeda, Pegasus, Gemini, Pléyades...

Estrellas: Polar, Sirio, Aldebarán, Betelgeuse, Rigel, Arturo, Antares, etc.

HEMISFERIO SUR

Constelaciones: Cruz del Sur, Sagitario, Escorpio, Leo, Carina, Puppis y Vela (estas tres constelaciones formaban la antigua constelación de Argos, el navío de los Argonautas). También es posible ver Orión y el Can Mayor desde este hemisferio.

Estrellas: Antares, Aldebarán, Sirio, Betelgeuse. En el hemisferio sur no existe una estrella que marque la ubicación del Polo Sur celeste.

Las constelaciones que se encuentran en la región denominada “del zodiaco”, se ven desde el hemisferio norte y desde el sur, aunque cambia su orientación en la esfera celeste.

Es interesante ir siguiendo el cambio de las fases de la Luna día a día, y el cambio de su posición respecto de las estrellas. Esto último se puede hacer también con los planetas, notando su lento movimiento respecto de otros planetas cercanos o respecto de las estrellas. Esto es especialmente notable en los que se mueven más deprisa como Venus o Mercurio, cuando se ven al atardecer. Estos planetas también pueden ser visibles al amanecer y entonces uno puede seguir reconociéndolos en el cielo más allá de la noche de observación.

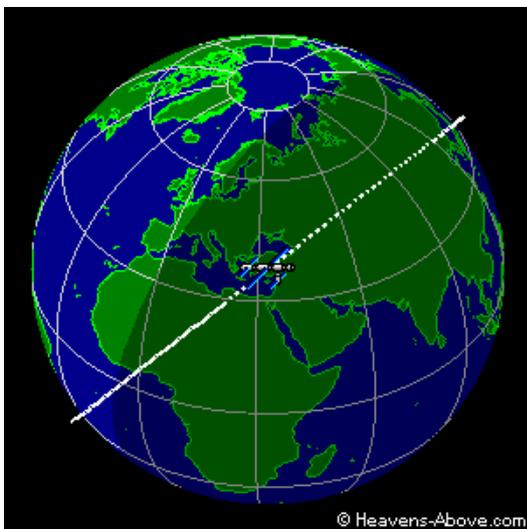


Fig. 3: Paso de la ISS



Fig. 4: Ampliación y diámetro del objetivo

Durante un par de horas después del atardecer, se pueden observar estrellas fugaces (meteoros) en cualquier fecha, con una frecuencia aproximada de entre 5 y 10 por hora. En determinados momentos del año hay “lluvia de estrellas”, en el que se ven muchas más. Por ejemplo alrededor del 3 de enero están las Cuadrántidas, con unas 120 por hora, sobre el 12 de agosto las Perseidas, con 100/h, el 18 de noviembre es el máximo de las Leónidas, con unas 20/h, y entre el 12 y el 14 de diciembre se ven las Gemínidas, con 120/h. Las Perseidas no son visibles desde el hemisferio sur.

Hay muchos satélites que orbitan la Tierra y que al ser iluminados por el Sol se pueden ver desde la Tierra, cruzando lentamente el cielo. Como la altitud no suele ser mucha, sólo se ven si no hace mucho que se ha ocultado el Sol. Por ejemplo, la ISS es bastante brillante y tarda unos 2-3 minutos en recorrer la parte visible del cielo. De estos satélites y de otros muchos se puede predecir el paso sobre un determinado lugar geográfico con una semana de antelación (ver www.heavens-above.com).

Observación con prismáticos

Un instrumento astronómico muy útil y al alcance de cualquiera son los prismáticos. Aunque su capacidad de aumento suele ser pequeña, recogen mucha más luz que nuestra pupila, por lo que sirven para ver objetos que a simple vista son muy poco luminosos, como cúmulos de estrellas, nebulosas y estrellas dobles. Además tienen la ventaja de que aumentan las diferencias de colores de las estrellas, especialmente si se desenfocan ligeramente.

Suelen llevar inscripciones como 8x30 ó 10x50. La primera cifra da la ampliación (o aumento) y la segunda la apertura de la lente delantera, el objetivo, en mm. Uno muy recomendado para esta actividad es el 7x50. Con mayores aumentos la imagen se mueve mucho, ya que es difícil mantener el pulso, y mayores aperturas aumentan bastante el precio.

Objetos interesantes para ver con prismáticos son la galaxia de Andrómeda (M31), el cúmulo de Hércules (M13), el cúmulo doble de Perseo, el Pesebre (M44), la nebulosa de Orión (M42), toda la zona de Sagitario (nebulosa de la Laguna M8, Trífida M20, Omega M17, varios cúmulos globulares M22, M55, etc.) y en general la Vía Láctea, que se ve con muchas más estrellas que a simple vista. En el hemisferio sur, Omega Centauro y 47 Tucán resultan cúmulos globulares espectaculares.

Observación con telescopio

La mayoría de la gente sabe que la misión de un telescopio es ampliar los objetos lejanos, pero son menos los que saben que tiene además otra misión tan importante como esa: captar más luz que el ojo humano. Así se consiguen ver objetos débiles, que seguirían siéndolo aunque aumentáramos mucho la visión.

Un telescopio tiene dos partes esenciales: el objetivo y el ocular. El primero es una lente de gran diámetro y poca curvatura (telescopios refractores) o un espejo parabólico (telescopios reflectores). El segundo es una lente pequeña y de gran curvatura, junto a la cual, como su propio nombre indica, ponemos el ojo para mirar. Suele ser extraíble, y es el que nos dará más o menos aumentos.

Cuanto mayor sea el objetivo, más luz consigue concentrar, y podremos ver objetos más débiles. Lentes grandes de calidad son más caras que espejos de esos mismos diámetros, por lo que son más frecuentes los telescopios reflectores. El tipo más frecuente es el newtoniano, que consta de un espejo cóncavo en el fondo del tubo, que devuelve los rayos a la boca de éste, donde hay un pequeño espejo secundario formando 45° , que desvía los rayos al exterior del tubo, donde está el ocular. El espejo secundario bloquea algo de la luz que entra, pero no es significativo. Otro diseño es el tipo Cassegrain, en el que el secundario envía la luz hacia un orificio central del espejo primario. Así suelen ser los profesionales. Por último están los catadiópticos, que suelen ser como estos últimos pero añadiéndoles una lente delgada en la entrada del tubo, con lo que reducen mucho la longitud del tubo y lo hacen más ligero y transportable.

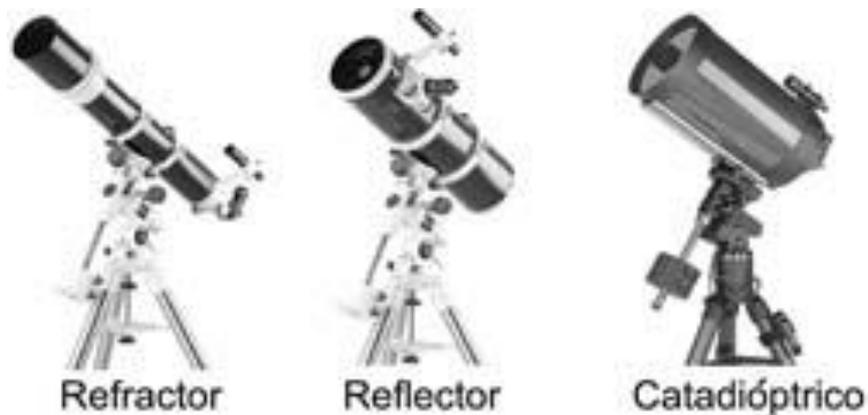


Fig.5: Diferentes tipos de ópticas.

La capacidad de ampliación (aumento) de un telescopio viene dada por el cociente entre la longitud focal del objetivo y la del ocular. Por ejemplo, si tenemos un telescopio con una longitud focal del objetivo de 1.000 mm y le ponemos un ocular de longitud focal de 10 mm, obtenemos una ampliación de 100 aumentos (ó x100). Si queremos duplicar los aumentos necesitaremos o un objetivo de mayor longitud focal o poner un ocular de menor. Esto tiene un límite en la práctica, ya que oculares con longitudes focales pequeñas son difíciles de fabricar y dan imágenes borrosas.

Los fabricantes a menudo describen los telescopios en términos de **razón focal**, como por ejemplo f/6 ó f/8. La razón focal es la longitud focal de la lente o espejo primario dividido por la apertura y sirve para conocer una de estas dos magnitudes, si se sabe la otra. Si por ejemplo, tenemos un telescopio refractor de f/8 y el objetivo es una lente de 60 mm de diámetro, la longitud focal real del telescopio será la razón focal multiplicada por la apertura, es decir, $8 \times 60 = 480$ mm. A igual apertura del objetivo, cuanto mayor relación focal, menor campo de visión y más aumentos.

Cuanto mayor sea la apertura de un telescopio más luz captará -será más luminoso- y se podrán ver objetos más débiles. También será mayor su **capacidad de resolución**, que es la capacidad de ver detalles: cuando es baja se ve la imagen borrosa, y cuando es alta se ve muy nítida, con muchos detalles. También influye la oscuridad de la noche: en días de Luna llena o con luminosidad en los alrededores no se ven las estrellas débiles.

Otra limitación importante es la **estabilidad atmosférica**. Todos hemos visto cómo la atmósfera caliente de un desierto hace temblar la visión en escenas de películas tomadas con teleobjetivos. Cuando miramos a través de un telescopio, pequeñas perturbaciones del aire hacen que la imagen se mueva. Los astrónomos se refieren a esto con el concepto de *seeing*. La atmósfera es la que hace titilar (parpadear) a las estrellas.

La imagen que se ve con un telescopio está **invertida**, pero esto no importa mucho: en el Cosmos las posiciones arriba y abajo son muy relativas. Hay accesorios que invierten la imagen y la ponen correctamente, pero disminuyen un poco la luminosidad.

La montura es una pieza importante en un telescopio. Las de mala calidad hacen que el tubo del telescopio oscile cada vez que se le toque. El resultado es un baile en la imagen que,

aparte de marear al más entusiasta, impide ver los detalles. Es importante que sean rígidas y estables.

Hay dos tipos de monturas: la azimutal y la ecuatorial. La primera es la más sencilla pero la menos útil. Puede girar a izquierda y derecha sobre su eje vertical, y arriba y abajo alrededor de un eje horizontal. La montura Dobson es un tipo de montura azimutal muy sencilla de transportar y usar. En las monturas ecuatoriales hay dos ejes inclinados y formando 90 grados. Uno, el polar, tiene que estar dirigido hacia el polo norte, si estamos en el hemisferio norte o hacia el polo sur, si estamos en el hemisferio sur. Este eje representa el eje de rotación de la Tierra y por lo tanto debe estar orientado paralelo al mismo y cortara el cielo en el polo celeste correspondiente al hemisferio del observador. Los giros a su alrededor dan las ascensiones rectas. El otro eje, el ecuatorial, nos da las declinaciones. Esta montura es la usada por los astrónomos profesionales y por la mayoría de los aficionados. Pueden llevar un motor en el eje ecuatorial que va compensando la rotación de la Tierra. Si no, especialmente con grandes ampliaciones, la imagen se va del campo de visión en un tiempo sorprendentemente corto.



Fig. 6: Diferentes soportes de telescopios

Si se dispone de una montura ecuatorial, es conveniente “ponerlo en estación”, es decir, orientarlo de tal forma que el eje polar esté alineado con el Polo Norte (o Sur) del cielo. Eso lleva su tiempo, pero es necesario para que el motor de seguimiento ecuatorial sirva para que el objeto que miramos no se mueva al pasar el tiempo, cosa imprescindible en fotografía. Si no disponemos de motor, el ponerlo en estación es menos importante, pero nos servirá para mantener el objeto en el campo de vista moviendo una única rueda.

Por último, hay telescopios computarizados, con una base de datos de posiciones de objetos celestes y dos motores. La puesta en estación suele ser mucho más fácil, así como la búsqueda de objetos, pero el precio sube bastante.

Los movimientos de la bóveda celeste

Básicamente los movimientos que percibimos en la bóveda celeste responden a los movimientos relativos consecuencia de la rotación y la translación de la Tierra. Esta situación

nos hace percibir la bóveda celeste como un conjunto con dos movimientos básicos: diario y anual.

El movimiento diurno es muy importante, es decir muy rápido y casi no nos permite percibir el movimiento anual que es mucho más lento. La Tierra gira una vuelta de 360° en 24 horas, esto es 15° cada hora y se nota mucho aunque no estemos realizando observaciones cuidadosas. El movimiento de translación es de 360° cada 365 días, es decir aproximadamente un grado cada día (algo menos de un grado por día). Si imaginamos que no existiera el movimiento de rotación, podríamos observar en el cielo nocturno que de un día al siguiente estaría la misma estrella a la misma hora en el mismo lugar pero corrido solo un grado (esto es el grueso de un dedo índice con el brazo extendido) respecto del día anterior. Esta observación solo se puede realizar si tomamos como referencia alguna antena o algún poste que nos permita relacionar la observación de un día respecto al día siguiente. Este movimiento, es casi insignificante si no disponemos de una referencia y por lo tanto no se percibe a simple vista, pero lo que si notamos es que el cielo de un día del año, es completamente diferente después de tres meses o medio año. Después de tres meses la translación corresponde a 90° , o sea un $1/4$ que el cielo de vuelta y en medio año es $1/2$ vuelta es decir el otro lado del cielo, diametralmente opuesto. Este movimiento se ha visto enmascarado noche tras noche con el movimiento de rotación, pero aun en ese caso todos sabemos que observando a simple vista después de tres meses las constelaciones del cielo nocturno son muy diferentes.

Actividad 1: Paraguas de la Bóveda Celeste

Un sencillo paraguas nos puede permitir visualizar los movimientos de la bóveda celeste explicados con anterioridad. El paraguas usado de forma habitual sitúa sobre nuestras cabezas una bóveda donde podremos dibujar las constelaciones deseadas. Usaremos un paraguas negro de caballero y en el dibujaremos con pintura blanco (o con un corrector de los que usan los estudiantes)

En este modelo no dibujaremos todas las constelaciones, sino que solamente dibujaremos algunas constelaciones y solo las estrellas más importantes. No buscamos un resultado estético, sino un modelo de trabajo con el que podamos razonar.

Cada paraguas nos servirá para visualizar uno de los dos hemisferios. El punto de intersección entre el bastón y la tela del paraguas será el polo del hemisferio considerado. La zona del borde de la tela del paraguas (donde están los extremos de las varillas protegidas con un trocito de plástico), los tacos de las varillas, corresponderá aproximadamente al ecuador celeste.

Prepararemos pues dos paraguas uno para cada hemisferio.

En el hemisferio norte dibujaremos:

- En el entono del polo norte (cerca del eje del paraguas) la Osa mayor, Casiopea y se entiende que la estrella polar esta precisamente donde el palo del paraguas atraviesa al tela
- En la zona del borde mas externo del paraguas dibujaremos 4 constelaciones, una para

cada estación, la más típica y fácil de reconocer:

- Primavera: Leo
- Verano: Cisne
- Otoño: Pegaso
- Invierno: Orión:

Sin duda se podrían elegir otras, pero deben estar distribuidas de forma más o menos equidistante. Todas situadas a unos 90° de la anterior.

En el hemisferio sur representamos:

- En el entorno del polo sur (cerca del eje del paraguas) la Cruz del Sur y se entiende que el polo sur celeste está situado exactamente el palo del paraguas atraviesa al tela
- En la zona del borde mas externo del paraguas dibujaremos cuatro constelaciones, una para cada estación, la más conocida:
 - Primavera: Acuario
 - Verano: Orión
 - Otoño: Leo
 - Invierno: Escorpión:

La idea es elegir constelaciones grandes y que suelen estar sobre el horizonte. Esta propuesta puede adaptarse a cada caso

Si la ciudad donde estamos situados está en la zona ecuatorial, entre 20° latitud norte y 20° latitud sur es necesario dibujar los dos paraguas. Si estamos situados en el hemisferio norte con latitud comprendida entre 30° y 90° bastara con el paraguas de este hemisferio y sucede lo mismo si estamos en el hemisferio sur.

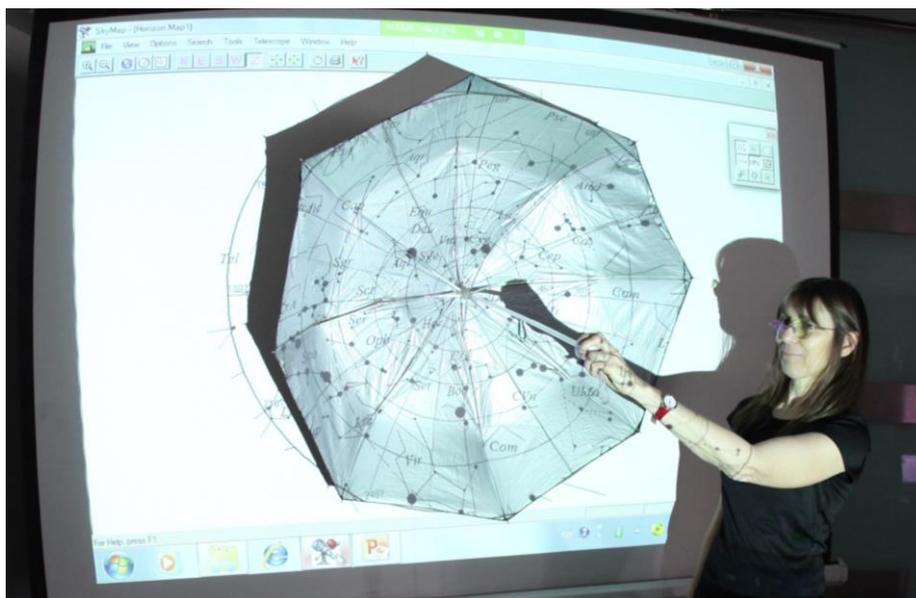


Fig.7: Proyección de las estrellas del hemisferio norte en una pantalla para dibujar las constelaciones deseadas. Se recomienda preparar el modelo sobre un paraguas negro, aunque a la fotografía han utilizado uno de otro color con el fin de explicar el proceso.

Para dibujar los paraguas con el corrector o la pintura blanca es muy práctico usar el Stellarium o un programa similar y proyectarlo con un cañón o proyector de luz sobre la

superficie del paraguas cuidando que el polo este exactamente en el punto de intersección del bastón del paraguas con la tela. Vamos a proyectar el hemisferio correspondiente (figura 7). Una vez terminada cada paraguas lo podemos usar con los estudiantes situándolo por encima de nuestras cabezas (figura 8).



Fig. 8 Usando el paraguas del hemisferio norte con estudiantes

Situaremos el bastón del paraguas inclinado en la dirección del polo del hemisferio correspondiente. Imaginamos el suelo de la habitación a la altura de nuestro cuello, esto sería el horizonte, de forma que una parte de la tela del paraguas quedaría por debajo de este horizonte. Entonces distinguimos dos partes en este horizonte imaginado. La parte que está cerca del polo, donde el cielo que se ve a lo largo del año, es siempre más o menos el mismo (cuando miramos hacia la zona del bastón del paraguas intersección con la tela). La zona del ecuador queda más alta sobre el horizonte, es la parte más interesante ya que las constelaciones cambian a lo largo del año (figura 9).

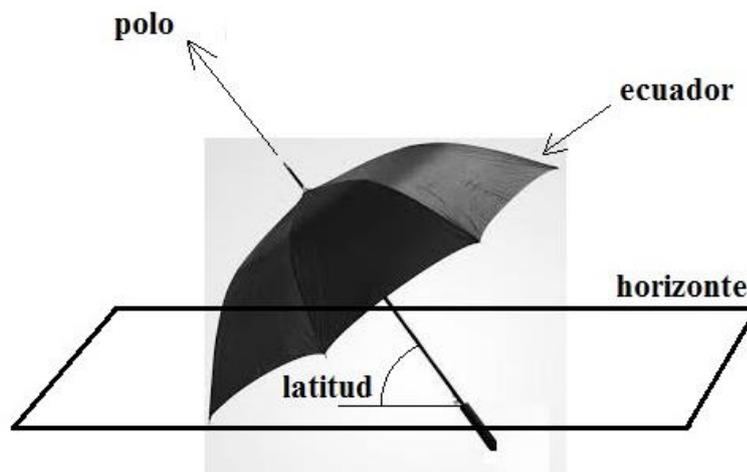


Fig.9: Bastón del paraguas inclinado en la dirección del polo de acuerdo con la latitud. Imaginamos el plano del horizonte que tapa parte del paraguas ..

Hay que insistir que el modelo explica el movimiento de traslación. Imaginamos que no hay rotación por lo tanto equivale a observar cada día mas o menos a la misma hora. También hay que destacar que en este modelo simplificado visualizaremos el movimiento del cielo de 90°

en 90° de forma discreta, o sea cada 3 meses. Como evidentemente el movimiento del cielo es continuo y día a día, cuando se menciona que es visible una determinada constelación durante una estación hay que entender que es aproximadamente la constelación que veremos en el centro del horizonte en los meses centrales de la estación.

MODO DE USO

Vemos como utilizar el paraguas para entender el movimiento de translación.

Hemisferio Norte.

Para fijar ideas supongamos que estamos en un lugar de latitud 40° norte. Situamos el paraguas del hemisferio norte con el bastón hacia el polo norte (inclinado 40° respecto del suelo) por encima de nuestras cabezas.

En el hemisferio Norte la estrella polar está prácticamente situada en el polo norte. Es fácil reconocerla a partir de la constelación de la Osa Mayor o de Casiopea. A partir de la Osa Mayor prolongamos 4 veces la distancia entre las dos estrellas del cuadrilátero que más alejadas de la cola de la constelación y se localiza la polar. Usando Casiopea, la polar se encuentra en la intersección de las dos bisectrices de cada una de las uves de la doble uve que representa Casiopea.

Horizonte Norte

Miramos hacia el área de estrella polar. Si introducimos una ligera rotación observamos las constelaciones de la Osa Mayor y Casiopea giran alrededor del polo norte a lo largo del año (figura 10).



Fig. 10: Posiciones relativas de la Osa Mayor en torno al polo norte a lo largo del año

Comenzamos por situar la Osa Mayor arriba y Casiopea abajo (lo que sucede en primavera), giramos el mango del paraguas 90° hasta tener la Osa Mayor a la izquierda y Casiopea a la derecha (entonces tenemos la situación de verano). Giramos de nuevo 90° en la misma dirección, nos queda la Osa Mayor abajo y Casiopea arriba (es la posición que corresponde al otoño) y finalmente giramos de nuevo 90° dejando la Osa Mayor a la derecha y Casiopea a la izquierda (tal como está en invierno). Si giramos de nuevo se reproduce la situación inicial y comenzamos las 4 estaciones de un nuevo año (figura 10)

Tal como se ha descrito todo el proceso, se entiende que en esa zona del cielo, que se llama el horizonte norte (zona del horizonte que corresponde a la dirección norte), las constelaciones que vemos a lo largo del año son siempre las mismas y no hay más variación

Horizonte Sur

Consideramos ahora la zona del ecuador, la zona de los tacos de las varillas. Las constelaciones en esta zona mirando hacia el horizonte sur varían según la época del año. La constelación central en primavera es Leo, entonces situamos el paraguas con Leo en la parte más alta sobre el horizonte. Giramos entonces el paraguas $\frac{1}{4}$ de vuelta, o sea 90° y tenemos sobre el horizonte sur, la constelación central de verano: el Cisne que constituye junto con Lira y Aquila el triángulo de verano. Con otro $\frac{1}{4}$ de vuelta estamos en otoño y la constelación central será el gran cuadrilátero de Pegaso. Y girando otros 90° estamos en invierno, y domina el cielo del horizonte la constelación de Orión con sus perros de caza.

Hemisferio Sur

Comenzamos por fijar ideas, a modo de ejemplo, una latitud del lugar de 40° sur. Situamos el paraguas del hemisferio sur con el bastón dirigido hacia el polo sur (inclinado unos 40° respecto del suelo) sobre nuestras cabezas.

En el hemisferio sur no existe una estrella polar que permita visualizar la posición del polo sur. La Cruz del Sur es la constelación que se utiliza para señalar la posición del polo sur celeste; para ello debe prolongarse el eje mayor de la cruz en dirección al pie de la cruz 4,5 veces. Esta constelación da una vuelta en torno del polo en 24 hs. Su posición cambia a lo largo del año para la misma hora, como se ve en la figura 11. Suponemos que es siempre la misma hora para obviar el movimiento de rotación y así observar solo el giro debido a la translación.

Horizonte Sur

Miramos hacia la zona del bastón del paraguas intersección con la tela, donde está el polo sur. Vamos girando lentamente el bastón y observamos que la constelación de la Cruz del Sur va girando en torno del polo sur a lo largo del año. Comenzamos por situar la Cruz del Sur arriba (lo que sucede en invierno), rotando el mango del paraguas 90° hasta tener la Cruz del Sur a la derecha del polo (entonces tenemos la posición de primavera). Giramos de nuevo 90° en la misma dirección, nos queda la Cruz del Sur abajo (es la posición que corresponde al verano) y finalmente giramos de nuevo 90° dejando la Cruz del Sur a la izquierda del polo sur (tal como

está en otoño). Si giramos de nuevo se reproduce la situación inicial y comenzamos las cuatro estaciones de un nuevo año (figura 11).

Después del proceso descrito se entiende que en esa zona del cielo, llamado el horizonte norte (porque es el área del horizonte correspondiente al norte), las constelaciones que vemos durante todo el año son siempre los mismos y no hay más variación

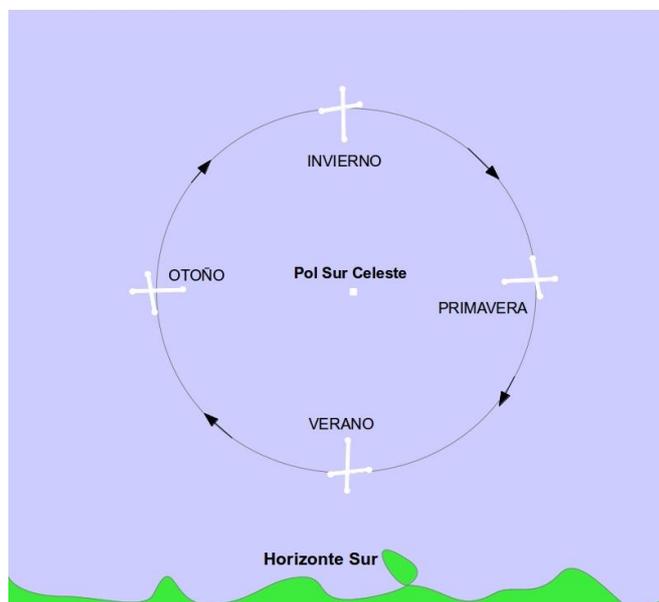


Fig. 11: Posiciones relativas de la Cruz del Sur en torno al polo sur a lo largo del año

Horizonte Norte

Nos fijamos en la tela del paraguas en la zona ecuatorial, es decir, el horizonte del norte. Esta área es donde las constelaciones varían más. Las que son visibles en verano, no lo son en invierno. Zeus rey de los dioses en la mitología griega situó en el cielo el gigante Orión después de su muerte por una picadura de un escorpión. Y también, Zeus puso esta constelación en el cielo, sino que situado diametralmente opuesto, para que no pudiera atacarlo de nuevo.

La constelación central durante la primavera es la constelación de Acuario. Giramos el paraguas de 90° , es decir, después de tres meses, tenemos Orión con sus perros en el horizonte norte, que es la constelación central de verano. Con otro $\frac{1}{4}$ de vuelta estamos en otoño y la constelación central es Leo. Si giramos el paraguas 90° es invierno, y tenemos la hermosa constelación de Escorpio en el horizonte del cielo

Conclusiones para ambos hemisferios

Siguiendo el esquema presentado anteriormente en ambos hemisferios durante dos horizontes podemos entender las observaciones debido al movimiento de traslación.

Si queremos incluir el movimiento de rotación en la actividad, debemos tener en cuenta que además del movimiento anual describe un movimiento diario debido a la rotación de la Tierra

hace. En un día, tanto la Osa Mayor y la Cruz del Sur dan un giro completo a sus respectivos polos.

Para dejar de lado el movimiento de traslación es por eso que hemos simplificado la actividad imaginando que siempre llevamos a cabo la observación, al mismo tiempo, así que es como se elimina la rotación.

Cielos oscuros y contaminación lumínica

Para poder observar las estrellas, debemos tener un cielo oscuro. Sin embargo esto sólo es posible si nos apartamos de las ciudades. Los seres humanos hemos olvidado cómo es el cielo estrellado porque no podemos verlo. Este problema se debe a que la mayor parte de la iluminación pública derrocha enormes cantidades de energía iluminando hacia arriba, donde es innecesaria. La polución lumínica es una de las formas de contaminación ambiental menos conocidas. Afecta la visibilidad del cielo nocturno, impidiéndonos ver las estrellas, pero además altera el equilibrio del ecosistema y afecta la salud humana, pues atenta contra los relojes biológicos que están coordinados con los períodos de luz y de oscuridad en la Tierra. Hablar sobre este tema permite reconocer el problema, alertar sobre las consecuencias y buscar las soluciones.

Existen tres tipos de contaminación lumínica:

- a) El resplandor es un fenómeno que se produce, en general, por la iluminación pública exterior. Se evidencia cuando tenemos la oportunidad de viajar de noche y acercarnos a una ciudad. Vemos que una envoltura de luz la rodea. La luz que produce el resplandor es luz desaprovechada, pues se gasta en iluminar hacia arriba, donde no se necesita y, por lo tanto, no sólo impedimos ver las estrellas, sino que estamos gastando energía innecesaria. Este tipo de contaminación se reduce eligiendo bien focos y bombillas y luminarias.
- b) La intrusión: la luz exterior se proyecta en todas direcciones y en algunas de ellas entra, sin quererlo o pedirlo, a nuestras viviendas. Si la luz se proyecta en las habitaciones, nos veremos obligados a bloquear con cortinas las ventanas durante la noche.
- c) El encandilamiento: este tipo de polución se vincula con las luces de los automóviles e incluso con iluminación exterior en las ciudades y viviendas. Se hace evidente en lugares con desniveles, pues el encandilamiento se produce cuando uno se encuentra de manera inesperada con un foco o reflector. En los últimos tiempos, los semáforos basados en luces LED pueden producir encandilamiento.

Si bien es posible a partir de diversos programas en Internet recopilar una serie de actividades prácticas que permiten trabajar este tema, propondremos sólo una que resulta interactiva y fácil de realizar en cualquier ámbito.

Actividad 2: Contaminación lumínica

Los objetivos de este taller consisten en mostrar el efecto contaminante de la iluminación sin blindaje, reconocer el efecto benéfico, desde el punto de vista astronómico, de la elección de

un farol diseñado para el control de la contaminación lumínica y resaltar la posibilidad de mejorar la visión de las estrellas, sin dejar de iluminar aquellos lugares en donde no podemos tener oscuridad total.

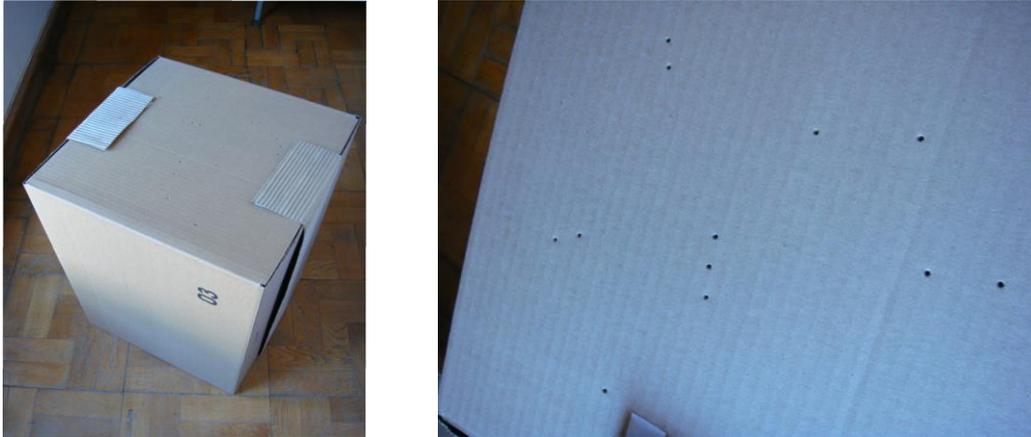


Fig. 12a y 12b: Caja de cartón, diseño de la constelación de Orión en una de las caras

Para llevar a cabo esta experiencia debe acondicionarse una caja de cartón de ciertas dimensiones, que permita que el alumno pueda mirar en su interior. Se dibujará la constelación que se seleccione (en este ejemplo es la de Orión) y se marcarán las estrellas como puntos primero, y luego se realizarán los agujeros teniendo en cuenta el diámetro de cada uno, según la magnitud estelar (figuras 12a y 12b).

La constelación dibujada en la parte exterior de la caja debe ser la imagen especular de la misma, pues esta debe verse tal como aparece en el cielo, cuando se mira en el interior de la caja. La caja debe estar pintada de negro en el interior de manera que si se mira directamente en su interior, la constelación tendrá la apariencia de lo que se muestra en la figura 8. Las “estrellas”, o puntos que las representan, se verán iluminadas por la entrada de la luz exterior dentro de la caja.

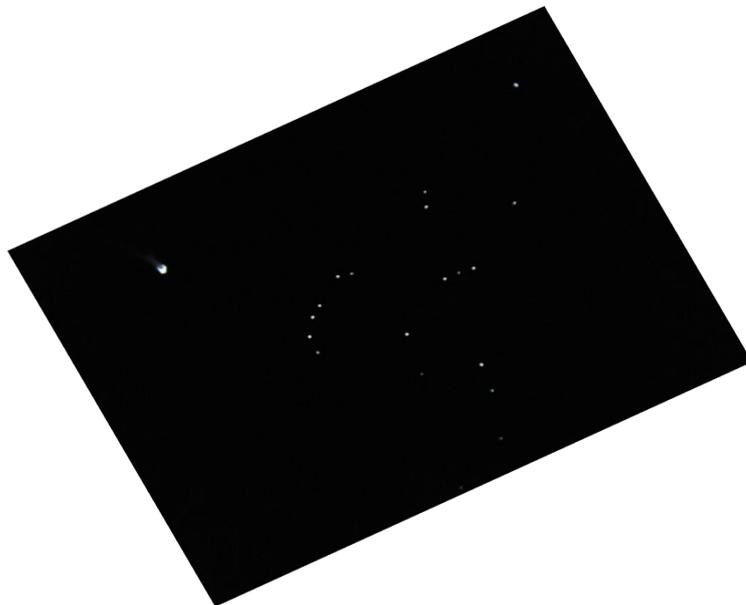


Fig. 13: Visión de Orión desde dentro de la caja. Cada agujero, representa una estrella.

Se preparan dos pelotas de ping pong, realizando un orificio que permita introducir la linterna en su interior, pero de diámetro tal que queden fijadas a la linterna. Una de la pelotitas se deja tal cual es, y la otra se pinta con esmalte sintético de cualquier color en el hemisferio superior, representando de esta manera, lo que se denomina “blindaje” e impide que la luz se proyecte hacia arriba (figuras 14a y 14b).



Fig. 14a: Pelota de ping-pong sin blindaje.



Fig. 14b: Pelota de ping-pong con un hemisferio pintado.

Para realizar la experiencia, se deben seleccionar linternas en las que sea posible remover la parte superior protectora y dejar la bombilla a la vista (figuras 15a y 15b). La pelota de ping pong se inserta en la linterna y simula un farol tipo globo.



Fig. 15a: Quitamos el protector de la linterna



Fig. 15b: Linterna con la pelotita de ping pong simulando el farol



Fig. 16a: Linterna sin blindaje



Fig. 16b: Linterna con blindaje

La experiencia se realiza en dos etapas: Primero fuera de la caja. En esta ocasión, deben apagarse las luces del lugar donde se realiza la experiencia. Se prueban ambos modelos, con la misma linterna para evitar variaciones en el flujo. Sin blindaje (figura 16a) y con blindaje (figura 16b) proyectando la luz que producen sobre una superficie lisa y cercana, por ejemplo la pared o un cartón. En segundo lugar, se ve lo que sucede dentro de la caja. La situación se puede observar en las figuras 17a y 17b, para los casos de linterna sin y con blindaje respectivamente. Se puede utilizar una cámara digital para fotografiar lo que sucede dentro de la caja, si no es posible que los participantes miren en el interior. Las luces externas, en la habitación en donde se realiza la experiencia deben estar encendidas.

Es posible advertir lo que sucede de manera muy clara. En la primera situación, en el caso de la iluminación exterior, se advierte el corte que produce un farol con diseño para el control de la polución lumínica: la emisión hacia el cielo se ve notablemente reducida.

En la segunda situación, al utilizar los dos tipos de linterna en el interior de la caja, estamos simulando la situación de un ambiente nocturno, la luz sin blindaje produce una iluminación extra sobre el cielo, el denominado resplandor, que dificulta la visión de las estrellas. En el caso de la cámara digital, al usar exposición automática, no es posible ni siquiera enfocar de manera adecuada a las estrellas. Por el contrario, con la linterna adaptada para control de contaminación lumínica, es evidente que hacia abajo este artefacto no deja de ser efectivo, mientras que el cielo se ve mucho más oscuro y la cámara logra registrar de manera clara la constelación de Orión.

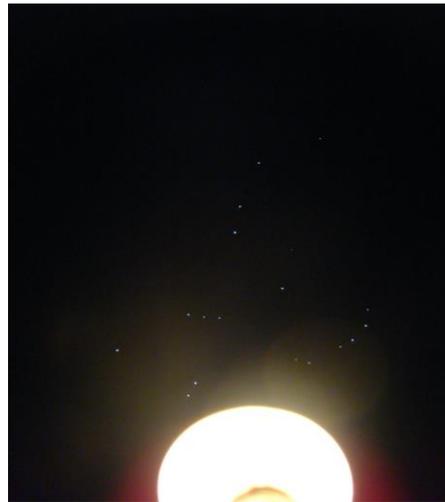
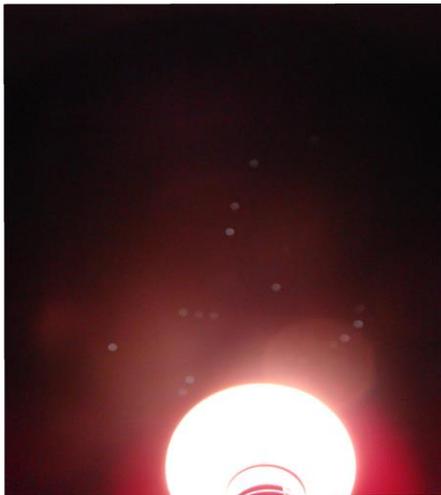


Fig. 17a: Aspecto del cielo con faroles sin blindaje. Fig. 17b: Aspecto del cielo con faroles con blindaje

Bibliografía

- Berthier, D., *Descubrir el cielo*, Ed. Larousse, Barcelona, 2007.
- Bourte, P. y Lacroux, J., *Observar el cielo a simple vista o con prismáticos*, Larousse, Barcelona, 2010.
- García, B., *Ladrones de Estrellas*, Ed. Kaicron, Colección Astronomía, BsAs, 2010.
- Reynolds, M., *Observación astronómica con prismáticos*, Ed. Tutor, Madrid 2006.
- Roth, G.D. *Guía de las estrellas y de los Planetas*, Omega. Barcelona 1989.

ANEXO: Instrucciones para Stellarium 0.10.6.1

Para anclar o no las barras de herramientas (acercar el cursor a la esquina inferior izquierda)		Nombres de constelaciones	
Ubicación. Se puede introducir por ciudades, por coordenadas o haciendo clic en un mapa		Figuras de constelaciones	
Fecha y hora en la que se muestra el cielo		Cuadrícula ecuatorial	
Configuración de la vista del cielo. Tiene a su vez cuatro menús, que se explican a continuación		Cuadrícula acimutal+ horizonte	
Nº de estrellas, planetas... y que se vea o no la atmósfera		Suelo/Horizonte	
Mostrar las líneas de coordenadas en el cielo, de las constelaciones...		Mostrar Puntos cardinales	
Tipo de proyección del cielo. Se recomienda la Estereográfica o la Ortográfica		Atmósfera	
Mostrar el paisaje, el suelo, niebla.		Nebulosas y nombres	
Nombres y figuras de las constelaciones y de estrellas según las culturas. Las más conocidas son las occidentales.		Nombres de los planetas	
Buscar un objeto (p.ej. Saturno, M13, NGC 4123, Altair)		Montura ecuatorial/acimutal	
Configuración del idioma y de la información de los objetos mostrada en pantalla		Centrar sobre el objeto seleccionado	
Ayuda (teclas de atajo, etc.)		Modo nocturno	
Ritmo normal del tiempo		Pantalla completa/ ventana	
Aumentar velocidad del tiempo. Se puede dar varias veces		Ocular (como mirar al objeto seleccionado por un telescopio)	
Disminuir velocidad del tiempo.		Mostrar satélites artificiales en órbita	
Volver a la hora actual		Moverse por la vista	
Líneas de constelaciones		ZOOM +	Repág
		ZOOM -	Avpág
		Definir el planeta seleccionado como desde el que se ve. Para regresar a la Tierra, buscar Tierra y luego CTRLG para seleccionar la Tierra como planeta desde el que se ve.	CTRL G
		Dejar/omitir traza del recorrido de los planetas	May+T
		Capturar pantalla	CTRL S ó PrintScreen
		Salir (terminar con Stellarium)	ó CTRLQ

na
se



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015