TÚ ERES GALILEO

Manual de Astronomía

MUSEO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA / MUCYTEC
www.museodeciencia.cl/

La **Corporación Privada para la Divulgación de la Ciencia y Tecnología "CORPDICYT"** y su **Museo de Ciencia y Tecnología "Mucytec"**, agradecen a la **Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral "ESO"**, el patrocinio y apoyo financiero para la publicación en nuestra página web de este Manual **Tú eres Galileo**, que permitirá a estudiantes de la Educación Básica, Media y público en general, un mejor conocimiento de los avances de la astronomía y en particular, el cielo astronómico en Chile, con apoyo del instrumento óptico "galileoscopio" cuya características y su uso se incluyen en este manual.

ÍNDICE

Haz clic en cada sección para ir directamente a la página.

I.- Introducción 5

II.- Astronomía General 6

III.- Coordenadas celestes 14

IV.- Instrumentos de Observación 26

V.- Galileoscopio 32

VI.- Actividades 40

VII. Bibliografía 47

INTRODUCCIÓN

El Manual de Astronomía que se incorpora a la nueva página web del Museo de Ciencia y Tecnología, tiene como objetivos reunir los principales contenidos del material educativo elaborado para la realización del Proyecto "Taller Tú Eres Galileo", que contó con el financiamiento de ESO y la participación de 582 estudiantes pertenecientes a 21 colegios del Gran Santiago y regiones vecinas. Este Manual, que contiene elementos de Astronomía General hasta Galileo, Coordenadas Celestes e Instrumentos de observación astronómica, entre otros, se complementa y finaliza con información para el armado del kit de los galileoscopios que se entregaron a los alumnos de los colegios participantes.

Agradecemos las sugerencias y opiniones sobre la presentación de este Manual y que nos permitirán mejorar su contenido, a los siguientes correos electrónicos:

juanpablogf@gmail.com
mucytec@corpdicyt.cl
heduvi@gmail.com

El universo observable conocido por Galileo

Al observar el cielo nocturno en una noche sin nubes, en un lugar distante de las luces de la ciudad, el cielo nocturno puede ser visto en todo su esplendor, y es fácil entender por qué despierta el interés de las personas. Despues del Sol, necesario para la vida, la Luna es el objeto celeste más importante, cambiando continuamente de fase. Las estrellas aparecen como una miríade de puntos brillantes en el cielo. Entre las estrellas, los planetas se destacan por su brillo y por moverse entre ellas.

Las especulaciones sobre la naturaleza del Universo deben remontar a los tiempos prehistóricos, y en muchas civilizaciones antiguas se intentó catalogar y predecir eventos celestes. Los chinos conocían la duración del año y mantenían el calendario varios siglos antes de Cristo (AC), además de llevar registros precisos de cometas, meteoros y meteoritos desde el año 700 AC. Más tarde también observaron las estrellas que ahora llamamos “novas”.

Los babilonios, asirios y egipcios también conocían la duración del año desde épocas pre-cristianas. En otras partes del mundo, evidencias de conocimientos astronómicos muy antiguos fueron dejadas en forma de monumentos, como el de Stonehenge, en Inglaterra, que data de 2500 a 1700 AC. En esta estructura algunas rocas están alineadas con la salida y la puesta del Sol en el inicio del verano y del invierno. Los Mayas, en América Central, también tenían conocimientos de calendario y de fenómenos celestes, y los polinesios aprendieron a navegar por medio de observaciones celestes.

Pero el punto más alto de la ciencia antigua se dio en Grecia, del 600 AC al 400 DC, a niveles sólo sobrepasados después del siglo XVI.

En el transcurso de un año, el Sol completa una vuelta a la esfera celeste, y este tiempo define a un año. El camino aparente del Sol en el cielo define a la eclíptica, porque los eclipses ocurren solamente cuando la Luna está próxima a ella. Como la Luna y los planetas recorren el cielo en una región de 18 grados centrada en la eclíptica, esta región define al zodíaco, con sus 12 constelaciones.

» Pitágoras

Quien murió cerca del 497 AC, creía que los planetas, el Sol y la Luna eran transportados por esferas separadas de lo que acarreaba a las estrellas (esfera celeste).

» Aristóteles

(384-322 AC) Explicó que las fases de la Luna dependen de cuánto de la cara de la Luna iluminada por el Sol está mirando hacia la Tierra. Explicó también los eclipses: un eclipse de Sol ocurre cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol; un eclipse de Luna ocurre cuando la Luna entra en la sombra de la Tierra. Aristóteles argumentó a favor de la esfericidad de la Tierra, ya que la sombra de la Tierra en la Luna durante un eclipse lunar es siempre redondeada.

» Aristarco de Samos

(310-230 AC) Ya creía en ese entonces que la Tierra se movía en torno al Sol, y estudió el tamaño y la distacia del Sol y de la Luna.

» Eratóstenes

(276-196 AC) Fue el primero en medir el diámetro de la Tierra. Él notó que en la ciudad egipcia de Siena (actualmente llamada de Asuán), la luz solar al mediodía iluminaba el fondo de un gran pozo, en el primer día del verano.

Alejandría está a 5000 estadios al norte de Siena (un estadio es una unidad de distancia usada en Grecia antigua). Esta distancia equivale a 50 días de viaje en camello, que recorre unos 16 km/día. Midiendo el tamaño de la sombra de un bastón vertical, Eratóstenes observó que, en Alejandría, en el mismo día y hora, el Sol no estaba directamente en el zenit, sino aproximadamente 7 grados más al sur. Como 7 grados corresponden a 1/50 de un círculo (360 grados), Alejandría debería estar a 1/50 de la circunferencia de la Tierra al norte de Siena, y la circunferencia de la Tierra debería ser 50x5000 estadios. Infelizmente no es posible tener con certeza el valor del estadio usado por Eratóstenes, ya que los griegos usaban diferentes tipos de estadios. Si él utilizó un estadio equivalente a 1/6 km, el valor está a 1 % del valor correcto de 40 000 km. El diámetro de la Tierra se obtiene dividiendo la circunferencia por π.

» Hiparco

Considerado el mayor astrónomo de la era pre-cristiana, construyó un observatorio en la isla de Rodas, donde hizo observaciones durante el período del 160 al 127 AC. Como resultado compiló un catálogo con la posición en el cielo y la *magnitud* de 850 estrellas. La magnitud, que especificaba el brillo de la estrella, era dividida en seis categorías, de 1 a 6, siendo 1 la más brillante, y 6 la más débil visible a simple vista. Hiparco dedujo correctamente la dirección de los polos celestes, así como la *precesión*, que es la variación cíclica de la dirección del eje de rotación de la Tierra, debido a la influencia gravitacional de la Luna y del Sol. Este fenómeno de la precesión completa un ciclo en 26.000 años.

Hiparco también dedujo el valor correcto de 8/3 para la razón entre el tamaño de la sombra de la Tierra y el tamaño de la Luna, y también encontró que la Luna estaba a una distancia de 59 veces el radio de la Tierra de distancia; el valor correcto es 60 veces. También determinó la duración del año con una precisión de 6 minutos.

» Claudio Ptolomeo

Que vivió entre el 85 DC y el 165 DC, compiló una serie de 13 volúmenes sobre Astronomía, conocido como el Almagesto, que es la mayor fuente de conocimento sobre la Astronomía en Grecia. La contribución; más importante de Ptolomeo fue una representación geométrica del Sistema Solar, con cículos y epiciclos, que permitía predecir el movimiento de los planetas con considerable precisión, y que fue usado hasta el Renacimiento, en el siglo XVI.

Movimiento Planetario

Los planetas están mucho más próximos a nosotros que las estrellas, de forma que parecen moverse, en el transcurso del año, entre las estrellas de fondo. Este movimiento se produce, generalmente, de Oeste a Este (no confundir con el movimiento diario, que es siempre de Este a Oeste), pero en ciertas épocas el movimiento cambia, pasando a ser de Este a Oeste. Este movimiento retrógrado puede durar varios meses (dependiendo del planeta), hasta que se hace más lento y el planeta revierte nuevamente su dirección, retomando el movimiento normal. El movimiento observado de cada planeta es una combinación del movimiento del planeta en torno al Sol con el movimiento de la Tierra en torno al Sol, y es simple de explicar cuando sabemos que la Tierra está en movimiento, pero se torna mucho más difícil de describir en un sistema geocéntrico.

A pesar de la dificultad de comprender y explicar el movimiento observado de los planetas desde el punto de vista geocéntrico (la Tierra en el centro del Universo), el geocentrismo fue una idea dominante en la Astronomía durante toda la Antigüedad y la Edad Media. El sistema geocéntrico también es conocido como sistema ptolemaico, pues fue **Claudio Ptolomeo**, el último de los grandes astrónomos griegos (150 d.C.), quien construyó el modelo geocéntrico más completo y eficiente. Ptolomeo explicó el movimiento de los planetas a través de una combinación de círculos: el planeta se mueve a lo largo de un pequeño círculo llamado **epiciclo**, cuyo centro se mueve en un círculo mayor llamado **deferente**. La Tierra está en una posición un poco alejada del centro del deferente (por tanto el deferente es un círculo excéntrico en relación a la Tierra). Para explicar el movimiento no uniforme de los planetas, Ptolomeo introdujo además el **ecuante**, que es un punto al lado del centro del deferente opuesto a la posición de la Tierra, en relación al cual el centro del epiciclo se mueve a una taza uniforme (figura X).

El objetivo de Ptolomeo era producir un modelo que permitiese preveer la posición de los planetas de forma correcta, y en ese aspecto el modelo ptolemaico fue razonablemente bien logrado. Por esa razón ese modelo continuó siendo usado sin cambios substanciales por 1300 años.

El Modelo Heliocéntrico

A inicios del siglo XVI, el Renacimiento estaba sacudiendo las cenizas del oscurantismo de la Edad Media, arrojando nueva luz a todas las áreas del conocimiento humano. **Nicolás Copérnico** representó el Renacimiento en la Astronomía. Copérnico (1473-1543) fue un astrónomo polaco con gran inclinación hacia la matemática. Estudiando en Italia, leyó sobre la hipótesis heliocéntrica propuesta (y no aceptada) por Aristarco (300 a.C.), y creyó que el Sol en el centro del Universo era una hipótesis mucho más razonable que el geocentrismo. Copérnico registró sus ideas en un libro "**De Revolutionibus**" publicado en el año de su muerte.

El modelo geocéntrico

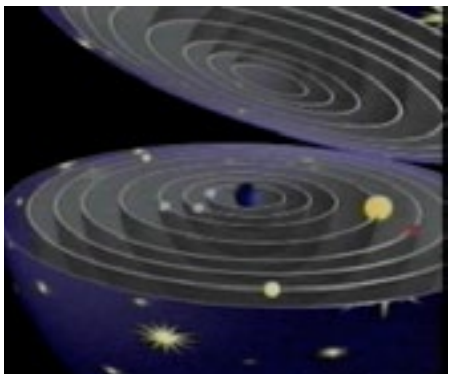
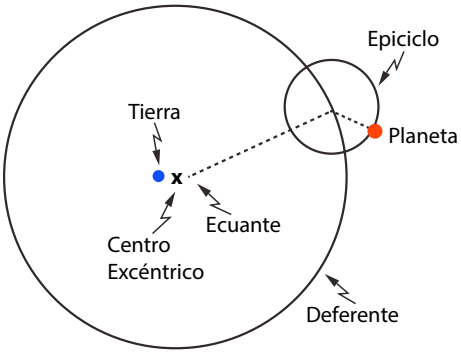
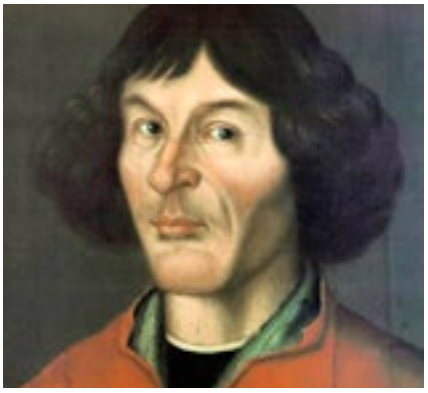


Figura 1



Nicolás Copérnico



Los conceptos más importantes desarrollados por Copérnico fueron:

» Introdujo el concepto que la Tierra es apenas uno de los seis planetas *(entonces conocidos)* girando en torno al Sol.

» Colocó los planetas en orden de la distancia al Sol: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno (Urano, Neptuno y Plutón).

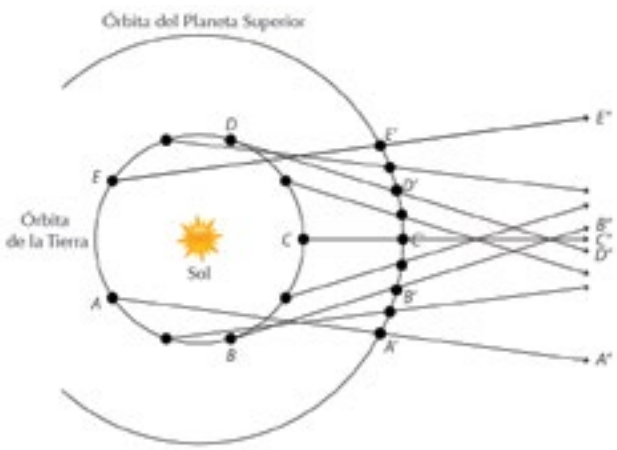
» Determinó las distancias de los planetas al Sol, en términos de la distancia Tierra-Sol.

» Dedujo que cuanto más cerca del Sol está un planeta, mayor es su velocidad orbital. De esa forma, el movimiento retrógrado de los planetas fue fácilmente explicado sin necesidad de epiciclos.

Copérnico mantuvo la idea de que las órbitas de los planetas eran circulares, y aunque el movimiento de los planetas fuese simple de entender en su sistema, las posiciones previstas para los planetas no eran en nada mejores que las posiciones previstas en el sistema de Ptolomeo.

La Teoría Heliocéntrica consiguió dar explicaciones más simples y naturales para los fenómenos observados (por ejemplo, el movimiento retrógrado de los planetas); no obstante Copérnico no logró prever las posiciones de los planetas de forma precisa, ni consiguió probar que la Tierra estaba en movimiento.

Figura 2



» Tycho Brahe

Tres años después de la muerte de Copérnico, nació el dinamarqués Tycho Brahe (1546-1601), el último gran astrónomo observacional antes de la invención del telescopio. Usando instrumentos fabricados por él mismo, Tycho hizo extensas observaciones de las posiciones de planetas y estrellas, con una precisión en muchos casos menor que 1 minuto de arco (1/30 del diámetro del Sol).

El excelente trabajo de Tycho como observador le facilitó la obtención del patrocinio del rey de Dinamarca, Frederic II, y así Tycho pudo construir su propio observatorio, en la isla báltica de Hveen. Luego de la muerte del rey, su sucesor se desentendió de Tycho y retiró sus privilegios. Así, en 1597 Tycho fue forzado a dejar Dinamarca, y viajó a Praga, a trabajar como astrónomo de corte para el emperador de Bohemia.

Tycho Brahe no creía la hipótesis heliocéntrica de Copérnico, pero fueron sus observaciones de los planetas las que llevaron a las leyes de Kepler del movimiento planetario.

En 1600 (un año antes de su muerte), Tycho contrató para ayudarlo en el análisis de los datos sobre los planetas, recabados durante 20 años, a un joven y hábil matemático alemán llamado Johannes Kepler.

» Johannes Kepler (1571-1630)

Estudió inicialmente para seguir teología. En la Universidad leyó sobre los principios de Copérnico y luego se transformó en un entusiasta defensor del heliocentrismo. En 1594 consiguió un puesto de profesor de Matemática y Astronomía en una escuela secundaria en Graz, Austria, pero pocos años después, por presiones de la Iglesia Católica (Kepler era protestante), fue exiliado, y fue entonces a Praga a trabajar con Tycho Brahe.

Cuando Tycho murió, Kepler "heredó" su puesto y sus datos, a cuyo estudio se dedicó en los 20 años siguientes.

El planeta para el cual había un mayor número de datos era Marte. Kepler consiguió determinar las diferentes posiciones de la Tierra luego de cada período sidéreo de Marte, y así consiguió trazar la órbita de la Tierra. Encontró que esa órbita se aproximaba muy bien a un círculo excéntrico, esto es, con el Sol un poco apartado del centro.

Kepler consiguió también determinar la órbita de Marte, pero al intentar ajustarla con un círculo no tuvo éxito. Continuó insistiendo en esa tentativa por varios años, y en cierto punto encontró una órbita circular que concordaba con las observaciones con un error de 8 minutos de arco. Pero sabiendo que las observaciones de Tycho no podían tener un error de ese tamaño (a pesar de significar tan solo un error de 1/4 del tamaño del Sol), Kepler, con la integridad que le era característica, descartó esa posibilidad.

Finalmente, pasó a la tentativa de representar la órbita de Marte con una curva oval, y rápidamente descubrió que una elipse ajustaba muy bien a los datos. La posición del Sol coincidía con uno de los focos de la elipse. Quedó así explicada también la trayectoria casi circular de la Tierra, con el Sol apartado del centro.

Las Leyes de Kepler

1. Ley de las órbitas elípticas (1609):
La órbita de cada planeta es una elipse, con el Sol en uno de los focos. Como consecuencia de ello, la distancia del Sol al planeta varía a lo largo de su órbita.

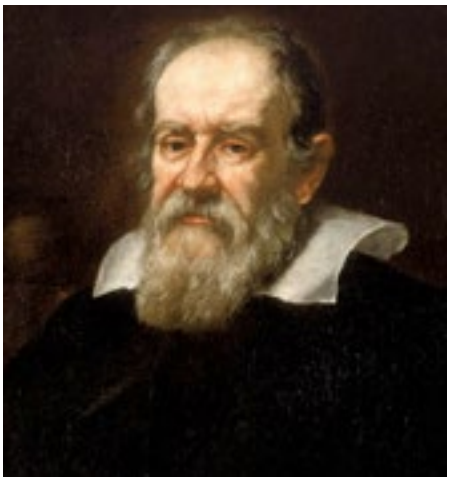
2. Ley de las áreas (1609):
La recta que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales. El significado físico de esta ley es que la velocidad orbital no es uniforme, sino que varía de forma regular: cuanto más distante el planeta está del Sol, más lentamente se mueve. Dicho de otra manera, esta ley establece que la velocidad de las áreas recorridas es constante.

3. Ley armónica (1618):
El cuadrado del período orbital de los planetas es directamente proporcional al cubo de su distancia media al Sol. Esta ley establece que planetas con órbitas mayores se mueven más lentamente en torno al Sol, y por tanto esto implica que la fuerza entre el Sol y el planeta decrece con la distancia al Sol.

» Galileo Galilei

Una gran contribución al Modelo Heliocéntrico fue dada por el italiano Galileo Galilei (1564 - 1642). Galileo fue el padre de la moderna física experimental y de la astronomía telescópica. Sus experimentos en mecánica, que establecieron parte de los conceptos de inercia, y que la aceleración de los cuerpos en caída libre no depende de su peso, fueron más tarde incorporados a las leyes del movimiento de Newton.

Galileo comenzó sus observaciones telescópicas en 1610, usando un telescopio construido por él mismo. No cabe a Galileo el crédito de la invención del telescopio, sin embargo, lentes y anteojos ya eran conocidos desde cerca de 1350, y Galileo había oído hablar de un telescopio construido por el holandés Hans Lippershey, en 1608. Galileo supo de ese instrumento en 1609, y sin haber visto el telescopio de Lippershey construyó el suyo propio, con 3 aumentos, en 1609.



En seguida construyó otros instrumentos, y el mejor tenía 30 aumentos. Galileo también fue el primero en utilizar el telescopio para observar sistemáticamente el cielo, haciendo varios descubrimientos importantes, como:

» Descubrió que la Vía Láctea está constituida por una infinidad de estrellas.

» Descubrió que Júpiter tiene cuatro satélites, o lunas, orbitando en torno a él, con períodos de entre 2 y 17 días. Esos satélites son llamados "galileanos", y son: Lo, Europa, Ganímedes y Calisto. Desde entonces, más de doce satélites fueron descubiertos en Júpiter.

Este último descubrimiento de Galileo fue particularmente importante porque mostró que podía haber centros de movimiento que a su vez también estaban en movimiento; por lo tanto el hecho de que la Luna gire en torno a la Tierra no implicaba que la Tierra estuviese inmóvil.

» Descubrió que Venus pasa por un ciclo de fases, así como la Luna.

Este descubrimiento también fue fundamental porque, en el sistema Ptolemaico, Venus está siempre más próximo a la Tierra que el Sol, y como Venus está siempre próximo al Sol, nunca podría tener toda su cara iluminada mirando hacia nosotros, y por lo tanto, debería siempre aparecer en fase creciente. Al ver que Venus muchas veces aparece en fase casi totalmente llena, Galileo concluyó que este planeta debe viajar alrededor del Sol, pasando algunas veces por frente a él y otras veces por detrás, y no orbitar en torno a la Tierra.

» Descubrió la superficie en relieve de la Luna, y las manchas del Sol. Al ver que la Luna tiene cavidades y elevaciones como la Tierra, y que el Sol tampoco tiene una superficie lisa, sino que presenta manchas, probó que los cuerpos celestes no son esferas perfectas, sino que tienen irregularidades, así como la Tierra. Por lo tanto la Tierra no es diferente de los otros cuerpos, y puede ser también un cuerpo celeste.

Los descubrimientos de Galileo proporcionaron una gran cantidad de evidencias a favor del sistema heliocéntrico. Por causa de eso, Galileo fue llamado a declarar ante la Inquisición Romana, acusado de herejía, y obligado a retractarse. Recién en 1980, el Papa Juan Pablo II ordenó una revisión del proceso contra Galileo, el que acabó por eliminar los últimos vestigios de resistencia, por parte de la Iglesia Católica, a la revolución Copernicana.

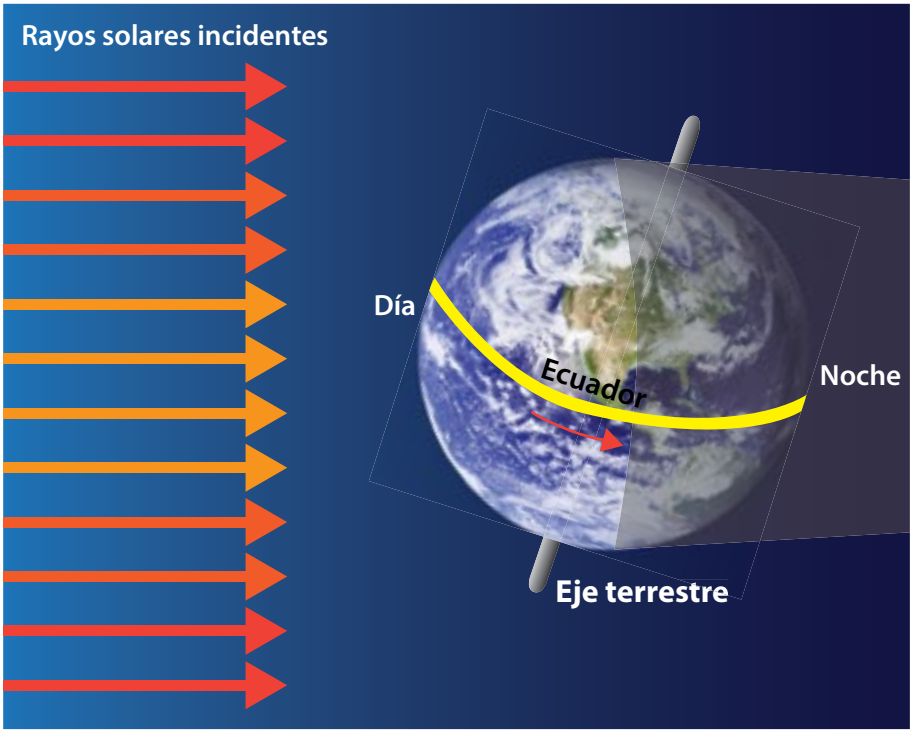
TERRE·MO TVS

Conceptos básicos

En nuestras vidas hay eventos que consideramos muy naturales y a los cuales prestamos poca atención. Cada mañana nos despertamos y constatamos que vuelve a hacerse de día, más temprano en el verano y más tarde en el invierno. A veces el Sol resplandece en el cielo y en otras ocasiones está nublado, llueve o nieva. Pero siempre a una noche le sigue un nuevo día. Es el ejemplo más simple de que el cosmos influye en nuestra existencia, permanente e invariablemente.

El Sol sale por el Este al amanecer: se hace de día. Al anochecer el Sol se pone por el Oeste. Se debe a que la Tierra está girando alrededor de su eje. ¿En qué sentido gira la Tierra: de Este a Oeste o de Oeste a Este? ¿Por qué? La figura 1 ilustra cómo se origina el día y la noche.

Figura 1



El punto del horizonte en el cual tiene lugar la salida y la puesta del Sol cambia de día a día. Se mueve dentro de determinados límites y depende de la latitud geográfica. El Sol sale exactamente por el Este (y también se pone por el Oeste) el día del:

- **Equinoccio de primavera**
(23 de Septiembre en el hemisferio Sur o el 21 de Marzo en el hemisferio Norte).

- **Equinoccio de otoño**
(21 de Marzo en el hemisferio Sur o el 23 de Septiembre en el hemisferio Norte).

Además, hay diferencias hacia el norte y el sur de los puntos Este y Oeste:

- **La diferencia mayor hacia el Sur** ocurre el día del solsticio de verano en el hemisferio Sur (22 de Diciembre) o solsticio de invierno en el hemisferio Norte.

- **La diferencia mayor hacia el Norte** ocurre el día del solsticio de invierno en el hemisferio Sur (22 de Junio) o solsticio de verano en el hemisferio Norte.

Cuanto mayor sea la latitud de un lugar tanto más grande será la variación del punto este o punto oeste. Y así también variará la duración del día y de la noche con la latitud geográfica:

- **En el Ecuador** (0° de latitud geográfica) el día más largo y el día más corto tienen una duración de 12 horas cada uno, es decir, los días siempre tienen la misma duración.

- **A una latitud de 45°** el día más largo tiene 15 horas, 26 minutos, y el día más corto 8 horas, 34 minutos, o sea, una diferencia de casi siete horas.

• **En los polos** (90° de latitud) el día polar dura 186 días (polo norte) y 179 días (polo sur), y la noche polar 179 días (polo norte).

Nosotros no percibimos la rotación de la Tierra sobre su eje; sólo vemos el giro aparente del Sol alrededor de la Tierra. En el lado de la Tierra que está en la oscuridad, se percibe que son las estrellas las que giran alrededor de la Tierra.

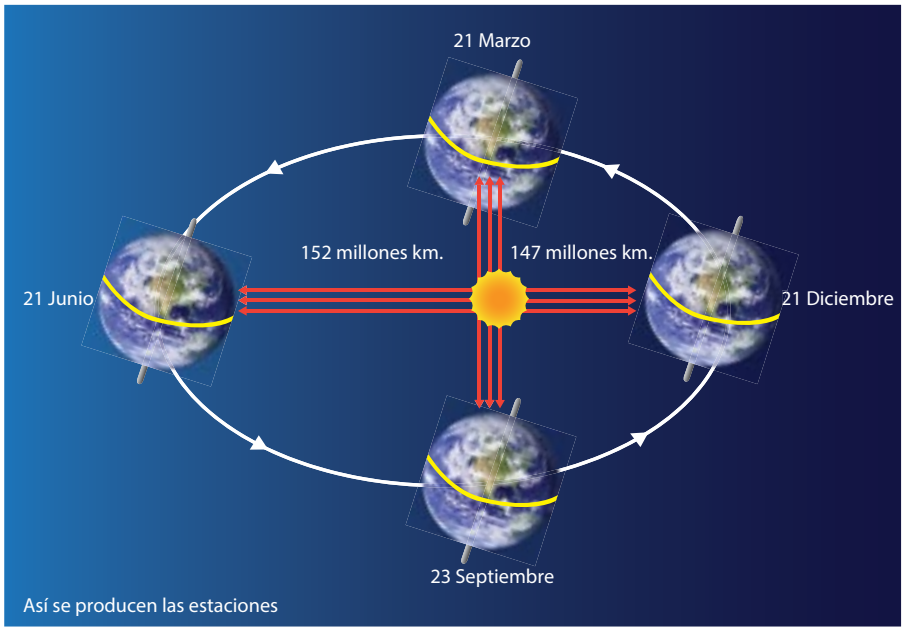
¿Cómo se originan las estaciones del año?

La revolución anual de la Tierra alrededor del Sol es la que determina de manera tan variada el clima y la vegetación en el planeta Tierra: primavera, verano, otoño e invierno. A veces se responde a la pregunta anterior de la siguiente manera: porque la Tierra en invierno está más lejos del Sol, y en verano está más cerca el Sol. ¿Es correcta esta afirmación?

La inclinación del eje de la Tierra es la principal causa de las estaciones. El diagrama de la figura 2 representa el movimiento de la Tierra en su órbita, en el curso de un año, visto en perspectiva. Notar que el eje de la Tierra se mantiene siempre en la misma posición. El dibujo ilustra también las posiciones de la Tierra, afelio y perihelio, más alejada y cercana, respectivamente, de su órbita respecto del Sol. ¿En qué dirección se mueve la Tierra en su órbita?

Cuando se observa el cielo nocturno en una noche despejada, sin nubes y sin Luna, lejos de las ciudades y poblaciones iluminadas, las estrellas parecen definir una esfera, la esfera celeste, sobre la cual parece estar todas las estrellas que se ven a simple vista. En la figura 3 se ilustra la esfera celeste y otras definiciones. La esfera celeste es una esfera imaginaria con la Tierra ubicada en su centro, sobre la cual parecen estar situados los objetos del cielo. Parece cambiar una vez al día, pero en realidad es el resultado de la rotación de la Tierra sobre su eje. ¿En qué sentido parece moverse la esfera celeste?

Figura 2



La figura 2 muestra a la Tierra en diferentes posiciones en su órbita alrededor del Sol. Notar que el eje de la Tierra está inclinado respecto a su órbita; el ángulo es de 23,5°.

¿Y la Tierra?

El ecuador celeste está situado sobre la esfera celeste, directamente sobre el ecuador de la Tierra; es la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste y divide a la esfera celeste en dos hemisferios. El ecuador celeste está situado exactamente a medio camino entre los polos celestes. Los polos celestes están situados sobre la esfera celeste, directamente proyectando los polos geográficos terrestres. El polo sur celeste sobre el polo sur geográfico y el polo norte celeste sobre el polo norte geográfico.

La eclíptica es la trayectoria que parece seguir el Sol sobre la esfera celeste cada año.

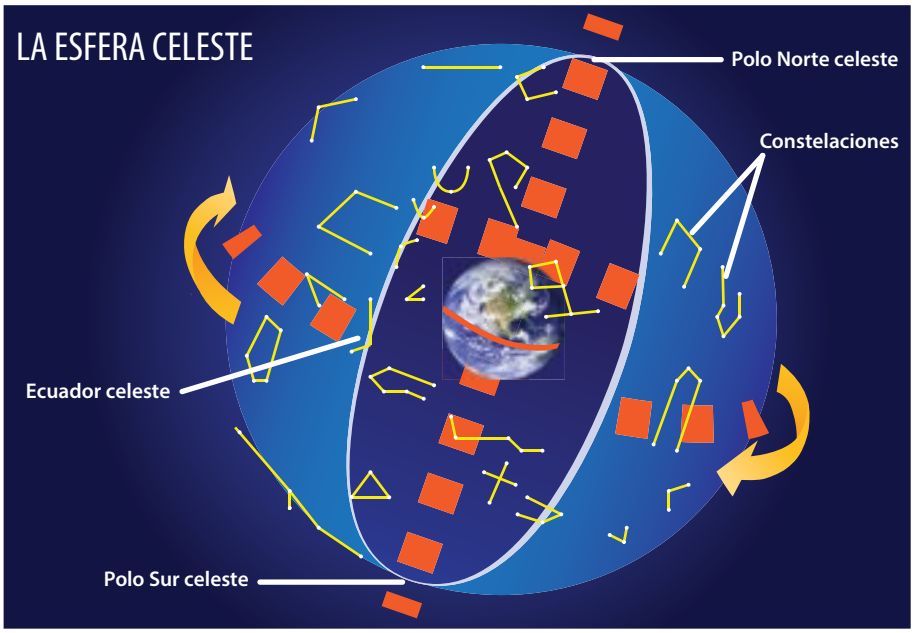
La figura 4 ilustra la eclíptica sobre la esfera celeste. Notar que la eclíptica corta el ecuador celeste en dos puntos y tiene un alejamiento máximo hacia el sur y hacia el norte del ecuador celeste.

Equinoccio es uno de los dos puntos de la esfera celeste en los que la eclíptica cruza el ecuador celeste. En el equinoccio, el Sol está situado exactamente sobre el ecuador celeste de modo que la noche y el día tienen la misma duración.

Equinoccio vernal es el equinoccio que se produce alrededor del 21 de Marzo cada año cuando el Sol cruza el ecuador celeste hacia el norte. Se denomina también primer punto de Aries.

Solsticio es uno de los dos puntos de la esfera celeste en la que el Sol alcanza su máxima separación hacia sur (-23,5°) o su máxima separación hacia el norte (+23,5°) del ecuador celeste.

Figura 3

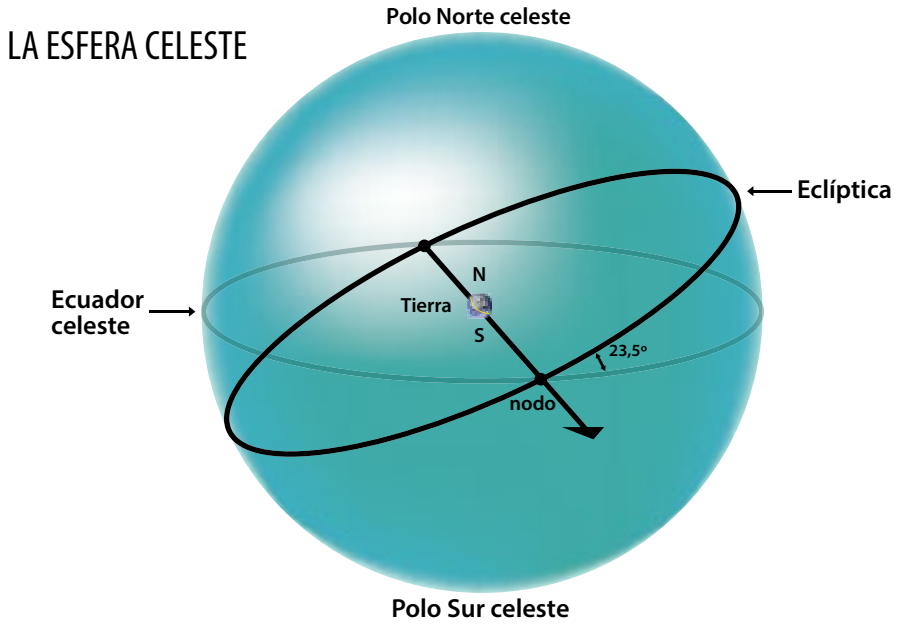


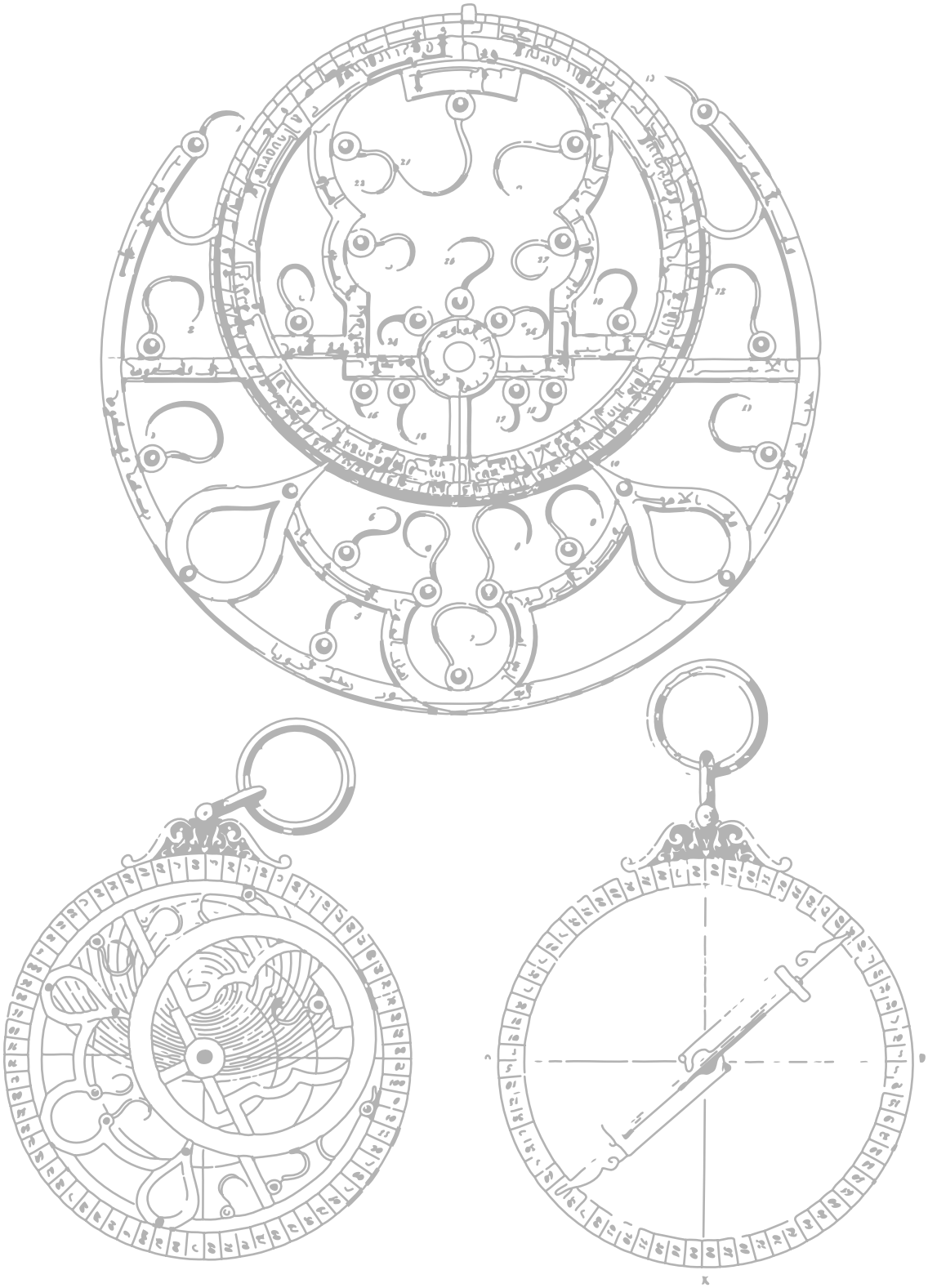
Culminación es la máxima altitud por encima del horizonte que alcanza un astro. Un cuerpo celeste en la culminación está situado sobre el meridiano.

Circumpolar, las estrellas que no salen o se ponen durante la noche, visto desde un lugar determinado en la Tierra, sino que giran alrededor del polo celeste. Las estrellas circumpolares tienen una distancia polar que es inferior a la latitud del observador.

Distancia polar: distancia angular de un objeto celeste desde los polos celestes norte o sur.

Figura 4





Movimientos de la tierra

La Tierra presenta otros movimientos, además del de rotación (que origina el día y la noche) y el de revolución en torno al Sol. Estos dos movimientos son los más importantes y los únicos verificables a simple vista por sus efectos en la esfera celeste.

La Tierra realiza un tercer movimiento que consiste en una **traslación**, ya que acompaña al Sol por estar vinculada a él. Durante 24 horas la Tierra rota sobre sí misma; en ese lapso, recorre parte de su órbita en torno al Sol recorriendo una distancia de unos 100 mil km; pero durante este lapso, el Sol se desplazó en el espacio alrededor de 70 mil km. Por lo tanto, la Tierra al orbitar en torno al Sol, no pasa jamás dos veces por el mismo punto: su trayectoria tiene la forma de una espiral, como indica la *figura 1*.

Un cuarto movimiento que presenta la Tierra es el de **Precesión**. Este movimiento de la Tierra es similar (aunque mucho más lento) al recorrido que sigue la parte superior de un trompo al girar, cuando su eje de rotación no es recto. Debido a la precesión, la posición que el eje de la Tierra indica en la esfera celeste se desplaza siguiendo una circunferencia cerrada cada 25 600 años. La circunferencia de precesión está centrada sobre el polo de la eclíptica. Como resultado de la precesión, la posición de los polos celestes cambia continuamente, como sucede con la posición de los equinoccios. Se conoce también como precesión de los equinoccios. En la figura 2 se ilustra el movimiento de precesión de la Tierra y el similar en un trompo.

Otro movimiento es el de **Nutación.** Es un ligero movimiento de cabeceo del eje de la Tierra en el espacio, añadido al movimiento de precesión. La nutación hace que los polos de la Tierra se desplacen de un lado a otro unos 9 segundos de arco cada 18,6 años. *(Figura 3)*

Otros movimientos son:

1.- El eje terrestre varía su inclinación con respecto a la eclíptica (plano sobre el cual gira la Tierra en torno al Sol). Estas variaciones de la inclinación del eje terrestre cambia en un período de unos 40 000 años.

2.- La órbita de la Tierra es elíptica, el sentido en el que la elipse está alargada no es inmutable en el espacio: gira sobre sí misma en 120.000 años. Este movimiento se denomina precesión del perihelio.

La determinación de la posición de un cuerpo celeste en el cielo, está basada exactamente en el mismo principio que en la superficie de la Tierra. La posición de un lugar en la Tierra está definida por su **latitud** y **longitud**. La latitud se mide a partir del ecuador (el círculo que equidista de los polos y que coincide con la mayor circunferencia terrestre). La circunferencia completa tiene 360°. Al Ecuador se le asigna por convención la latitud cero. Las latitudes situadas al norte del mismo tienen valores positivos entre 0° y +90°, y las situadas al sur, valores negativos entre 0° y –90°.

Figura 1

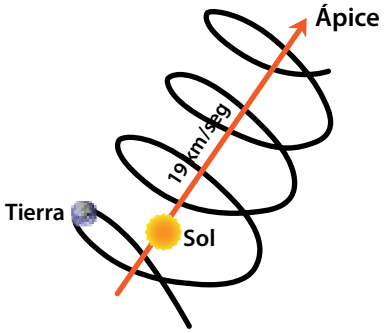


Figura 2

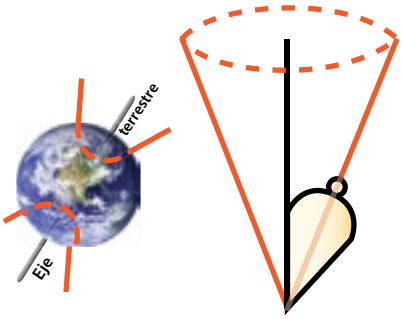
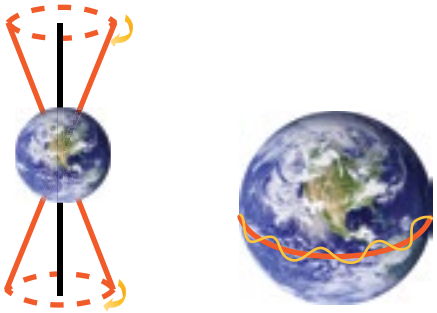


Figura 3



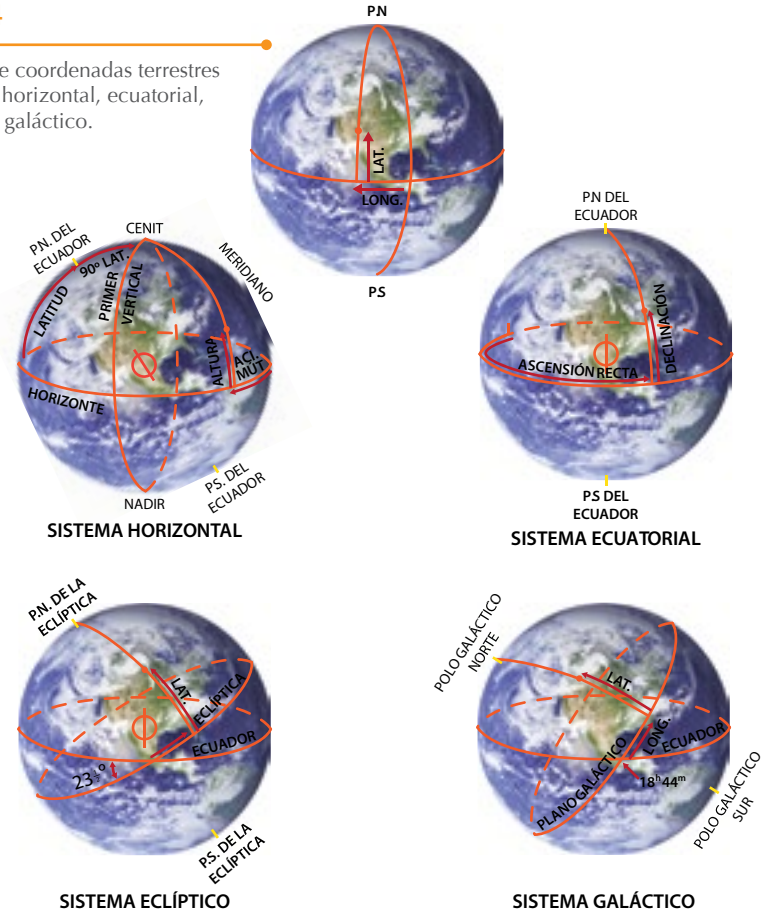
La longitud se mide en torno de la Tierra. Mientras que para medir la latitud existe un origen natural, la línea del Ecuador, no hay ninguno al cual se pueda referir la longitud, por lo que se ha escogido un origen arbitrario. La longitud se mide a partir del círculo máximo que pasa por ambos polos y por Greenwich, Inglaterra, y se cuenta hasta 180° hacia el este y el oeste.

La longitud puede expresarse en grados o en horas, minutos y segundos. La circunferencia completa comprende 24 horas = 360°; por lo tanto, 1 hora = 15° y 1° = 4 minutos de tiempo. Notar que 4 min = 60′, o sea, que un minuto de tiempo equivale a 15 minutos de arco. Cuando la longitud de un lugar se expresa en tiempo, indica cuánto tiempo más temprano o más tarde tiene lugar el mediodía con respecto a Greenwich (más temprano si se trata de longitud este o negativa, y más tarde si es oeste o positiva).

En la *figura 4* se ilustran algunos de los sistemas de coordenadas empleados para determinar la posición sobre la superficie de la Tierra y en la esfera celeste.

Figura 4

Sistemas de coordenadas terrestres y celestes: horizontal, ecuatorial, eclíptico y galáctico.



En el **sistema de coordenadas horizontales**, las posiciones están referidas al horizonte. El punto de la esfera celeste que está situado directamente sobre el observador es el **cenit**, y el punto opuesto, debajo del mismo, el **nadir**. El círculo máximo que pasa por el norte, el sur y el cenit se llama **meridiano**. El círculo máximo que pasa por el este, el oeste y el cenit a 90° con respecto al meridiano es el **primer vertical**. La posición de un objeto celeste queda determinada por su **altura h** medida en grados desde el horizonte en dirección al cenit (las alturas negativas se refieren a puntos situados debajo del horizonte). Los astrónomos miden el **azimut A** en grados a lo largo del horizonte hacia el oeste y a partir del punto cardinal sur. Los topógrafos y los navegantes lo miden en la misma forma, pero a partir del punto cardinal norte, pasando por el este. La **distancia cenital** de un objeto es la diferencia entre 90° y su altura. En este sistema, la altura del polo celeste sobre el horizonte es igual a la latitud del lugar de observación. El sistema de coordenadas horizontales presenta la desventaja de que la posición de un cuerpo celeste varía con el lugar desde el cual se efectúa la observación y, por consiguiente, juntamente con la posición del mismo debe indicarse la hora.

El sistema de coordenadas eclípticas está definido por el plano de la órbita de terrestre que determina la posición de la eclíptica y es útil para indicar la posición de los planetas del sistema solar que, en su mayoría, se mueven en las proximidades de la eclíptica. Sus coordenadas son: **latitud celeste**, que se mide en grados norte o sur desde la eclíptica; **longitud celeste**, que se mide en grados al Este del equinoccio vernal.

Otro de los sistemas de coordenadas es el galáctico, en el cual se considera el plano galáctico como origen para medir la latitud galáctica. La longitud galáctica se mide a partir de la intersección del plano galáctico con el ecuador celeste.

El sistema de uso más general en la Astronomía es el de **coordenadas ecuatoriales absolutas**, y está definido por la dirección del eje de la Tierra. Los polos celestes norte y sur, en torno de los cuales parece girar el cielo, indican la dirección del eje. El Ecuador celeste

es el círculo máximo que equidista de ambos polos. La distancia angular de una estrella con respecto al Ecuador, medida en la dirección del polo más próximo a la misma y expresada en grados, es la **declinación**, positiva hacia el norte y negativa hacia el sur. La coordenada correspondiente a la longitud se llama **ascensión recta** y se mide hacia el este, a partir del punto vernal sobre el Ecuador, expresándose en grados o en tiempo. La ascensión recta comprende 360° que, igual que los de la longitud terrestre, están divididos en 24 horas a razón de 1 hora por cada 15° y 1° cada 4 minutos de tiempo. La distancia polar norte o sur de una estrella es la diferencia entre ±90° y su declinación.

En la *figura 5* están representados el sistema de coordenadas ecuatorial, la eclíptica y una estrella ubicada en la esfera celeste.

Debido a la **precesión**, que hace retrogradar el equinoccio a lo largo de la eclíptica en dirección hacia el oeste, el origen cero de la ascensión recta cambia continuamente de posición con respecto a las estrellas, y tanto dicha coordenada como la declinación varían constantemente. Las posiciones exactas están referidas a una época determinada, y las correspondientes a otra fecha requieren una corrección que aumenta con el intervalo de tiempo transcurrido y es mayor en las regiones cercanas a los polos.

Es importante conocer estos tipos de coordenadas pues un telescopio debe alinearse con respecto al eje de la Tierra. Si el eje polar de un telescopio está paralelo al eje de la Tierra, como se muestra en la *figura 6*, la rotación de la Tierra puede ser cancelada girando el telescopio en la dirección opuesta, al ritmo de rotación de la Tierra. Esto también es válido para la plataforma ecuatorial, un aparato que permite fotografiar las constelaciones.

Figura 5

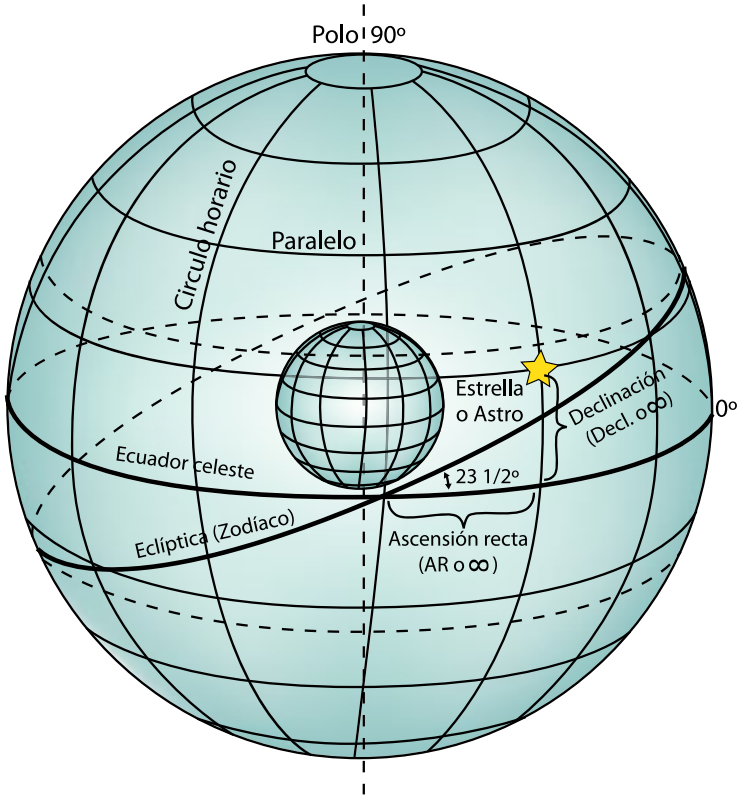
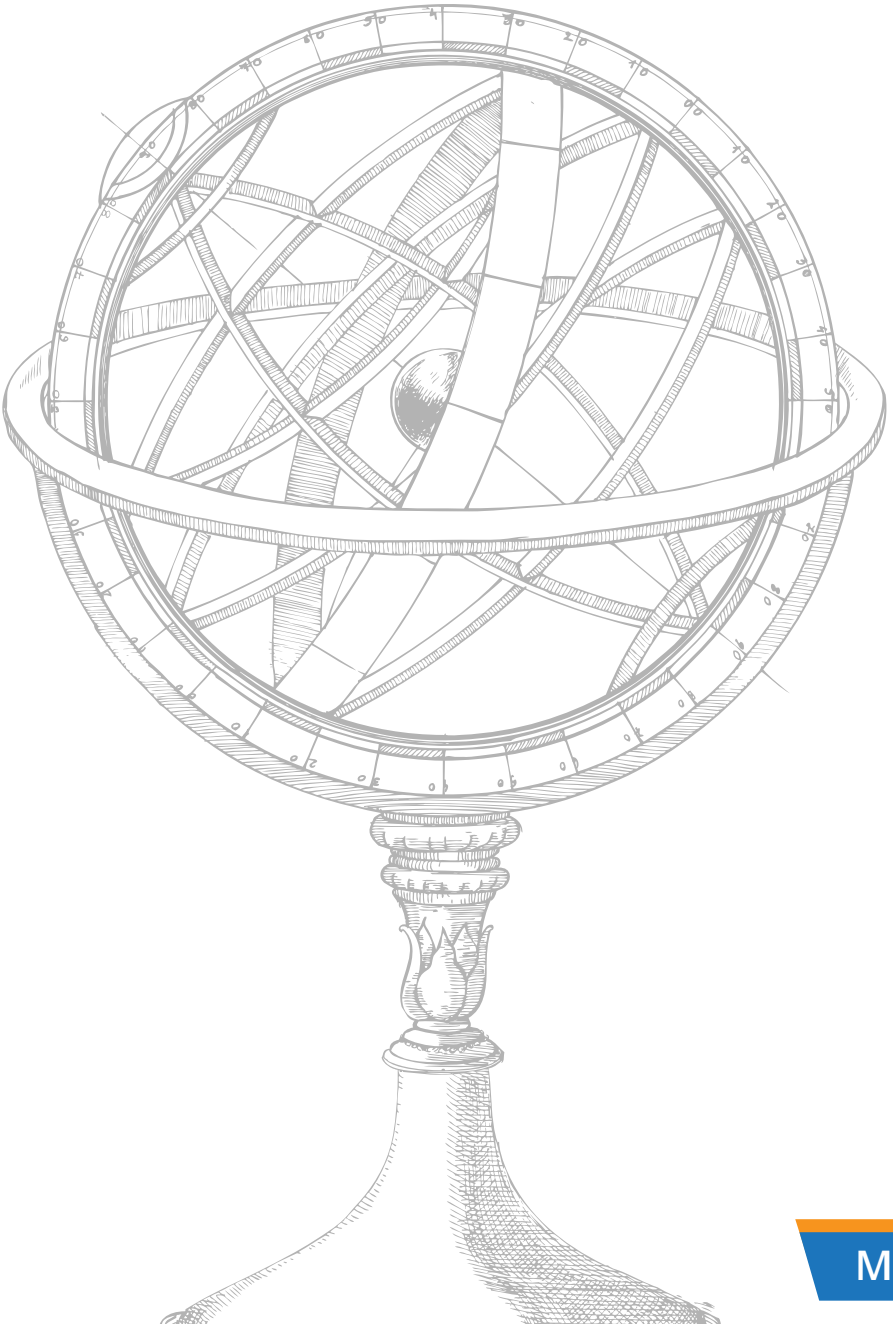


Figura 6



Las Constelaciones

A primera vista, el cielo nocturno presenta una confusa imagen de millares de estrellas que brillan como al azar en un negro telón de fondo. Sin embargo, una observación más atenta nos permite comprobar que muchas de las estrellas brillantes forman con facilidad signos reconocibles que no cambian con los años. Mediante estos trazados de estrellas o constelaciones, los astrónomos dieron con su camino a través del firmamento. Los grupos de estrellas que describen formas bien definidas son lo que se denomina "asterismos".

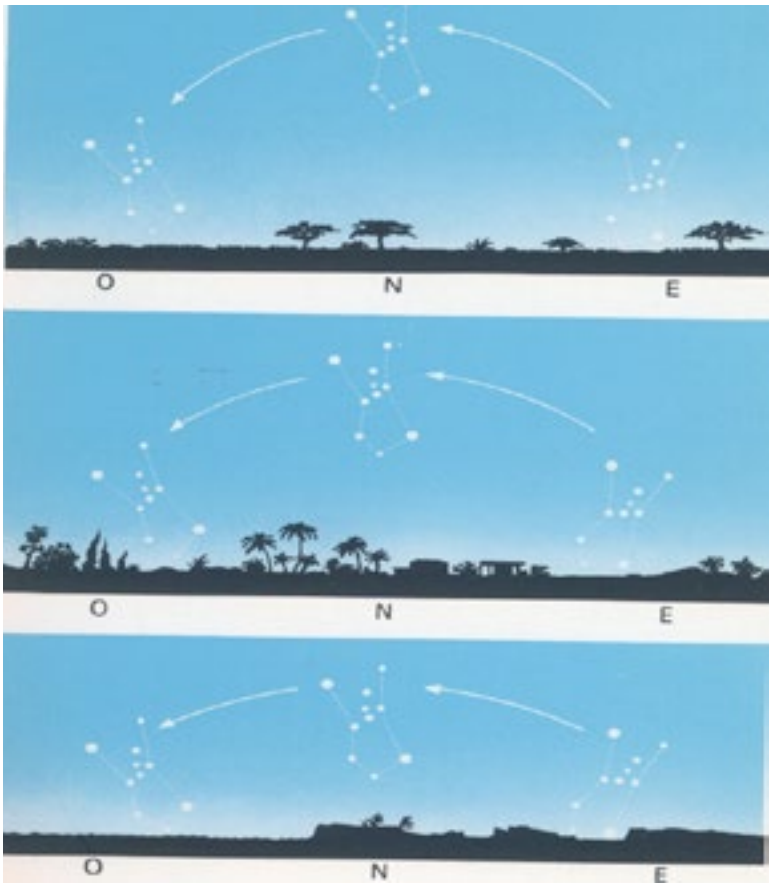
Los seres humanos han observado las estrellas desde tiempos inmemoriales. Los nombres de algunas de las estrellas tienen significados que hoy son imposibles de trazar. Los antiguos astrónomos no son sólo responsables de los nombres de las estrellas más brillantes, sino también de los nombres de ciertos grandes grupos de estrellas conocidas ahora como las **constelaciones**; reconocieron las constelaciones más útiles, y los nombres de muchas de ellas datan de varios siglos antes de Cristo. Se conocen tanto por sus nombres latinos como por sus equivalentes en las lenguas modernas. Hay muchas constelaciones fáciles de reconocer como Leo o León, Orión, Scorpio o Escorpión, Crux o Cruz del Sur, Sagitario o el Arquero.

Los hombres de las culturas que florecieron a lo largo de los márgenes de los grandes ríos –Nilo, Tigris y Eufrates- y en el Mediterráneo, empleaban las estrellas para dibujar figuras que representaban algo que tenía un significado especial para ellos. Los pergaminos egipcios describen formas hechas con estrellas, como el león, la liebre o el hipopótamo, pero no hay registros que especifiquen en qué lugar del cielo se localizaban estas figuras. Las tablas de arcilla que se han encontrado en Babilonia con trazos de contornos parecen describir figuras de estrellas, pero también en este caso se ha perdido su significado.

Las constelaciones que conocemos hoy proceden principalmente de los griegos. A lo largo de su historia, los griegos han creado leyendas maravillosas y las han ilustrado en el cielo: las leyendas de Hércules y sus doce trabajos; Perseo y su epopeya para salvar a la bella Andrómeda del mostruo marino Cetus; y el gran cazador Orión, con sus perros de caza Canis Major y canis Minor. Los narradores griegos describieron sus leyendas en las estrellas hace unos 3000 años y hoy pueden recordarse observando el cielo.

Los nombres de las constelaciones se supone que reflejan la forma que parecen describir las estrellas, pero esto sólo es cierto en unos pocos casos (recordar la fotografía mostrada de la constelación Escorpión). Se necesita mucha imaginación para descubrir la forma de un toro en las estrellas que configuran Taurus, o bien la de unos gemelos en la constelación Gemini. Sin embargo los hombres antiguos eran muy imaginativos, y creyeron ver en el cielo criaturas mitológicas (centauro, unicornio, cabra marina), héroes, reyes y reinas, multitud de animales y objetos de uso cotidiano (copa, balanza, flecha).

Figura 1

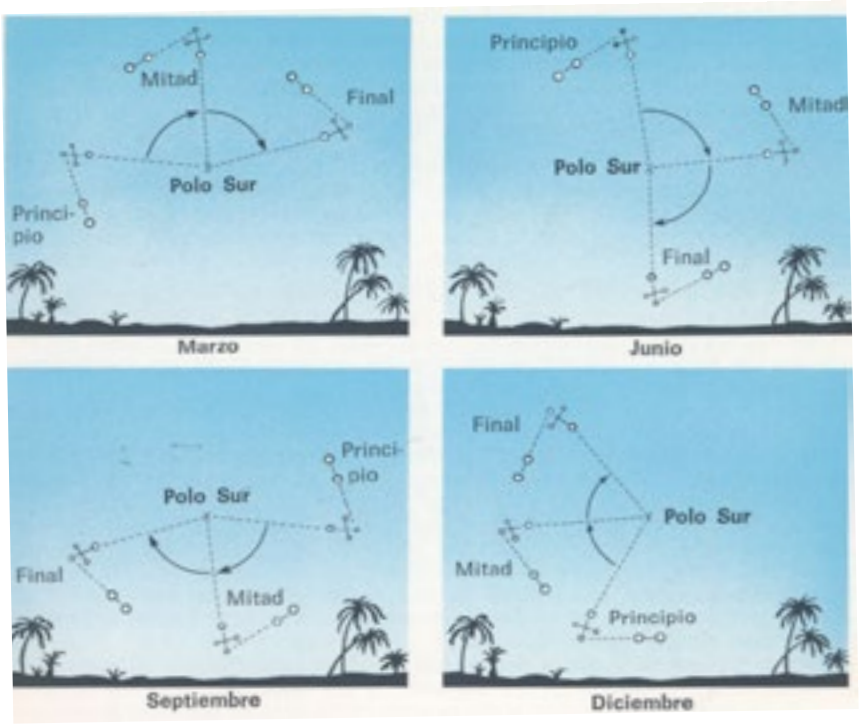


Las constelaciones que observamos en el cielo nocturno cambian según si la observación la hacemos desde el hemisferio sur o norte de la Tierra. Las constelaciones cambian también si nos movemos por la superficie de la Tierra: algunas constelaciones están más altas sobre el horizonte, otras más bajas y algunas no se ven. En la *figura 1* se ilustra el orto, culminación y ocaso de la constelación de Orión a 12° de latitud sur (arriba), a 23° lat. Sur (centro) y a 56° lat. sur (abajo). Orión es una constelación de la región del ecuador celeste. Luego un observador que vaya hacia el sur, verá acercarse más y más la constelación a su horizonte norte.

La *figura 2* es una representación del movimiento anual, tomando como ejemplo la constelación Cruz del Sur y las estrellas alfa y beta de la de Centauro a comienzos de las cuatro estaciones (marzo = otoño; junio = invierno; septiembre = primavera; diciembre = verano). La representación es válida aproximadamente para los 40° de latitud sur. Los conceptos de "principio", "mitad" y "final" corresponden al transcurso del fenómeno en el cielo nocturno.

Recordar que la Tierra rota, haciendo girar a la esfera celeste una vez en un día y una noche, el instante de observación afectará la posición de las estrellas en el cielo. En 24 horas la Tierra gira 360°; con cada hora que transcurre, la Tierra ha girado 15° hacia el Este, y las estrellas parecerán haber avanzado 15° hacia el Oeste. Además, por cada 15 días que pasan, la Tierra ha realizado 15° de su órbita alrededor del Sol. Por lo tanto, si se observa el cielo a una cierta hora en una fecha determinada, se tendrá que observar una hora antes si la realiza de nuevo y desea observar la misma vista.

Figura 2



¿Cuántas constelaciones hay en toda la esfera celeste? Tantas como nuestra imaginación pudiera crear. Pero, en 1930 la Unión Astronómica Internacional (IAU), una sociedad de astrónomos profesionales estableció 88 constelaciones que se reconocen en la actualidad.

Todas las estrellas visibles a ojo desnudo tienen un nombre y algunas tienen un nombre propio como Aldebarán, Betelgeuse, Rigel, etc.. El sistema empleado para dar nombres a las estrellas se remonta a 1603. Johann Bayer, un astrónomo alemán, asignó una letra griega a cada estrella y el nombre latino de la constelación a la que pertenece. Las estrellas de una constelación determinada tienen su letra griega en función de su brillo. La más brillante es la Alfa, y las otras son clasificadas en orden decreciente de brillo. La Beta es la segunda estrella más brillante de la constelación, la tercera es la Gamma, y así sucesivamente. Con esta nomenclatura, la estrella más brillante de la constelación Cruz del Sur es Alfa Crux, la segunda es Beta Crux, etc. Este sistema continúa hasta que se acaban las estrellas de la constelación, o hasta que se acaba el alfabeto griego.

En la mayor parte de los casos, los astrónomos que utilizaban este sistema se quedaban sin letras del alfabeto mucho antes de quedarse sin estrellas. Cuando esto ocurría, las restantes estrellas se designaban con letras romanas (a, b, c, ..., z), hasta que éstas se terminaban.

En 1725 John Flamsteed asignó a cada estrella un número ordinario. Estos números de Flamsteed comienzan en el extremo Oeste de la constelación y sigue en dirección Este. Hoy en día los astrónomos designan muchas estrellas poco brillantes por su número de Flamsteed y el genitivo del nombre del nombre de la constelación, como 70 Ophiuchi, 61 Cygni o 7 Tauri.

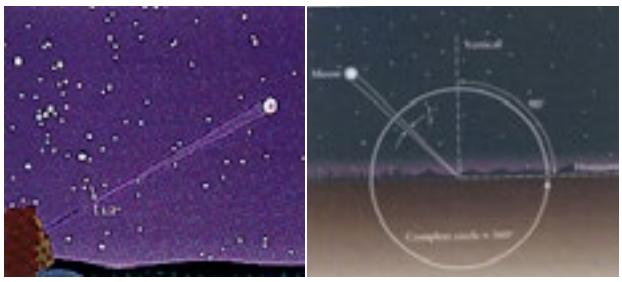
Cuando se observa el cielo nocturno, se descubre que las estrellas no tienen el mismo brillo. El brillo de una estrella se mide en una escala denominada **magnitud estelar**. En esta escala, cuanto mayor es el número menos brillante es la estrella. La magnitud estelar que empleamos hoy fue ideada por el astrónomo griego Hiparco de Rhodas, en el año 135 a.C. Hoy se ha mejorado mucho la magnitud estelar de Hiparco. Los astrónomos también han asignado una magnitud a los dos objetos más brillantes de nuestro cielo: el Sol y la Luna.

Con frecuencia se desea indicar una estrella en particular u otro objeto celeste, y señalarla con un dedo es muy inexacto. La manera más simple de especificar la posición de una estrella es dar su **distancia angular** respecto a otro objeto en el cielo cuya ubicación se conoce, como otra estrella o el horizonte; o el **tamaño angular** de un planeta o satélite. Esta distancia o separación se refiere a la distancia sobre la superficie imaginaria de la esfera celeste y no a la distancia real entre las estrellas. Un método aproximado es usar la mano humana, con el brazo extendido hacia el cielo, como se indica en la *figura 3*.

Usando equipo más sofisticado, se pueden medir tamaños angulares del orden de una fracción de segundo de arco. El tamaño angular no es el tamaño real. Por ejemplo, el ángulo del diámetro de la Luna llena es aproximadamente ½° (ver *figura 4*). Se dice que el diámetro angular (o tamaño angular) de la Luna es ½°, o alternativamente, la Luna subtiende un ángulo de ½°.

Figura 3

Figura 4



El tamaño angular de la Luna

Para encontrar cómo están relacionados el tamaño verdadero, la distancia al objeto y el tamaño angular, en la *figura 5* se ha dibujado, alrededor del observador, una circunferencia de radio R igual a la distancia al objeto desde el observador. De la figura se puede plantear la siguiente proporción simple: El tamaño angular de la persona (en grados) es a la altura de la persona (A) como el ángulo completo de la circunferencia (360°) al perímetro de la circunferencia 2 π R.

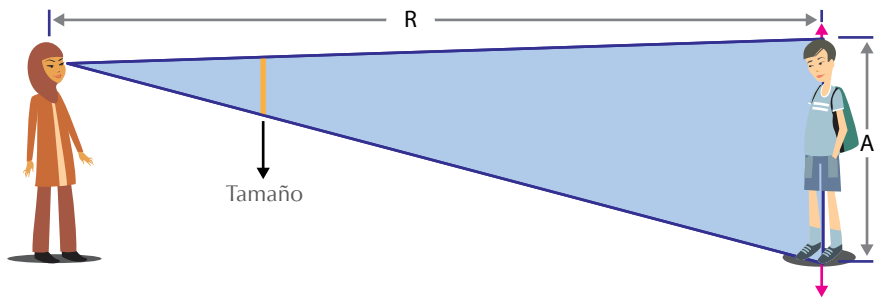
Esta relación se emplea cuando se desea determinar el tamaño angular de un objeto celeste en grados. Tamaño angular = α. Muy similarmente, se emplea la relación que se presenta a continuación cuando se quiere calcular en segundos de arco.

La *figura 6* muestra también cómo el tamaño angular α de un objeto está relacionado con su tamaño lineal. El esquema a muestra que para un tamaño angular dado, el más distante es el objeto, mayor es su tamaño real.

El esquema **b** muestra que para un tamaño lineal dado, el tamaño angular disminuye. Esto se puede explicar porque, por ejemplo, un automóvil se ve más pequeño a medida que se mueva más lejos del observador. Se puede expresar matemáticamente en una fórmula denominada **fórmula del tamaño angular**. Suponer que un objeto subtiende un ángulo $\boldsymbol{\alpha}$ y está a una distancia **d** del observador, como en el esquema **c** de la figura. Si el ángulo $\boldsymbol{\alpha}$ es pequeño, como ocurre casi siempre para los objetos del cielo, la fórmula del tamaño angular expresa que el tamaño lineal **D** del objeto está dado por la siguiente expresión:

$$D = \frac{\alpha\ d}{206265} \quad \text{o} \quad \alpha = \frac{360°}{2\,\pi}\,\frac{D}{d}$$

Figura 5



En símbolos:

Observador

$$\frac{\textit{Tamaño angular}}{A} = \frac{360°}{2\,\pi\,R}$$

Despejando para el tamaño angular, se tiene:

$$\text{Tamaño angular} = \frac{360°\,A}{2\,\pi\,R} = 57{,}3°\,\frac{A}{R}$$

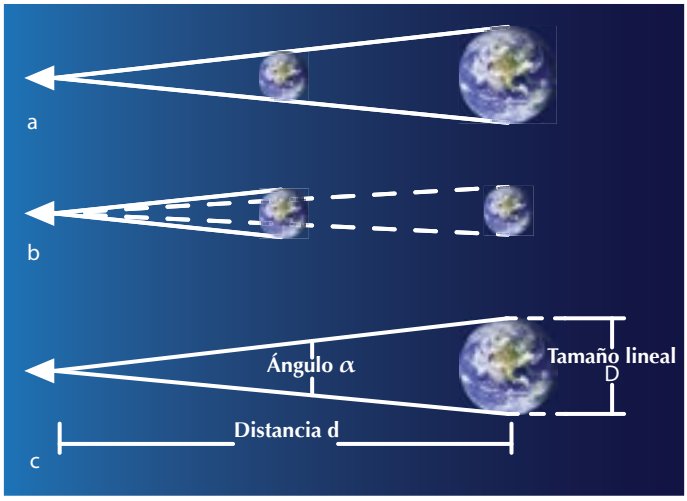
En otros términos,

$$\text{Tamaño angular} = 57{,}3°\,\frac{\textit{Tamaño real del objeto}}{\textit{Distancia}}$$

Ejemplo:

$$\text{Tamaño angular de la luna} = 57{,}3°\,\frac{3476\ km.}{384000\ km.} = 0{,}52°$$

Figura 6



D = tamaño lineal del objeto celeste.

$\boldsymbol{\alpha}$ = tamaño angular del objeto, en segundos de arco.*

d = distancia al objeto.

* Aquí, en la primera expresión el ángulo α está expresado en segundos de arco y en la segunda en grados.

Óptica y Telescopios

Una de las aplicaciones más importantes de la Óptica Geométrica es el diseño de instrumentos ópticos, empleando las propiedades de los espejos y de las lentes. Aquí se inicia el estudio de los instrumentos ópticos con una breve reseña de las leyes de la Óptica Geométrica. Haciendo uso de lo analizado en Óptica se mostrará, mediante trazados de rayos, lo que sucede cuando haces de luz inciden sobre lentes de tipos diferentes. El estudiante debe recordar lo que se ha estudiado previamente en otras asignaturas y/o estudiarlo en el contexto de ésta. Finalmente, entre otros instrumentos ópticos se analizan algunos tipos de telescopios.

Leyes de la Óptica Geométrica

1. La luz se propaga en línea recta.

2. Los rayos incidente, reflejado, refractado y la normal se encuentran en un mismo plano.

3. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

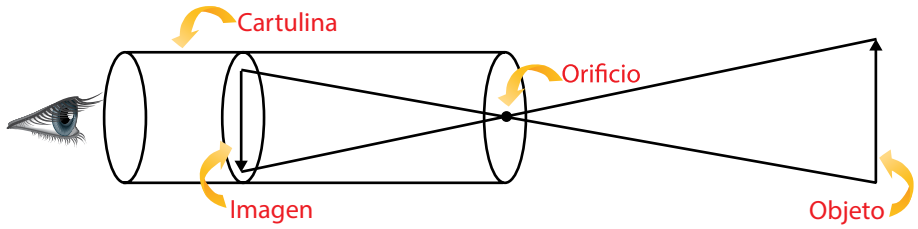
4. Ley de Snell:

$$\frac{sen\varphi_i}{sen\varphi_r} = constante$$

5. Reversibilidad.

¿Qué trayectoria sigue la luz que viaja desde un punto a otro, en un mismo medio de propagación? Los efectos de **formación de sombras** se explican mediante la propagación rectilínea de la luz. A nivel astronómico, los fenómenos más espectaculares de formación de sombras lo constituyen los **eclipses**, tanto de Luna como de Sol, que ya se estudiaron. En la **cámara de orificio** también la propiedad de la luz que se verifica es la de su propagación rectilínea, como se muestra en la *figura 1*.

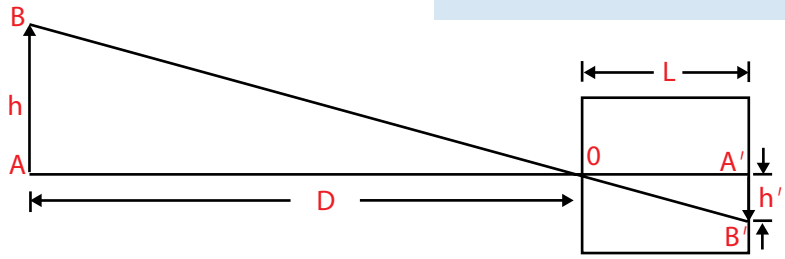
Figura 1



En las actividades de esta asignatura se plantea construir una cámara de orificio con un tarro y su respectiva aplicación a la Astronomía. Uno de los parámetros es el ángulo de visión de una cámara de orificio el que depende del tamaño de la pantalla, papel fotográfico o película, y de la distancia de ésta al orificio. ¿Cuál es el ángulo de visión, aproximado, de su cámara de orificio? ¿Qué relación existe entre el tamaño del objeto y el tamaño de la imagen en una cámara de orificio? En la *figura 2* se ha esquematizado una cámara de orificio en que L representa la longitud de la cámara, h y h' los tamaños del objeto y la imagen, respectivamente, y D la distancia del orificio al objeto. Se puede demostrar, mediante semejanza entre los triángulos AOB y A'OB', que se cumple la siguiente relación:

Figura 2

$$\frac{h'}{h} = \frac{L}{D}$$



Como una actividad complementaria a las planteadas sobre la cámara de orificio, se puede construir una cámara de orificio grande con una caja de cartón de dimensiones 75 x 60 x 43 cm, aproximadamente. El orificio se practica en una tapa de tarro, con un alfiler o aguja, la cual se pega herméticamente a una ventana de la caja. Pintar la parte interna de la caja con pintura negra de pizarrón. Colocar en el interior de la caja una pantalla de papel diamante pegada en un marco de listones. Colocar un trozo de tela oscura en el extremo por el cual se observa. La figura 3 muestra la cámara grande de orificio terminada y en funcionamiento.

¿Es posible aislar un rayo de luz? ¿Cómo se puede intentar experimentalmente aislar un rayo de luz? Los rayos de luz no tienen existencia física, son líneas geométricas, abstracciones matemáticas para describir, aproximadamente, el comportamiento de la luz en diversos fenómenos naturales y en muchas aplicaciones prácticas.

Las fuentes luminosas como las estrellas, ampolletas, llamas, irradian energía hacia otros cuerpos, los que al ser iluminados se hacen visibles reflejando luz. A nivel astronómico, el ejemplo más regular es la Luna, que no es un objeto celeste luminoso, sino que refleja la luz proveniente del Sol, la estrellas del sistema solar.

Reflexión.

¿Cómo es la geometría de la reflexión de la luz? ¿Cuál es la relación matemática para la ley de la reflexión? ¿Cómo explica la reflexión especular y la reflexión difusa?

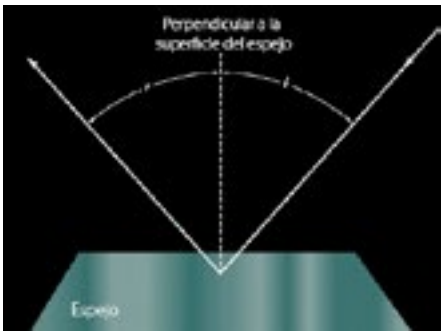
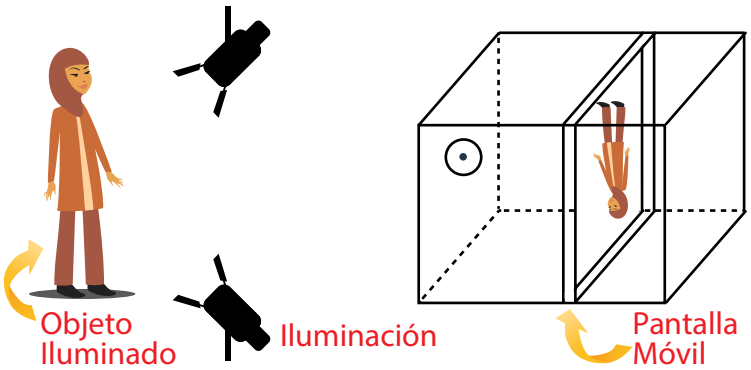
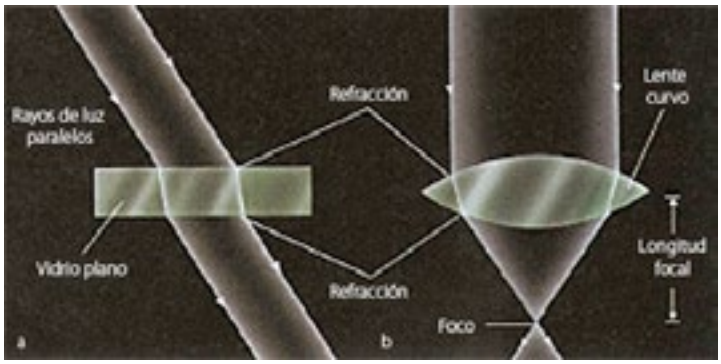


Figura 3



Refracción.

¿Cuál es la geometría para la refracción de la luz? ¿Qué es un medio óptico? Esperamos que con estas preguntas y su trabajo en clase recuerde las principales propiedades de la refracción de la luz, y la refracción que se origina en medios de vidrios planos y curvados como se ilustra en las figuras (a) y (b) siguientes.



(a) Rayos de luz entran a un cuerpo de vidrio de caras plano paralelas y son refractados en un ángulo más cerca de la perpendicular a la superficie que el ángulo con que entró al vidrio. Cuando la luz sale del cuerpo de vidrio, la luz de nuevo es desviada alejándose de la perpendicular y en la misma dirección original. (b) Cuando el cuerpo de vidrio es curvado para formar una lente convexa, los rayos de luz paralelos convergen en un **foco**. La distancia desde la lente al foco es la **distancia focal** de la lente.

La **refracción atmosférica** origina el continuo curvamiento de la luz de las estrellas y otros objetos celestes, especialmente cuando las estrellas están localizadas cerca del horizonte, debido a la densidad variable de la atmósfera de la Tierra.

Reversibilidad.

¿Cómo es posible mostrar esta ley de la Óptica?

FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES y ESPEJOS

Una **lente convergente** es un medio transparente limitado por dos superficies esféricas tal que su grosor en el centro es mayor que en los bordes. Si un haz de luz incide sobre la lente en forma paralela y próxima a su **eje óptico** *(figura 4)*, el haz converge en un punto llamado **foco F.** La distancia entre el centro de la lente y el foco F se denomina **distancia focal f**.

Ahora, si se coloca una fuente aproximadamente puntual, como una lámpara pequeña, en el foco de la lente, emerge de ella un haz de luz paralelo *(Figura 5)*. La *figura 6* representa una **lente divergente** en la cual un haz de rayos paralelos que incide sobre la lente diverge después de la refracción. Su distancia focal es negativa.

La *figura 7* ilustra un haz de luz paralelo incidiendo sobre un **espejo esférico**. La luz se refleja sobre la superficie del espejo y converge a un punto llamado **foco F**. La distancia entre el vértice del espejo y el foco F se denomina **distancia focal f del espejo.**

En la *figura 8* se muestra la trayectoria de tres rayos que salen de un punto del objeto de **tamaño h**. El tamaño de la imagen producida por la lente es **h'** y las distancias objeto-foco e imagen-foco son **x** y **x'**, respectivamente. La distancia objeto – lente se designa por el símbolo **s** (se denomina distancia objeto); y la distancia imagen – lente se designa por el símbolo **s'** (se denomina distancia imagen).

Figura 4

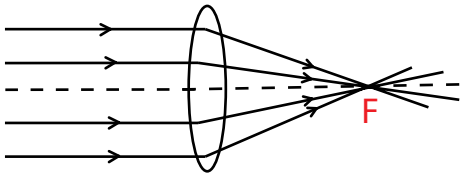


Figura 5

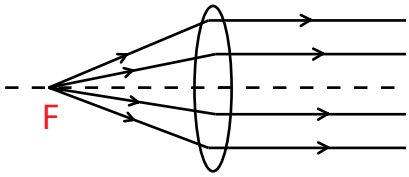


Figura 6

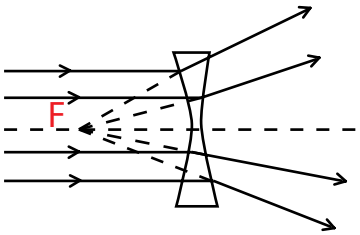


Figura 7

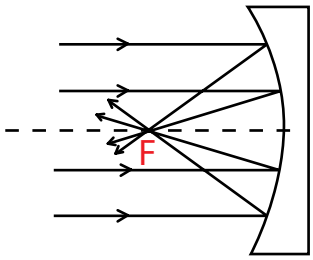
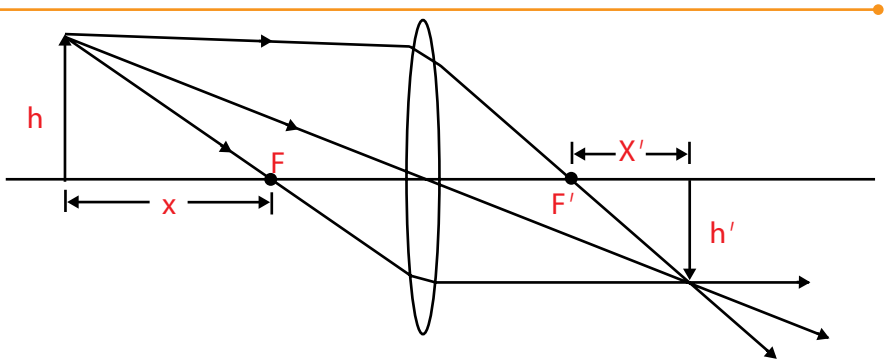


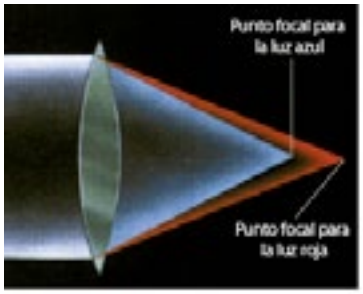
Figura 8

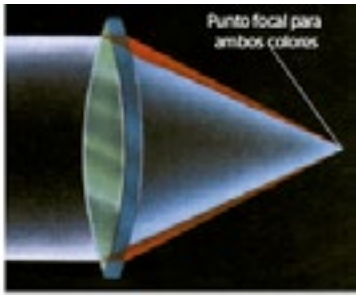


La aberración cromática.

La aberración cromática se origina al atravesar la luz blanca un medio óptico como una lente, y los distintos colores de que está compuesta la luz, se dispersan en ángulos diferentes. En la *figura 9* (a) se ilustra este efecto con dos colores del espectro. Se corrige esta aberración uniendo dos lentes en un doblete, como se muestra en la *figura 9* (b).

Figura 9





En la *figura 10* se ilustra un tipo de aberración de los espejos, denominado **aberración esférica**, que se origina en los espejos esféricos como se ilustra en la figura 10 (a). En (b) y (c) se representan dos posibles soluciones al problema de la aberración esférica para telescopios: un telescopio con espejo parabólico (reflector newtoniano) y un telescopio con espejo esférico y una lente correctora (telescopio catadióptrico).

TELESCOPIOS

Existen diversos tipos de telescopios. Una primera clasificación es la de **telescopios refractores, reflectores y catadióptricos**. En los refractores la luz atraviesa lentes hasta llegar al ojo, y en los reflectores la luz es reflejada en un espejo cóncavo (parabólico o esférico) y enviada hacia una lente, o un conjunto de lentes, que recibe el nombre de ocular. Los catadióptricos consisten en una combinación de una lente correctora y un espejo esférico. Veamos algunas características de ellos.

Entre los telescopios refractores, el más simple es el **telescopio de Galileo** que consiste en una lente convergente como objetivo y una lente divergente como ocular. La figura 12 muestra un esquema del telescopio o anteojo de Galileo y el trazado de rayos correspondiente.

El **aumento angular** dado por este telescopio está definido por:

$$V = \frac{f_{objetivo}}{f_{ocular}}$$

Figura 10

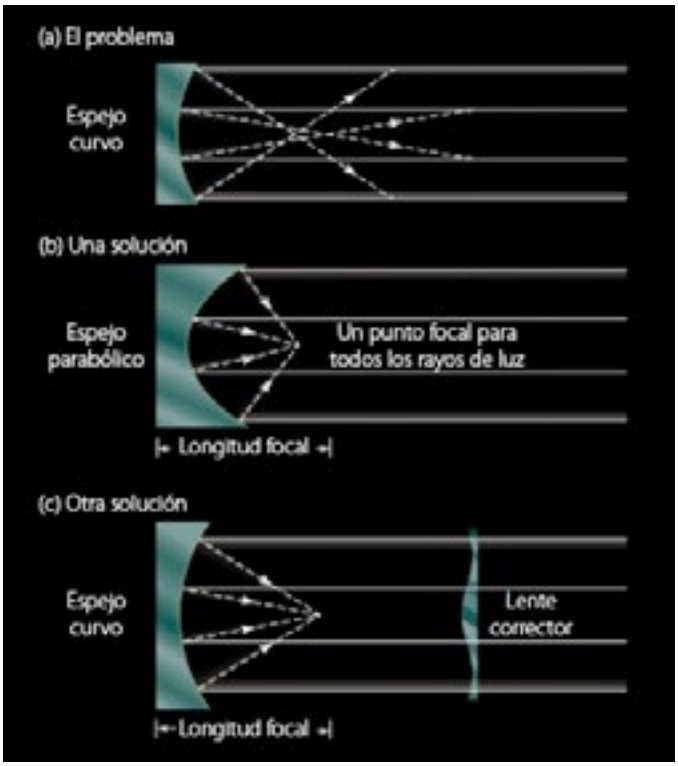
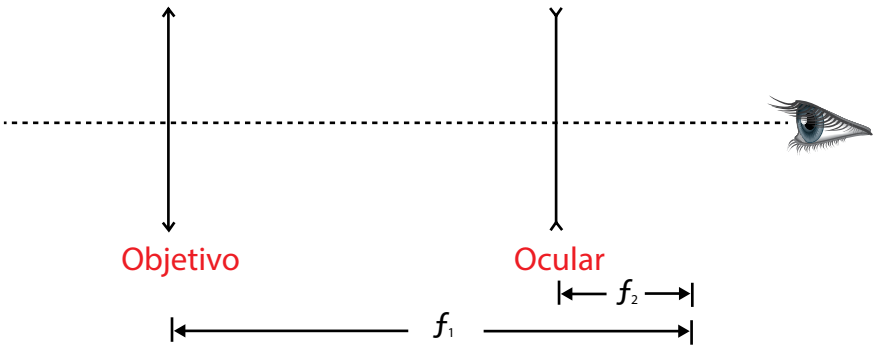


Figura 12



Notar en la figura que la distancia focal del objetivo (lente convergente) debe ser mayor que la distancia focal del ocular. ¿Por qué? ¿Cómo es la imagen final obtenida con este telescopio7 ¿El invertida o derecha? ¿Mayor o menor que el objeto?

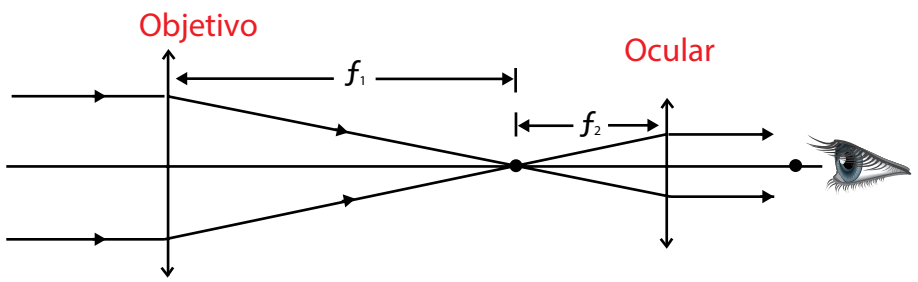
Telescopio refractor Kepler. En su forma más simple consiste en un sistema centrado constituido por dos lentes convergentes, colocadas en un tubo pintado de negro internamente.

El objetivo tiene una gran distancia focal: de algunos 50 centímetros en los telescopios pequeños hasta varios metros en los grandes. La distancia focal del ocular es del orden de algunos centímetros.

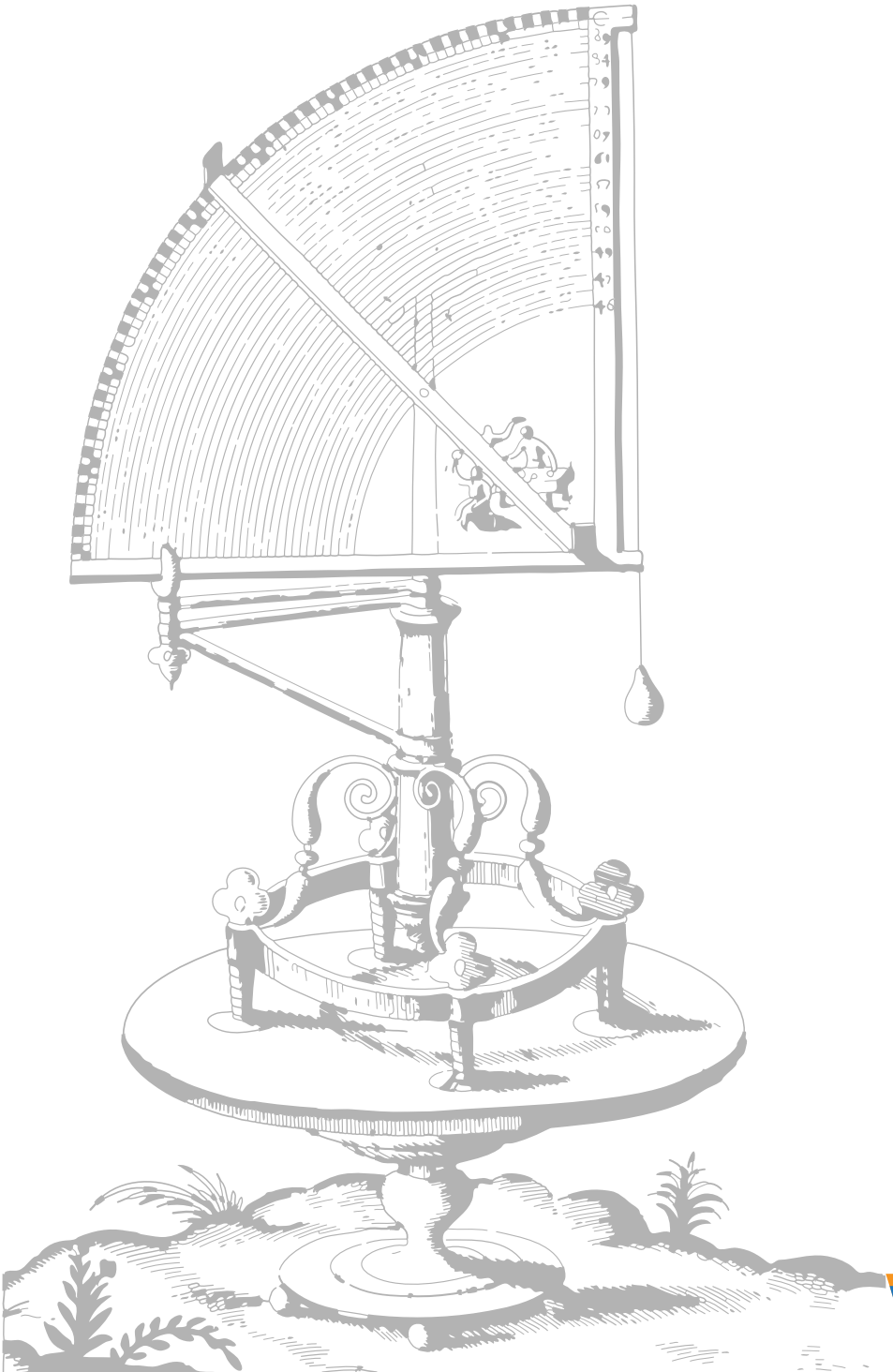
Como el objeto está muy alejado, el objetivo forma una imagen prácticamente en su plano focal, siendo esta imagen real, invertida y menor. La *figura 13* muestra un esquema del telescopio de Kepler y el trazado de rayos correspondiente. El aumento angular está dado por:

$$V = \frac{f_1}{f_2} = -\frac{f_{\text{objetivo}}}{f_{\text{ocular}}}$$

Figura 13



¿Cómo es la imagen final obtenida mediante este telescopio? ¿Real o virtual? ¿Mayor o menor que el objeto?



Instrucciones y Montaje Del Galileoscopio

El Galileoscopio es un telescopio con el que podemos explorar el cielo nocturno, ver los cráteres de la Luna, los anillos de Saturno, las cuatro lunas mayores de Júpiter, cúmulos de estrellas, estrellas dobles, además de una gran variedad de objetos astronómicos.

Al principio la observación astronómica nos resultará un poco difícil, pero a medida que practiquemos iremos mejorando. Localizaremos los objetos más fácilmente en la noche estrellada, e incluso aprenderemos a encontrar objetos que no son visibles a simple vista. Además, con la experiencia, cada vez notaremos más detalles en los objetos que observamos.

En esta guía se explica cómo y qué observar con el Galileoscopio. Se hace hincapié en la observación de la Luna, las fases de Venus, las cuatro lunas Galileanas de Júpiter y los anillos de Saturno. Estos son los cuatro objetos celestes que Galileo observó hace 400 años y que llevaron a una revolución en la comprensión del Universo.

Para empezar, abrir las tapas de la caja exterior para descubrir una caja interior. Debajo de una de las tapas, pero no de la otra, encontrara dos agujeros, como se muestra en la imagen a la derecha. Coloque un dedo y un pulgar en los agujeros y estire de la caja interior para extraerla.

Las piezas se encuentran empaquetadas en varios niveles. Primero vera una hoja con las instrucciones de montaje y una pequeña bolsa de plástico que contiene una pegatina, una tuerca de metal y cuatro anillos de goma. Extráigalos y ubíquelos sobre la mesa de trabajo. Después levante el primer nivel de cartón y póngalo a un lado. Ahora vera la caja así:

Observe que el tubo de en medio de la caja contiene una bolsa de plástico en su interior, que contiene múltiples capas de espuma blanca. Vera que se separa en dos bloques: uno grueso y pesado y otro fino y ligero. El bloque grueso y pesado contiene una lente redonda envuelta en papel de seda. El bloque fino y ligero está protegido por dos piezas de cinta transparente. Con cuidado corte o extraiga una de las piezas de cinta para que una de las capas de espuma se despliegue y se separe de las otras. Dentro vera seis pequeñas lentes anidadas debajo de una hoja de papel de seda. Coloque ambos bloques de espuma conteniendo las lentes al lado de las otras piezas en la mesa.

Seguidamente, levante la capa intermedia de cartón y las partes incluidas en ella, pero sin extraer las piezas del cartón Coloque el cartón con las piezas sobre la mesa.

En el fondo de la caja vera una hoja de papel de seda grande. Extráigala y encontrará las dos últimas piezas – largos tubos de plástico etiquetados A en la siguiente foto. Extráigalos de la caja y colóquelos en la mesa junto a las otras piezas. En este momento deberá tener la siguiente disposición:

Lista de las piezas (por orden de montaje)

A - Mitades del tubo principal - del telescopio (2).
B - Bases/pies (bloques en V) (2).
C - Lentes de vidrio de 50-mm.
D - Tuerca para trípode 1/4-20.
E - Mitades del tubo de enfoque (2).
F - Anillo de tubo principal.
G - Anillos de goma pequeños (2).
H - Pegatina de atención al Sol.
I - Capuchón grande para proteger la lente del sol/roció oculares.
J - Anillos de goma grandes (2).
K - Mitades del tubo ocular principal (2).
L - Mitades del tubo ocular auxiliar (2).
M - Lentes oculares principales pequeñas (4).
N - Tope ocular fino y pequeño.
O - Anillo ocular grande.
P - Anillos oculares pequeños (2).
Q - Lentes oculares auxiliares pequeñas (2).
R - Tubo para lentes Barlow.
S - Capuchón auxiliar.

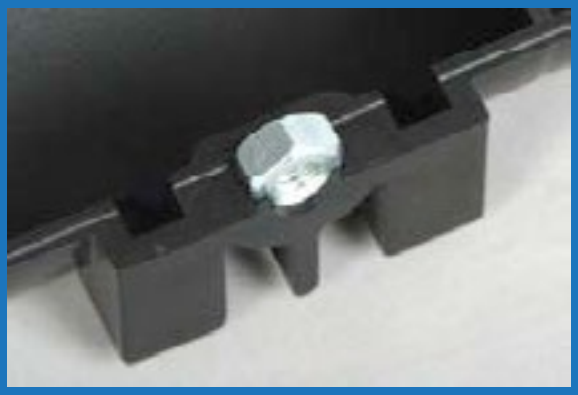
· Paso 1

Coloque una de las mitades del tubo principal del telescopio (A) sobre la mesa o bien sobre las bases (B). Examine las lentes de 50-mm de diámetro (C); sujete las lentes únicamente de los bordes, preferiblemente usando una pieza de tela o el papel de seda con el que van envueltas. Note que el objetivo son dos lentes unidas. Una de las lentes es más fina y la otra es más gruesa.

Inserte las lentes en el surco de la parte delantera (ancha) de la mitad principal del telescopio de forma que la lente más fina quede fuera del telescopio, como se muestra a la izquierda.

· Paso 2

Inserte la tuerca 1/4-20 (D) en el hueco del centro de la mitad principal del tubo. Para colocar la rosca de forma segura, oriéntela como se muestra a la derecha, con una de sus esquinas (no una de sus partes planas) apuntando hacia arriba.



· Paso 3

Coloque las dos mitades del tubo de enfoque (E) sobre la mesa, orientadas con su interior hacia arriba. Note que la parte interior de uno de los extremos de cada tubo es rugoso mientras que el otro es suave (en una mitad del tubo, el extremo suave tiene dos cortes en forma de U; puede verse en la foto de la izquierda), oriente las mitades de forma que los extremos suaves queden del mismo lado, como se muestra en la figura a la izquierda.

· Paso 4

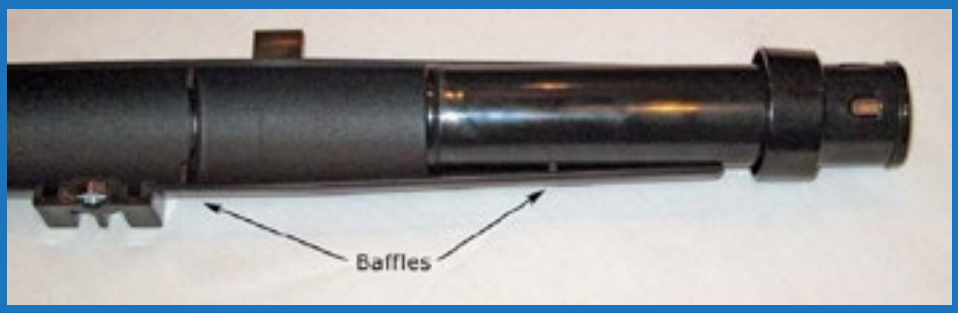
Junte las dos mitades del tubo de enfoque y sujételas. Deslice el anillo del tubo principal pequeño (F) sobre el tubo de enfoque con el extremo más ancho del anillo apuntando en dirección opuesta al extremo del tubo con los cortes en forma de U.

· Paso 5

Fije los dos extremos del tubo de enfoque con los dos anillos pequeños de goma (G), que se ajustan en los surcos alrededor de los extremos del tubo.

· Paso 6

Coloque el tubo de enfoque montado en el extremo (estrecho) posterior del tubo principal del telescopio que se encuentra sobre la mesa o sobre las bases. Como se muestra en la imagen de abajo, asegúrese de que el extremo del tubo de enfoque con los cortes en forma de U sobresalga del extremo (estrecho) posterior del tubo principal del telescopio, junto al anillo del tubo principal, y que el otro extremo del tubo de enfoque queda entre los dos baffles más cercanos al extremo estrecho del tubo principal del telescopio.



· Paso 7

Despegue la pegatina de atención al sol (H) y péguela en la segunda mitad del tubo principal del telescopio (A), a unos 25mm (1 pulgada) del extremo estrecho, como se muestra en la foto.

· Paso 8

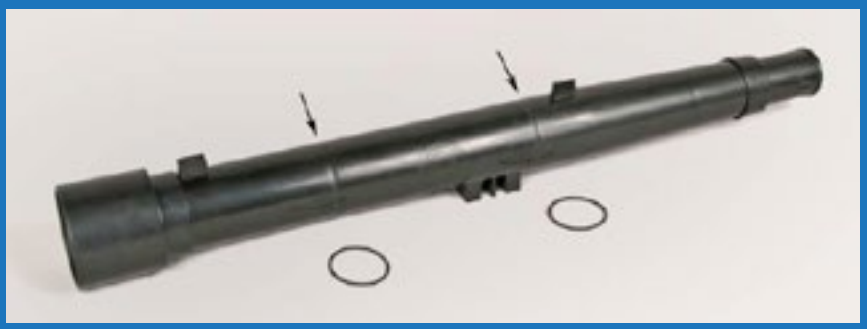
Coloque la segunda mitad del tubo principal sobre la primera mitad (el que ya se encuentra sobre la mesa o sobre las bases/pies en forma de V). Asegúrese de que la lente y la tuerca 1/4-20 del trípode encajan debidamente en las ranuras de la mitad superior del tubo.

· Paso 9

Fije las dos mitades del cuerpo deslizando el anillo pequeño del tubo principal (F) por la parte trasera y el capuchón para proteger la lente del sol/rocio (I) por la parte delantera. Ahora, su Galileoscope debería verse como este:

· Paso 10 (opcional)

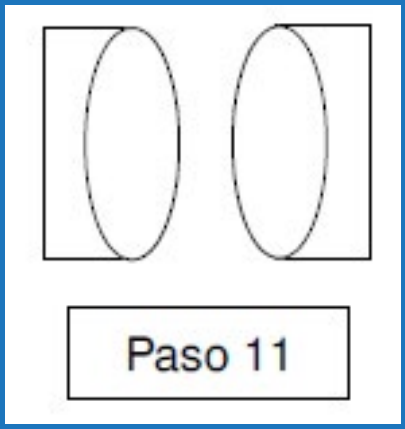
Coloque los dos anillos de goma grandes (J) alrededor del tubo principal del telescopio, en los canales provistos para este propósito (indicados por las flechas en la foto inmediatamente superior). Estos adherirán el Galileoscopio de forma más estable. Si desea hacer esto, primero extraiga el capuchón, luego repóngalo, y tenga cuidado de no romper los anillos de goma al estirarlos cuando los pase sobre los postes de observación en la parte superior del tubo.



Hay dos pares de oculares. La pareja ancha (K), con la apertura central mas grande, será el ocular principal con un aumento de 25x. La pareja delgada (L), con una apertura central mas pequeña, es para el ocular auxiliar. Este cumplirá dos tareas diferentes sobre las que se comentara más adelante en el texto.

· Paso 11

Examine los cuatro oculares (M), que son aproximadamente unos 14 mm (algo más de media pulgada) de diámetro. Como ya hemos comentado antes, le recomendamos que maneje las lentes con el papel de seda suministrado, tocando solo sus bordes, para prevenir impregnarlas de huellas dactilares. Dos de las lentes tienen una cara plana y la otra cóncava curvada hacia dentro. Las otras – dos lentes son convexas – curvadas hacia fuera – en ambos lados. Coja una lente de cada y colóquelas como se muestra a la derecha. Repítalo con los otros dos oculares.



· Paso 12

Coja una mitad del tubo ocular principal (K). Inserte los dos pares de lentes en las ranuras de tamaño apropiado del tubo. Asegúrese de que las caras planas de las lentes apuntan en direcciones opuestas (es decir, hacia los extremos del tubo ocular principal).

· Paso 13

Inserte el tope ocular pequeño y redondo (N) en la fina ranura del tubo que se encuentra en la mitad del tubo ocular principal. Ahora debería tener algo como lo que se muestra en la foto de la derecha.

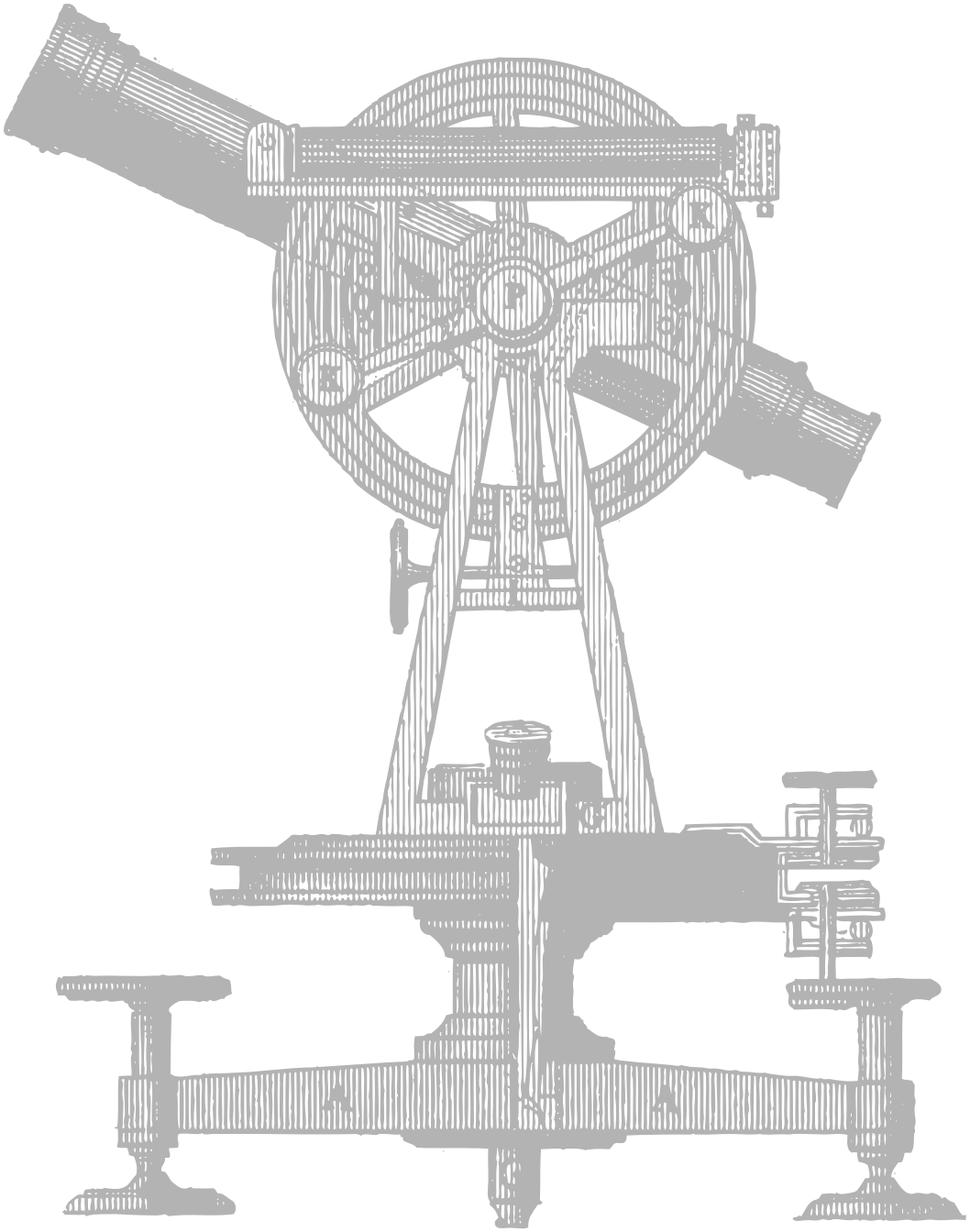
· Paso 14

Una la segunda mitad del tubo ocular principal (K) con la primera mitad (la que acaba de montar), teniendo cuidado de que las lentes y el tope ocular encajan en las ranuras apropiadas de la segunda mitad. Fije las dos mitades con el anillo ocular grande (O), que ha de colocarse en el lado más cercano a las lentes, y uno de los pequeños (P), que ha de colocarse en el otro extremo. Todas las piezas del ocular principal descritas en los pasos 11 a 14 se muestran a la izquierda.

· Paso 15

Inserte el ocular completamente en el tubo de enfoque, como se muestra en la siguiente secuencia de fotos:

Puede omitir el tope ocular fino y pequeño en el Paso 13. Omitir el tope producirá un ligero aumento del campo de visión. Pero la esquina quedara irregular y las partes mas externas de la imagen puede que no se vean definidas y enfocadas mientras que el resto de la imagen sí.



Actividades

En esta sección se propone una serie de actividades de observación con el Galileoscopio, las que pueden ser efectuadas en diversos lugares, ya que los objetos a observar inicialmente son bastante luminosos y son visibles en lugares poblados, en donde la contaminación lumínica afecta la cantidad de estrellas y objetos celestes.

Los objetos propuestos para observar son el planeta Júpiter y sus lunas, nuestro satélite natural Luna, el planeta Venus, entre otros.

Actividad 1
Observación de Júpiter

Nombre: _____

Colegio: _____

Curso: _____ **Edad:** _____

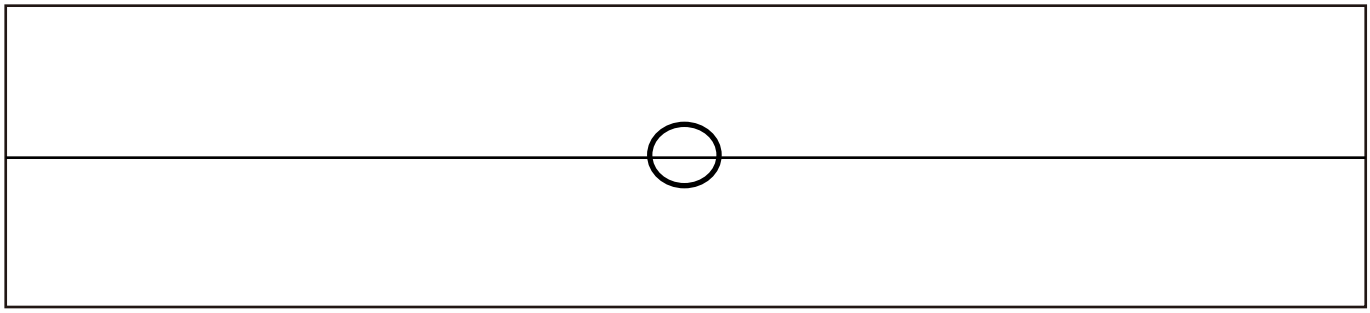
Copia del manuscrito dibujado por Galileo Galilei el 7 de enero de 1610

Primera Observación

Fecha/hora: _____ **Apertura telescopio:** _____

Lugar: _____ **Magnificación:** _____

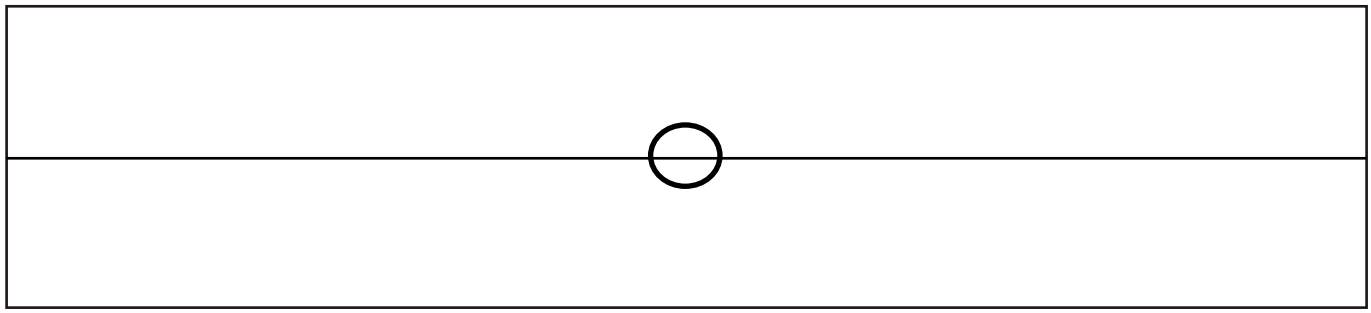
La magnificación de un telescopio se puede calcular de la siguiente forma:
distancia focal telescopio/distancia focal ocular



Segunda Observación

Fecha/hora: _____ **Apertura telescopio:** _____

Lugar: _____ **Magnificación:** _____



Tercera Observación

Fecha/hora: _____ **Apertura telescopio:** _____

Lugar: _____ **Magnificación:** _____

Cuarta Observación

Fecha/hora: _____ **Apertura telescopio:** _____

Lugar: _____ **Magnificación:** _____

Describe lo observado e indica algunas características particulares de tu trabajo.

Después de la observación

¿Qué son los puntos brillantes alrededor de Júpiter? Elabore su respuesta.
Una pista: prestar atención a las posiciones de los cuatro puntos luminosos cercanos a Júpiter durante las observaciones.

Observación en intervalos de 2 horas

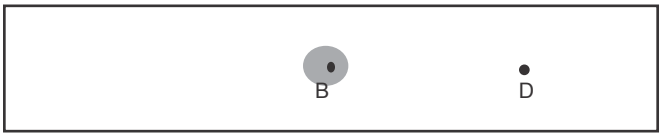
2 horas después

4 horas después

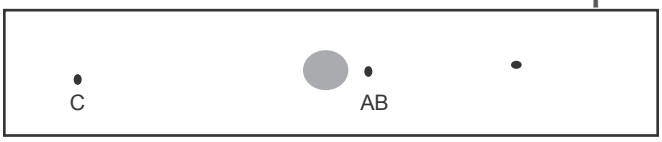
6 horas después

8 horas después

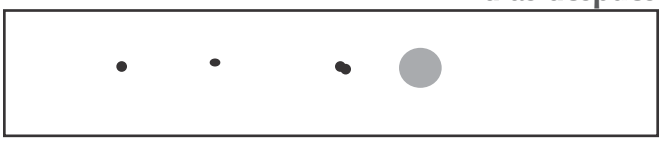
Observación con 1 día de intervalo



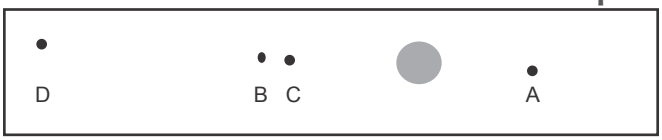
1 día después



2 días después



3 días después



4 días después

Actividad 2
Observación de la Luna

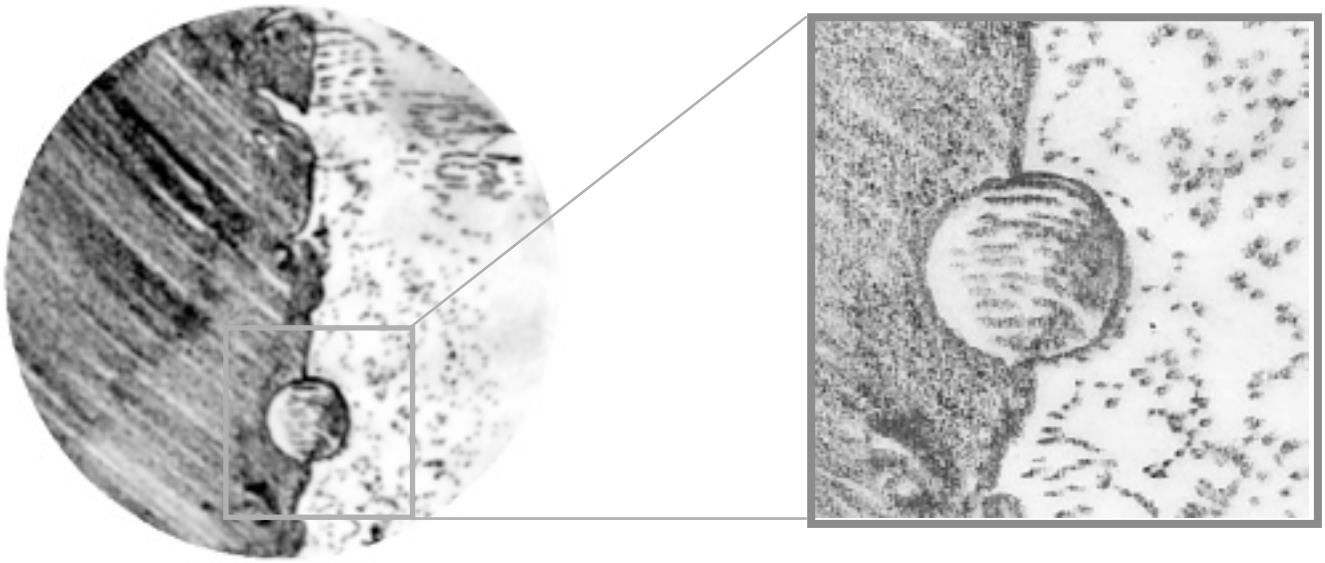
Nombre: _____

Colegio: _____

Curso: _____ **Edad:** _____

En esta actividad usted va a realizar observaciones de la Luna y describir lo visto mediante un esquema, y repetir la actividad en varios días.

Día 1: ejemplo Fecha Clima: despejado	Fecha: _____ Apertura telescopio: _____ Lugar observación: _____ Magnificación: _____



Día 2:
Clima:

Fecha: _____ Apertura telescopio: _____

Lugar observación: _____ Magnificación: _____

Día 3:
Clima:

Fecha: _____ Apertura telescopio: _____

Lugar observación: _____ Magnificación: _____

Describa lo que usted ha notado a través de la observación, ¿encontró algo peculiar?

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía General

Documentos y apuntes seleccionados durante el “Galileo Teacher Training Program”, realizado en la U. Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil y el intercambio de recursos y herramientas relacionados con la enseñanza y divulgación de la Astronomía con el grupo de astrónomos del National Astronomical Observatory de Japón, presentes en esta Conferencia.

Museo de Ciencia y Tecnología