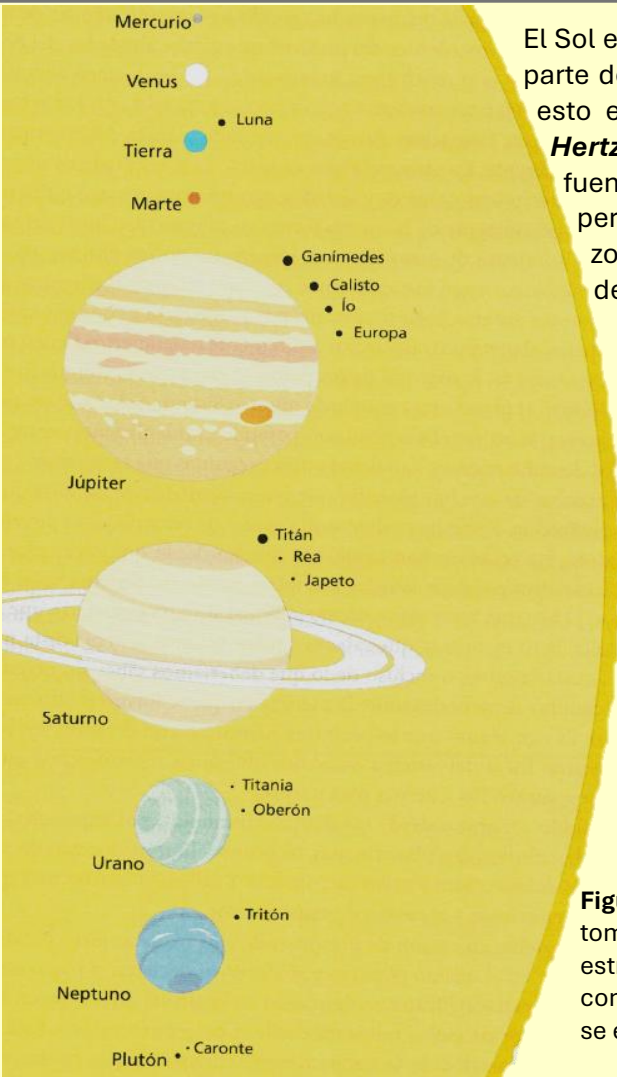


1. EL SOL. PERFIL Y COMPOSICIÓN.



El Sol es una estrella **enana amarilla** con más de 4600 millones de años. Forma parte del grupo de estrellas que se encuentra en la denominada fase principal, esto es, una forma de clasificación de las estrellas según el **diagrama de Hertzsprung-Russell** cuyo aspecto común es el consumo de hidrógeno como fuente principal de luz y calor (Figura 1.1). El Sol es una enorme esfera casi perfecta (1,4 millones de kilómetros de diámetro en el ecuador) situada en la zona central de nuestro sistema planetario que contiene 750 veces la masa de todos los planetas del Sistema Solar juntos (Figura 1.2).

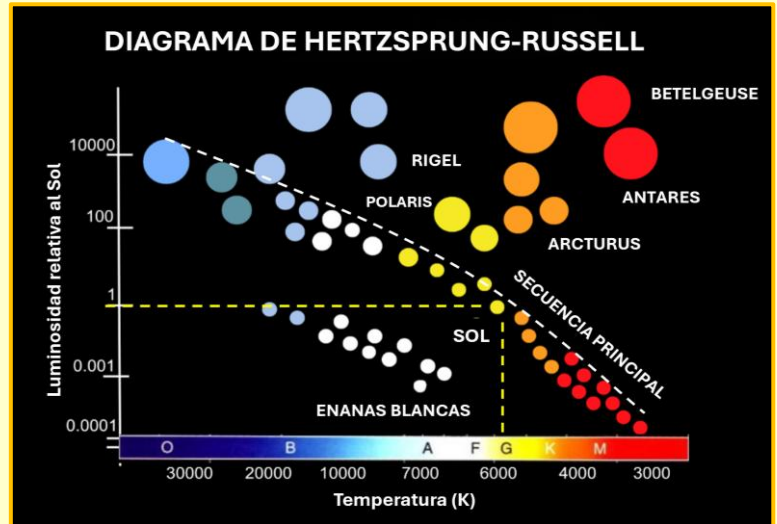
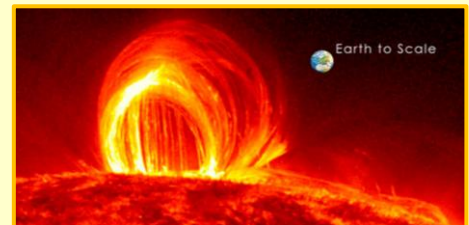
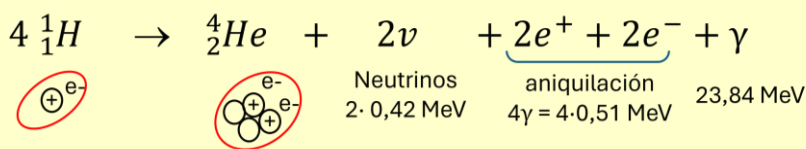


Figura 1.1 Clasificación de las estrellas en base a su temperatura y su luminosidad tomando esta última propiedad relativa al Sol (luminosidad Sol=1). El Sol es una estrella de tipo G que se encuentra en la fase principal (línea de trazo - - - - -) en comparación con las estrellas supergigantes rojas como Antares o Betelgeuse que se encuentran en su fase final fusionando núcleos atómicos más pesados.

Figura 1.2 El Sol representa alrededor del 99,86 % de la masa del Sistema Solar.

El Sol es una estrella de tipo G con una temperatura de 5500 °C en su superficie y 15 millones de °C en su núcleo. Es una esfera de **plasma de hidrógeno** muy caliente (gas ionizado de protones y electrones); cerca de las 3/4 de la masa del Sol está formada por este elemento (74 %); el resto es principalmente helio (24 %), con cantidades mucho más pequeñas de otros elementos (2 %) como oxígeno, carbono, nitrógeno... En su núcleo tiene lugar una reacción de **fusión nuclear** que se conoce como ciclo de *Critchfield* o **cadena protón-protón** cuyo proceso global se resume como la unión de cuatro átomos de hidrógeno, ${}^1_1\text{H}$, resultando un átomo de helio ${}^4_2\text{He}$, dos positrones (e^+), dos neutrinos (ν) y fotones de radiación gamma (γ) de altísima energía (**Esquema 1.1**). El positrón resultante se aniquila inmediatamente con un electrón del plasma y su masa se convierte en energía liberada a través de fotones gamma. La energía total liberada es de 26,72 MeV.



Esquema 1.1 Proceso de fusión nuclear en el interior del Sol donde el hidrógeno se transforma en helio proporcionando una energía total de 26,72 MeV (2 x 0,42 MeV + 4 x 0,51 MeV + 23,84 MeV). Esto es unos $6,4 \times 10^{14}$ J/Kg de hidrógeno consumido.

Se cree que casi todas las estrellas se formaron a partir del colapso gravitacional de la materia dentro de una región denominada gran nube molecular. La mayor parte de esta materia se acumuló en el centro, mientras que el resto se aplanó en un disco en órbita que se convirtió en el sistema solar. La masa central se volvió cada vez más densa y caliente, dando lugar con el tiempo al inicio de la fusión nuclear en su núcleo. El Sol es más o menos de edad intermedia y no ha cambiado drásticamente desde hace más de cuatro mil millones de años, y seguirá siendo bastante estable durante otros 5000 millones de años más. Sin embargo, después de que la fusión del hidrógeno en su núcleo se haya detenido, **el Sol se convertirá en una gigante roja**. Se estima que el Sol se volverá entonces lo suficientemente grande como para engullir las órbitas actuales de Mercurio, Venus y posiblemente la Tierra (**Figura 1.3**).

La Tierra y otros cuerpos (planetas, asteroides, meteoroides, cometas y polvo) orbitan alrededor del Sol. La distancia media del Sol a la Tierra fue definida exactamente por la **Unión Astronómica Internacional** en 149 597 870 700 metros (aproximadamente **150 millones de kilómetros= 1 UA**). Su luz recorre esta distancia en 8' 20".

La energía del Sol, en forma de luz solar, sustenta a casi todas las formas de vida en la Tierra a través de la fotosíntesis y determina el clima de la Tierra y la meteorología. Es la única estrella del sistema planetario en el que se encuentra la Tierra; por lo tanto, **es el astro con mayor brillo aparente** (luminosidad percibida desde la Tierra). Su visibilidad en el cielo local determina, respectivamente, el día y la noche en diferentes regiones de diferentes planetas. En la Tierra, la energía radiada por el Sol es aprovechada por los seres fotosintéticos que constituyen la base de la cadena trófica, siendo así la principal fuente de energía de la vida. También aporta la energía que mantiene

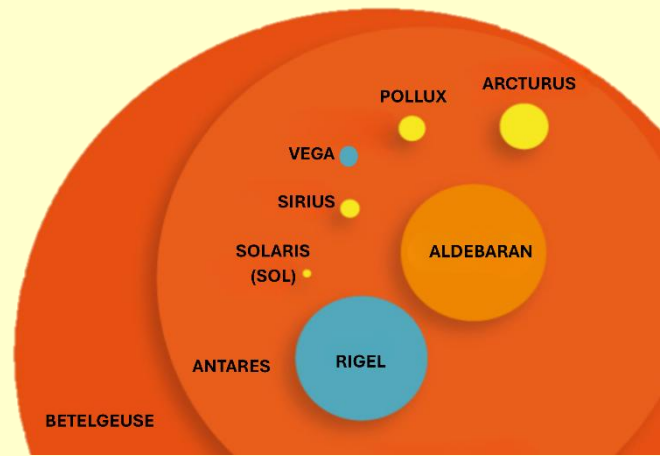


Figura 1.3 Comparación a escala de los tamaños de distintas estrellas en relación con el Sol (Solaris).

2. EL SOL. ESTRUCTURA INTERNA, SUPERFICIE Y ATMÓSFERA. ACTIVIDAD SOLAR.

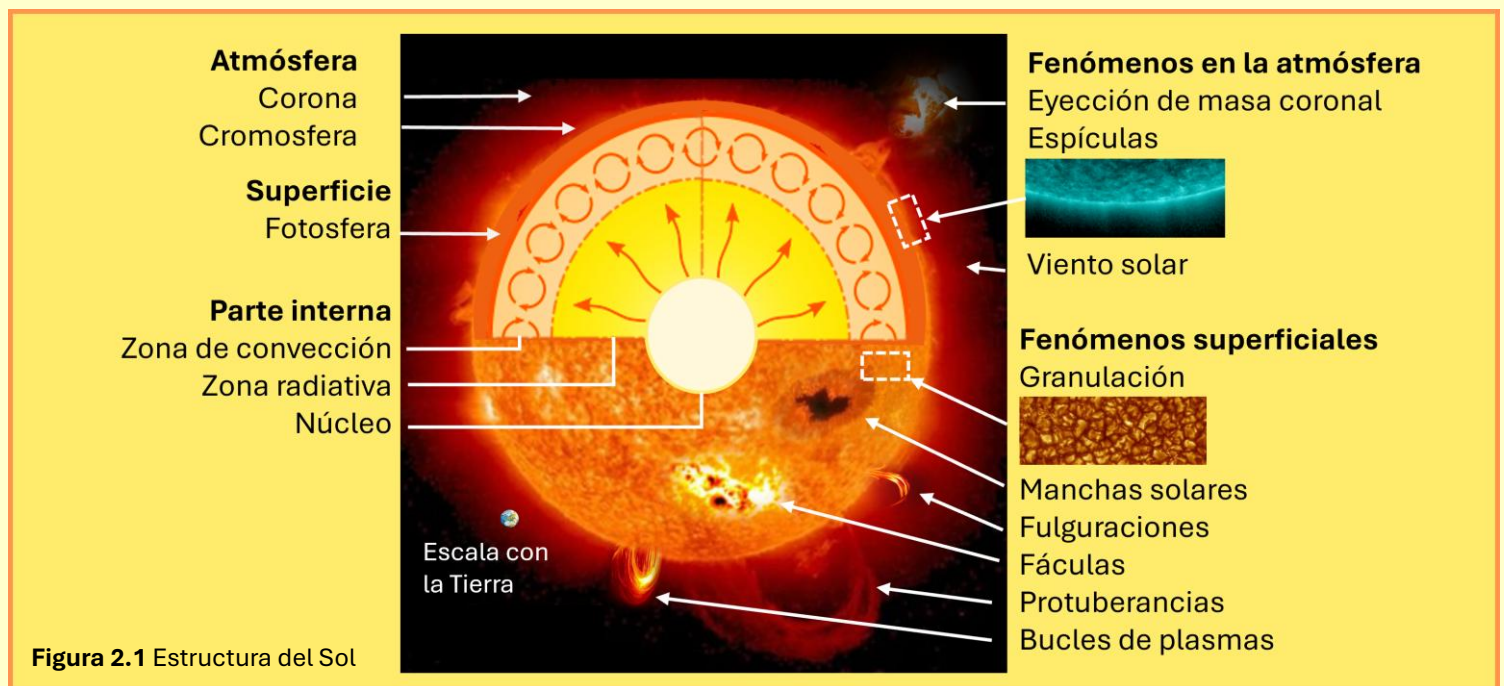


Figura 2.1 Estructura del Sol

La **estructura interna del Sol** consta de tres partes: núcleo, zona radiativa y zona de convección (**Figura 2.1**). En el **núcleo** (15 millones de °C), la fusión nuclear convierte los núcleos de los átomos de hidrógeno en núcleos de helio a razón de 600 millones de toneladas por segundo. Como subproducto de este proceso **se libera una gran cantidad de energía en forma de fotones de radiación gamma** y neutrinos. La radiación electromagnética sale del núcleo hacia una zona más externa, la **zona radiativa**. Dicha radiación tarda cerca de un millón de años en atravesar esta zona, ya que los fotones son continuamente absorbidos y reemitidos por los iones del plasma. En la siguiente capa, la energía emerge en una **zona convectiva**, una capa donde se producen enormes flujos de plasma caliente que se eleva y de plasma más frío que desciende, y se transfiere a la parte superficial del Sol.

La **superficie visible del Sol** se denomina **fotosfera**. Es una capa de gas ionizado de unos 100 Km de espesor y aspecto granulado o burbujeante. Cada grano o bulto corresponde con el moteado o **granulación** de la superficie solar debido a las células de convección. Otros rasgos característicos son las **manchas solares**, es decir, unas zonas más frías que se ven más oscuras y que tienen su causa en las alteraciones de los fuertes campos magnéticos (**ver Figura 2.2**).

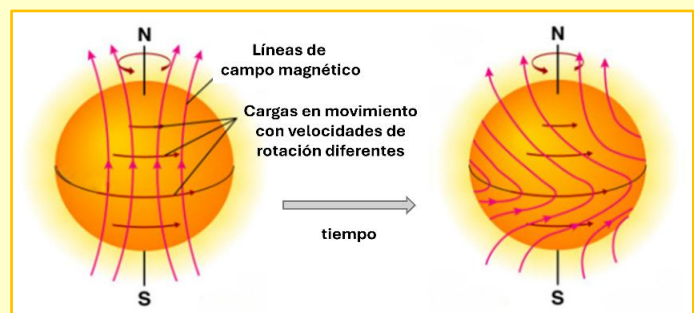


Figura 2.2 Alteraciones del campo magnético asociadas con el movimiento del plasma (gas ionizado) alrededor de su eje de rotación.

Las diferentes partes de la zona convectiva del Sol rotan a distintas velocidades (más rápido en el ecuador que en los polos) lo que provoca que las líneas de campo magnético se retuerzan y entremezclen con el paso del tiempo. Por un lado, si estas líneas salen a la superficie, se originan manchas solares, la cuáles suelen venir acompañadas de **fáculas** (regiones activas y brillantes), o bien de **fulguraciones** (tremendas explosiones en la superficie del Sol). En cambio, si las líneas retorcidas vuelven a entrar a la superficie forman los denominados **bucles de plasmas**.

En otras ocasiones también se observan **protuberancias**. Estas son densas nubes de gas que permanecen suspendidas sobre el Sol por los bucles de campo magnético durante días o incluso meses.

Finalmente se distingue la **capa atmosférica del Sol**, compuesta por la **cromosfera** y la **corona**. La primera, de color rojo anaranjado, contiene numerosas columnas de plasmas en forma de llama, denominadas **espículas** (lo que parece un campo de hierba ondulante). La capa exterior de la atmósfera del Sol, la corona, está formada de plasma. En esta región se producen las **eyecciones de masa coronal** que son enormes burbujas de plasma que se expulsan al exterior y pueden alterar el **viento solar**, esto es, una corriente de partículas (protones y electrones) que salen del Sol hacia el Sistema Solar, lo que provoca cambios en las **auroras boreales** de nuestra atmósfera terrestre.

3. EL SOL. LOCALIZACIÓN Y MOVIMIENTO.



El **Sol** es una de las más de 400.000 millones de estrellas que contiene la **Vía Láctea**, una galaxia en espiral que es relativamente grande. El Sol está situado a 27.000 años luz del centro de la galaxia (año luz= distancia recorrida por la luz en un año). El plano orbital de la Tierra alrededor del Sol (el **plano de la eclíptica**) está inclinado unos 60° con respecto al plano de la galaxia, conocido como **plano galáctico**.

El Sol posee dos movimientos: el de rotación que cumple sobre su mismo eje y el de traslación que realiza en torno a la galaxia. El Sol no es considerado un sólido rígido; su periodo de **rotación** en el ecuador es de 25 días terrestres, mientras que en los polos es de 34 días terrestres. En otras palabras, las distintas franjas de plasmas ionizado, paralelas al ecuador, se mueven a velocidades diferentes. El movimiento de **traslación** lo realiza a una velocidad de 800.000 km/h y tarda unos 225 millones de años en completar una revolución alrededor del centro galáctico.

En la parte central de la galaxia se ha identificado a **Sagitario A***, una fuente de radiación muy compacta y brillante en cuyo centro se encuentra un **agujero negro supermasivo**, al igual que se supone que sucede en los núcleos de la mayoría de las galaxias de tipo espiral y elíptica. La galaxia rota de manera diferencial: cuanto más cerca del centro estén los objetos, menos tardan en completar su órbita. Visto desde el polo norte celeste (aquí se encuentra la Estrella Polar, también conocida como Polaris) tiene un giro dextrógiro.

El Sol se encuentra situado a unos dos tercios del centro de la galaxia, en el **brazo de Orión**, situado entre el **brazo de Sagitario** y el **brazo de Perseo**. El centro de la galaxia se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario, y el borde exterior de la galaxia se encuentra en dirección opuesta, hacia la constelación de Géminis.

Asu vez, la Tierra gira alrededor del Sol en 365 días y 6 horas. Por esta razón, cada cuatro años ($6 \text{ h} \times 4 = 24 \text{ h}$) hay que agregar al calendario un día más, el 29 de febrero, también conocido como **año bisiesto**.

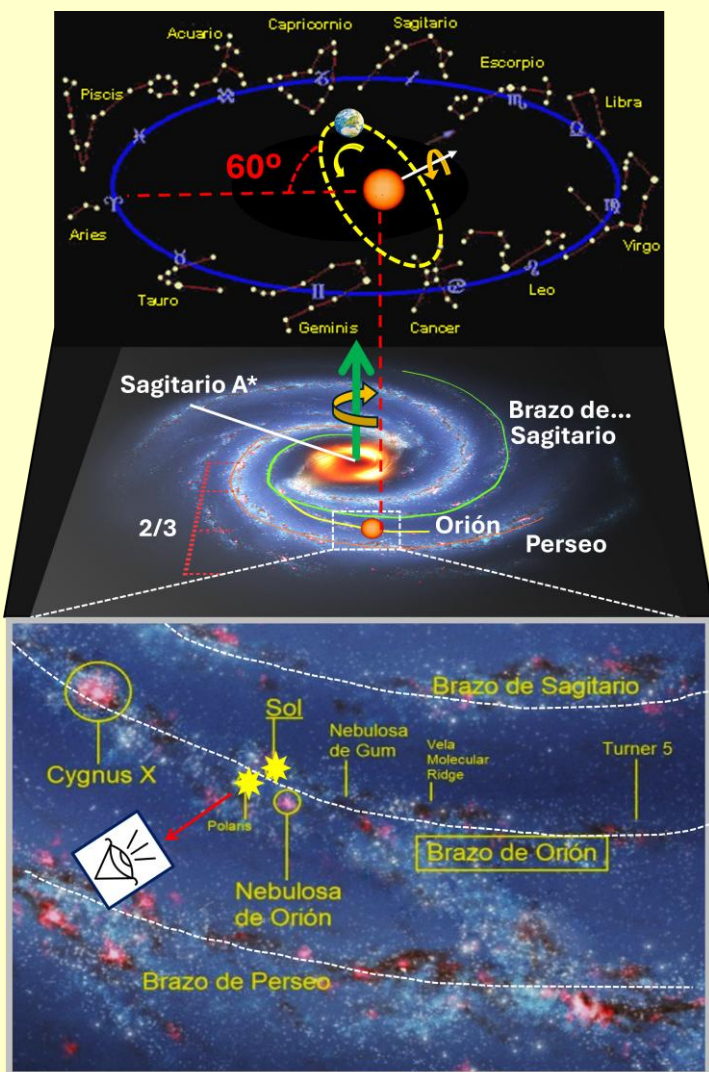


Figura 3.1 Perspectiva general del Sol en la Vía Láctea.

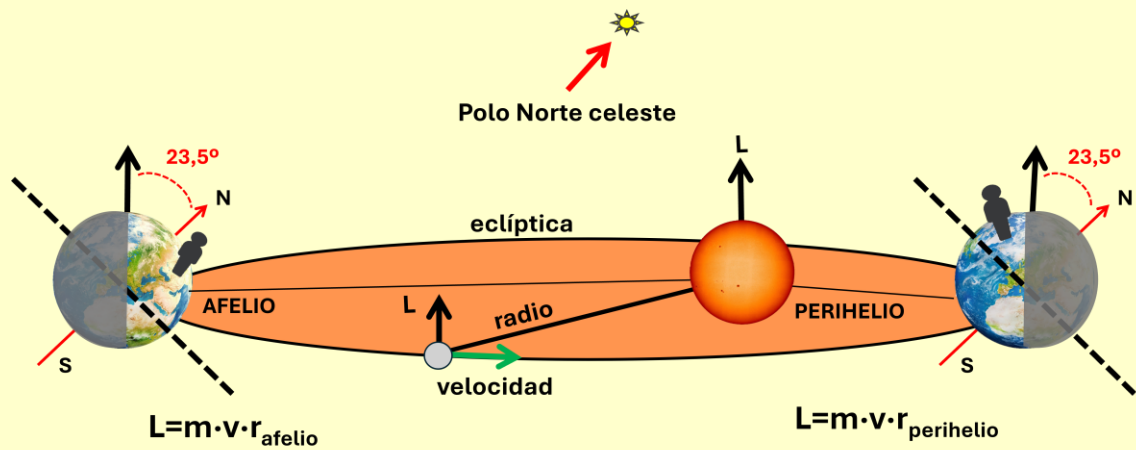


Figura 3.2 Órbita elíptica de la Tierra en su recorrido de traslación alrededor del Sol. El plano del ecuador terrestre está inclinado respecto al plano de la eclíptica, esto es, el eje de rotación forma un ángulo de $23,5^\circ$ respecto del eje de la eclíptica. Esta inclinación en combinación con el movimiento de traslación origina las estaciones.

En su recorrido alrededor del Sol la Tierra describe una elipse (una circunferencia achatada) con el Sol en uno de los focos (**Figura 3.2**). El **afelio** es el punto más alejado de la órbita de un planeta alrededor del Sol. Es el opuesto al **perihelio**, el punto más cercano al Sol. Aproximadamente el día 3 de julio, en el afelio, la Tierra dista **152 millones de kilómetros del Sol**, mientras que a comienzos de enero (hacia el día 3), en el perihelio o punto de su órbita más cercano al Sol, la Tierra se encuentra a **147 millones de kilómetros del Sol**. Pese a estar más lejos del Sol (en verano), el hemisferio norte está más caliente en el afelio debido a la inclinación del eje terrestre respecto de la eclíptica, que hace que el Sol incida más verticalmente y durante más horas en el hemisferio norte en esa parte del año.

El afelio y el perihelio son los dos únicos puntos de la órbita en los que el radio vector y la velocidad son perpendiculares. Tal como establece la **segunda ley de Kepler**, el momento angular L de un planeta permanece constante, esto es, el plano de la eclíptica no cambia de orientación. En estos dos puntos se puede calcular el momento angular directamente como el producto de la masa del planeta por su velocidad y su distancia al centro del Sol ($L=m \cdot v \cdot r$). Para L , m constantes, un mayor radio supondrá una menor velocidad, mientras que un menor radio implicará mayor velocidad. El resultado de esta ley es que la velocidad de traslación del planeta es mínima en el afelio y máxima en el perihelio. Ambos puntos de la órbita reciben el nombre de **puntos apsidales**.

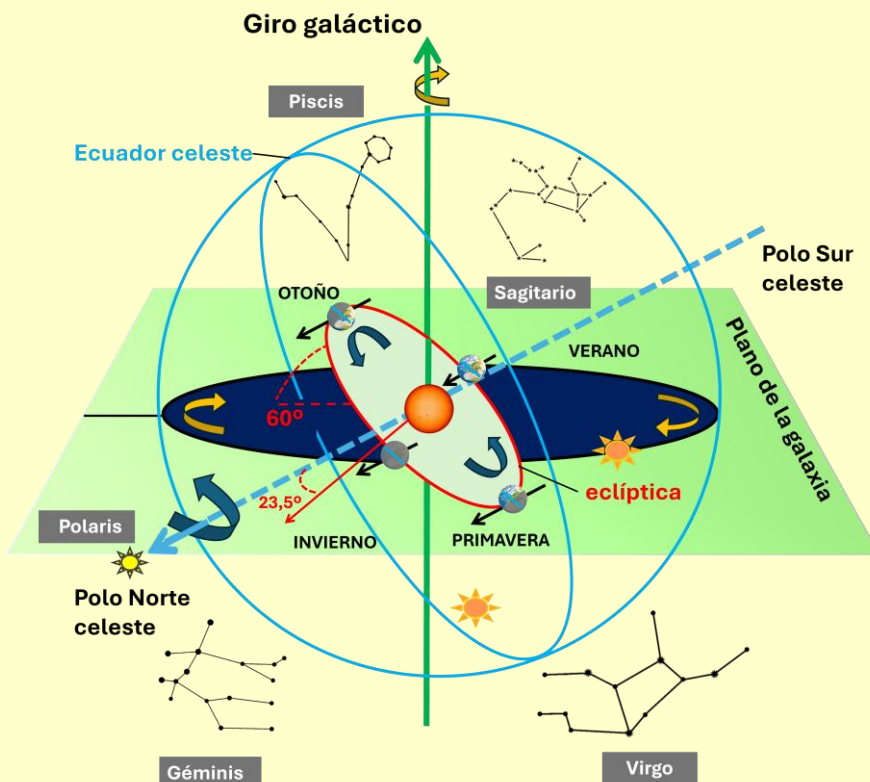
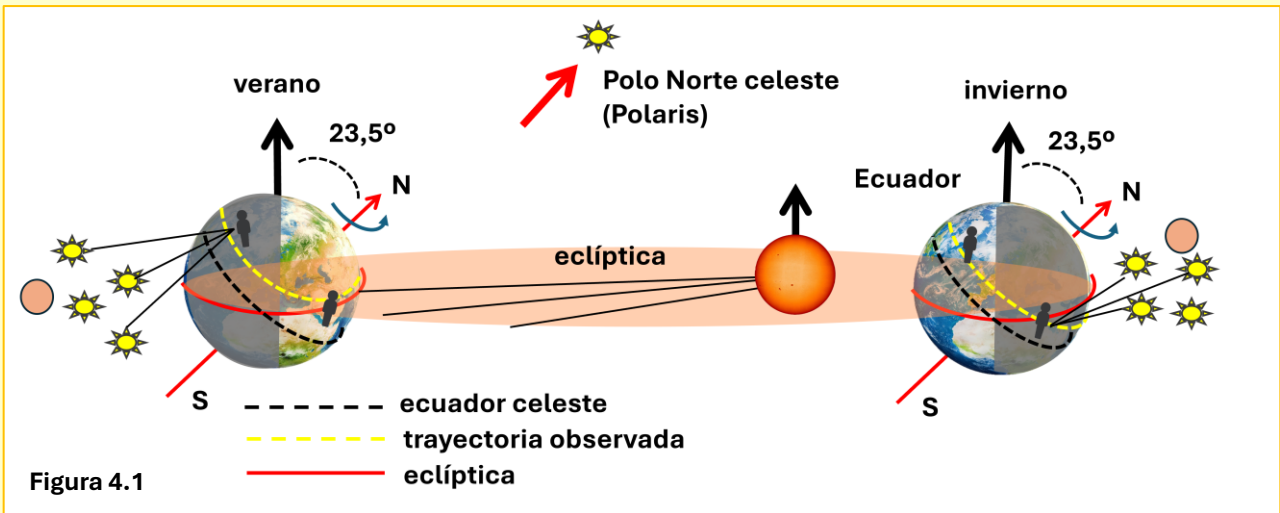


Figura 3.3 Representación de la esfera celeste con tres planos importantes: plano galáctico, plano de la eclíptica y el plano ecuatorial o ecuador celeste.

Para trazar mapas del cielo y seguir los movimientos aparentes del Sol, la Luna y los planetas, se consideran que las estrellas se encuentran en la superficie de una esfera de tamaño indeterminado conocida como esfera celeste (**Figura 3.3**). Aquí se representa la **esfera celeste** centrada en el Sol, de modo que el **polo norte celeste** (donde se sitúa la Estrella Polar conocida también como **Polaris**) está orientado sobre el polo norte geográfico de la Tierra, y el **ecuador celeste** sobre el plano ecuatorial de la Tierra. Este plano ecuatorial es perpendicular al **eje de rotación terrestre que forma a su vez un ángulo de $23,5^\circ$** respecto al eje del plano de la eclíptica. Desde nuestra posición privilegiada en el brazo de Orión, vemos nuestra galaxia como una franja tenue y nebulosa que rodea la esfera celeste. Esta nebulosidad en realidad está constituida por un inmenso número de estrellas individuales.

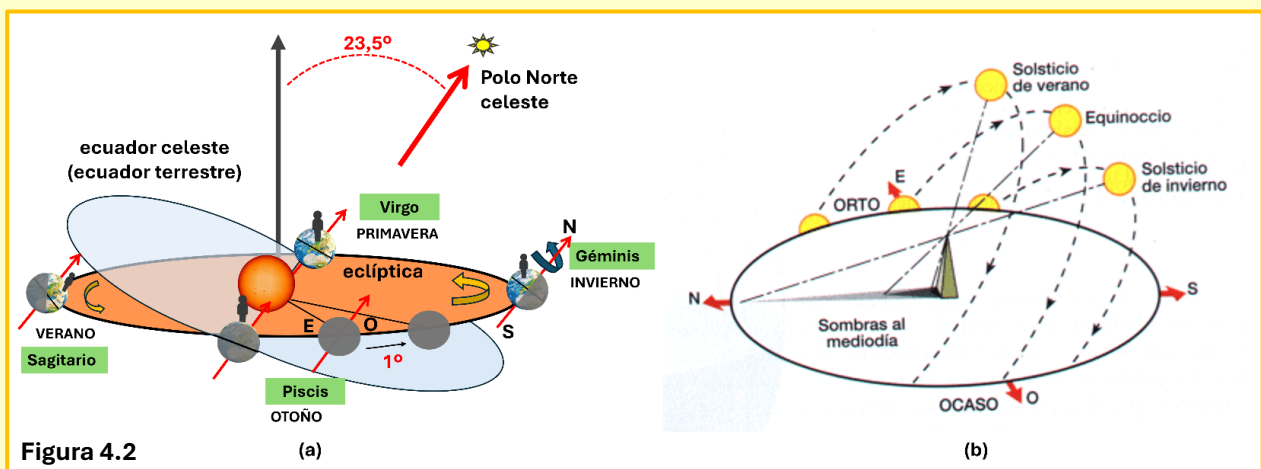
Podemos ver partes ligeramente diferentes de la Vía Láctea a lo largo de las distintas épocas del año debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol. En verano, la Tierra se encuentra entre el Sol y el centro de la galaxia (en dirección hacia la constelación de Sagitario), mientras que en invierno es el Sol el que se encuentra entre la Tierra y el centro de la galaxia (**Figura 3.3**). En invierno, el cielo nocturno tiene muchas estrellas brillantes, porque estamos mirando hacia el exterior del brazo espiral de Orión (que es justo donde se encuentra el Sol), es decir, hacia la constelación de Géminis. En verano, el cielo nocturno está orientado hacia el interior de la galaxia, es decir, hacia la constelación de Sagitario. Las estrellas que se encuentran en este brazo están más alejadas que las del brazo de Orión, de forma que vemos estrellas menos brillantes en verano respecto a las observadas en invierno. En primavera (hacia la constelación de Piscis) y en otoño (hacia la constelación de Virgo), el cielo nocturno está orientado en dirección opuesta al plano de la galaxia, y por ello el cielo en estas fechas contiene menos estrellas brillantes.

4. EL SOL. MOVIMIENTO APARENTE DESDE LA TIERRA.



Si proyectamos el movimiento de los astros sobre nuestra esfera terrestre podemos determinar el **movimiento aparente** que observa una persona desde la Tierra (Figura 4.1). Comencemos por la eclíptica. Es el plano en que se encuentra la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Se llama eclíptica porque es el plano que tiene que ocupar la Luna para que pueda producirse un eclipse de Sol. Todos los planetas, a excepción de Plutón, giran alrededor del Sol casi en el mismo plano en que lo hace la Tierra. Esto significa que cuando queramos observar algún planeta debemos buscar a lo largo de la eclíptica. También podemos encontrar sobre la eclíptica las constelaciones del Zodíaco.

En términos generales, la eclíptica se encuentra por debajo del ecuador celeste en las noches de verano, y por encima en las de invierno. Por lo tanto, las mejores vistas (en la noche) de la Luna y los planetas las tenemos en invierno, porque se ven más altos en el cielo. En cambio, en las noches de verano, la eclíptica se encuentra por debajo del plano ecuatorial y la Luna y los planetas superiores (de mayor órbita que la Tierra) se observan más cercanos al horizonte.



La Tierra emplea 365 días en dar una vuelta completa de 360° alrededor del Sol. Por lo tanto, cada día se mueve aproximadamente un grado a lo largo de su órbita. En la **Figura 4.1 a**, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol se refleja en el movimiento aparente del Sol sobre la eclíptica, esto es, si avanza desde otoño hasta invierno, visto desde la Tierra se observará que el Sol sale cada día más al este sobre la eclíptica. En otras palabras, de una noche a otra aparece una nueva parte del cielo hacia el este, mientras que dejamos de ver otra por el oeste.

El movimiento aparente del Sol por el cielo es el resultado de dos movimientos de la Tierra (rotación y traslación). Con la rotación hace que el Sol salga por el este, se desplace por el cielo a lo largo de un enorme arco paralelo al ecuador celeste, y se ponga por el oeste (**Figura 4.2 b**). Sin embargo, al contrario de lo que sucede con las estrellas, la posición del Sol en el cielo cambia ligeramente de un día para otro debido a la traslación de la Tierra alrededor del Sol haciendo que, en el amanecer (orto), el Sol se mueva aparentemente hacia el este sobre la eclíptica a medida que se acerca el verano y, en el atardecer (ocaso), el desplazamiento sea más hacia el oeste. Si hacemos un seguimiento del Sol desde la Tierra (**ver Figura 4.2 b**), podemos observar que en invierno el Sol aparece sobre el cielo muy cercano al horizonte (con menos horas de luz), mientras que en los días de verano se observa muy alto (con más horas de luz). Esto se debe a la inclinación del eje de la Tierra donde la trayectoria de la eclíptica queda por encima del plano del ecuador.

Para un observador situado en el hemisferio norte, al mirar hacia el horizonte ve que el Sol sale por su izquierda (este) y pone por su derecha (oeste). En cambio, en el hemisferio sur el sentido del cielo se invierte, el observador ve que el Sol sale por su derecha y se pone por su izquierda (**ver Figura 4.3**).

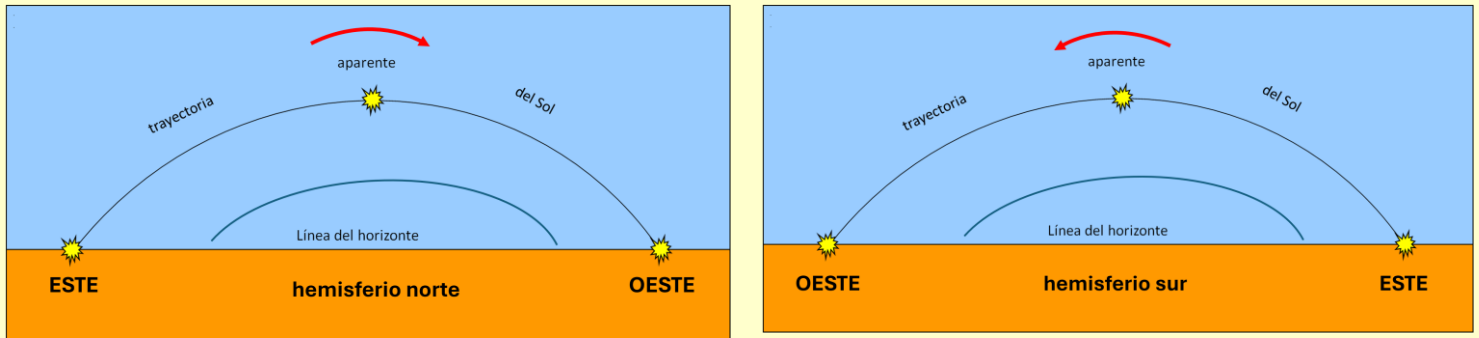


Figura 4.3 Perspectiva del orto (amanecer) y del ocaso (atardecer) en el hemisferio norte y en el hemisferio sur.

5. OBSERVACIÓN DEL SOL CON FILTRO SOLAR.

Desde 1960, la NASA y otras organizaciones han lanzado al espacio una serie de sondas y satélites con la intención de recoger datos del Sol y estudiar su actividad. Aquí utilizaremos un **telescopio** simple para observar a este astro. Dada la cercanía del Sol con la Tierra, la intensidad lumínica es muy elevada y no puede ser observado directamente a través de nuestros ojos. Para una observación segura del Sol debemos usar un **filtro solar** acoplado al tubo telescópico. Bajo ningún concepto se podrá mirar directamente al Sol a través del ocular del telescopio si no se dispone de este tipo de filtros. El filtro que aquí se utiliza es el **Mylar**, un polímero sintetizado de aspecto metalizado conocido científicamente como tereftalato de polietileno de orientación biaxial (BoPET) recubierto de aluminio para aumentar la reflectividad.

El telescopio utilizado en esta experiencia tiene una **montura altacimutal** (también escrito como altazimutal). Este realiza un movimiento de arriba hacia abajo (altitud o latitud) y de izquierda a derecha (acimut). Sus movimientos son muy intuitivos y fáciles de controlar cuando se quiere observar un objeto estelar (**Figura 5.1**).

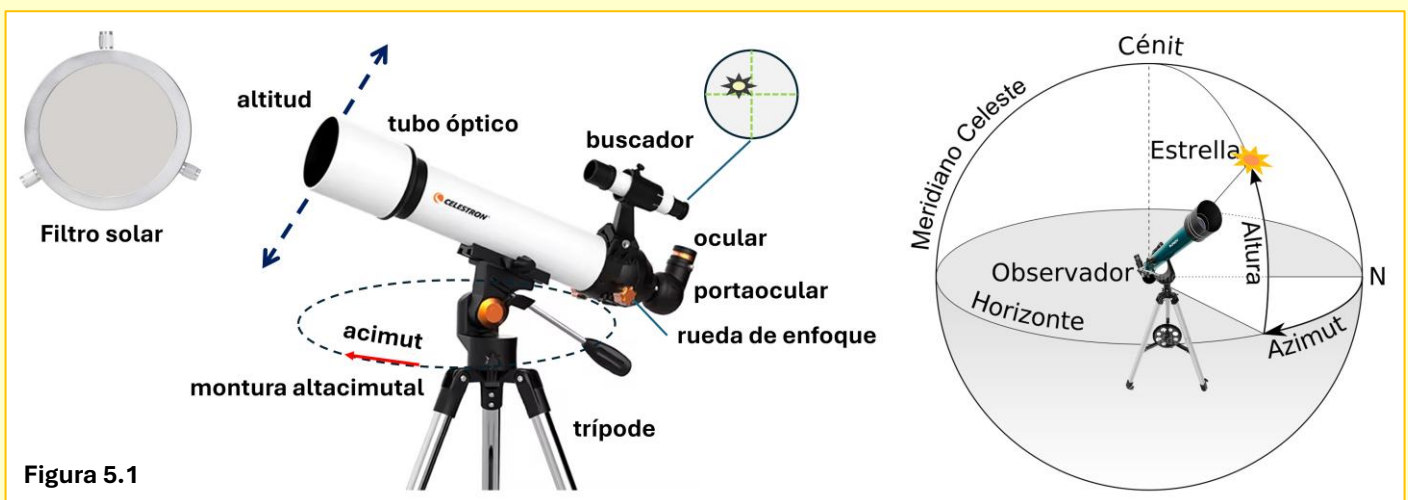


Figura 5.1

En astronomía, el **acimut** es el ángulo medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal Norte y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud (altura). Se mide en grados desde el punto cardinal Norte en el sentido de las agujas del reloj. En otras palabras, se debe orientar inicialmente el tubo telescópico hacia el norte, y después girarlo en el sentido de las agujas del reloj hasta llegar al ángulo indicado.

En astronomía se llama altura de un astro al arco vertical contado desde el horizonte hasta el astro. Su valor absoluto es siempre menor o igual que 90° y es un valor positivo si el astro es visible (es decir si está sobre el horizonte) y negativo si no es visible (es decir si está bajo el horizonte). La **altura y el acimut** son coordenadas que dependen de la posición del observador en la Tierra. Es decir que, en un mismo momento, un astro es visto bajo diferentes coordenadas horizontales por diferentes observadores situados en puntos diferentes de la Tierra. Esto significa que dichas **coordenadas son locales**.

Se conocen muchas aplicaciones móviles sobre astronomía (Star Walk, Sky Tonight, Stellarium...) que proporcionan estas coordenadas (acimut y altitud) para orientar el telescopio fácilmente en la zona local donde se encuentre el observador y apuntar directamente hacia el objeto que se desea observar. La mayoría de los datos proporcionados son muy similares y utilizan gráficas y exploraciones 3D con GPS muy dinámicas, de forma que al orientar el móvil hacia el cielo la aplicación muestra todos los objetos estelares existentes en esa dirección (**Figura 5.2**).

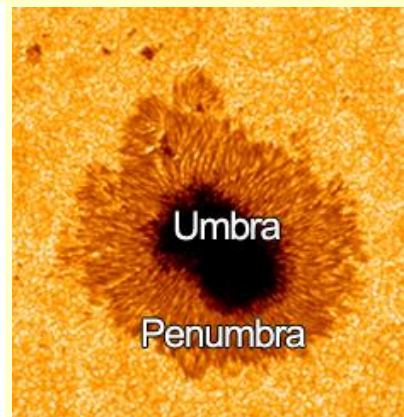


Figura 5.2 Ejemplo de gráficas y coordenadas del Sol en distintos momentos del día proporcionadas por la aplicación Sky Tonight para cada día del calendario y en la zona local donde se encuentre el observador.

6. PROPUESTA DE OBSERVACIÓN: MANCHAS SOLARES.

Las **manchas solares** son áreas oscuras en la superficie del Sol que se forman debido a concentraciones intensas de actividad magnética y son más frías que las regiones circundantes. Una mancha solar típica se caracteriza por una región central oscura, llamada "**umbra**", rodeada por una zona más clara denominada "**penumbra**".

Para el estudio de la actividad solar se utiliza el **número de Wolf** (también conocido como el **International sunspot number**) que es una cantidad que mide el número y tamaño de las manchas solares. La idea de computar los números de las manchas solares fue ideada por Rudolf Wolf en 1848. Este número ha sido usado por investigadores durante unos 300 años. Han encontrado que la actividad solar es cíclica y alcanza su máximo alrededor de cada 9.5 a 11 años.



La actividad solar se encuentra actualmente en su ciclo número 25, alcanzado un número máximo previsto de manchas solares entorno a los años 2025-2026. En el siguiente enlace SpaceWeatherLive.com encontrarás un resumen de todas las regiones de manchas solares visibles en el Sol junto con sus propiedades, imágenes y las posibilidades de las erupciones solares y eventos de protones. Esta página se actualiza a diario.

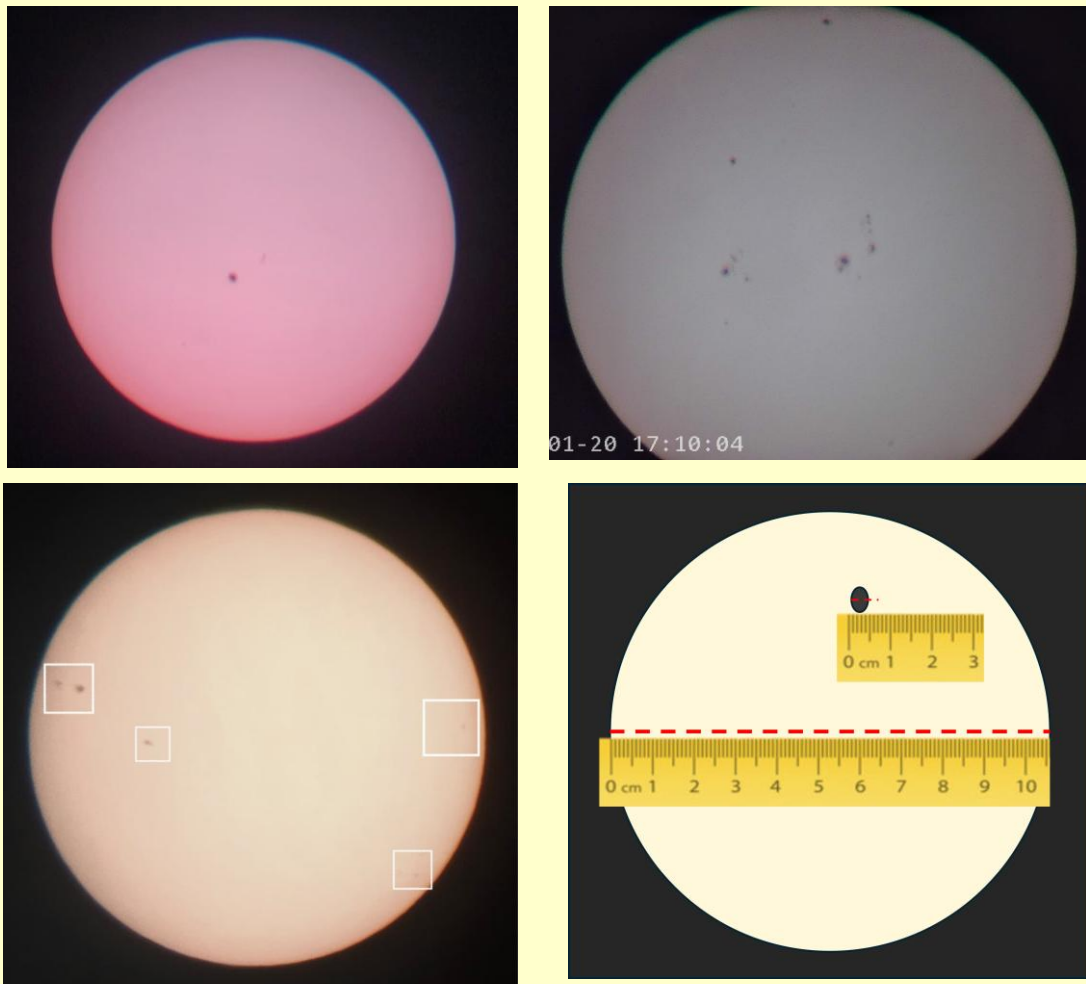


Figura 6.1 Imágenes de algunas manchas solares tomadas en distintos días de enero de 2026 con el telescopio Génesis 200/800 EQ-4. El filtro Mylar usado no permite captar con detalle el granulado de la superficie solar. Con este filtro solo se observa una imagen plana monocolor del Sol y algunas regiones oscuras. Con una regla milimétrica podremos determinar el diámetro aproximado de la mancha sabiendo que el diámetro promedio del Sol es de 1,4 millones de kilómetros de diámetro en la zona del ecuador.

REALIZA LAS SIGUIENTES TAREAS EN EL TALLER DE OBSERVACIÓN DEL SOL

1. Anota la altitud y el acimut del Sol obtenidos para tu zona local el día de la observación.
2. Sin ayuda de una brújula detalla el procedimiento que has usado como referencia para orientar el telescopio en la zona de observación.
3. Comprueba que el buscador del telescopio esté calibrado. En su defecto, calíbralo con ayuda del Sol posicionando su imagen sobre el centro del ocular.
4. ¿Por qué el Sol se vuelve a salir de la ventana de observación pasado un tiempo?
5. Registra varias imágenes completas del Sol e indica el grupo de manchas observadas.
6. Determina el tamaño en km de alguna mancha observada e indica la probabilidad de erupción.
7. Comprueba que estas manchas son las registradas por el observatorio de la NASA.