

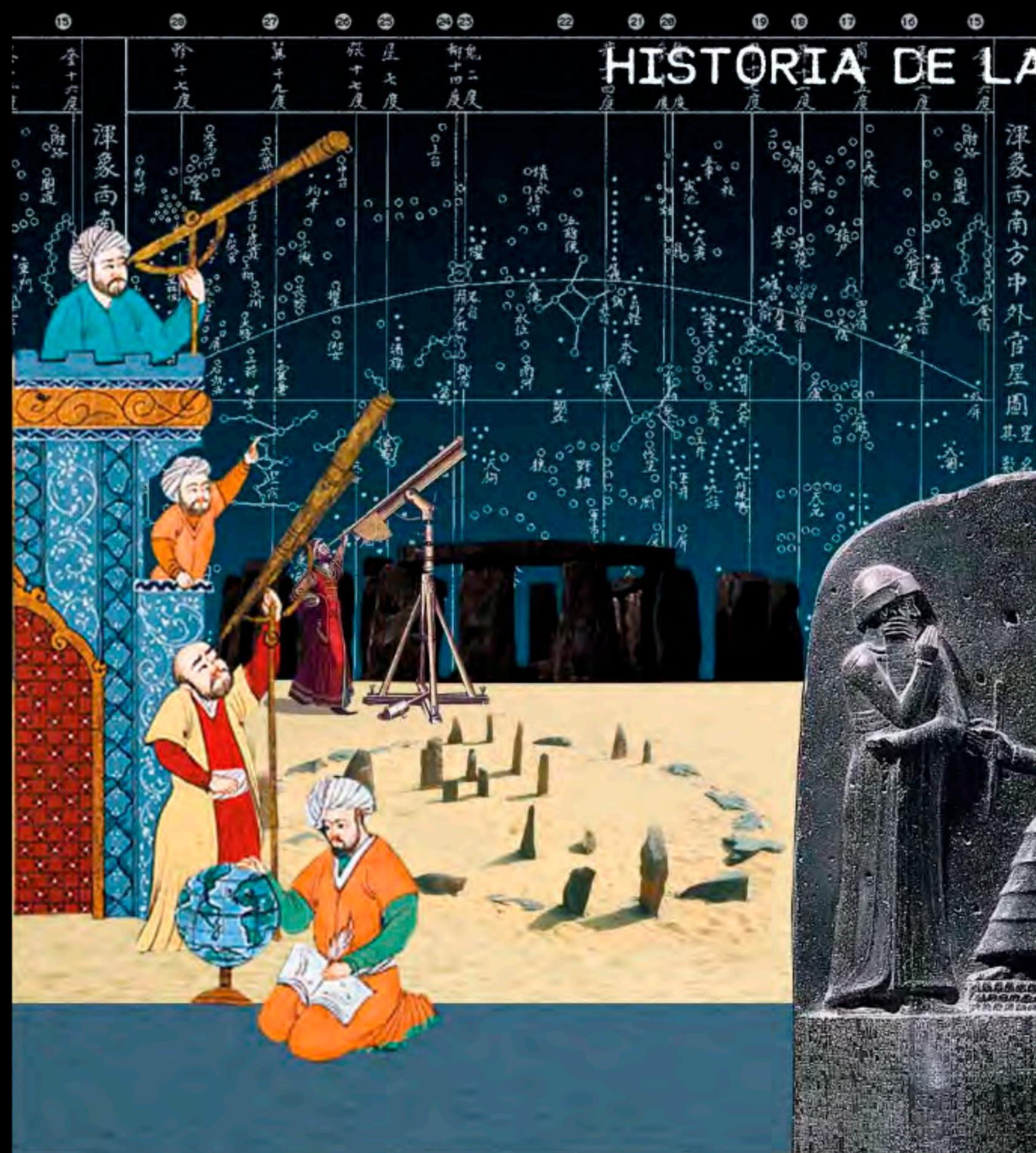
ASTRONOMÍA PARA TODOS

El Universo y sus misterios al alcance de todos



Desarrollado por:

HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA



1. Historia de la Astronomía

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de los tiempos el hombre se ha maravillado observando los cielos y cuestionando sus misterios.

El movimiento de los astros, la salida y puesta del Sol, la Luna y sus fases, los eclipses y la aparición de cometas, entre otros, son fenómenos astronómicos que han acompañado a la humanidad desde sus inicios. Sin importar el lugar geográfico ni su cultura ni sus creencias, todos los pueblos antiguos reconocieron la importancia del cielo en la predicción de las estaciones del año y su relación con los cambios en las formas de vida terrestres. De ahí nació el calendario, construcción humana para poder describir el cambio periódico de los astros y su efecto sobre la naturaleza. Algunos de estos, quedaron inscritos o representados en grandes monumentos de roca que han perdurado hasta nuestros días.



NABTA

El vestigio conocido más antiguo de ello se encuentra en **Nabta**, al sureste de Egipto en el continente africano. Se estima que esta construcción megalítica fue construida entre el 4500 a 4000 a.c. y produce un cierto patrón de sombras sobre puntos específicos del suelo, al momento de alinearse con el Sol.



STONEHENGE

Otra construcción antigua que se relaciona con el movimiento de los astros es **Stonehenge**. Se encuentra ubicada en sur de Inglaterra y fue construida aproximadamente entre el 3200 y el 2500 a.c. Esta estructura de roca es reconocida por los arqueólogos como el primer observatorio astronómico.

Varios son los estudios que han corroborado la relación de la posición de las rocas verticales con las salidas del Sol en los solsticios y equinoccios, momentos muy importantes para los antiguos para el establecimiento del calendario y la plantación y cosecha de sus cultivos.



MESOPOTAMIA

La antigua mesopotamia ubicada en la zona del medio oriente, es considerada la cuna de la astronomía. La aparición de la escritura, llamada cuneiforme, nos ha dejado evidencia de sus dioses y mitos ancestrales. Hoy en día conocemos que sus dioses tenían directa relación con los planetas y otros objetos astronómicos. Los planetas, constelaciones y mitologías asociadas a la civilización de los **sumerios** fueron transmitidas a los griegos probablemente cerca del primer milenio antes de cristo, quienes posteriormente los legaron a los romanos y posteriormente a la cultura occidental. Fue así como la esfera celeste, mapa de los cielos en los cuales están presentes los planetas, el Sol y la Luna, como astros móviles, y las estrellas, como astros fijos, agrupadas en

figuras y héroes mitológicos llenan el firmamento desde la antigüedad hasta nuestro días.

Se tiene noción de que en el segundo milenio antes de cristo, los pueblos que habitaron la antigua Mesopotamia desarrollaron un calendario luni-solar de 12 meses y 30 días cada uno, conocían los planetas Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno, y de ellos es el primer registro de un eclipse total de Sol ocurrido en Ugarit, actual Siria, el 3 de mayo de 1375 a.c.



PIRÁMIDES DE EGIPTO

Otra de las civilizaciones con mayores avances en la astronomía fueron los **egipcios**. Usaron al Sol como referencia para su calendario solar de 365 días. Para ellos era muy importante poder describir y ubicar a las estrellas ya que representaban a sus dioses, quienes guiaban sus vidas. Uno de sus monumentos más reconocidos son las pirámides de Giza que fueron construidas probablemente

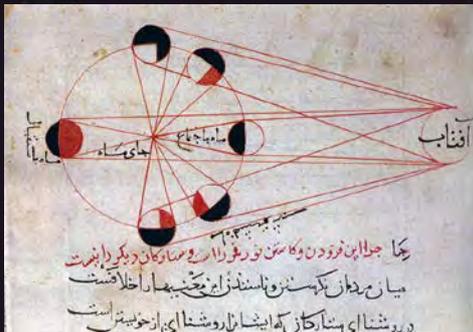
entre el 2600 y el 2400 a.c. Diferentes estudios afirman que estas pirámides son una representación en la Tierra de las estrellas que conforman el cinturón de Orión, también conocidas como las "tres marías". La constelación del cazador es relacionada por los estudiosos con una deidades más importantes de los egipcios, Osiris. El descubrimiento de algunas tumbas ha sacado a la luz lo importante que eran la estrella Sirio y las constelaciones de la Osa Mayor y Leo.



LOS CHINOS

Dentro de los avances de las culturas orientales tenemos el desarrollo del calendario cerca del segundo siglo a.c. por los antiguos **Chinos**. Ellos estudiaron meticulosamente los cielos debido a la importancia que tenía la predicción de los fenómenos celestes dentro de la corte imperial y para los emperadores. Registraron cerca de 284 constelaciones y numerosas supernovas, cometas y meteoros. Catalogaron 1464 estrellas y usaron huesos y bambú para registrarlos.

Uno de los eventos astronómicos más sorprendentes que se pueden observar a simple vista son las explosiones de Supernova. Se sabe que aproximadamente se puede observar una cada siglo, es por ello que es tan importante su registro. Gracias a los Chinos conocemos con bastante detalle algunas supernovas que no fueron registradas por occidente, entre ellas está la Supernova 1064, la cual iluminó el cielo por varias semanas y que hoy puede observarse su remanente en la constelación de Tauro como la Nebulosa del Cangrejo o **M1**.



LOS ÁRABES

Cabe destacar también a los antiguos **árabes** quienes realizaron diferentes aportes a la astronomía. En el año 700 de nuestra era se fundó el observatorio astronómico en la ciudad de Damasco, en la antigua Siria.

Ellos confeccionaron diversos catálogos de estrellas y calendarios, siendo los más exactos de la época. Uno de los astrónomos árabes más importantes fue Al - Sufi, a

quien se le atribuye la identificación en el cielo de las hoy conocidas Nubes de Magallanes.

A los árabes se le atribuye también la conservación de muchos de los antiguos textos griegos de Aristóteles, Platón y Ptolomeo, entre otros, cuando Europa se sumergía en la edad oscura.

LOS GRIEGOS

Los antiguos griegos son conocidos por sentar las bases de la civilización occidental, incluyendo la astronomía. Sus ideas acerca de los cielos, a pesar de los años transcurridos, aún siguen siendo parte del colectivo.

Los astrónomos griegos pensaban que los planetas, las estrellas, la luna y el sol giraban en órbitas circulares alrededor de la Tierra Una idea que Aristóteles y otros pensadores mantuvieron debido a su creencia en la perfección geométrica de los movimientos celestes. Dentro de sus personajes más relevantes destacan:

- Aristarco de Samos (310 - 230 a.c.): Quien fue el primero del que se tiene registro en proponer un sistema heliocéntrico, es decir, un sistema donde el Sol era el centro del sistema solar, basándose en el movimiento de los planetas; y además, usando geometría estimó que el sol era más grande que la tierra.

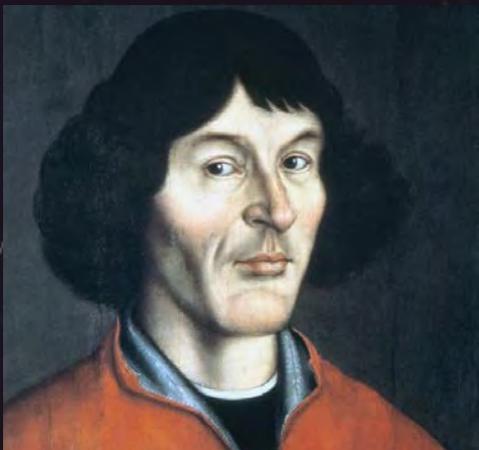
- Eratóstenes (276 - 194 a.c.): Fue el primero en estimar el valor de la circunferencia de la tierra en aproximadamente 40.000 kilómetros, número bastante cercano al valor actual, usando la proyección de sombras sobre la superficie de la Tierra. Midió además la inclinación de la tierra en 23,5°.

Para aprender más sobre la medición de la circunferencia de la Tierra por Eratóstenes puedes visitar: <https://es.wikipedia.org/wiki/Eratóstenes>

- Hiparco (190 - 120 a.c.): Asiduo observador del cielo. Construyó un catálogo de 850 estrellas. Calculó la duración del año terrestre con una precisión de minutos. Estimó la distancia a la luna en función del radio de la Tierra . Predijo un eclipse solar y a él se le atribuye la introducción en Grecia del sistema sexagesimal, el cual divide la circunferencia en 360 grados, idea proveniente de los sumerios y que usamos hasta nuestros días.

- Ptolomeo (100 - 170 d.c.): Astrónomo griego que vivió principalmente en Alejandría, Egipto. Fue el autor del Almagesto, publicación astronómica fundamental durante siglos. Construyó un catálogo de 1000 estrellas y 48 constelaciones, de las cuales casi todas permanecen hasta la actualidad. Ideó un sistema de ocho esferas concéntricas a la tierra, donde orbitaban el sol, la luna y los cinco planetas del sistema solar conocidos hasta entonces.

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .



ASTRONOMÍA DEL RENACIMIENTO

Una vez pasada la edad media en Europa, la astronomía comenzó una nueva etapa de desarrollo gracias a las contribuciones de grandes científicos.

En primer lugar podemos destacar a Nicolás Copérnico. Astrónomo polaco que vivió entre los años 1473 y 1543. Poseía además los títulos de matemático, médico, abogado y geógrafo. En sus comienzos fue gran admirador de Ptolomeo y sus modelos astronómicos, pero al avanzar en sus estudios encontró muchos errores en sus teorías. Luego de trabajar toda su vida, en 1543 (el

año de su muerte) publicó su más grande obra "Sobre la revolución de los cuerpos celestes", en donde describe su teoría heliocéntrica, que establece que la Tierra y los otros planetas, son los que giran alrededor del Sol.

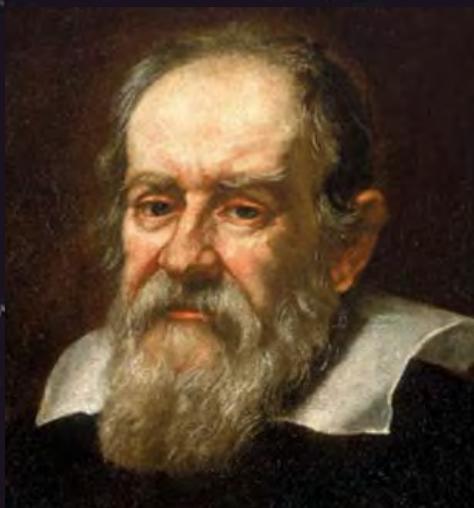
Otro personaje menos conocido pero igualmente importante es **Tycho Brahe**. Astrónomo danés que vivió entre 1546 y 1601 y que también era matemático, abogado y filósofo. Sabemos que a la edad de 14 años observó un eclipse solar que se había predicho anteriormente lo cual despertó su interés por la astronomía. Descubrió además la supernova Cassiopea B ocurrida en 1572.

Aunque era seguidor del modelo geocéntrico de Ptolomeo, se dedicó a tomar muchas observaciones, que luego servirían como fundamento al nuevo modelo heliocéntrico impulsado por Copérnico. Este astrónomo propuso una ingeniosa mezcla entre los modelos geocéntricos y heliocéntricos para dar respuesta a sus observaciones.

Para tener más información de la supernova de Tycho Brahe y de su teoría geocéntrica, puedes revisar los siguientes links: https://es.wikipedia.org/wiki/SN_1572
https://es.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe

Uno de los alumnos de Brahe fue **Johannes Kepler**, astrónomo y matemático alemán que vivió entre los años 1571 y 1630. A diferencia de su mentor, era fiel seguidor de la teoría heliocéntrica y usó los datos de Brahe para investigar el movimiento de los planetas. Entre 1609 y 1619 publicó sus trabajos sobre el movimiento planetario, de los que saldrían las hoy conocidas "leyes de Kepler". En ellas nos muestra que los planetas se mueven en órbitas elípticas y no circulares como pensaba Ptolomeo.

Información más detallada de las Leyes de Kepler puedes encontrarla en: https://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_Kepler



Finalmente tenemos a **Galileo Galilei**. Célebre astrónomo, físico y matemático italiano que vivió entre 1564 y 1642. Hoy es conocido por ser el fundador de la física moderna, dejando de lado el modelo aristotélico de la ciencia, y que había perdurado por más de dos milenios. Formuló las Leyes de Galileo sobre el movimiento y perfeccionó el telescopio que había sido inventado unos años antes. Fue fiel seguidor del modelo de Copérnico, y con el uso del telescopio descubrió las lunas más grandes de Júpiter: Io, Europa, Calisto y Ganímedes. Estos descubrimientos lo llevaron posteriormente a derribar el modelo geocéntrico que

había perdurado por siglos. Por sus ideas fue llevado a un juicio religioso por la inquisición y obligado a retractarse, y sólo en 1979 se retiraron los cargos contra él.

Si quieres saber más sobre los Satélites de Júpiter y su descubrimiento, revisa el siguiente link: https://es.wikipedia.org/wiki/Satélites_de_Júpiter

NACIMIENTO DE LA ASTROFÍSICA

El aporte de destacados científicos, en especial de Galileo Galilei, dio origen al nacimiento de una nueva rama de la ciencia, la astrofísica, la física aplicada al estudio de los astros.



El primer referente de esto fue **Isaac Newton**. Matemático, físico y astrónomo inglés que vivió entre los años 1642 y 1727 y quien reunió todos los aportes de sus antecesores en una única Teoría de la Gravitación Universal. Estudió la naturaleza de la luz usando un prisma y fue el primero en proponer una teoría corpuscular de la luz. Enunció las tres leyes de la dinámica y construyó un nuevo tipo de telescopio conocido hoy como telescopio Newtoniano o reflector.

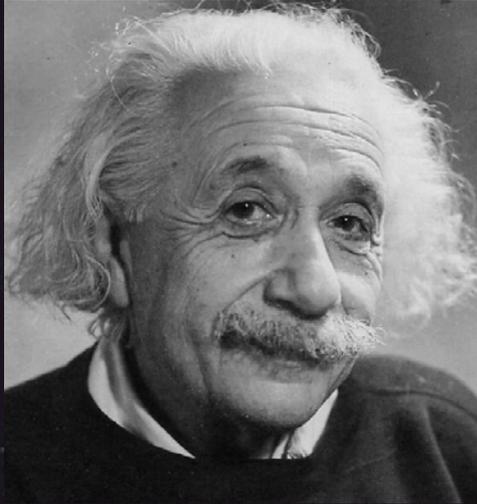
Él fue el primero en establecer un modelo físico para el movimiento celeste.

Gracias al avance de la tecnología, **William Herschel** (1738 - 1822), astrónomo y músico inglés, construyó el telescopio más grande de su época, lo cual le permitió en 1781 descubrir el planeta Urano, el primer planeta descubierto en los tiempos modernos, ya que el resto era conocido desde la antigüedad porque son visibles a ojo desnudo. Descubrió además dos lunas de Saturno y dos lunas de Urano entre 1787 y 1789. Observó cambios en las capas polares de Marte y estudió la radiación infrarroja con la ayuda de un termómetro.

Uno de los momentos más memorables de la astrofísica del siglo XIX fue el descubrimiento del octavo planeta, Neptuno. El movimiento del planeta Urano era bien conocido, pero presentaba ciertas irregularidades y que no eran explicadas por la teoría de gravitación. Fue entonces que el astrónomo francés **Urbain Le Verrier** (1811 - 1877) predijo que este fenómeno se debía a la existencia de un nuevo planeta más lejano. Tiempo después, el astrónomo alemán **Johann Galle** (1812 - 1910) lo descubrió justo en el lugar que se esperaba. Estas observaciones hicieron que la teoría de la gravitación además de explicar el movimiento de los objetos también era capaz de predecir la existencia de cuerpos, hasta ese entonces, desconocidos.

ASTRONOMÍA MODERNA

A comienzos del siglo XX las teorías físicas clásicas, entre ellas la gravitación, comenzaron a tener algunas dificultades en poder dar explicación a diferentes fenómenos, entre ellos: efecto fotoeléctrico, precesión del perihelio de mercurio, radioactividad, estrellas variables cefeidas, entre otros.



Aquí tomó su lugar en la historia **Albert Einstein** (1879 - 1955), físico alemán posteriormente nacionalizado estadounidense, quien explicó el efecto fotoeléctrico usando la idea de que luz estaba compuesta por fotones, y lo cual le valió ganar el Premio Nobel en 1921. Formuló la teoría general de la relatividad como modelo del universo, incluyendo la teoría de gravitación de Newton como un caso particular a bajas velocidades. Descubrió la relación que existen entre la masa y la energía, sentando las bases de la teoría atómica, y que hoy en día es la ecuación de la física más conocida en el mundo.

Para más detalles de la Teoría de la relatividad, revisa:

https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_la_relatividad

Finalmente no podemos dejar de mencionar a **Edwin Hubble** (1889 - 1953), astrónomo estadounidense, que descubrió las "nebulosas" externas a nuestra galaxia, lo cual demostró que existían otras galaxias además de la Vía Láctea. Clasificó las galaxias de acuerdo a sus formas y midiendo sus velocidades radiales descubrió que el universo se está expandiendo.

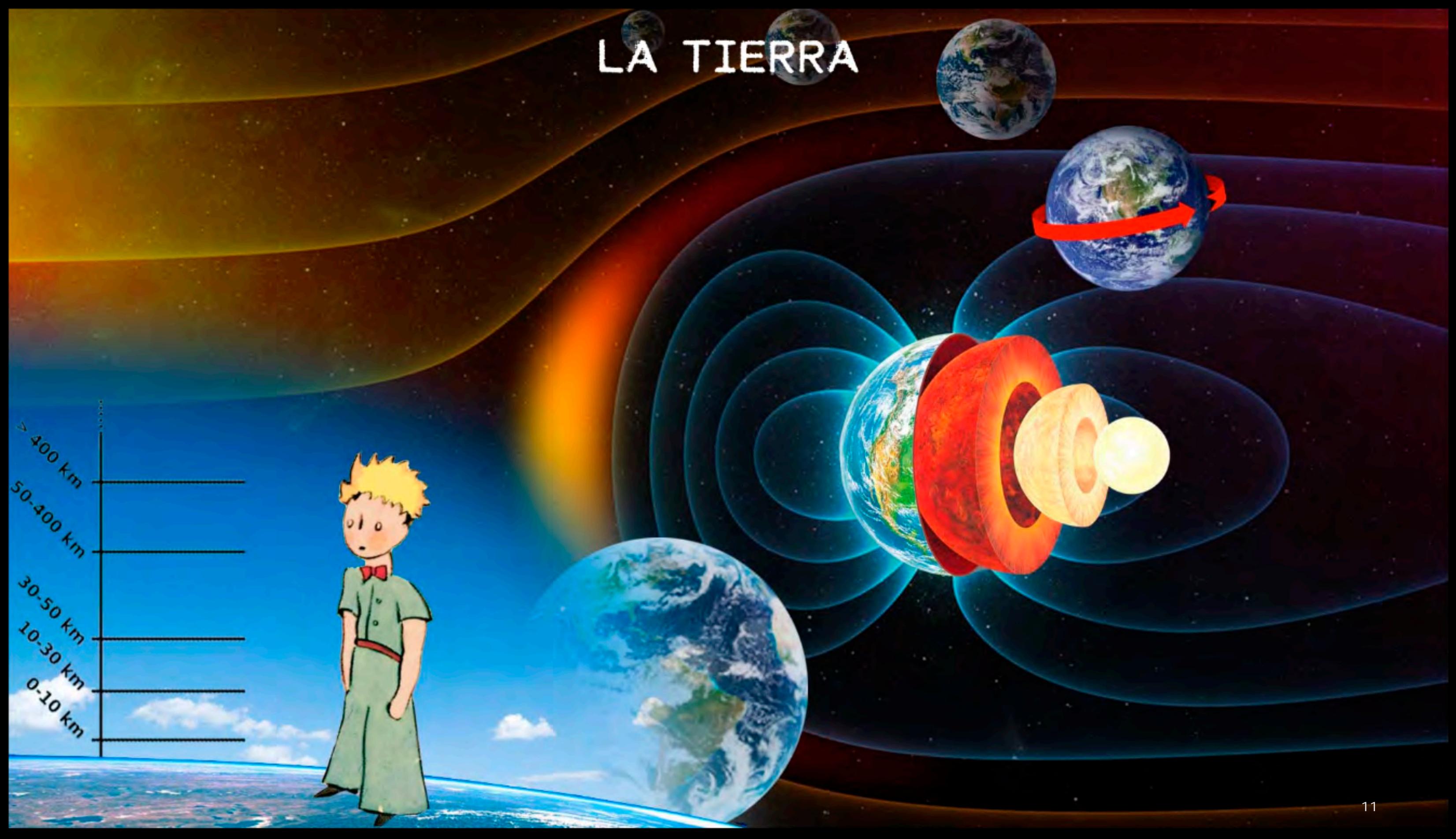
Si deseas conocer más de Edwin Hubble, te invitamos a visitar el siguiente link:

https://es.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble

Los últimos descubrimientos nos hablan de un universo en expansión acelerada, cuyas estrellas, planetas, galaxias, gas, polvo y luz conforman sólo el 4% de la masa total del universo, y donde el 96% restante corresponde a la materia y energía oscuras, es decir, no visibles directamente, pero que conocemos a través de los efectos que generan sobre el entorno en donde existen.

Como parte de la ciencia y a pesar de todos los aportes inmensamente valiosos de estos personajes, la astronomía aún tiene mucho camino por recorrer en búsqueda del conocimiento.

LA TIERRA



2. La Tierra

INTRODUCCIÓN

Nuestra Tierra es uno de los ocho planetas que forman el Sistema Solar. Es el tercero más cercano al Sol, y a pesar de los miles de planetas hasta ahora conocidos, es el único que reúne las condiciones especiales para la vida.

FORMA

Los antiguos pensaban que el planeta tenía una forma plana, y de ahí los mitos de no querer navegar más allá del océano debido al temor de caer a un acantilado poblado con monstruos marinos. Diferentes fenómenos astronómicos como los eclipses lunares dieron las pistas para llegar a entender que la Tierra se parecía más a una esfera que a un plano. Otro argumento en esta línea es la proyección de sombras en diferentes puntos de la Tierra, con lo cual el griego Eratóstenes estimó la circunferencia de la Tierra siglos antes de la era actual. Hoy en día las imágenes satelitales no dan lugar a dudas de la esfericidad de nuestro planeta, con achatamiento en los polos, pero definitivamente no plana.

El diámetro promedio de la Tierra es de 12.742 km, donde la distancia desde el centro hasta el ecuador es 43 km más ancho que la distancia desde el centro a los polos. La altura mayor en la Tierra es el Monte Everest con 8848 m sobre el nivel del mar y la mayor profundidad es la Fosa Mariana, ubicada en el Océano pacífico con 10.991 m bajo en nivel del mar.

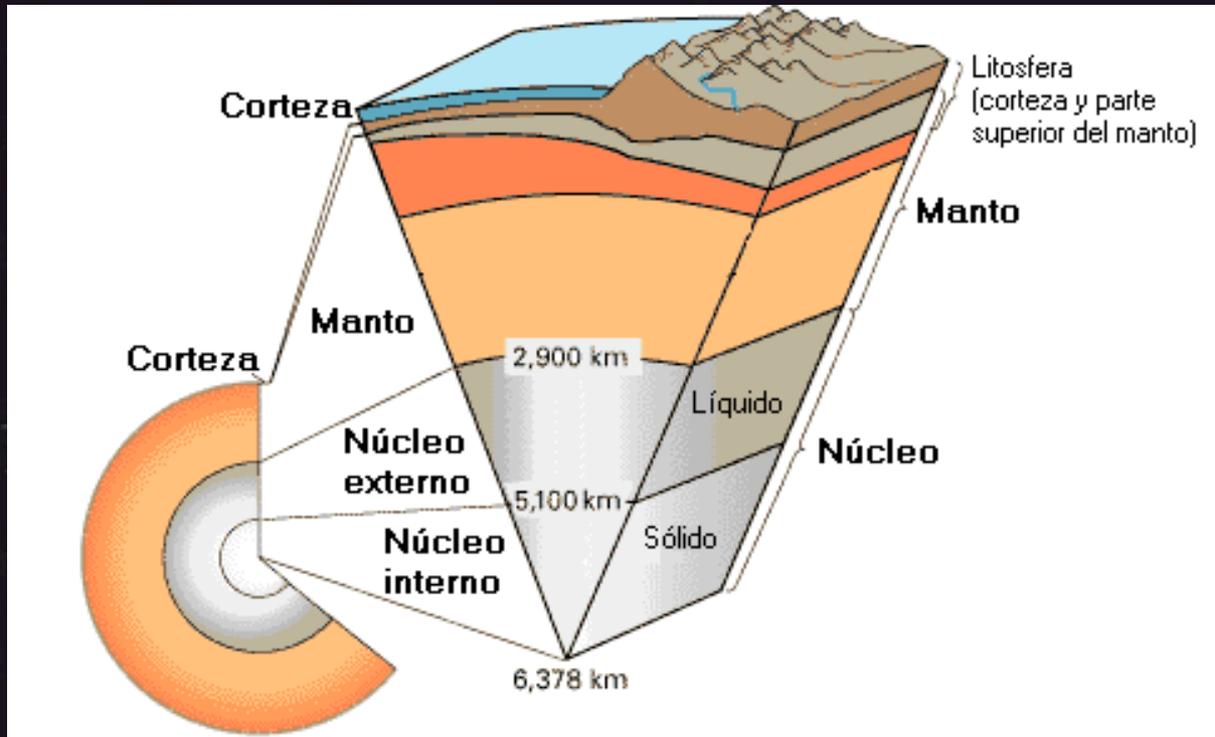


COMPOSICION Y ESTRUCTURA INTERNA

La masa de la Tierra es aproximadamente 5.98×10^{24} kg. La mayoría compuesta principalmente por Hierro (32%), Oxígeno (30%), Silicio (15%) y Magnesio (14%), Azufre (3%), N Oxente 5.98 Calcio(1,5%) y Aluminio (1,5%). Pero esta abundancia de elementos va cambiando dependiendo de si nos encontramos en la corteza terrestre, donde los más numerosos son el Silicio (60%) y el Aluminio (15%), o en el núcleo mismo donde el Hierro (88%) y el Níquel (6%) predominan.

El interior de la Tierra presenta varias capas con diferentes características químicas y físicas. La más externa es la Corteza que es donde vivimos nosotros y que tiene un ancho aproximado de 6 km en los océanos y de 35 km en los continentes. Luego se encuentra el Manto Superior entre los 35 y 60 km de profundidad. La corteza más manto superior reciben el nombre de Litósfera. Posteriormente se encuentra el Manto, la capa más extensa que abarca entre los 60 y 2890 km de profundidad y que es más densa que la corteza.

Finalmente en la profundidad de la Tierra está el núcleo que se divide en interior y exterior. El exterior comprende entre los 2890 y 5100 km de profundidad y el interior se extiende desde los 5100 km hasta los 6400 km totales. El núcleo de nuestro planeta está compuesto principalmente por Hierro y Níquel a altas temperaturas en forma de magma. El movimiento de este núcleo (dínamo) sería el responsable del campo magnético terrestre.



FORMACION

Las mediciones más antiguas ubican la formación del Sistema Solar hace aproximadamente 4560 millones de años, por lo que la formación de la Tierra debe haber comenzado unos pocos millones de años posterior a esa fecha por el proceso conocido como **acreción**, donde los materiales más pesados comenzaron a agruparse por efectos gravitacionales. La colisión de grandes cometas y asteroides en las primeras etapas de la Tierra explicarían la gran temperatura del núcleo del planeta y de la consecuente actividad volcánica, e incluso se piensa que estos viajeros cósmicos son los que trajeron el agua a nuestro planeta.

Si deseas conocer más sobre el proceso de acreción, puedes revisar el siguiente link: https://es.wikipedia.org/wiki/Disco_de_acrecimiento

ATMÓSFERA

La actividad volcánica en las primeras etapas de la Tierra generó la expulsión de grandes cantidades de gases al exterior. Varios millones de años y diferentes fenómenos físicos y químicos dieron origen a esta capa de gases llamada **Atmósfera**.

La atmósfera está constituida por una mezcla de gases que se concentran principalmente en las capas inferiores, entre los que se encuentran el Nitrógeno (78%), el Oxígeno (21%) y el CO₂ (0,03%), además de otros tales como el argón, helio, neón y ozono.

La atmósfera se puede dividir en diferentes capas en función de su composición y otras características:

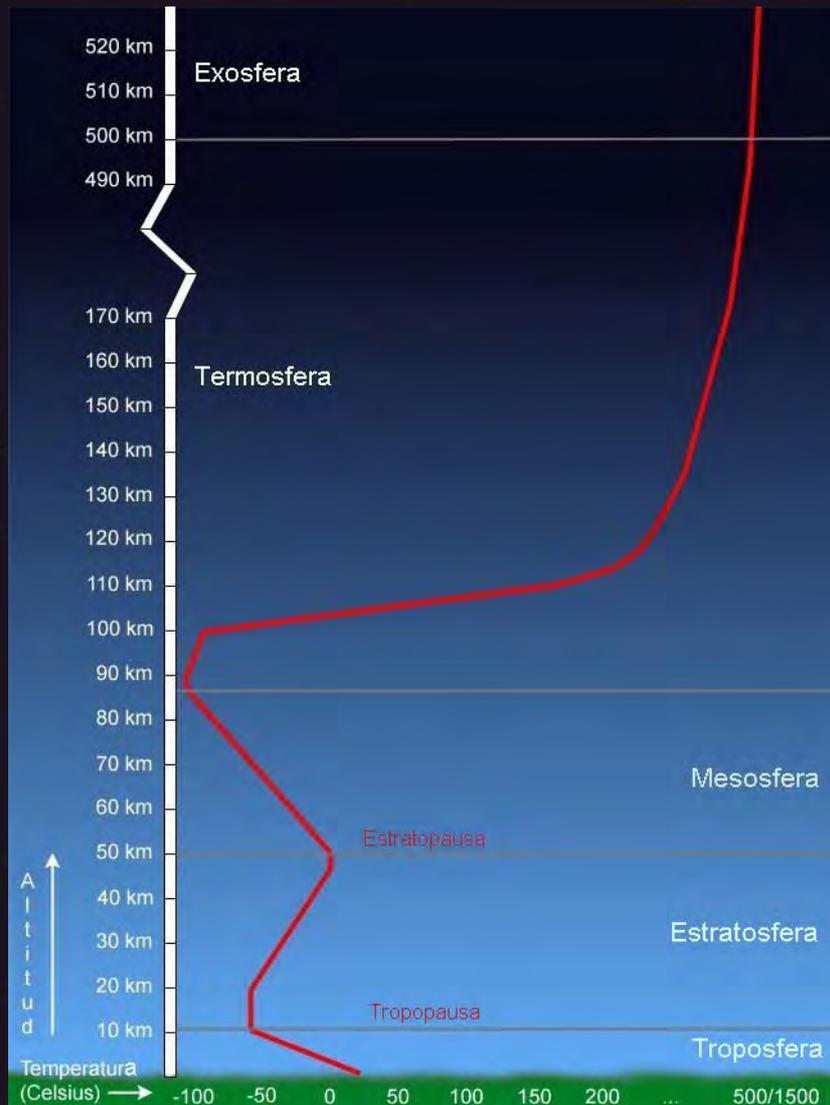
- **Tropósfera:** Es la capa que se extiende desde la superficie terrestre hasta los 18 km de altura en el ecuador, hasta los 13 km en latitudes medias y hasta los 8 km sobre los polos. Es la capa donde se forman las nubes y ocurren los procesos atmosféricos (fenómenos meteorológicos). En esta capa la temperatura del aire disminuye con la altura.

- **Estratósfera:** Se extiende aproximadamente hasta los 50 km de altura. La temperatura comienza a aumentar con la altura, fenómeno que se le atribuye a la presencia del ozono (O₃). La concentración de este gas es máxima entre los 20 y 25 Km de altitud. Tanto la formación como la destrucción del ozono se produce por reacciones fotoquímicas y la gran absorción de rayos ultravioletas que tiene lugar en esta capa de la atmósfera, explica la elevación considerable de la temperatura en esta capa.

- **Mesósfera:** Es una capa en que la temperatura vuelve a disminuir con la altura, y se extiende hasta los 80 km de altura, donde se observa un nuevo cambio en la forma de variar la temperatura con la altura. A pesar de su extensión, esta capa contiene solamente alrededor del 1% de la masa total de la atmósfera.

- **Termósfera o Ionósfera:** Es una capa en que la temperatura aumenta nuevamente con la altura. La influencia de partículas cargadas eléctricamente juega un papel predominante, dando lugar a la presencia de capas ionizadas que tienen la propiedad de reflejar las ondas de radio, permitiendo que ciertas estaciones emisoras pueden ser recibidas en lugares donde, por causa de la curvatura de la Tierra, no serían directamente perceptibles. En esta capa tienen lugar las auroras boreales y australes, que son producto de la interacción del viento solar con las moléculas de esta capa.

- **Exósfera:** Por encima de los 800 km se alcanza la exósfera, que constituye la zona de transición entre nuestra atmósfera y el espacio interplanetario. En esta zona se encuentra el cinturón de radiación que descubrió Van Allen, cuya importancia es evidente en el estudio de los viajes por el espacio cósmico.



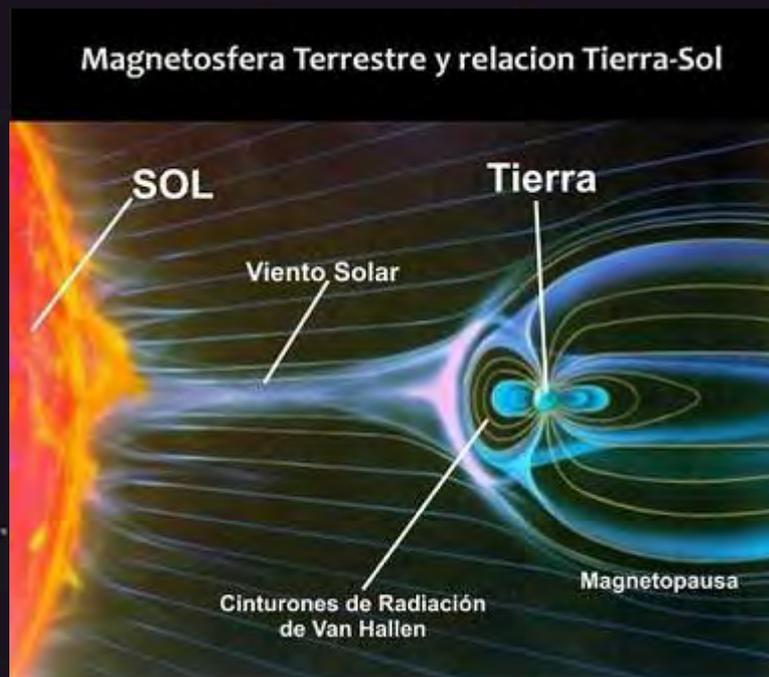
Puedes revisar más información de las Capas de la atmósfera en el siguiente sitio web: <http://www.astromia.com/tierraluna/capatmosfera.htm>

La atmósfera es de vital importancia para la vida en la Tierra. Regula la distribución de calor en la superficie terrestre, impidiendo que se escape al espacio el calor emitido por el sol, efecto conocido como invernadero. Durante el día, la atmósfera protege a la tierra de la fuerte radiación solar y filtra radiaciones nocivas. Si no existiera, la temperatura de la tierra aumentaría a cerca de los 100°C por el día y -150°C en la noche.

CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético de la Tierra es similar al de un dipolo magnético (imán), cuyos polos magnéticos se encuentran muy cercanos a los polos geográficos. De acuerdo con las teorías actuales, la existencia del campo se debe al efecto de un dínamo que se produce por el movimiento de convección del material del

Núcleo (principalmente compuesto de Hierro y Níquel) y que genera corrientes eléctricas. Estas serían las que dan origen al campo magnético terrestre.



Te invitamos a leer más información del campo magnético y a ver un video demostrativo:

https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_magnético_terrestre

<https://www.youtube.com/watch?v=j8XNHIV6Oxg>

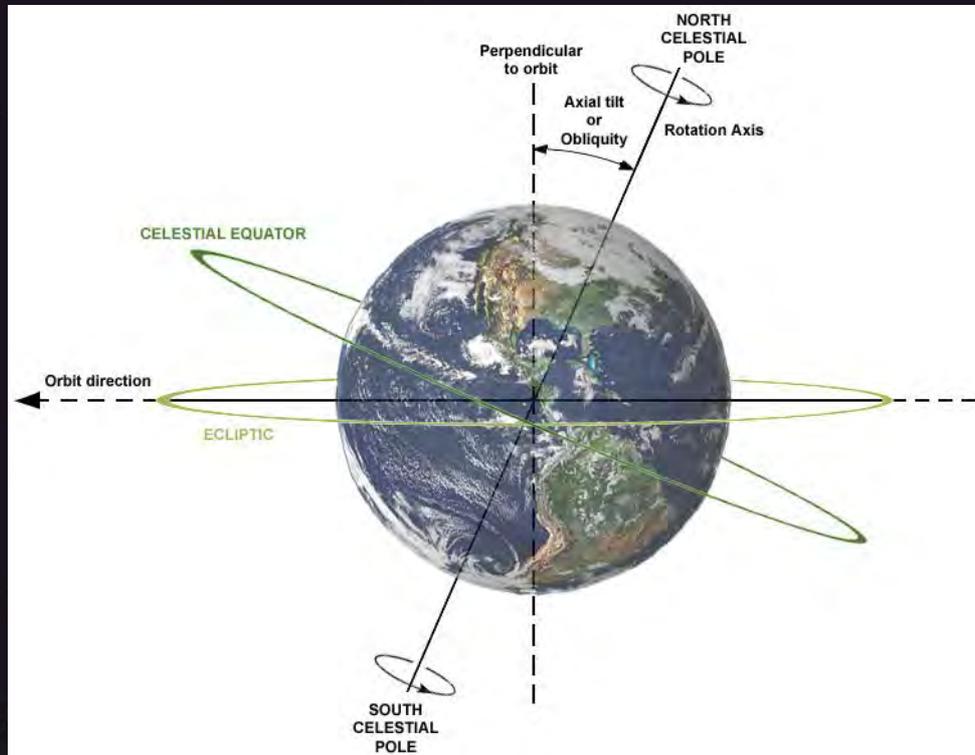
El campo forma la llamada magnetósfera, la cual desvía las partículas cargadas eléctricamente provenientes del Sol hacia los polos magnéticos, generando las conocidas y espectaculares auroras boreales (polo norte) y australes (polo sur).

MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

A diferencia de lo que podemos pensar, la Tierra no está estática, tiene diferentes movimientos.

El primero es el de **rotación**, movimiento del planeta en torno a su propio eje. La Tierra tarda **23 h 56 m y 4 s** en dar una vuelta completa alrededor de su eje, dando origen al día y la noche. Debido a la esfericidad de nuestro planeta, no todas las regiones de la superficie se encuentran de noche ni de día simultáneamente, debido a esta diferencia se originaron los husos horarios. Por ese motivo mientras en Chile es de noche, en Japón es de día.

La rotación del planeta da origen al movimiento aparente del Sol. La línea imaginaria que traza en su movimiento por el cielo se conoce como **eclíptica**. Por esta misma línea pasan la Luna y los otros planetas del Sistema Solar, ya que se encuentran aproximadamente en el mismo plano orbital.



Aquí puedes tener mayor información de los Husos horarios y de la línea imaginaria conocida como eclíptica:

https://es.wikipedia.org/wiki/Huso_horario

<https://es.wikipedia.org/wiki/Ecl%C3%ADptica>

El segundo movimiento es el de **traslación**, en el cual la Tierra se desplaza alrededor del Sol tardando **365 d 6 h 9 m y 9.7632 s** en dar una vuelta completa, dando origen al año terrestre. Como verán este periodo de tiempo es un poco más de los 365 días que generalmente componen un año, por lo que al pasar cuatro años estas 6 horas restantes forman un día más, aumentando el año a 366 días, ese año se conoce como año bisiesto, y este día adicional se agrega al mes de febrero quedando con 29 días. El eje de rotación de la Tierra se encuentra inclinado $23,5^\circ$ con respecto al plano de traslación alrededor del Sol, lo cual produce que en ciertas épocas del año los rayos del sol lleguen más directamente sobre un hemisferio que sobre el otro, generando las estaciones del año, periodos de tiempo en donde se identifican variaciones de temperatura y duración del día y la noche.

Este movimiento aparente del Sol en el cielo a lo largo del año genera los llamados equinoccios y solsticios en ambos hemisferios. Los **equinoccios** ocurren cuando el sol se encuentra justamente

sobre el ecuador terrestre, que suceden en los meses de marzo y septiembre, dando origen a las estaciones de otoño y primavera respectivamente en el hemisferio sur. Su nombre indica que la duración del día es igual a la de la noche. En cambio los **solsticios** ocurren cuando el sol se encuentra sobre los trópicos generando que el día sea más largo o más corto que la noche dependiendo del hemisferio. Estos ocurren en los meses de Junio y diciembre dando comienzo al invierno y verano respectivamente en el hemisferio sur.

Visita el siguiente video que muestra el Solsticio en Stonehenge:

https://www.youtube.com/watch?v=SKusr6d_1-c

Nuestro calendario actual, conocido como **gregoriano**, y que fue adoptado por el mundo occidental durante el renacimiento, contempla el movimiento de la Tierra alrededor del sol, por esa razón tiene una duración de 365 días. Los meses del año y su duración tienen relación el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. Debido a que estos movimientos fueron conocidos desde la antigüedad no es de extrañar que la mayoría de los calendarios construidos por diferentes civilizaciones a lo largo de la historia tengan en principio la misma duración.

LA LUNA



3. La Luna

INTRODUCCIÓN

La Luna es el único satélite natural de nuestro planeta. Es el segundo astro más brillante del cielo terrestre después del Sol, y su movimiento regular ha hecho que desde tiempos antiguos, tenga una influencia cultural importante sobre el lenguaje, calendarios, arte y mitología.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Nuestro satélite se encuentra a una distancia promedio de 384.000 kilómetros de la Tierra, pero debido a que su órbita es elíptica, tenemos que su distancia es de 405.400 kilómetros en el apogeo, momento donde la Luna se encuentra más lejos de la Tierra y a sólo 362.000 kilómetros en el perigeo, momento de mayor cercanía de la Tierra.

Distintas misiones espaciales han explorado el satélite desde el comienzo de la era espacial en la década de 1950. Entre ellas resaltan las misiones Apolo que la visitaron en varias ocasiones y permitieron al hombre poder pisar por primera vez otro cuerpo celeste diferente a la Tierra.



Si deseas tener más información de las misiones Apolo, visita los siguientes links:

<http://www.lanasa.net>

http://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/index.html

https://es.wikipedia.org/wiki/Programa_Apolo

ESTRUCTURA INTERNA Y EXTERNA

La Luna es el segundo satélite más denso en el sistema solar, sólo superado por lo, luna de Júpiter. Su interior está formado por tres capas distintas, conocidas como: corteza, manto y núcleo. El núcleo tiene un radio de unos 500 kilómetros, divididos en una región parcialmente derretida, un núcleo exterior líquido y un núcleo interior sólido de 240 kilómetros de radio compuesto principalmente por hierro. La superficie lunar muestra evidencias de actividad volcánica y confirma que la composición del manto es más rico en hierro que el de la Tierra.

La corteza lunar tiene un ancho de aproximadamente 50 kilómetros y está poblada por grandes cráteres, cavidades, llanuras y sistemas montañosos. Las alturas mayores bordean los 5 kilómetros de altura y las mayores profundidades pueden alcanzar hasta los 13 kilómetros.

Por razones que se explicarán más adelante, la Luna tiene un lado que es siempre visible a la Tierra, mientras que el otro lado permanece "oculto" para nosotros. El lado que da siempre a la Tierra está poblada por planicies volcánicas llamadas "Mares", debido a la creencia antigua de grandes extensiones de agua líquida en la superficie lunar, entre los cuales tenemos el mar de las lluvias (Mare Imbrium), Mar de la Tranquilidad (Mare Tranquillitatis) y Mar de la Crisis (Mare Crisium), y que son pruebas del pasado activo del satélite. En cambio, el lado "oscuro", que se encuentra oculto de la Tierra, carece de ellas.

ORIGEN

Se estima que la Luna se formó hace unos 4500 millones de años, no mucho después que la Tierra. Aunque existen diferentes hipótesis de su origen, la explicación mayormente aceptada habla de que la formación de la Luna fue producto de la acumulación o acreción de los restos que quedaron después de un impacto gigantesco entre la Tierra y un objeto del tamaño del planeta Marte, algo muy común en el sistema solar en sus primeras etapas de formación. Esta colisión hizo que las composiciones de ambos cuerpos sea muy similar, lo cual fue demostrado con los cientos de rocas lunares traídas por las misiones Apolo que exploraron su superficie entre 1969 y 1972.



MOVIMIENTOS DE LA LUNA

Al igual que nuestro planeta, la Luna tiene dos movimientos principales, el de traslación y el de rotación. Al igual que la Tierra, posee un tercer movimiento poco conocido, llamado de *precesión*, el cual se refiere al movimiento del eje de rotación alrededor de un eje central, similar al movimiento de un trompo alrededor de su eje. Este movimiento es muy lento, en el caso de la Tierra dura aproximadamente 26000 años.

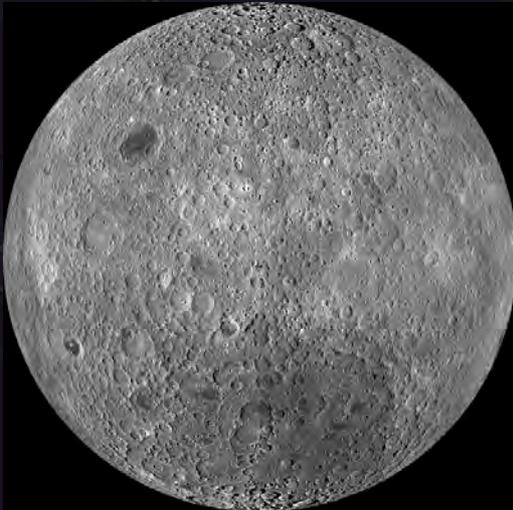
TRASLACION

La Luna completa una órbita alrededor de la Tierra cada 27,3 días terrestres, lo que se conoce como **periodo sideral**, pero debido al movimiento propio de la Tierra alrededor del Sol, desde la Tierra le toma 29,3 días para que complete una vuelta, lo que se conoce como **periodo sinódico**.

El movimiento alrededor de nuestro planeta genera las llamadas **fases lunares**, que observamos como el cambio de la porción iluminada de la Luna. Cuando la luna nos presenta su cara completamente iluminada se encuentra en su fase de Luna Llena, y cuando se encuentra completamente oscura se llama Luna Nueva. Entre medio tenemos las fases de Cuarto Creciente y Menguante si la porción iluminada está aumentando o disminuyendo respectivamente.

Para conocer más de las fases lunares te invitamos a ver el siguiente video:

<http://www.youtube.com/watch?v=7vUObZwLJ8A>



ROTACION

El movimiento del satélite alrededor de su propio eje le toma 27,3 días terrestres, es decir, en ese tiempo la Luna da una vuelta completa sobre si misma. Este tiempo es aproximadamente el mismo que le toma en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra, lo que se conoce como movimiento sincrónico, produciendo que desde la Tierra siempre veamos aproximadamente la misma cara de la Luna. La única forma de observar la cara oculta es a través de satélites o viajes especiales. La sincronía de este movimiento tiene que ver con las fuerzas gravitacionales entre la Tierra y la Luna.

ECLIPSES SOLARES

Un eclipse solar ocurre siempre cuando la Luna se posiciona entre la Tierra y el Sol proyectando una sombra sobre el primero. Esto genera que en algún lugar de la Tierra se observa un ocultamiento del Sol. Si el ocultamiento es total, se llama eclipse solar **total**, si este no es total se llama eclipse solar **parcial**. Debido a que la distancia entre la Luna y la Tierra varía, hay veces que la Luna no puede ocultar completamente al Sol, lo que da lugar a eclipse solar **anular**, donde parte del Sol (un anillo) no alcanza a ser ocultado.

Un dato importante es que un eclipse solar siempre ocurre cuando la luna se encuentra en la fase de Luna Nueva.

Durante un eclipse solar se puede observar la corona solar, la cual es prácticamente invisible desde la Tierra debido a la radiación proveniente del Sol.

Puedes revisar algunos videos de eclipses solares en los siguientes links:

<http://www.youtube.com/watch?v=eOvWioz4PoQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=2dk--IPAi04>



ECLIPSES LUNARES

Un eclipse lunar ocurre cuando la Tierra se posiciona entre el Sol y la Luna, generando que la sombra de la Tierra oculte a la Luna. Al igual que con los eclipses solares, tenemos eclipses lunares totales y parciales dependiendo del grado de ocultamiento de la Luna. Un eclipse lunar siempre ocurre cuando la Luna se encuentra en la fase de Luna Llena.

A diferencia del eclipse solar, un eclipse lunar es visible desde una porción mayor de la Tierra y tiene una mayor duración. La presencia de la atmósfera terrestre provoca que la luz que llega a la Luna se encuentre afectada por el fenómeno de la refracción, produciendo el color rojizo de la superficie lunar. Por este motivo, los eclipses lunares también son conocidos por algunos pueblos de la antigüedad como **lunas de sangre**.

Debido a que la órbita de la Luna alrededor de la Tierra se encuentra inclinada 5 grados con respecto a la órbita de la Tierra alrededor del Sol, los eclipses no ocurren cada luna nueva y luna llena, sino aproximadamente dos veces al año.



Puedes revisar un video que muestra un eclipse lunar aquí:
<http://www.youtube.com/watch?v=2dk--IPAi04>

MAREAS

Las mareas de los océanos de la Tierra, que se perciben como cambios en el nivel medio del mar, son generados principalmente por la atracción gravitacional o fuerza de marea que produce la Luna sobre nuestro planeta. Estas fuerzas generan el movimiento de las masas de agua del planeta dependiendo de la posición de nuestro satélite. Cuando la Luna está sobre una región determinada de la Tierra, atrae las aguas que se encuentran directamente en la línea de visión aumentando el nivel del mar, lo que se conoce como **Marea Alta**. En cambio, las regiones de la Tierra que están más alejadas de la posición de la Luna tienen una menor influencia gravitacional generando una **Marea Baja**. Cada región de la Tierra experimenta dos mareas altas y dos mareas bajas durante el día. Algunos científicos han postulado que este movimiento de mareas es el responsable de la aparición de la vida en la Tierra, actuando como mezclador de los océanos primitivos y sus componentes desde su formación.

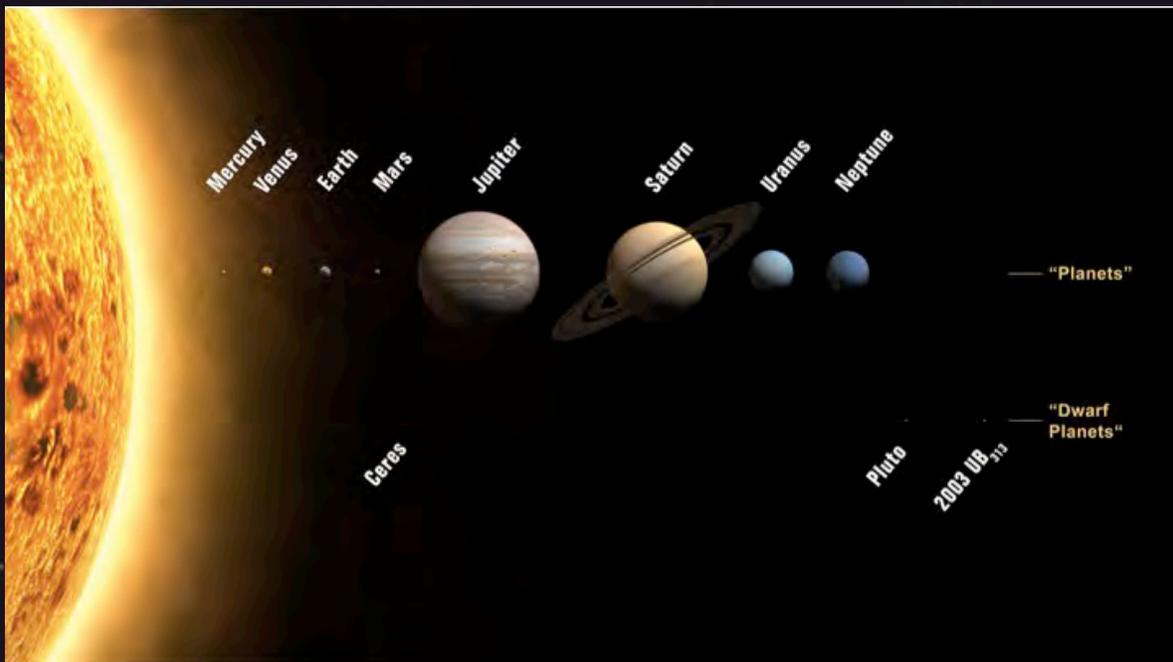
EL SISTEMA SOLAR



4. El Sistema Solar

INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta Tierra se encuentra inmerso en un "conjunto" mayor de cuerpos que es el Sistema Solar. Un sistema formado por el Sol, que es el componente principal, los ocho planetas principales, cada uno de ellos con sus respectivos satélites, y los cuerpos menores como son los cometas, asteroides y objetos trans-neptunianos. Todos estos cuerpos conforman nuestro vecindario galáctico.



ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

El origen del sistema solar está intrínsecamente ligado con la formación del Sol.

Las estrellas nacen de una nebulosa, que es una región de gas y polvo que colapsa por las fuerzas gravitacionales. La mayor parte del material se reúne formando a la estrella, en cambio el material restante y que normalmente es muy poco en relación a la estrella o conjunto de estrellas, se forman los planetas.

Los diferentes modelos de formación de planetas existentes han experimentado diversas modificaciones y actualizaciones producto de los últimos descubrimientos de los "exoplanetas", que son planetas orbitando alrededor de otras estrellas diferentes al Sol. Sin embargo, lo cierto es que el material remanente de la formación de la estrella principal se reúne debido a las fuerzas gravitacionales y estas producen las diferentes características de los planetas.

PLANETAS INTERIORES

Los planetas más cercanos al Sol se conocen comúnmente como planetas interiores o terrestres. Estos son: Mercurio, Venus, Tierra y Marte. Estos planetas son reconocidos desde la antigüedad, son rocosos y poseen pocos satélites naturales e incluso algunos carecen de ellos.

MERCURIO:

Se encuentra a 58 millones de kilómetros del Sol. Como referencia la Tierra se encuentra a 2,5 veces esta distancia. Este planeta tiene un radio de 2440 kilómetros, el cual es muy cercano al tamaño de nuestra Luna.

Debido a su cercanía, demora sólo 87,9 días en dar una vuelta completa alrededor del Sol, lo que se conoce como año en Mercurio y tarda 58,7 días terrestres en dar una vuelta completa sobre si mismo, lo que se conoce como día en Mercurio. Cabe destacar entonces que cada 3 días en Mercurio transcurren 2 años.

En relación a sus características físicas, es un planeta rocoso que presenta una superficie con muchos impactos de objetos externos, lo cual se explica por su cercanía al Sol y su ausencia de atmósfera.



VENUS:

Se encuentra a 108 millones de kilómetros del Sol. Tiene un radio de 6052 kilómetros, muy cercano al valor del radio terrestre. Tarda 244,7 días en dar una vuelta completa alrededor del Sol (Año en Venus) y demora 583.92 días en dar una revolución en torno a su propio eje (Día en Venus), con lo cual el día en este planeta es más largo que el mismo año. A diferencia del resto

de los planetas del Sistema Solar que rotan de Oeste a Este, Venus gira en dirección contraria. El modelo más aceptado nos dice que esta rotación retrógrada sería la responsable de la larga duración de su día. Su superficie se encuentra oculta a la vista debido a su densa atmósfera compuesta principalmente de dióxido de carbono y que genera lluvias de ácido sulfúrico sobre el planeta. Un clima muy hostil para la vida como la conocemos.



TIERRA:

Es el planeta en donde vivimos. Se encuentra a 150 millones de kilómetros del Sol, distancia que es conocida como la Unidad Astronómica (UA). Demora 365 días 6 Horas y algo más en dar una vuelta completa alrededor del Sol. El hecho que nuestro calendario sólo considere los 365 días, produce que cada cuatro años se necesite agregar un día, dando origen al año bisiesto que posee 366 días.

Tiene un único satélite natural conocido como la Luna y dos tercios de su superficie están cubiertas por agua. Hasta ahora es el único planeta que conocemos que posee vida.

MARTE:

Es el cuarto planeta desde el Sol y es conocido como el Planeta Rojo. Su nombre se lo debe al dios romano de la Guerra. Se encuentra a 227 millones de kilómetros del Sol, lo cual es aproximadamente 1,5 veces la distancia de la Tierra al Sol. Posee un radio aproximadamente la mitad de nuestro planeta con 3400 kilómetros y demora casi el doble de tiempo en dar una vuelta completa alrededor del Sol con 689,9 días.

Marte posee dos satélites naturales "Phobos" y "Deimos", cuyos nombres significan Miedo y Terror, y que se relacionan con la mitología griega y romana. Estos satélites son muy irregulares, pequeños y tienen la apariencia de ser grandes asteroides capturados por el campo gravitacional de Marte.

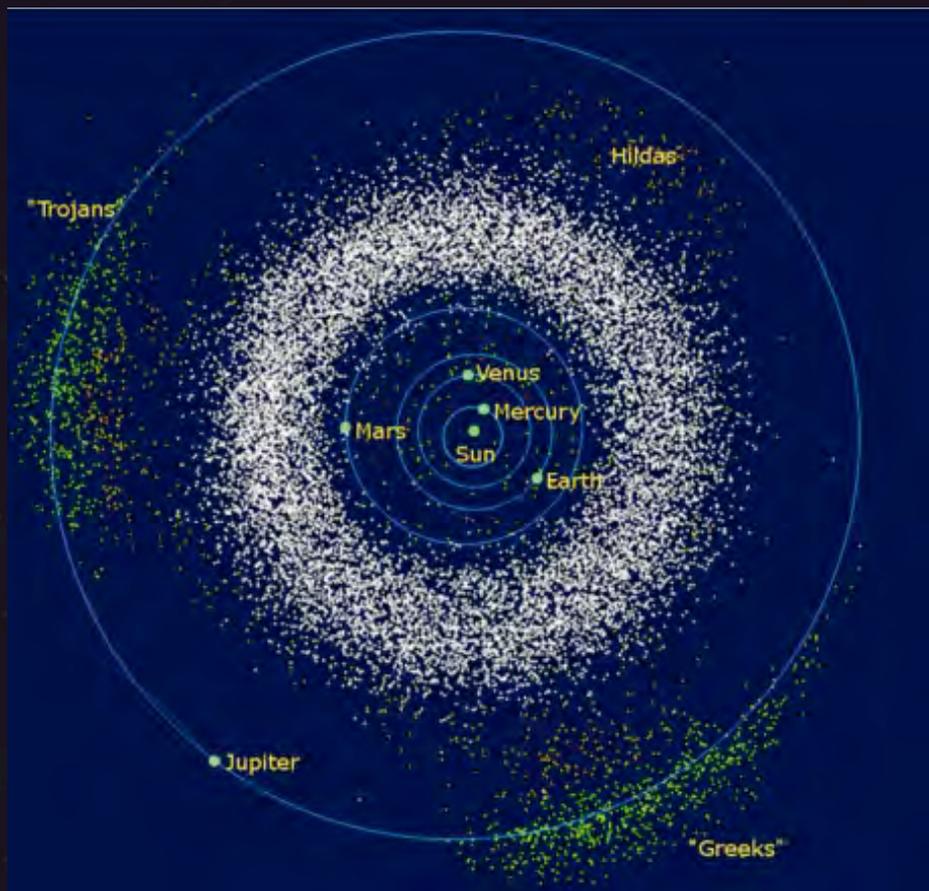
La superficie del planeta rojo ha sido estudiada en mucho detalle por diferentes satélites y sondas no tripuladas, los cuales han hecho importantes descubrimientos sobre la presencia de hielo en los polos y en otras regiones de la superficie del planeta, entre ellos podemos destacar: Viking, Mariner, Pathfinder, Spirit, Opportunity, Phoenix y la reciente Curiosity.



PLANETAS EXTERIORES

Más allá del planeta Marte existe una región conocida como cinturón de asteroides, y que está compuesta por miles de cuerpos rocosos que orbitan a una distancia de entre 2 y 4 unidades astronómicas. Varían en tamaño desde algunos tan pequeños como las partículas de polvo hasta los más grandes de hasta algunos cientos de kilómetros, como Ceres, hoy catalogado como un "Planeta Enano". Se piensa que estos cuerpos son el remanente de un planeta que no alcanzó a formarse o fue destruido por las fuerzas gravitacionales presentes en el sector.

Alejándonos más del Sol encontraremos los planetas exteriores o jovianos que se caracterizan por ser planetas gigantes en relación al tamaño de la Tierra, gaseosos, fríos, con gran cantidad de satélites y con sistema de anillos.



JÚPITER:

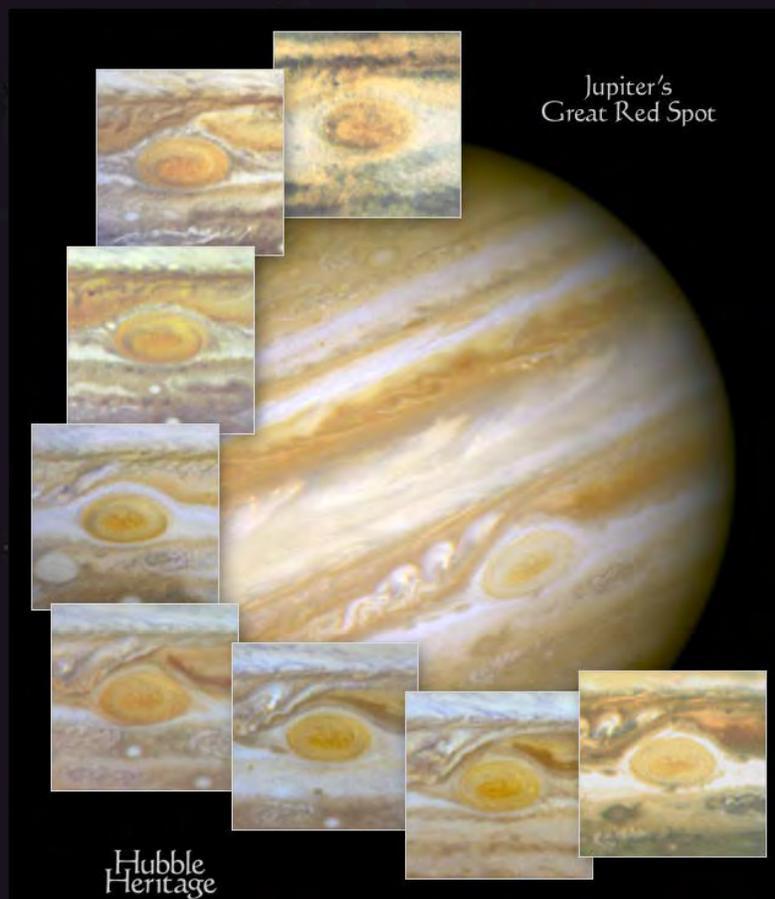
Por ser el planeta más grande del Sistema Solar es conocido como el Rey de los planetas con un radio de 71500 kilómetros (aproximadamente unas 11 veces más grande que la Tierra). Se encuentra a una distancia de 778 millones de kilómetros del Sol (unas cinco veces la distancia entre la Tierra y el Sol) y tarda 11,85 años terrestres en dar una vuelta alrededor del Sol. Sólo demora 9,9 horas en dar una vuelta completa sobre si mismo, lo cual hace que Júpiter tenga el día más corto de todos los planetas del sistema solar.

Cuando Galileo Galilei lo observó en 1609 descubrió cuatro lunas principales, hoy conocidas como galileanas. Estas lunas son: Io, Europa, Callisto y Ganímedes. Esta última es la luna más grande del sistema solar y si orbitara alrededor del Sol sería considerada como un planeta.

Posterior a Galileo, se descubrió una gran tormenta en su superficie, que hoy en día es conocida como "la gran mancha roja", que es tan grande que la Tierra misma cabría tres veces en ella.

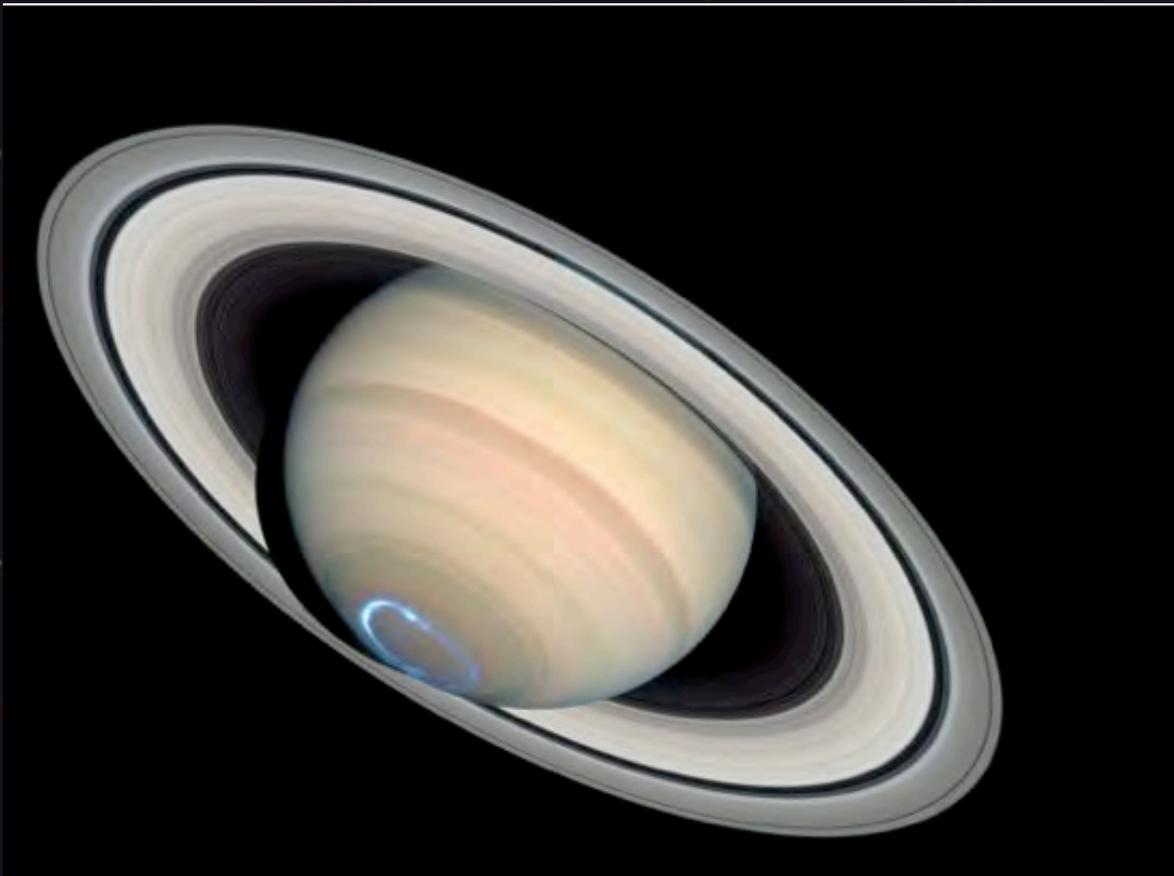
Se cree que esta tormenta se ha mantenido al menos en los últimos cuatrocientos años.

Además de muchas lunas más, Júpiter tiene un sistema poco brillante de anillos que sólo pudo ser descubierto al observar el planeta a contraluz del Sol por una sonda espacial llamada Voyager que lo visitó a finales del siglo pasado.



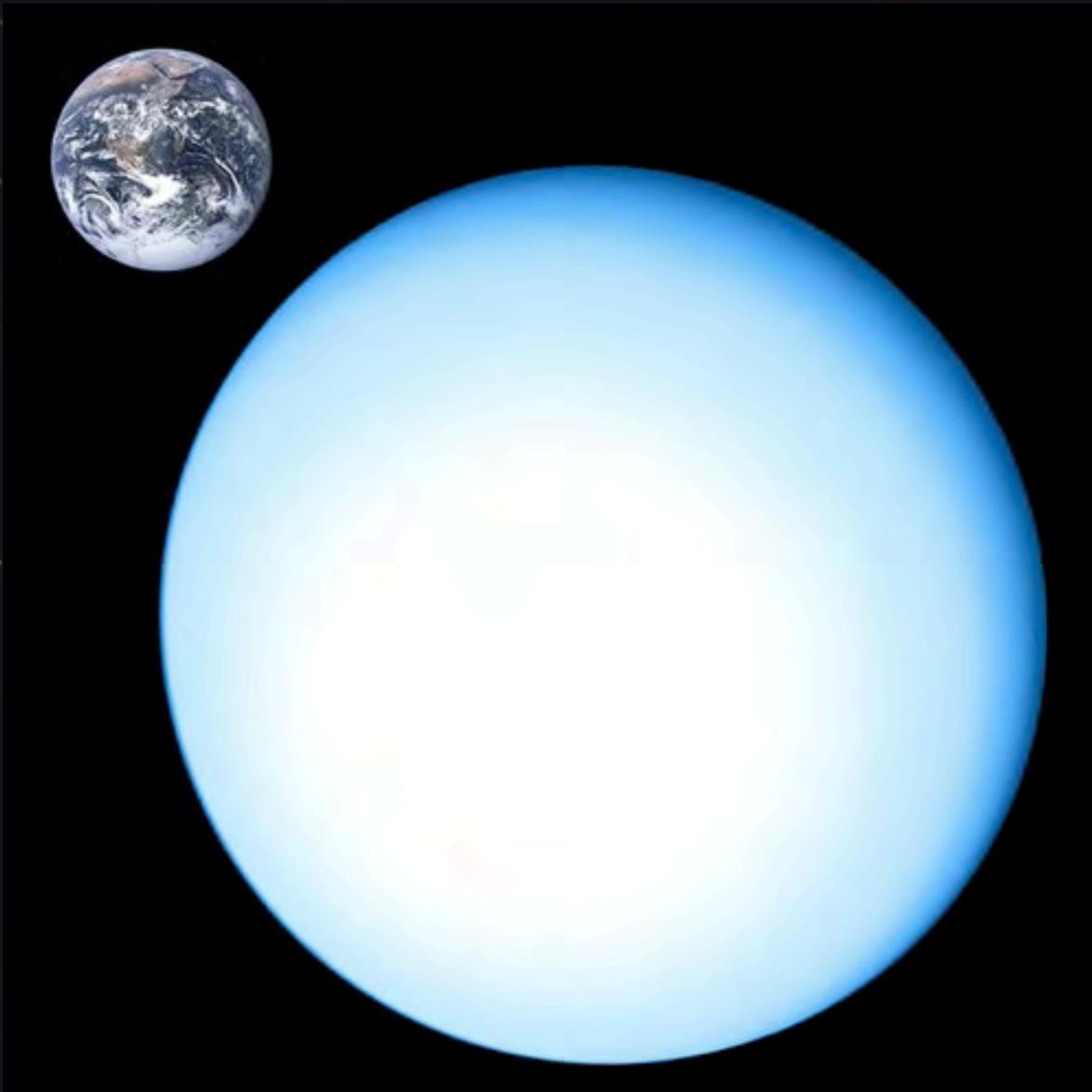
SATURNO:

Es conocido por sus brillantes anillos. Se encuentra a 1420 millones de kilómetros del Sol, siendo el sexto planeta en distancia a la estrella. Tarda 29,6 años en dar una revolución completa alrededor del Sol y demora 10 horas 32 minutos en dar una vuelta sobre sí mismo. Este planeta posee un radio de 60200 kilómetros, y tiene una densidad tan baja que si existiera una piscina de agua lo suficientemente grande, Saturno flotaría en ella. Tiene varias decenas de satélites naturales, entre las que destacan Titán y Enceladus. Titán es una luna que ha sido altamente estudiada debido a que posee una atmósfera. La sonda Huygens exploró esta luna y encontró evidencias de un ciclo de metano en su superficie, al igual que el ciclo que tiene el agua en nuestro planeta.



URANO:

El séptimo planeta desde el Sol era desconocido para los antiguos, sólo en 1781 fue descubierto por William Herschel, astrónomo inglés que construyó el telescopio más grande de su época. Se encuentra a 2870 millones de kilómetros del Sol, lo cual equivale a unas 20 veces la distancia de la Tierra al Sol. Demora 84 años terrestres en dar una vuelta completa alrededor de nuestra estrella y su día dura sólo 17 horas y 14 minutos. Algo muy peculiar de este planeta es que su eje de rotación es casi perpendicular al plano del sistema solar, lo cual provoca que uno de sus polos siempre es iluminado por el Sol. Este planeta posee varias lunas y un sistema de anillos, aunque es menos brillante y conocido que el de Saturno.



NEPTUNO:

Es el planeta más alejado del Sol, se encuentra a una distancia de 4500 millones de kilómetros, una distancia 30 veces mayor que la de la Tierra. Su año tiene una duración de 164 años terrestres y demora sólo 16 horas y 6 minutos en dar una vuelta sobre si mismo. Su color azulado explica el por qué tiene el nombre del dios romano del mar. Al igual que los otros planetas exteriores, Neptuno es gaseoso y posee un ciclo de tormentas bastantes grandes y poderosas. Cuando la sonda Voyager pasó cerca del planeta a finales de los años 80's descubrió un sistema de anillos poco brillantes y una gran tormenta en su superficie, que luego fue bautizada la "gran mancha azul" en analogía con la tormenta de Júpiter. Al igual que el planeta Urano, fue descubierto a mediados del siglo XIX por Galle, que lo encontró justo en la posición que predijo Urban Le Verrier algunos años antes.

Posee varios satélites, entre los que destaca Tritón, un cuerpo sólido y en el que se ha detectado la temperatura más fría del sistema solar, con 235 grados bajo cero.



CUERPOS MENORES

Más allá del planeta Neptuno tenemos una gran cantidad de objetos pequeños y fríos, algunos de ellos más grandes en tamaño. Entre ellos tenemos a Plutón, que antiguamente era considerado como el noveno planeta, y Sedna, que en un tiempo postulaba a ser el décimo planeta.

Hoy en día estos objetos han caído en una categoría diferente, la de objetos trans-neptunianos o TNO por sus siglas en inglés y de los cuales se conocen más de un millar. Los objetos mayores en tamaños, como el caso de Plutón y Sedna, han sido nombrados "Planetas Enanos". Todos estos objetos conforman el conocido cinturón de Kuiper, que comienza más allá de la órbita de Neptuno. Estos objetos se caracterizan por ser objetos fríos y muy poco brillantes, lo cual hace muy difícil su detección.

Alejándonos más del Sol nos encontramos con otra agrupación de objetos fríos y compuestos principalmente de hielo, que al acercarse al Sol liberan sus superficies producto del aumento de la temperatura y que son conocidos como los "cometas" producto de la estela de material que dejan tras de sí. Esta agrupación recibe el nombre de "Nube de Oort" y es uniforme, formando una especie de esfera alrededor del Sol y que se encuentra a una distancia media de 50.000 unidades astronómicas o aproximadamente un año luz.

EL SOL



5. El Sol

INTRODUCCIÓN

El Sol es el componente principal de nuestro sistema planetario, abarcando cerca del 99% de la masa total del Sistema Solar. Los procesos que ocurren en su interior influyen de forma importante sobre todos los otros cuerpos del sistema, entre ellos la Tierra.

Desde la antigüedad el Sol fue el astro más importante en la esfera celeste y representaba, en la mayoría de las civilizaciones, a la divinidad más importante. Su movimiento aparente alrededor de la Tierra marcan el inicio y final del día, las estaciones y el año solar, aspectos fundamentales en la construcción de los calendarios.



CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SOL

El Sol es una estrella de 696.000 kilómetros de radio, lo que equivale a unas cien veces el radio de nuestro planeta, y tiene una masa aproximada de 2×10^{30} kilogramos. ¡Este número significa que su masa se escribe como un 2 seguido de 30 ceros! ¿Puedes imaginarte este número?. Para tener una idea de qué significa podemos decir que equivale a algo así como la masa de un millón de planetas Tierras, y que consecuentemente lo convierte en el objeto principal del Sistema Solar.

Tiene una temperatura superficial de alrededor de 6000°C y en su núcleo alcanza los millones de grados producto de las reacciones termonucleares que allí ocurren.

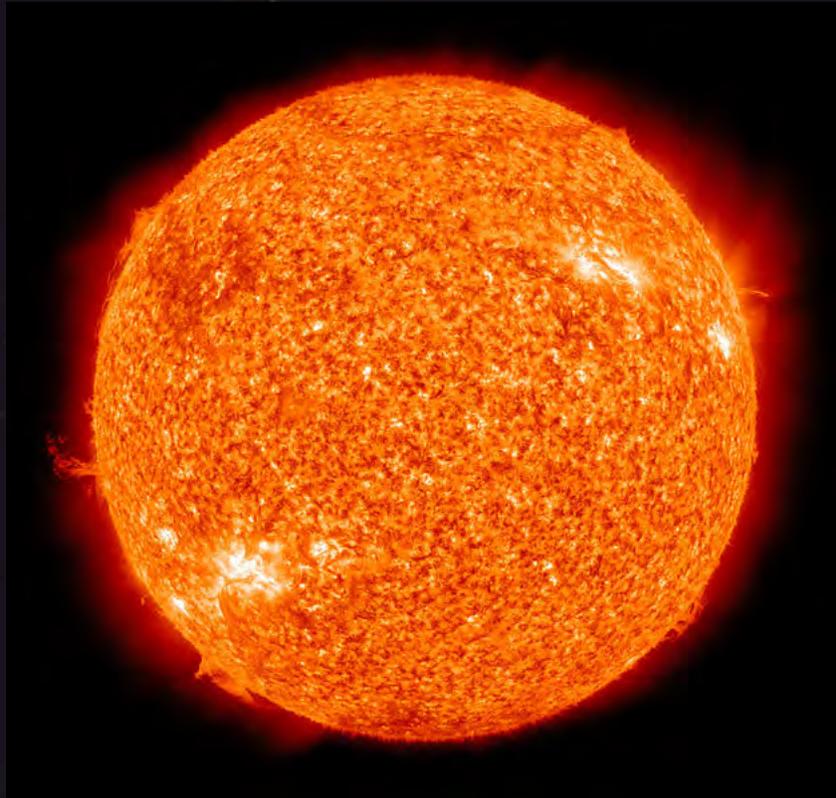
Al igual que las otras estrellas está compuesto principalmente de hidrógeno y helio, los elementos más livianos de la tabla periódica. Tiene alrededor de un 74% de hidrógeno, un 24% de helio y el 2% restante de otros elementos más pesados en su superficie.

Se estima que, de acuerdo a los modelos de evolución estelar actuales, nuestro Sol tiene unos 4500 millones de años, y se espera que de acuerdo al tiempo de actividad promedio de una estrella con su masa, esté activo por unos 5000 millones de años más.

El Sol siempre se encuentra en constante cambio. Sus procesos internos hacen que su superficie cambie regularmente.

¿Sabías que es posible ver el estado actual del Sol cuando lo desees?. Sólo debes ingresar a la página oficial del satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory).

<http://sohowww.nascom.nasa.gov>



INTERIOR

En el interior del Sol se producen reacciones de fusión nuclear en las que los átomos de hidrógeno se transforman en átomos de helio. Este proceso genera cantidades gigantescas de energía, siendo esto lo que da vida a nuestro astro rey. Actualmente, el Sol se encuentra en la llamada "secuencia principal", fase en la que seguirá unos 5000 millones de años más quemando hidrógeno de manera estable.



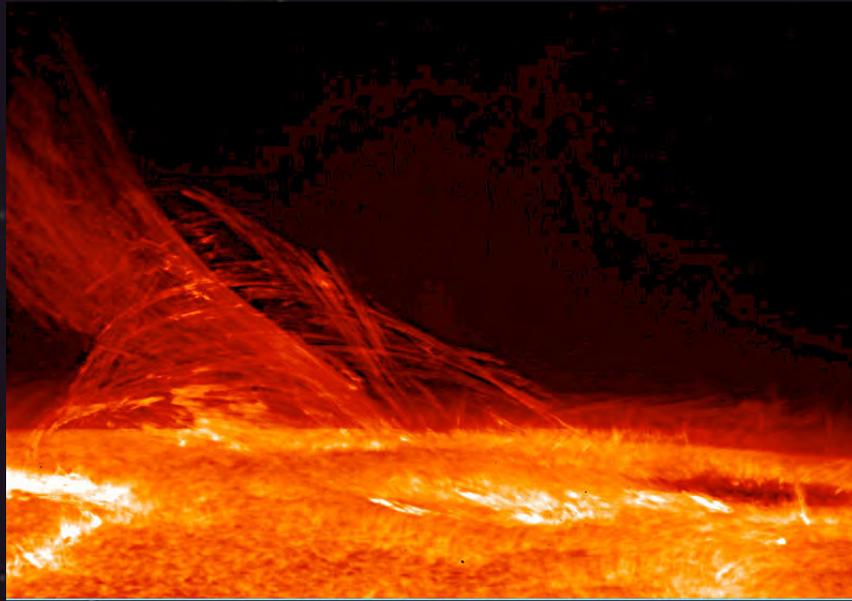
El Sol presenta una estructura en capas esféricas o "capas de cebolla". La frontera física y las diferencias químicas entre las distintas capas son difíciles de establecer, sin embargo, se puede determinar ciertas características físicas diferentes para cada una de las capas. En la actualidad, la astrofísica dispone de un modelo de estructura solar que explica satisfactoriamente la mayor parte de los fenómenos observados. Según este modelo, el Sol está formado por un núcleo, una zona radiativa, una zona convectiva, una fotosfera, una cromosfera y una corona.

Zona radiativa

Alejándonos un poco del centro nos encontramos con esta zona densa y caliente de plasma. La temperatura en esta zona desciende fuertemente desde las decenas de millones de grados celsius hasta alcanzar aproximadamente los 2 millones de grados celsius cerca del límite con la zona convectiva. Se estima que en esta zona existe un dínamo magnético que es el generador del campo magnético solar.

Zona Convectiva

Esta zona comprende desde cerca del 70% del radio del Sol hasta su superficie. Aquí el plasma es lo suficientemente denso y caliente para permitir la transferencia termal hacia el exterior. Como resultado de esto, el proceso de convección lleva la energía y el material desde el centro hacia el exterior. La temperatura desciende hasta alcanzar aproximadamente los 6000 grados celsius en la superficie y con sólo una densidad de 0,2 gramos por cada metro cúbico (unas 6000 veces menos que la densidad del aire a nivel del mar).

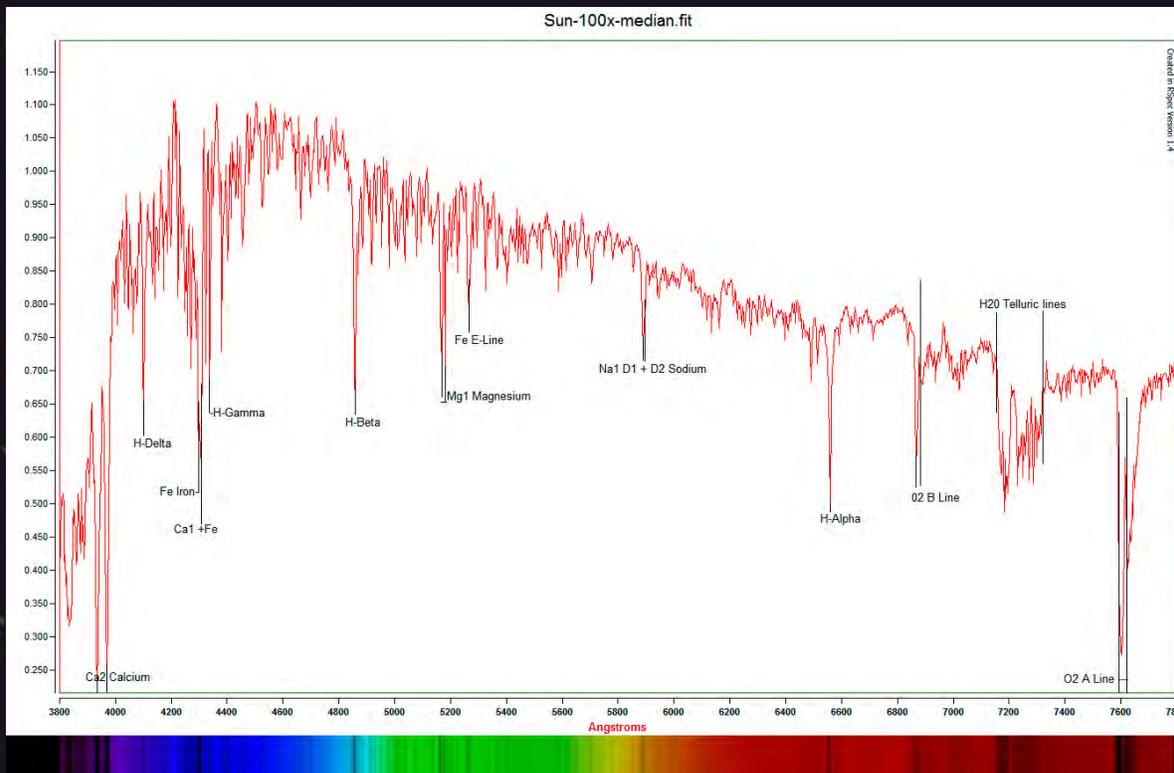


Fotósfera

La superficie visible del Sol, llamada fotósfera, es la capa en la cual el Sol llega a ser opaco a la luz visible, con lo cual la luz puede propagarse libremente hacia el espacio.

La fotósfera tiene una densidad de partículas de 10^{23} por cada metro cúbico, lo cual es un 0,37% menor que el número de partículas existentes en la atmósfera terrestre a nivel del mar.

En 1868, Norman Lockyer planteó que ciertas líneas oscuras que se observaban en el espectro solar (hoy conocidas como líneas de absorción) se debían a la existencia de nuevos elementos presentes, fue así que se nombró a este elemento Helio, proveniente del nombre griego del dios Sol, Helios. Utilizando estas líneas de absorción, hoy se pueden identificar diferentes elementos, incluyendo metales pesados como el Hierro.



Cromósfera

La cromósfera es una capa exterior a la fotosfera y es visualmente mucho más transparente. Su tamaño es de aproximadamente 10,000 km, y es imposible observarla sin filtros especiales, pues es eclipsada por el mayor brillo de la fotosfera. La cromósfera puede observarse durante un eclipse solar en un tono rojizo característico y en longitudes de onda específicas. Las prominencias solares ascienden ocasionalmente desde la fotosfera, alcanzando alturas de hasta 150,000 km y produciendo erupciones solares espectaculares.

Corona

La corona solar está formada por las capas más tenues de la atmósfera solar. Su temperatura alcanza los millones de grados Kelvin, una cifra muy superior a la de la capa que le sigue al interior, la fotosfera. Esta diferencia se debe a la aceleración de las partículas que escapan del Sol. Sus grandes velocidades son debidas a la baja densidad del material coronal y a los intensos campos magnéticos emitidos por el Sol. Como resultado de su elevada temperatura, desde la corona se emite gran cantidad de energía en rayos X.

La corona solar solamente es observable desde el espacio con instrumentos adecuados que anteponen un disco opaco para eclipsar artificialmente al Sol o durante un eclipse solar natural desde la Tierra. El material tenue de la corona es continuamente expulsado por la fuerte radiación solar dando lugar a un viento solar. Así pues, se cree que las estructuras observadas en la corona están modeladas en gran medida por el campo magnético solar.



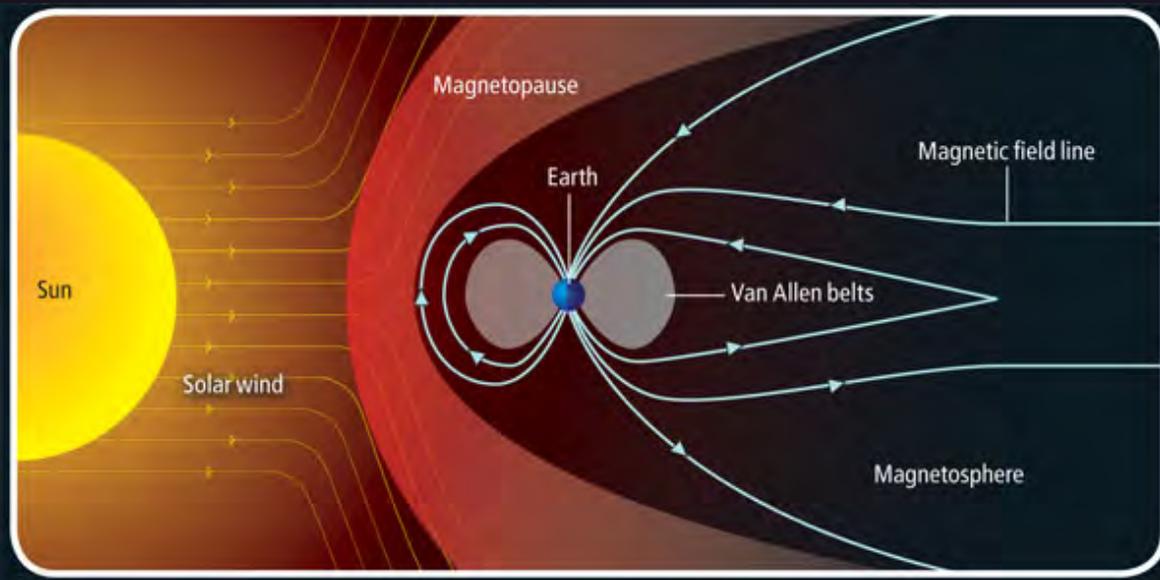
NÚCLEO

Abarca alrededor de un quinto del tamaño total del Sol con cerca de 150 mil kilómetros de extensión. En esta zona tienen lugar las reacciones termonucleares que dan origen a la energía que el astro rey produce. Esta energía, producto de la transformación de Hidrógeno en Helio mediante la fusión nuclear, mantiene a la estrella en equilibrio hidrostático, donde la presión generada por la energía producida equipara la atracción gravitacional. Las condiciones en el núcleo son realmente extremas, con una temperatura de unos 15 millones de grados celsius y una densidad de 152,7 toneladas en cada metro cuadrado. Se estima que en esta región cerca de la mitad de la materia es hidrógeno y la otra es Helio. Esta diferencia de abundancias químicas respecto a la superficie se explica por las reacciones entre los núcleos que allí ocurren.

Las principales reacciones que ocurren en el interior del Sol son tres: la cadena Protón-Protón o PP, el ciclo Carbono-Nitrógeno-Oxígeno o CNO y el proceso Triple-Alfa, los cuales transforman hidrógeno en helio. La más recurrente en esta etapa de vida del Sol es la cadena PP. En otras estrellas más masivas que el Sol predomina el ciclo CNO

ACTIVIDAD MAGNÉTICA

El Sol es una estrella magnéticamente activa. Alberga un fuerte campo magnético y que es variable en un ciclo regular de 11 años. El cambio en el campo magnético solar produce una variación de la actividad solar, la cual es visible a través de la aparición o desaparición de las manchas solares, explosiones solares y variaciones del viento solar. Estos fenómenos pueden ser perceptibles en la Tierra al observar el cambio de las auroras boreales y australes.



Toda la materia del Sol se encuentra en forma de plasma debido a sus altas temperaturas. El plasma se refiere al estado de la materia en donde los gases se encuentran a alta temperatura produciendo una ionización. Esto hace posible que el Sol rote más rápido en su ecuador que en los polos, fenómeno conocido como rotación diferencial. Generando que las líneas de campo magnético se vayan desplazando a diferentes velocidades, juntándose unas con otras, y produciendo así regiones de erupción de material hacia el exterior y/o manchas solares. Este enrollamiento de las líneas de campo magnético crea un dínamo solar de 11 años de duración, tras el cual se invierte la polaridad magnética, comenzando así un nuevo ciclo. Este campo se extiende más allá del Sol mismo influyendo sobre todo el sistema solar hasta sus límites exteriores.

La constante generación de energía en el centro del Sol produce el llamado viento solar, que es el flujo de partículas que viajan hacia el espacio. ¿Qué tipo de partículas salen del Sol? Entre las partículas de este viento tenemos fotones, electrones, algunos iones y neutrinos.

Este viento solar inunda todo el Sistema Solar y es tan fuerte que incluso deforma el campo magnético terrestre de su forma primordial

La interacción del viento solar, donde la mayoría de las partículas tiene carga eléctrica, con el campo magnético terrestre hace que estas viajen hacia los polos magnéticos. Al interactuar con las moléculas de la atmósfera generan las conocidas auroras, llamadas boreales en el hemisferio norte y australes en el Sur.

Los colores azulados, verdosos y rojizos tienen que ver con la composición de nuestra atmósfera.

Para mayor información ver el siguiente video:

Auroras

<http://www.youtube.com/watch?v=7Mz2laHjVoQ>

Viento Solar:

<http://www.youtube.com/watch?v=Kpt9hb2EA1k>

NACIMIENTO Y VIDA DE LAS ESTRELLAS



6. Nacimiento y vida de las estrellas

INTRODUCCIÓN

Las estrellas iluminan los cielos nocturnos. El intento por describir de dónde viene su brillo y su origen ha dado lugar a las teorías más extraordinarias. Parecen inmóviles, constantes y uniformes, pero en verdad se mueven, evolucionan y algunas incluso cambian su brillo en periodos cortos de tiempo. En la realidad las estrellas, al igual que los seres vivos, nacen, se desarrollan y mueren. El estudio del nacimiento y muerte de una estrella nos ayuda a entender los procesos físicos que allí tienen lugar, y además nos dan pistas del pasado y futuro de nuestra estrella más cercana, el Sol.

MAGNITUD DE UNA ESTRELLA

Una de las propiedades más características de las estrellas es su brillo, el cual depende de las reacciones que ocurren en su interior (luminosidad) y también de la distancia, ya que mientras más lejos esté la estrella de la Tierra menos brillante se verá. Para ello existe el concepto de "magnitud aparente" que nos dice qué tan brillante se ve la estrella desde nuestro planeta.

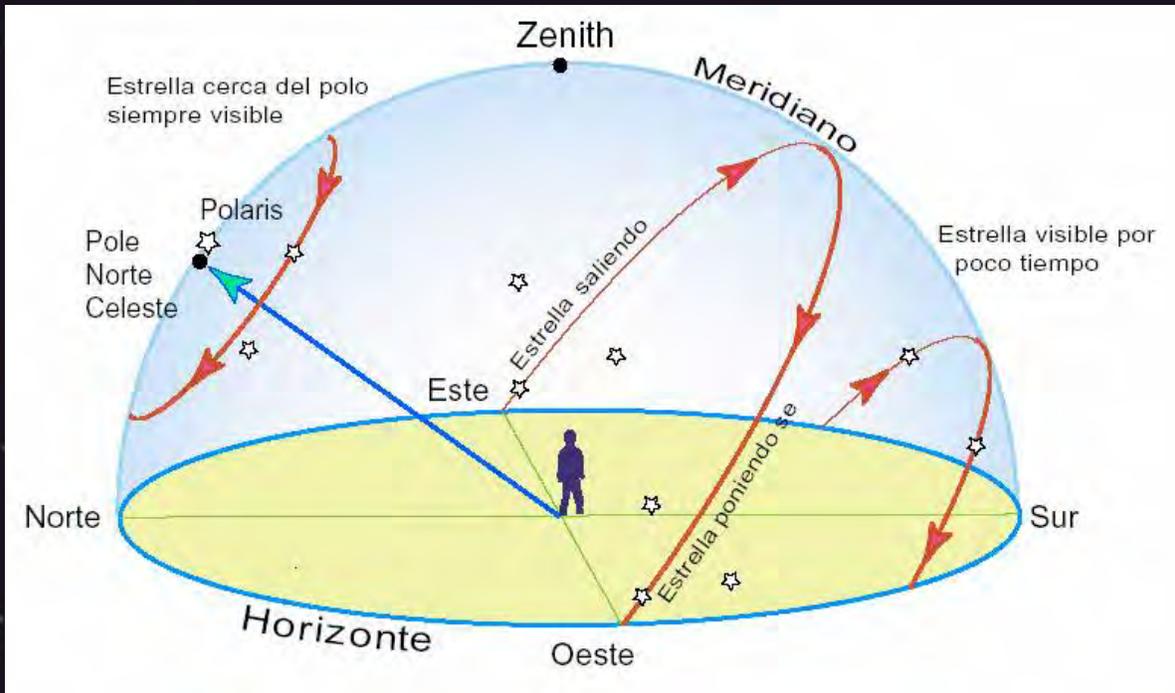
Esta cantidad fue primeramente utilizada por Ptolomeo, quien catalogó a Sirio como la estrella más brillante del cielo y le asignó una magnitud de 1, de ahí en adelante las estrellas menos brillantes fueron catalogadas con magnitudes 2, 3, 4, etc. Es decir que mientras más brillante es una estrella, menor es su magnitud.

El ojo humano es capaz de percibir los objetos que tienen hasta una magnitud de 5 o inclusive 6, lo cual nos permite observar alrededor de mil estrellas a ojo desnudo. Si necesitamos ver estrellas más débiles necesitamos instrumentos especializados y muy sensibles, como los telescopios.

Un concepto más general del brillo de una estrella es la "magnitud absoluta" que nos muestra cuán luminosa es en verdad una estrella midiendo su brillo a una distancia fija. Esto permite que el brillo que se mida sea independiente de la distancia a la estrella. Gracias a esta definición se puede establecer una relación entre la magnitud absoluta de una estrella (real) y su magnitud aparente (observada) y que se conoce como el "módulo de distancia". Esta relación nos permite calcular las distancias a las estrellas y otros objetos más lejanos como las galaxias.

DISTANCIAS

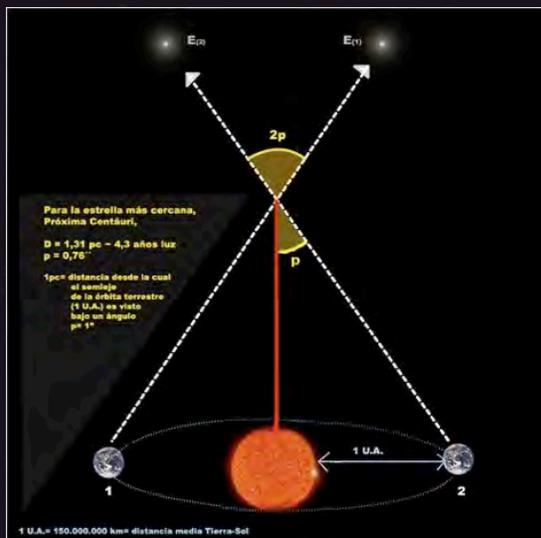
Los antiguos ubicaban a las estrellas a una misma distancia desde la Tierra posicionadas en la llamada "Esfera Celeste". Hoy en día conocemos que las estrellas se encuentran a diferentes distancias de la Tierra, y que las constelaciones son sólo figuras proyectadas en el cielo, y que pueden ser vistas desde nuestro planeta. Si nos encontráramos en algún planeta orbitando alrededor de otra estrella las constelaciones que veríamos serían completamente diferentes.



El primer método utilizado para medir la distancia a una estrella fue el “paralaje”. Este utilizaba el cambio aparente en la posición de un astro dependiendo de la posición de la Tierra dentro de su órbita alrededor del Sol. Mientras más se mueva el astro, más cerca está, en cambio si se mueve poco, se encuentra muy lejos. Ese es el caso de las estrellas, quienes se mueven muy poco, por lo que podemos decir que están muy lejos.

La estrella más cercana al Sol es Próxima Centauri, que es parte del sistema triple de Alfa Centauri. Y a pesar de esto se ubica a 4,4 años luz de distancia, es decir que necesitaríamos viajar 4,4 años a la velocidad de la luz para llegar a la estrella.

Otros métodos utilizan algunos fenómenos físicos como la variabilidad en su brillo y las explosiones de supernova, entre otros, para encontrar las distancias a estos objetos.



TEMPERATURA

Como aprendimos al estudiar el Sol, la temperatura de una estrella varía desde su superficie hacia el interior, por lo que no podemos hablar de una única temperatura para la misma estrella. Desde la distancia a la cual nos encontramos de las estrellas la única forma que tenemos de estimar sus temperaturas es a través de la luz que nos llega de ellas. Ajustando esos datos a los de los modelos existentes podemos encontrar la temperatura superficial de las estrellas.

De acuerdo con eso sabemos que estrellas con colores diferentes tienen diferentes temperaturas en sus superficies. Una estrella roja, en contra de lo que podríamos pensar, tiene menos temperatura que una estrella azul. Y las estrellas amarillas, como nuestro Sol, tienen una temperatura un poco más baja del promedio. Aunque las temperaturas “bajas” a las cuales nos referimos son del orden de varios miles de grados Celsius.

COMPOSICIÓN

Con respecto al material del que están hechas las estrellas podemos decir que sus principales componentes son el Hidrógeno y el Helio, los elementos más livianos y abundantes del universo. Además de ello, las estrellas tienen pequeñas abundancias de elementos más pesados, los cuales sirven de catalizadores para sus reacciones termonucleares.

¿Cómo sabemos esto? La luz proveniente de las estrellas nos entrega su “espectro”, el cual idealmente debería ser como la radiación del cuerpo negro, pero en la realidad presentan pequeñas líneas de absorción, es decir, regiones del espectro donde parte de la luz es absorbida. La aparición de líneas de absorción en lugares específicos del espectro nos revela qué átomos o moléculas se hallan presentes, y conociendo que cada elemento tiene sus líneas de absorción características, al igual que una huella digital es única para cada ser humano en la Tierra, podemos identificar de qué están compuestas las atmósferas de las estrellas. Esta increíble técnica nos ha permitido conocer la composición de la mayoría de los objetos en el universo.

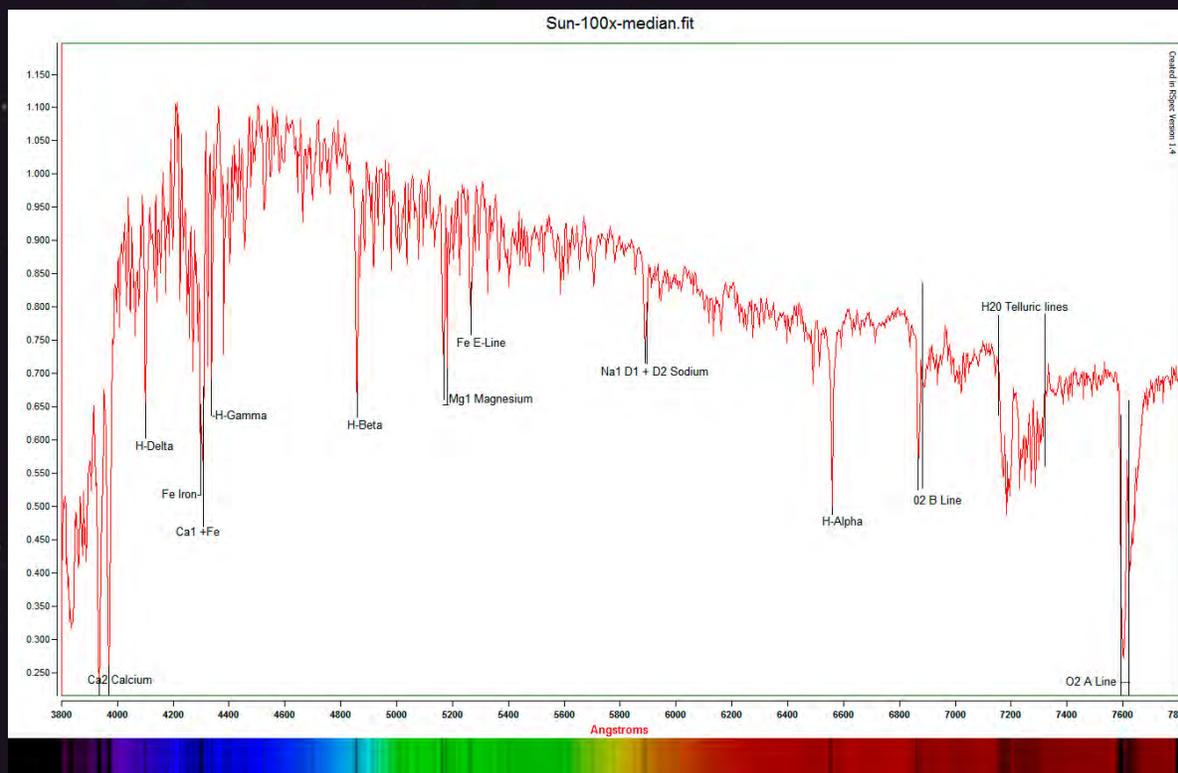
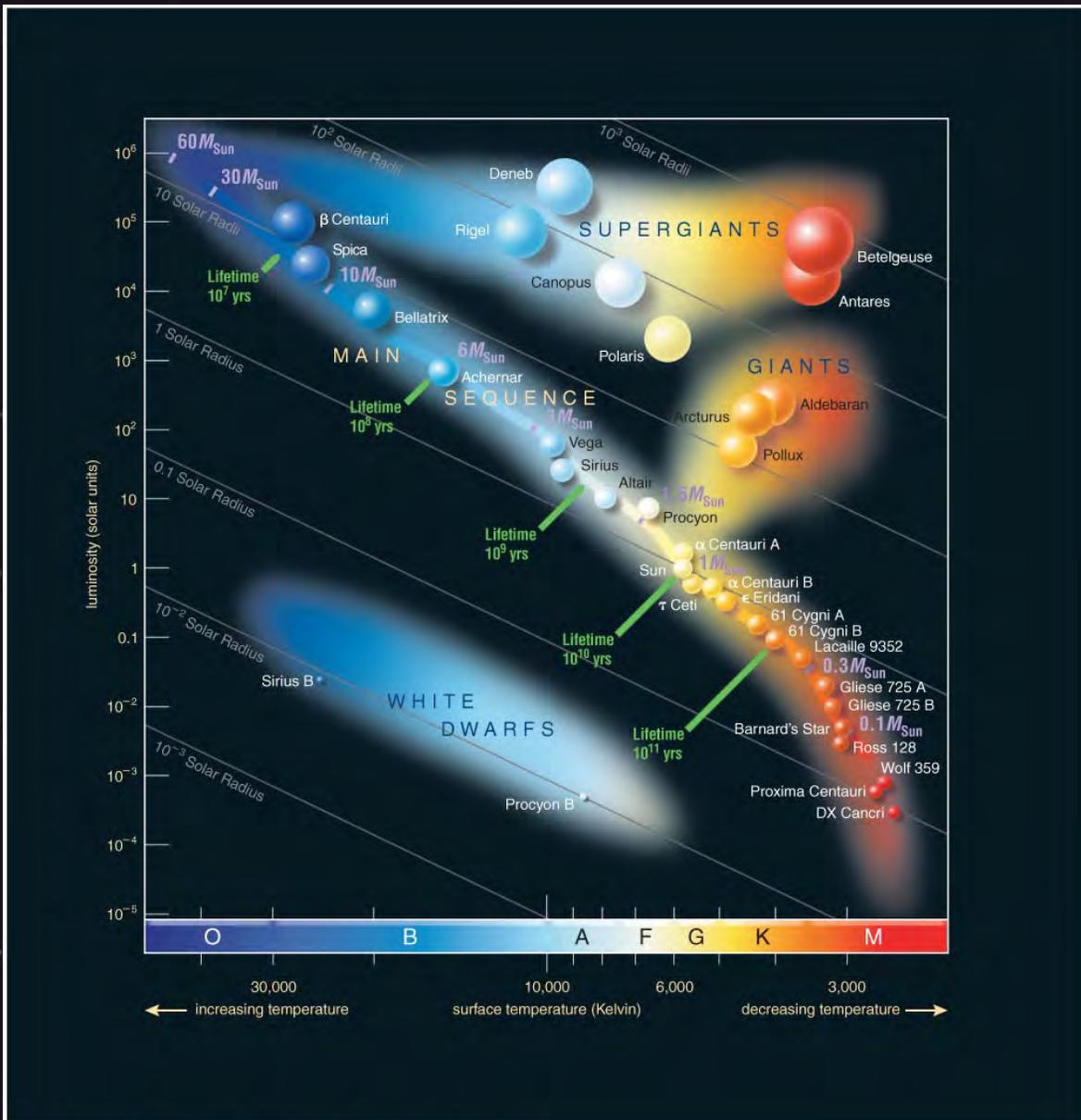


DIAGRAMA H-R

En un intento de poder clasificar las estrellas, Ejnar Hertzsprung y Henry Russell crearon en 1910 un diagrama que representaba la luminosidad o magnitud absoluta de las estrellas en función del tipo espectral (relacionado directamente con la temperatura superficial de la estrella). El diagrama muestra que estas cantidades físicas se encuentran relacionadas y nos entregan información de la evolución de las estrellas.

En este gráfico se puede observar una franja principal en la cual se ubican la mayoría de las estrellas. Esta recibe el nombre de "Secuencia principal" y muestra a las estrellas que se encuentran en equilibrio hidrostático, es decir, una estrella en donde la fuerza de gravedad y la presión generada por la energía de las reacciones internas alcanzan un equilibrio, manteniendo a la estrella estable. Este equilibrio se mantiene por un intervalo de tiempo que depende de la masa inicial de la estrella. Si la estrella es muy masiva, necesita producir mucha energía para mantenerse en equilibrio, por lo que consume rápidamente su materia prima (el hidrógeno) generando que la estrella "viva" sólo unos pocos millones de años, en cambio una estrella de baja masa, requiere de poca energía para mantener estable por lo que puede permanecer en equilibrio por varios miles de millones de años. Estrellas como el Sol, Sirio y Alfa Centauro se encuentran en esta secuencia principal.



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

En la parte inferior derecha del diagrama se encuentran las estrellas rojizas y más frías, y en el extremo superior izquierdo están las estrellas más azules y más calientes. Sobre la secuencia principal encontramos a las estrellas gigantes y supergigantes, que son estrellas más luminosas pero con temperaturas superficiales más bajas, se encuentran en una etapa de inestabilidad y cerca del fin de sus vidas. Entre ellas podemos destacar a Aldebaran, Betelgeuse y Antares, todas estrellas brillantes de color rojizo.

Finalmente en la parte inferior izquierda del diagrama podemos apreciar una franja donde se ubican las enanas blancas, remanentes de estrellas de masa intermedia como el Sol, y que son menos brillantes pero muy calientes. De esta forma podemos ver la evolución completa de una

estrella como un viaje a través del diagrama, partiendo en la secuencia principal, pasando por una etapa de gigante o supergigante y terminando como una enana blanca.

FORMACIÓN ESTELAR

¿Cómo y dónde nacen las estrellas?. Las estrellas nacen en regiones de gas y de polvo localizadas en el medio interestelar de las galaxias. Estas nubes que poseen una gran densidad, debido a la atracción gravitacional, colapsan sobre si mismas generando que el material vaya agrupándose en pequeñas regiones en donde nacerán las estrellas. Normalmente, una misma nube produce varias estrellas formando cúmulos abiertos con decenas y hasta miles de ellas. Estas aglomeraciones de gas se convertirán en pequeños discos de acreción de los cuales pueden surgir planetas si las condiciones así lo permiten.

El gas prosigue su caída hacia el centro de la nube. Este centro o estrella en nacimiento se llama también "protoestrella" y se comprime cada vez más rápido que el resto liberando mayor energía potencial gravitatoria y aumentando la temperatura de la protoestrella. De esta forma el núcleo aumenta su temperatura cada vez más hasta encender el hidrógeno, momento en el cual la presión generada por las reacciones nucleares asciende rápidamente hasta equilibrar la gravedad. De esta forma una nueva estrella ha nacido.

La masa de la nube determina también la masa de la estrella. No toda la masa de la nube llega a formar parte de la estrella. Gran parte de ese gas es expulsado cuando el «nuevo sol» empieza a irradiar energía. Cuanto más masiva sea esta nueva estrella más intenso será su viento estelar llegando al punto de detener el colapso del resto del gas. Existe, por ese motivo, un límite máximo en la masa de las estrellas que se pueden formar en torno a las 120 ó 200 masas solares. La continua lucha entre la gravedad, que tiende a contraer la joven estrella, y la presión producida por el calor generado en las reacciones termonucleares de su interior, es el principal factor que determina a partir de entonces la evolución de la estrella.



EVOLUCIÓN ESTELAR

Se llama secuencia principal a la fase en que la estrella quema hidrógeno en su núcleo mediante fusión nuclear. Aquí la estructura de la estrella consta esencialmente de un núcleo donde tiene lugar la fusión del hidrógeno al helio, y una envoltura que transmite la energía generada hacia la superficie. La mayor parte de las estrellas pasan el 90% de su vida, aproximadamente, en la secuencia principal del diagrama H-R. En esta fase las estrellas consumen su combustible nuclear de manera gradual pudiendo permanecer estables por períodos de 2-3 millones de años, en el caso de las estrellas más masivas y calientes, a miles de millones de años si se trata de estrellas de tamaño medio como el Sol, o hasta decenas o incluso centenares de miles de millones de años en el caso de estrellas de poca masa. Lentamente, la cantidad de hidrógeno disponible en el núcleo disminuye, con lo que éste ha de contraerse para aumentar su temperatura y poder

detener su colapso gravitacional. Las temperaturas del núcleo estelar más elevadas permiten fusionar, progresivamente, nuevas capas de hidrógeno sin procesar. Por este motivo las estrellas aumentan su luminosidad durante la etapa de secuencia principal de forma paulatina y regular. En una estrella de secuencia principal distinguimos dos modos de quemar el hidrógeno del núcleo, las cadena PP o cadenas protón-protón y el ciclo CNO.

ESTRELLAS PULSANTES

Se llama estrella pulsante a un tipo de estrella cuya luminosidad, temperatura superficial y espectro cambian debido a una expansión y contracción periódica de las capas exteriores de la estrella. Esto significa que la estrella cambia de tamaño periódicamente, intentando alcanzar el equilibrio entre la fuerza de la gravedad que tiende a contraer a la estrella y la presión de radiación que tiende a su expansión, comportándose como un resorte que oscila constantemente extendiéndose y contrayéndose periódicamente. La estrella es más brillante no cuando su diámetro es mayor o menor, sino cuando se expande a mayor velocidad, y presenta su mínimo brillo cuando su contracción es más rápida. En contra de lo que uno pueda pensar, las pulsaciones no se producen por un aumento de la presión de radiación producto de un mayor ritmo de fusión nuclear en el interior estelar, sino que se originan por la variación de la velocidad a la que la radiación puede escapar de la estrella.

La pulsación puede ser de dos tipos: Pulsación radial, si ocurre simétricamente en toda la superficie estelar de forma que la estrella conserva su forma esférica. Este es el caso de la mayor parte de las gigantes y supergigantes pulsantes, incluidas las cefeidas, las variables W Virginis, las variables RR Lyrae, las variables RV Tauri y las variables Mira.

Y la Pulsación no radial, en donde se producen ondas en todas las direcciones de la superficie estelar, dando lugar a múltiples períodos y modelos complejos de oscilación. Un ejemplo de este tipo de variables son las estrellas variables ZZ Ceti.

Ver video de estrella variable:

http://www.youtube.com/watch?v=MhaDju_SwaY



MUERTE DE
LAS ESTRELLAS

7. Muerte de las Estrellas

Las estrellas permanecen en la "secuencia principal" un periodo de tiempo que depende principalmente de su masa. Las estrellas con mayor masa están sólo algunos millones de años en esta secuencia mientras que las de menor masa pueden permanecer ahí por miles de millones de años. Al comenzar a acabarse el combustible en el núcleo de la estrella, ésta comienza un proceso que desemboca en diferentes fenómenos astronómicos dependiendo de la masa que tenía la estrella inicialmente.

ESTRELLAS COMO EL SOL

Las estrellas de masa inferior a 5 masas solares, cuando comienzan a agotarse sus reservas de hidrógeno, expulsan sus capas exteriores hacia el espacio. Esta fase se conoce como el de "Gigante Roja", ya que la estrella se expande y disminuye su temperatura pareciendo de color más rojizo. El remanente estelar resultante es la región central de la estrella, compuesta principalmente de carbono y oxígeno en la mayoría de los casos (dependiendo de su masa). Dicho remanente es una enana blanca y su superficie está inicialmente a temperaturas muy elevadas, del orden de 100.000 grados celsius. La radiación emitida por la estrella ioniza las capas recientemente expulsadas, dando lugar a una nebulosa de emisión llamada nebulosa planetaria. Así pues, las estrellas aisladas de masa baja e intermedia acaban sus vidas de una forma relativamente poco violenta.



La nebulosa planetaria es observable mientras la enana blanca es lo suficientemente caliente como para ionizar el hidrógeno que es su componente principal; este periodo de vida de la nebulosa dura unos 10.000 años. Las enanas blancas se enfrían rápidamente al principio, pero luego lo hacen más lentamente. Una enana blanca no tiene fuentes de energía propias, por lo que su luminosidad procede sólo de su energía térmica almacenada. Así, poco a poco se irá apagando hasta enfriarse a temperaturas de alrededor de los 2000 grados celsius, al bajar la temperatura la presión de degeneración de los electrones no es suficiente para detener el colapso gravitatorio y poco a poco dejan de emitir energía.

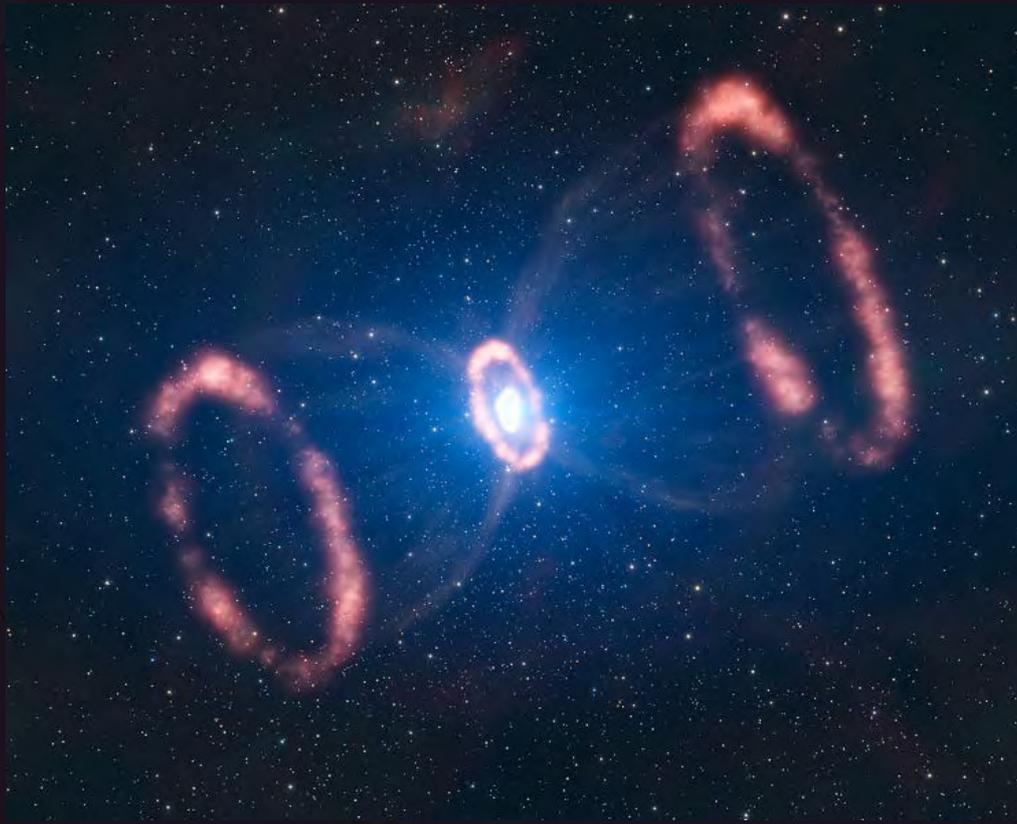
ESTRELLAS MASIVAS

Las estrellas de más de 8 masas solares (el valor exacto del límite no es algo totalmente definido) evolucionan a través de todas las fases de combustión para agotar así toda la energía potencial nuclear de que disponen. Las últimas fases de quemado transcurre cada una más rápidamente que la anterior hasta llegar a la fusión del silicio en hierro, que tiene lugar en una escala de días. El núcleo, incapaz de generar más energía, no puede aguantar su propio peso ni el de la masa que tiene por encima, por lo que colapsa. Durante la contracción gravitatoria final se producen una serie de reacciones que fabrican multitud de átomos más pesados que el hierro mediante procesos de captura de neutrones y de protones. Dependiendo de la masa de ese núcleo inerte el remanente que quedará será una estrella de neutrones o un agujero negro.

SUPERNOVAS

Las estrellas con masas mayores a 8 masas solares no forman nebulosas planetarias ni enanas blancas, sino que terminan en explosiones espectaculares llamadas "Supernovas".

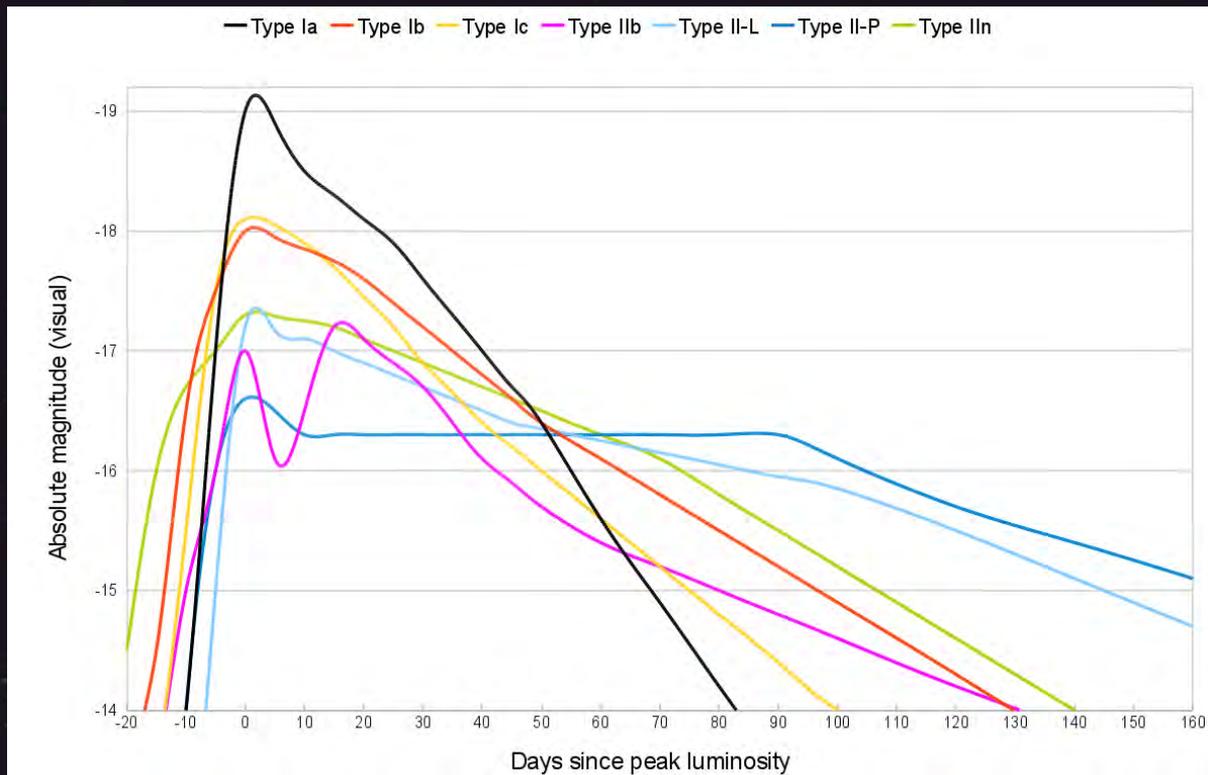
Cuando la temperatura en el núcleo de una estrella masiva aumenta lo suficiente se inician reacciones termonucleares que liberan inmensas cantidades de neutrinos.



La estrella para compensar la pérdida de energía por el escape de neutrinos aumenta la combustión nuclear o se contrae más. Pero cuando llega a una etapa estable con la producción de hierro no se produce más energía termonuclear y sólo es posible la contracción del núcleo. La temperatura producida por la rápida contracción se eleva hasta los 5000 millones de grados celsius en un centésimo de segundo. En este momento se liberan gran cantidad de rayos gamma que impactan sobre los núcleos de hierro rompiéndolos en partículas alfa en un proceso denominado "foto-desintegración". En otra centésima de segundo el núcleo es tan denso que los electrones se combinan con los protones para formar neutrones, proceso en el cual se liberan gran cantidad de neutrinos. Esta liberación de neutrinos enfría a la estrella llevándola a contraerse aun más, casi inmediatamente después esta contracción rápida se inicia y se detiene de manera súbita y la parte más interna del núcleo rebota y comienza a expandirse creando una poderosa onda de presión hacia el exterior.

Durante esta etapa las capas externas se han enfriado y están cayendo a un 15% de la velocidad de la luz hacia el interior, chocando contra el material que sale, en una fracción de segundo, el material que cae al núcleo comienza a salir nuevamente hacia el exterior. Después de algunas horas alcanza la superficie de la estrella en donde se libera en un fenómeno cataclísmico.

Antes de que la supernova suceda, la compresión de las ondas de choque ocasionan nuevas reacciones termonucleares que producen muchos elementos químicos más pesados que el hierro (zinc, oro, plata, mercurio, uranio, etc.).



Dependiendo de su origen, podemos clasificar las supernovas en diferentes tipos:

Tipo Ia. No tienen en su espectro líneas de hidrogeno o helio pero sí de absorción de silicio ionizado. Son producidas por la explosión de una enana blanca de un sistema binario que ha recibido suficiente material de su compañera como para reiniciar las reacciones nucleares. Son las más brillantes y las que han sido utilizadas como faros para estimar distancias a regiones muy alejadas. Fueron este tipo de supernovas que nos entregaron la información necesaria para conocer que la expansión del universo está acelerándose.

Tipo Ib. No tienen líneas de hidrógeno pero si de helio ionizado. Resultan del colapso de estrellas masivas que perdieron el hidrógeno de sus capas externas.

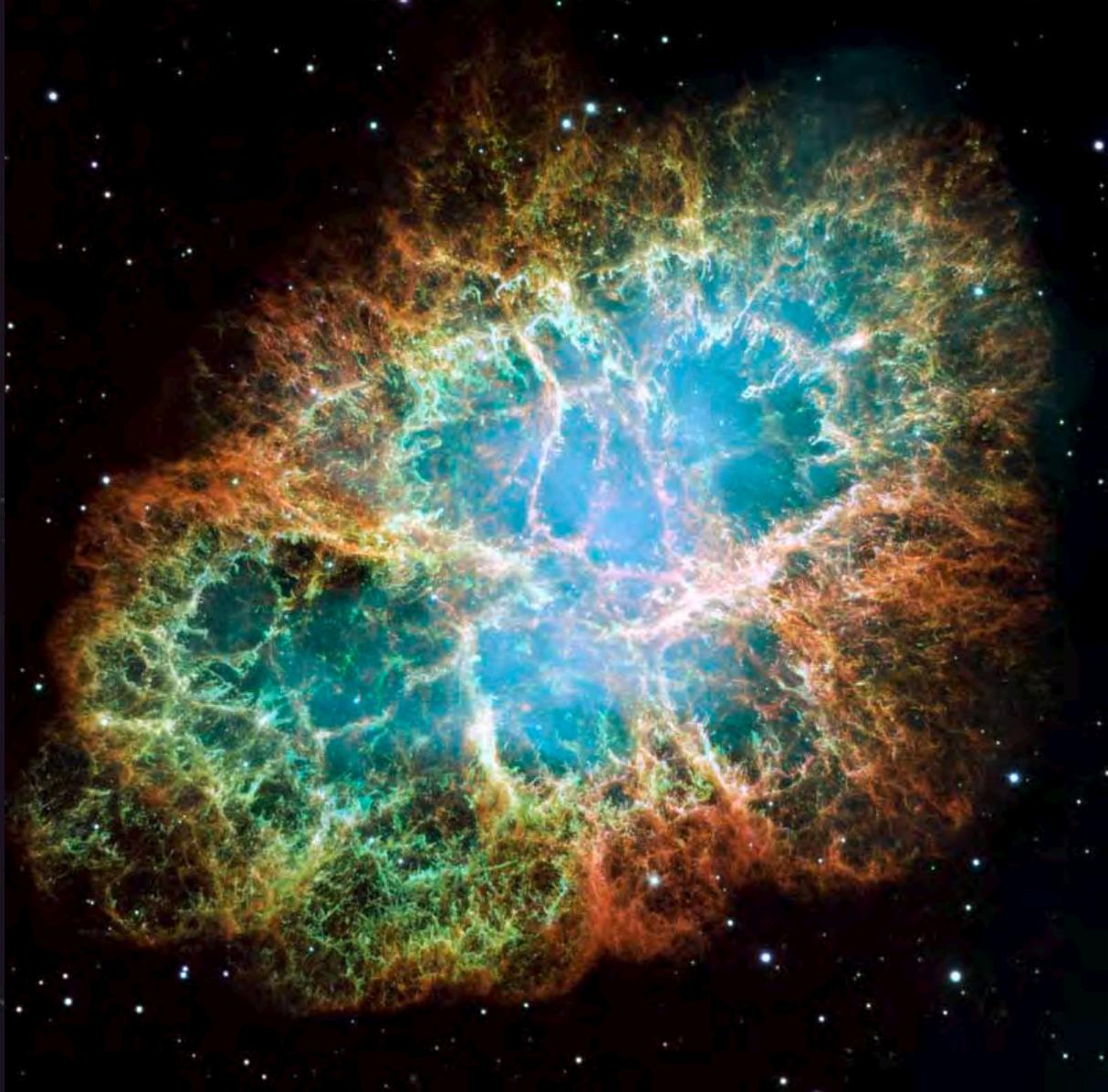
Tipo Ic. No tienen líneas de hidrogeno ni de helio. Las estrellas que las producen perdieron sus capas de helio e hidrógeno antes de la explosión.

Tipo II. Poseen líneas de emisión de hidrógeno. Se producen por explosión de estrellas que todavía poseen gran cantidad de este elemento en su superficie.

Los remanentes de supernovas son el material esparcido por el espacio que deja la explosión. Las partículas de gas colisionan produciendo excitación del material y su brillo. En general cubren amplias zonas del espacio. Igualmente cuando el material de estos remanentes colisiona con el medio interestelar radian energía en un amplia gama de longitudes de onda.

En muchos casos una nebulosa es todo lo que queda después de la explosión de supernova, sin embargo, para las supernovas tipos II, Ib y Ic, las cuales dependen del colapso del núcleo de una

estrella masiva, el núcleo puede permanecer como una estrella de neutrones o un agujero negro dependiendo de la masa y de las condiciones del núcleo.



ENANAS BLANCAS

Las estrellas de baja masa nunca alcanzan una presión suficiente para iniciar las reacciones termonucleares que utilicen el oxígeno y el carbono como combustibles. Si no hay reacciones termonucleares el núcleo se enfría y el resultado son las llamadas enanas blancas. Estas estrellas tienen el mismo tamaño de la Tierra y mantienen su tamaño sin colapsar debido a su alta densidad; los electrones del núcleo están degenerados y la presión ejercida por ellos soporta el colapso total de la estrella.

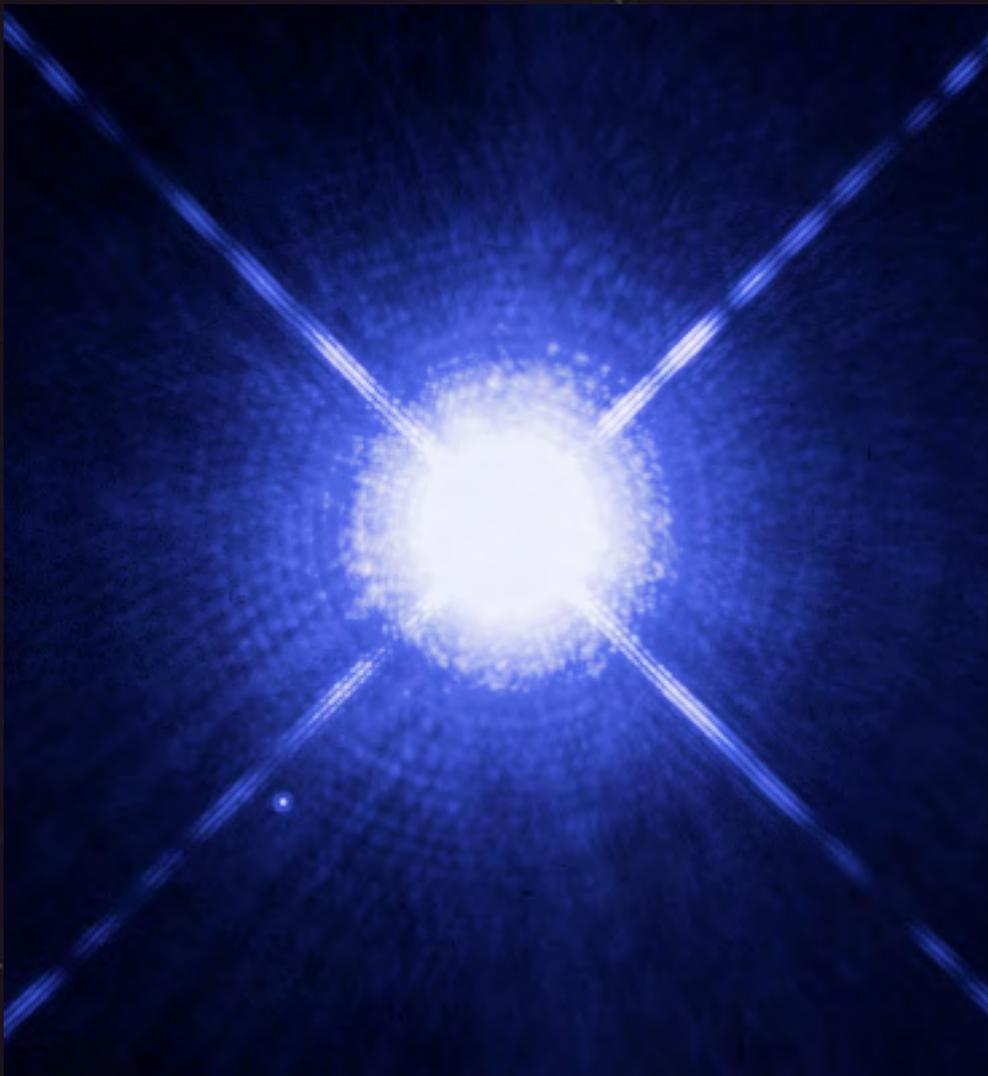
Las enanas blancas son un millón de veces más densas que el agua, por lo que una cucharada de su material en la Tierra pesaría alrededor de 5 toneladas. Existe, sin embargo un límite para que la estrella pueda ser soportada por la presión de los electrones degenerados. Este máximo de masa

se conoce como Limite de Chandrasekhar que es igual a 1.4 masas solares. Por sobre este valor el núcleo colapsa para formar una estrella de neutrones o un agujero negro.

Una enana blanca está compuesta de átomos de carbono y oxígeno flotando en un mar de electrones llamados "degenerados". Aunque mantienen el mismo tamaño mientras sufren el proceso de enfriamiento su luminosidad y temperatura superficial disminuyen con el tiempo. Se estima que millones y millones de años después las enanas blancas llegarán a tener una temperatura cercana a cero.

Para saber más de las enanas blancas, ¡Revisa este video!

<http://www.youtube.com/watch?v=d7z1LTpZelc>



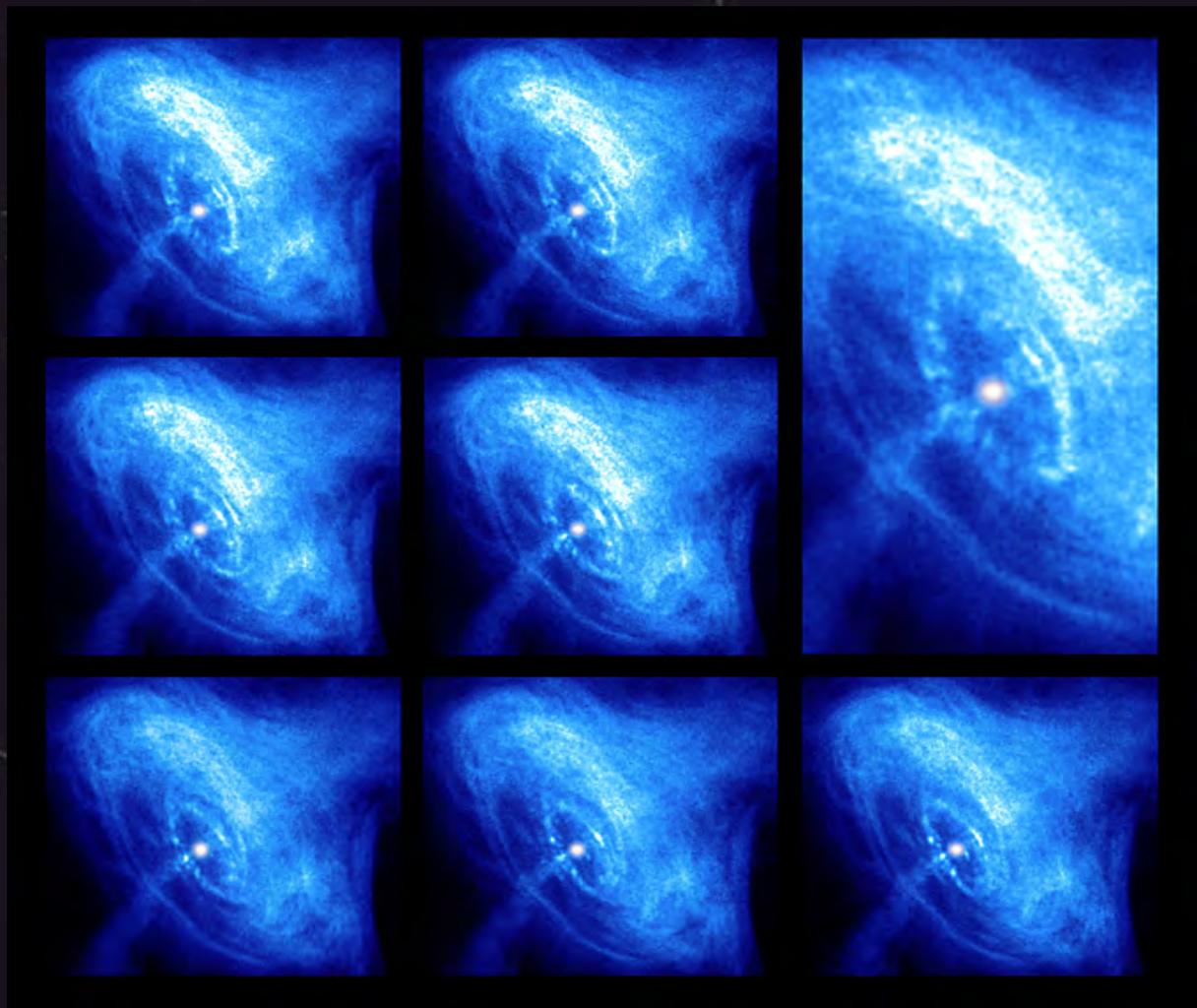
ESTRELLAS DE NEUTRONES

Una estrella de neutrones es un remanente estelar dejado por una estrella masiva después de agotar el combustible en su núcleo y explotar como una supernova tipo II, Ib o Ic. Como su nombre lo indica, estas estrellas están compuestas principalmente de neutrones, más otro tipo de

partículas tanto en su corteza sólida de hierro, como en su interior, que puede contener tanto protones y electrones, como otras partículas.

Una estrella de neutrones típica tiene una masa entre 1,35 y 2,1 masas solares y un radio de entre 20 y 10 km (análogamente a lo que ocurre con las enanas blancas, a mayor masa corresponde un menor radio).

La principal característica de las estrellas de neutrones es que resisten el colapso gravitatorio mediante la presión de degeneración de los neutrones, sumado a la presión generada por la parte repulsiva de la interacción nuclear fuerte entre los conocidos "bariones". Esto contrasta con las estrellas de secuencia principal, que equilibran la fuerza de gravedad con la presión térmica originada en las reacciones termonucleares en su interior.



Visita este video que explica cómo funcionan las estrellas de neutrones o Pulsares
<http://www.youtube.com/watch?v=qhVYDkzG2yc>

AGUJEROS NEGROS

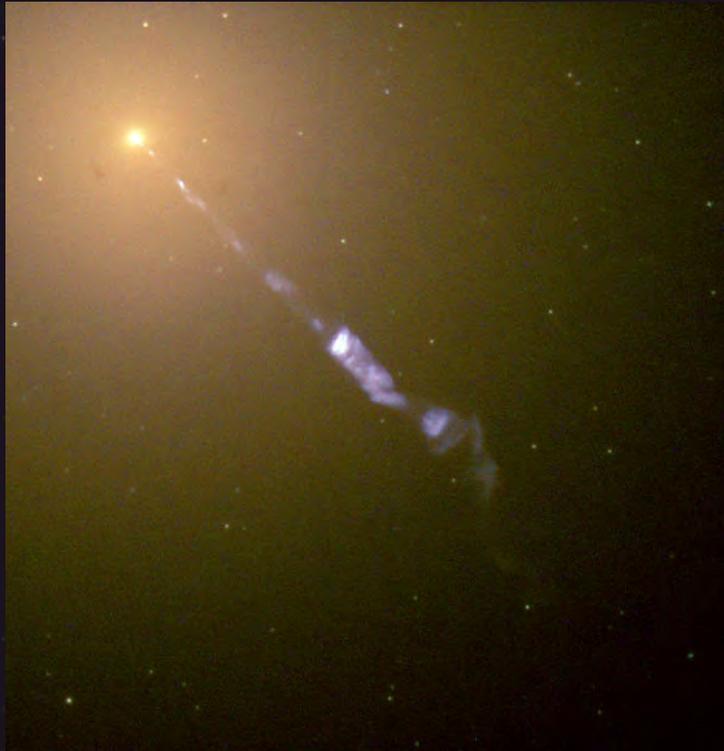
Si la estrella es aún más masiva, el remanente se convertirá en un "agujero negro". Este objeto es una región finita del espacio en cuyo interior existe una concentración de masa lo suficientemente

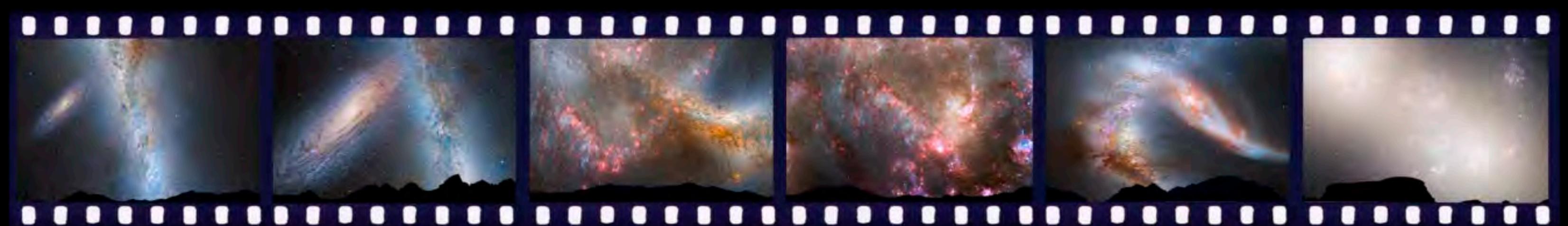
elevada para generar un campo gravitatorio tal que ninguna partícula material, ni siquiera la luz, puede escapar de ella.

¿Cómo se pueden observar si no emiten luz?. Estos objetos pueden ser estudiados debido a los efectos gravitacionales que generan sobre su medio circundante.

La gravedad de un agujero negro provoca una singularidad circundada por una superficie cerrada, llamada "horizonte de eventos". Este horizonte separa la región del agujero negro del resto del universo y es la superficie límite del espacio a partir de la cual ninguna partícula puede salir, incluyendo los fotones. Dicha curvatura es estudiada por la parte de la física conocida como relatividad general. Esta teoría predijo la existencia de los agujeros negros, pero estos no fueron descubiertos hasta varias décadas después.

Se sabe que en el centro de la mayoría de las galaxias, entre ellas nuestra propia Vía Láctea, hay agujeros negros supermasivos. Su existencia está apoyada en observaciones astronómicas en el espectro visible e infrarrojo, pero en especial a través de la emisión de rayos X.





VÍA LACTEA

8. Vía Láctea

LA VÍA LÁCTEA

La Vía Láctea es la galaxia que alberga a nuestro Sistema Solar. Su nombre deriva del latín que significa “el camino de la leche” por su apariencia en el cielo. Podemos observarla como una banda difusa de estrellas que tiene forma de disco pero que, debido a que nos encontramos dentro de ella, no podemos apreciar su forma en su totalidad. No fue hasta la aparición del científico Galileo Galilei quien con su telescopio en 1610 pudo probar que este camino de leche está formado por estrellas que nuestro ojo desnudo no puede diferenciar. En la década de 1920 las observaciones de Edwin Hubble mostraron que la Vía Láctea es sólo una de las muchas galaxias que existen en el universo.

Características generales

Cuando observamos el cielo nocturno, el término “Vía Láctea” se limita sólo a la banda blanquecina observable, pero en realidad todas las estrellas que vemos a ojo desnudo forman parte de nuestra galaxia. Incluso las regiones oscuras que se ven en la banda de la galaxia en donde no se distinguen estrellas aparentemente, están llenas de estrellas cuya luz es bloqueada por el polvo interestelar.

Proyectada en el cielo, la Vía Láctea pasa a través de 30 diferentes constelaciones. Su centro lo podemos distinguir en la constelación de Sagitario, y que podemos diferenciar a ojo desnudo debido a que es el punto donde la Vía Láctea es más brillante.

El plano de la galaxia se encuentra inclinado unos 60° con respecto a la eclíptica, el plano por el cual los cuerpos del Sistema Solar orbitan. A lo largo del año el plano galáctico va moviéndose por el cielo, dependiendo de nuestra ubicación en la Tierra, de modo que en ciertas épocas del año podemos verla sobre nuestras cabezas y en otras a lo largo del horizonte.



Figura 1. Vía Láctea

Dimensiones

El disco estelar de la Vía Láctea tiene aproximadamente 100.000 años luz de diámetro y un promedio de 1.000 años luz de ancho. Como comparación, si la galaxia tuviera un diámetro de 100 metros, nuestro Sistema Solar, incluyendo la nube de Oort, no tendría más de 1 milímetro de ancho y la estrella más cercana estaría a 4,2 milímetros de distancia.

La Vía Láctea contiene 100-400 mil millones de estrellas. El número exacto depende de la cantidad de objetos débiles como estrellas de baja masa y enanas, las cuales son difíciles de detectar. En comparación, la vecina galaxia Andrómeda, una galaxia vecina tiene más de un billón de estrellas, es decir, 2 a 3 veces más que nuestra galaxia. A pesar de lo que uno podría pensar, el espacio entre las estrellas no está vacío, sino que contiene polvo y gas interestelar, y que en algunos casos se encuentra incluso formando nuevas estrellas.

Rodeando el disco galáctico se encuentra un halo esférico de estrellas y cúmulos globulares, además de unas 50 galaxias satélites que orbitan alrededor y que están siendo lentamente tragadas por nuestra galaxia. Entre ellas podemos destacar a las conocidas Nubes de Magallanes y que se ubican a una distancia de 180.000 años luz.

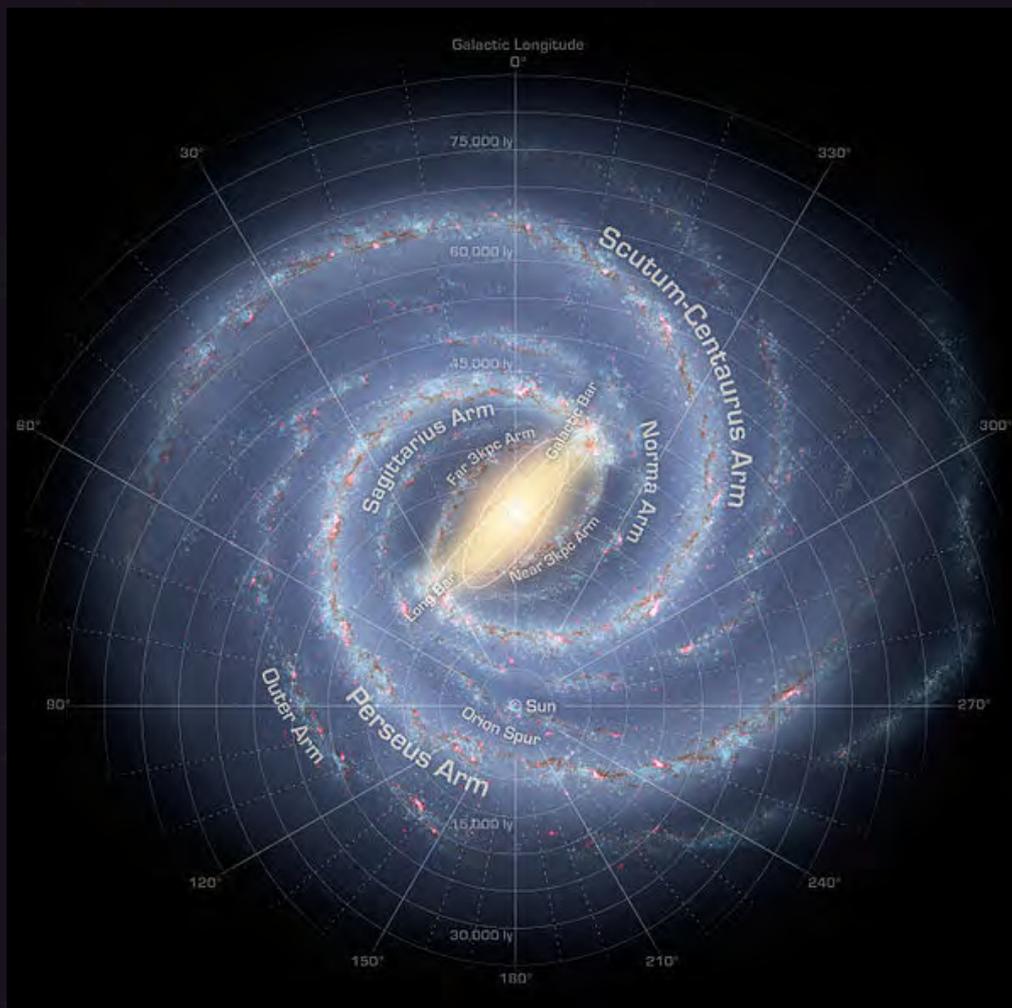


Figura 2. Representación de la Vía Láctea

Estructura

La galaxia consiste de una región central con una forma de barra, rodeada por un disco de gas, polvo y estrellas. El gas, polvo y estrellas se encuentran distribuidos en estructuras llamadas "brazos espirales". A pesar de que el conocimiento de que nuestra galaxia es espiral es relativamente antiguo, sólo en la década pasada se confirmó la existencia de una barra en el centro de la galaxia, lo cual nos demuestra el constante avance en la ciencia, incluso en nuestros días.

Generalmente la estructura de la galaxia se organiza en tres componentes: un núcleo central o bulbo, los brazos espirales y el Halo.

Dentro del medio interestelar, normalmente se reconocen cuatro brazos espirales principales: el brazo de Perseo, el de Norma, Scutum-Centauro y Carina Sagitario. Todos ellos contienen más gas y polvo interestelar que el promedio de la galaxia, así como una alta concentración de formación de estrellas principalmente en regiones HII (Hidrógeno ionizado) y nubes moleculares. Dentro de los brazos existe un brazo menor conocido como el brazo Orion-Cisne en el cual se ubica nuestro Sol y el Sistema Solar.

Como se mencionó anteriormente, el disco galáctico se encuentra rodeado por un halo esférico de estrellas antiguas y cúmulos globulares que se encuentran a una distancia promedio de 100.000 años luz del centro galáctico. La mayor parte de los cúmulos de la galaxia tienen una órbita retrógrada, es decir, están orbitando en dirección opuesta a la rotación de las estrellas del disco de la galaxia. Dentro de este halo se tiene evidencia de la existencia de una gran cantidad de gas a alta temperatura (entre 1 y 2.5 millones de grados celsius), el cual se extiende varios cientos de miles de años luz. Su masa es comparable a la masa de todas las estrellas de la galaxia.

Respecto a nuestro Sol podemos decir que se ubica a una distancia de 27.000 años luz del centro galáctico, por lo que se encuentra aproximadamente en la mitad entre el borde y el centro de la galaxia, contrario a lo que creían los astrónomos antiguos que siempre lo ubicaban en el centro.

Edad

La edad de las estrellas individuales puede ser estimada midiendo la abundancia de los elementos radiactivos que tienen una vida media mayor como el Torio y el Uranio. Esto arroja una edad entre 13 y 14 mil millones de años para nuestra galaxia. Otras mediciones se han realizado utilizando los cúmulos globulares y estrellas del Halo galáctico y las edades encontradas circundan los mismos valores. En cambio, con los mismos métodos se ha encontrado que el disco se formó principalmente hace 8 a 9 mil millones de años. Estas diferencias de edad entre los diferentes componentes de la galaxia dan pistas de cómo se formó.

Cúmulos de estrellas

La materia visible de la galaxia se concentra principalmente en las estrellas, y como mencionamos en capítulos anteriores, no siempre las estrellas nacen solas, como fue el caso de nuestro Sol. De hecho, la mayor cantidad de estrellas se encuentran inmersas en sistemas múltiples de estrellas.

Entre los sistemas de varias estrellas destacan los cúmulos estelares, que van desde cientos a miles de estrellas que nacieron de la misma nube molecular, por lo que serían como estrellas "hermanas", con edades y composiciones similares.



Figura 3. Cúmulo globular Omega Centauri

Los cúmulos de estrellas se clasifican principalmente en dos tipos:

- Cúmulos globulares: Formados por miles de estrellas que están ligadas gravitacionalmente, es decir, forman un sistema independiente del resto de la galaxia. Está formado por estrellas de características similares, pero que debido a la masa, algunas de sus estrellas han evolucionado más rápidamente que las otras. Las mediciones de su evolución hacen posible estimar otras características como su edad.
- Cúmulos abiertos: Formados por decenas a cientos de estrellas relativamente jóvenes, por lo que aún están ordenándose gravitacionalmente y que en un futuro algunas de estas estrellas pueden separarse del grupo principal.

Poblaciones estelares

En 1944, el astrónomo Walter Baade dividió a las estrellas en dos categorías o poblaciones con el fin de establecer un modelo de evolución de las estrellas. Este concepto de población tiene que ver con la edad y composición de las estrellas. Las estrellas de **población I** corresponden a las estrellas con características como edad y metalicidad similares a nuestro Sol, en cambio una estrella de **población II** es una estrella más antigua, y por lo tanto con menor metalicidad.

Los últimos datos nos hablan de que la galaxia está inmersa en un grupo de galaxias, conocido como **Grupo Local**, siendo las Nubes de Magallanes, la galaxia Triángulo y la galaxia Andrómeda las más importantes. En particular nuestra galaxia se encuentra interactuando gravitacionalmente con estas galaxias, pero en especial con una de ellas. Se estima que dentro de 4 mil millones de años la Vía Láctea colisionará con la galaxia Andrómeda.



Figura 5. Simulación de colisión de la Vía Láctea y la galaxia Andrómeda

Puedes visitar el siguiente video que simula la colisión de la Vía Láctea con la galaxia andrómeda:
<http://www.youtube.com/watch?v=qnYCpQyRp-4>

Nuestro grupo local de galaxias además se encuentra moviéndose en dirección del cúmulo de galaxias de Virgo, una agrupación mayor de galaxias.

Además de estos movimientos está el movimiento intrínseco de los objetos en el universo, descubierto por Edwin Hubble, el cual nos dice que el universo se encuentra en expansión, por lo que todas las galaxias se encuentran alejándose unas de otras. En definitiva podemos decir que la Tierra, nuestro Sol y nuestra galaxia no están en reposo en el Universo, sino que todo se está moviendo.

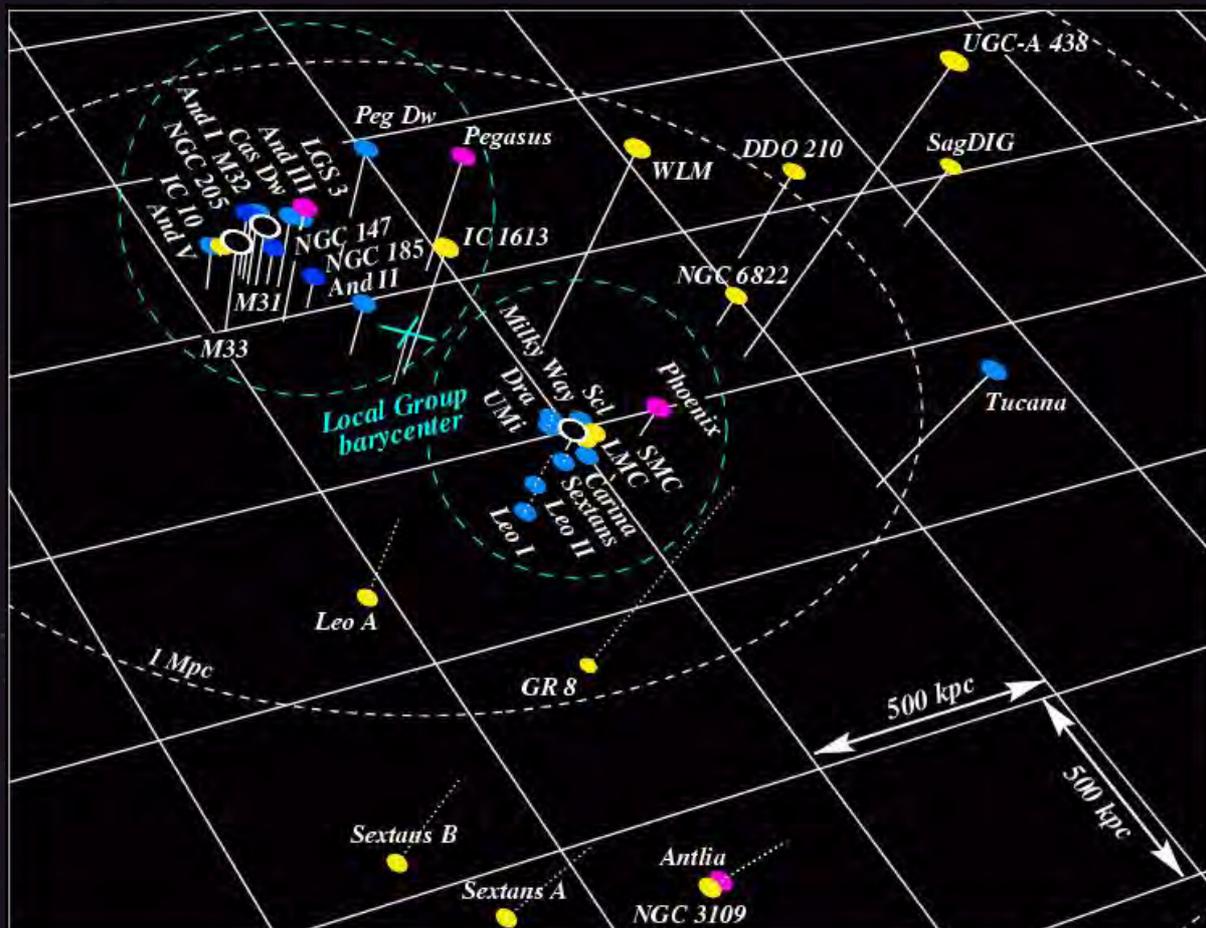


Figura 6. Grupo Local de Galaxias

CENTRO GALÁCTICO O BULBO

El centro galáctico es una concentración densa de estrellas, principalmente viejas, y que se agrupan de forma relativamente esférica llamada en lo que conocemos como "bulbo". Sin embargo, se descubrió que esta distribución no es completamente homogénea, sino que existe una forma predominante de barra, lo cual da pistas sobre su formación.

Al adentrarnos a la región más central del bulbo, encontramos una fuente intensa de radiación en ondas de radio, conocida como Sagitario A. Observaciones posteriores indican que hay movimiento de material (gas y polvo) alrededor de este centro, lo cual indicaría la existencia de un objeto muy masivo y compacto. El mejor candidato para esta concentración es un agujero negro supermasivo con una masa aproximada de 4 millones de veces la masa del Sol. Datos recientes de otras galaxias y los modelos actuales indican que la mayoría de las galaxias poseen un agujero negro supermasivo en sus centros, lo cual arroja indicios de cómo se formaron y cuáles son los procesos más importantes que dominan su evolución.



Figura 7. El centro galáctico

LAS GALAXIAS



9. Las Galaxias

LAS GALAXIAS

Una galaxia es un sistema masivo constituido de estrellas, remanentes estelares, gas y polvo del medio interestelar y una componente no visible llamada materia oscura. Es un sistema que se encuentra gravitacionalmente ligado.

La palabra galaxia proviene del griego que significa "lácteo" y que tiene relación directa con la Vía Láctea. Fue después que este término comenzó a referirse a objetos externos a nuestra propia galaxia.

Estos objetos varían en masa desde unas decenas de millones hasta billones de estrellas orbitando, y poseen diferentes formas y tamaños.

Los datos observacionales sugieren que la mayoría de las galaxias poseen un agujero negro supermasivo en sus centros, algunos de ellos pueden desencadenar una fuerte actividad en sus núcleos y que son detectables en una amplia gama de longitudes de onda.

A pesar de la gran información disponible en la actualidad, existen aún algunos misterios que desafían a los astrónomos. Una de las interrogantes mayores es cómo nacieron las galaxias. ¿Quién se formó primero: las galaxias o las estrellas?

Los modelos cosmológicos actuales nos dicen que después del Big Bang la materia oscura se aglomeró en ciertas regiones con mayor densidad. Fue así que en estas regiones comenzó a acumularse gas y así dio inicio a la formación de estrellas. Estas regiones de formación de estrellas o galaxias enanas colisionaron unas con otras para formar objetos más grandes, dando así origen a galaxias mayores.

¿Cuándo las galaxias obtuvieron sus formas actuales? Hay muchas variables involucradas que debemos tener en cuenta para responder esta pregunta. Factores como su Masa Inicial, densidad y momentum angular son los fundamentales, pero probablemente las colisiones y "mergers" (fusiones) con otras galaxias dieron nacimientos a las galaxias elípticas y espirales que vemos en la actualidad. Las observaciones nos dicen que estos procesos ocurrieron en un intervalo de aproximadamente 6 mil millones de años.

Respecto a cómo la composición química, color y luminosidad de las galaxias han cambiado a lo largo del tiempo, podemos decir que en comparación con las galaxias más antiguas, las más jóvenes y cercanas tienden a ser más azules y brillantes. Al parecer las estrellas gigantes azules se forman a una mayor tasa en las galaxias más jóvenes que en las galaxias más antiguas.

¿Las galaxias pasaron por una etapa más energética en tiempos anteriores? Los datos obtenidos por los observatorios actuales nos dicen que existen más galaxias activas lejanas que cercanas, lo cual evidencia que muchas galaxias pasan por etapas más energéticas en sus etapas tempranas. Un ejemplo de esto son los cuásares mencionados anteriormente y que son objetos pequeños pero extremadamente luminosos.

La clasificación de galaxias propuesta por Hubble da cuenta de las diferencias entre los tipos de galaxias. Estas diferencias hicieron plantear que esa clasificación también daba cuenta de la evolución de las galaxias. La propuesta de algunos científicos a mediados del siglo XX fue que las galaxias nacían como galaxias elípticas (llamadas galaxias tipo temprano) y que luego evolucionaban a galaxias espirales o irregulares (galaxias tipo tardío). Los modelos y observaciones actuales nos muestran que este planteamiento no es correcto y que al parecer puede ser completamente lo opuesto, pero lo cierto es que la forma de las galaxias por sí misma no denota por completo su estado de evolución, sino que hay que tener en cuenta otros factores como su composición química, masa, tasa de formación de estrellas, entre otros.

CLASIFICACIÓN

El primer intento de clasificar estos objetos se lo debemos a Edwin Hubble, quien de acuerdo a su forma las clasificó en elípticas, espirales e irregulares. Esta clasificación dio origen a la conocida "Secuencia de Hubble". La clasificación depende enteramente de sus características morfológicas visibles.

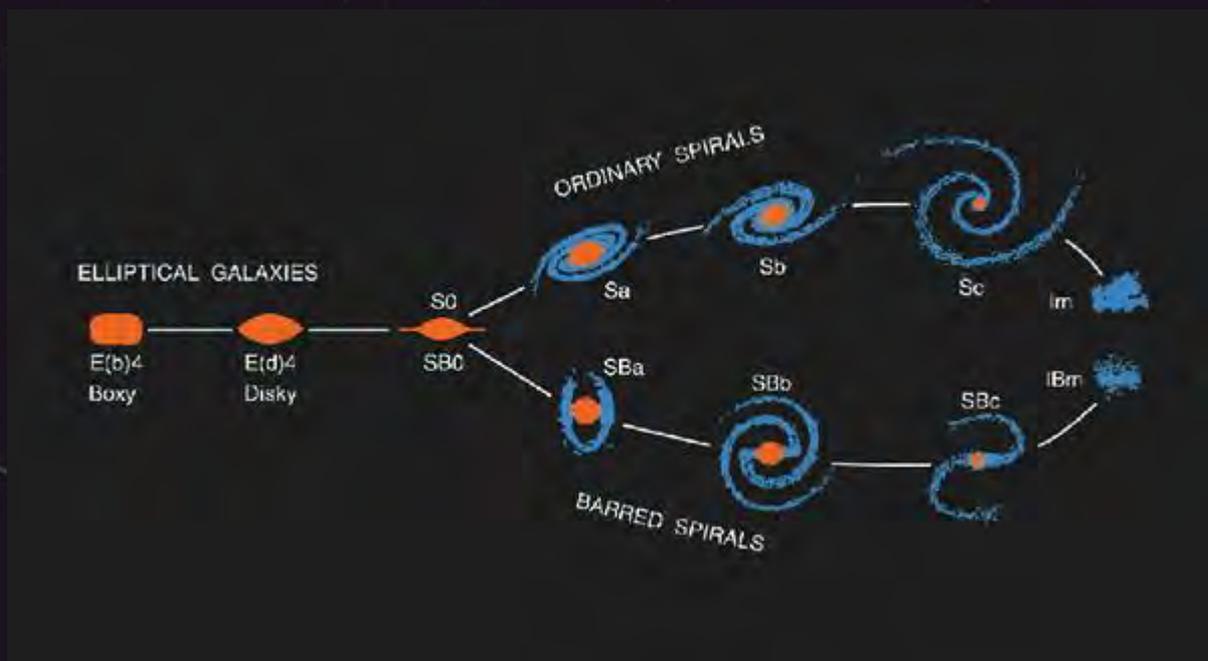


Figura 1. Secuencia de Hubble

GALAXIAS ELÍPTICAS (E)

La clasificación de Hubble clasifica este tipo de galaxias en subtipos dependiendo de su elipticidad desde E0, que es casi esférica, a E7, la más elongada. Para ello es necesario medir la razón entre las distancias de sus semiejes mayores y menores.

En apariencia muestran poca estructura distinguible y materia interestelar casi inexistente. En consecuencia, estas galaxias tienen poco cúmulos abiertos y una reducida tasa de formación de estrellas. Sus componentes son predominantemente estrellas viejas, lo que quiere decir que sus estrellas se encuentran altamente evolucionadas orbitando alrededor del centro galáctico en

diferentes direcciones. Las estrellas contienen bajas abundancias de elementos pesados debido a que la formación estelar cesó rápidamente, al igual que en los cúmulos globulares más pequeños. Las galaxias más grandes son elípticas y los estudios sugieren que las galaxias elípticas son el resultado de interacción de galaxias como un choque o un "merger" (fusión). Sus tamaños y masas varían enormemente desde galaxias elípticas enanas hasta elípticas gigantes.

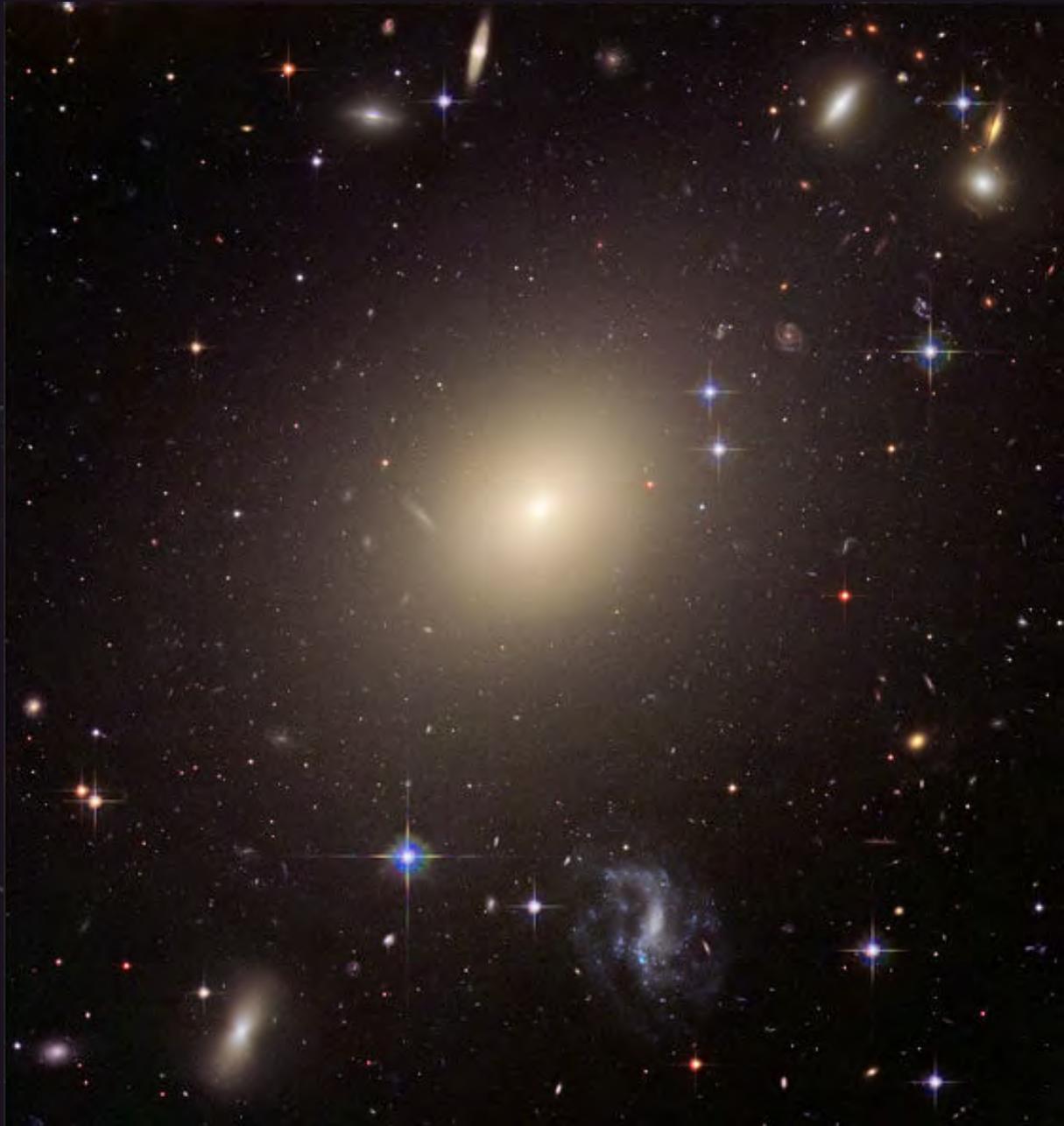


Figura 2. Galaxia elíptica ESO 325-G004

GALAXIAS ESPIRALES (S)

Las galaxias espirales consisten en un disco rotante, compuesto por estrellas y el medio interestelar, girando alrededor de un bulbo central de estrellas generalmente más viejas. Afuera del centro se encuentran los brazos espirales que dan origen a la clasificación, seguida por un subtipo a, b o c dependiendo de la apertura de los brazos espirales y el tamaño del bulbo central.

Una galaxia "Sa" está firmemente enrollada con brazos poco definidos y posee una región central (bulbo) grande en relación a la galaxia. En el otro extremo tenemos una galaxia "Sc" tiene brazos muy bien definidos y un pequeño bulbo en comparación al primer tipo antes mencionado.

Al igual que las estrellas, los brazos espirales orbitan alrededor del centro.



Figura 3. Galaxia espiral M51

GALAXIA ESPIRAL CON BARRA

La mayoría de las galaxias espirales tienen una banda en forma de barra en sus centros que se expanden a ambos lados del núcleo y que se unen a la estructura de sus brazos espirales. De acuerdo a la clasificación de Hubble, las galaxias con barra o barradas son designadas como SB seguidas de las letras a, b o c dependiendo de sus brazos espirales y tamaño del bulbo, como se explicó anteriormente.

Se piensa que las barras son estructuras temporales que resultan de interacciones de mareas con otra galaxia. Nuestra propia galaxia es una galaxia barrada, por lo que probablemente es el resultado de una interacción con otra galaxia cercana y que ocurrió en el pasado.



Figura 4. Galaxia espiral barrada NGC 1300

IRREGULARES

Una galaxia irregular es una que no tiene una forma distintiva como lo son las galaxias espirales y elípticas. La forma de las galaxias irregulares no calza en la secuencia de Hubble y en apariencia son bastante caóticas.

Estas galaxias no poseen un núcleo central ni estructura de brazos espirales, pero si poseen grandes cantidades de gas y polvo por lo que tienen una alta formación estelar. En conjunto forman el 25% del total de galaxias conocidas, siendo las más abundantes del Universo. Se piensa que estas galaxias fueron alguna vez espirales o elípticas pero fueron desordenadas por interacciones gravitacionales.

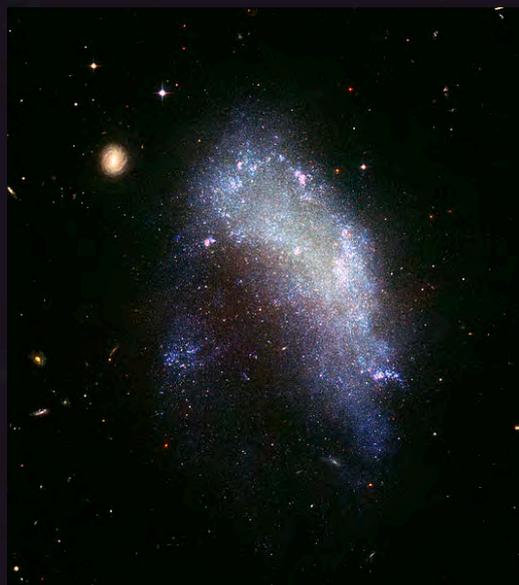


Figura 5. Galaxia irregular NGC 1427A

OTROS TIPOS DE GALAXIAS

Dentro de las galaxias con otras morfologías tenemos a las galaxias **lenticulares** que tienen una forma intermedia entre galaxia elíptica y espiral. Son caracterizadas como tipo S0. Tenemos a las galaxias peculiares que son formaciones que tienen propiedades inusuales de interacción gravitacional con otras galaxias. Un ejemplo de ello es la galaxia anillo que se muestra en la figura, la cual posee una estructura en forma de anillo, un medio interestelar que rodea el núcleo central.-



Figura 6. Galaxia anillo

También tenemos a las **galaxias enanas** (d) las cuales son relativamente pequeñas en comparación con los otros tipos de galaxias, teniendo alrededor de 1% del tamaño de nuestra galaxia. Muchas de estas galaxias enanas orbitan alrededor de una galaxia más grande, como es el caso de la Vía Láctea que tiene al menos una docena de galaxias satélites que son enanas.

Pueden ser clasificadas también como elípticas (dE), espirales (dS) e irregulares. Sus masas fluctúan alrededor de 1 millón de masas solares variando su número de estrellas entre miles y millones de estrellas.

GALAXIAS INTERACTUANTES

La separación promedio entre galaxias es aproximadamente 10 veces mayor que el mismo diámetro de la galaxia, sin embargo, la interacción entre galaxias es relativamente frecuente y juega un importante papel en su evolución. Encuentros cercanos y colisiones entre galaxias pueden resultar en interacciones de marea que genere ondas de distorsión en ella produciendo incluso intercambio de material (gas o polvo).



Figura 7. Galaxia Las antenas

GALAXIAS STARBURST

Las estrellas se crean dentro de las galaxias a partir de nubes moleculares con ciertas condiciones específicas. Algunas galaxias forman estrellas a una tasa excepcional, por lo cual reciben el nombre de "starburst" que significa que tienen una explosión de formación de estrellas. Debido a este inusual fenómeno, estas galaxias consumen rápidamente sus reservas de gas por lo cual se trata de periodos de tiempo limitado donde ocurren esta gran cantidad de formación de estrellas. Este tipo de galaxias eran más comunes en las primeras etapas del universo, pero aun así en el presente reúnen cerca del 15% de la formación estelar total.

Estas galaxias son asociadas frecuentemente con galaxias interactuantes.



Figura 8. Galaxia Starburst M82

GALAXIAS CON NÚCLEOS ACTIVOS

Una porción de las galaxias observables son clasificadas como activas, es decir, aquellas en donde una porción significativa de la energía total producida por la galaxia proviene de una fuente diferente a las estrellas, el polvo y el medio interestelar. El modelo standard para las galaxias con núcleos activos o AGN por sus siglas en inglés se basa en un disco de acreción formado alrededor de un agujero negro supermasivo en la región central de la galaxia. La radiación del núcleo proviene de la energía irradiada por la materia que cae hacia el agujero negro central desde el disco. Un 10% de estos objetos tienen un par de chorros de material diametralmente opuestos desde el núcleo y que viajan a velocidades cercanas a la de la luz.

Algunas de estas galaxias emiten gran cantidad de energía en forma de rayos X y son clasificadas como galaxias Seyfert o cuásares, dependiendo de sus luminosidades.

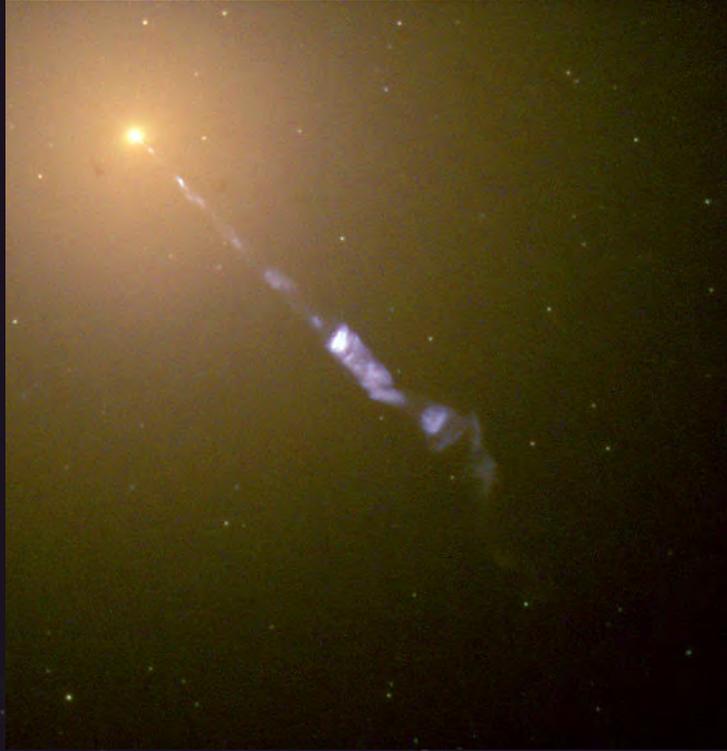
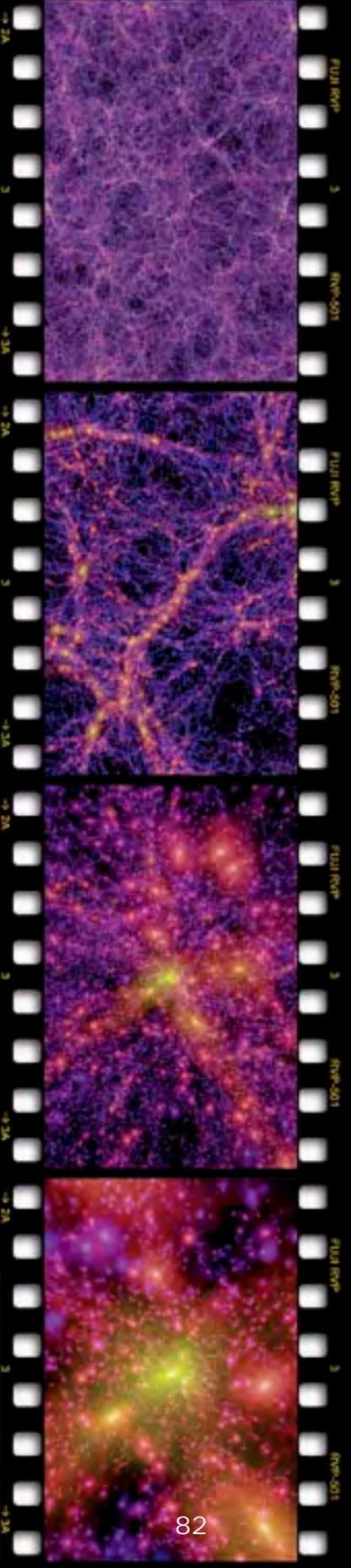
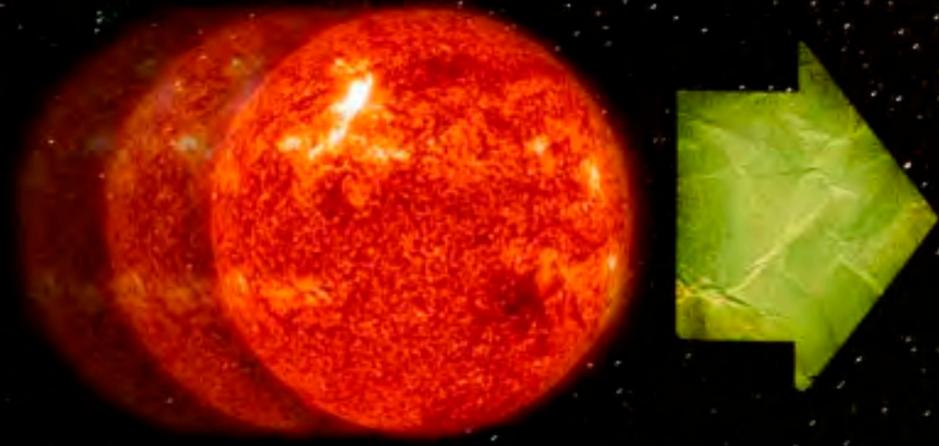
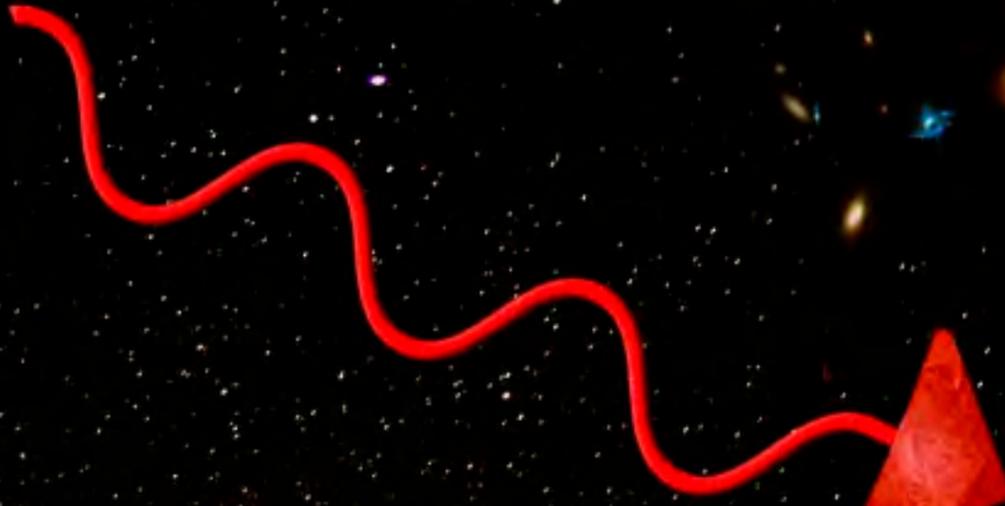


Figura 9. Galaxia con núcleo activo M87

COSMOLOGÍA



10. Cosmología

ESTRUCTURA DEL UNIVERSO

El ser humano siempre se ha preguntado cómo comenzó el mundo y cómo terminará. La mitología, la filosofía y la teología han creado modelos para dar respuestas a estas preguntas, pero en el campo de las ciencias exactas, la Cosmología es la que estudia el origen, presente, evolución y futuro del universo.

Los astrónomos han construido modelos cosmológicos, donde descripciones físico-matemáticas dan explicación de cómo comenzó el universo y qué sucederá con él en el futuro. Estos modelos deben ser consistentes con los datos observacionales que tenemos de las galaxias y las estrellas conocidas.

La Vía Láctea es miembro de una asociación llamada **Grupo Local**, que es relativamente pequeño con respecto a otras aglomeraciones de galaxias. Nuestra galaxia y la galaxia Andrómeda son las dos más brillantes y masivas del grupo y los otros miembros son galaxias enanas que acompañan a las principales y que en total son más de 40 galaxias.

Este grupo local asimismo es parte del **Supercúmulo de Virgo**, una estructura extendida formada por varios grupos y cúmulos de galaxias centrados en el cúmulo de Virgo.

Los surveys o barridos profundos del cielo muestran que las galaxias se encuentran asociadas de forma cercana con otras galaxias. Sólo 5% de las galaxias se encuentran realmente aisladas, sin embargo, estas pueden haber interactuado en el pasado y a su vez pueden estar siendo orbitadas por otras galaxias más pequeñas.

A pesar de que sabemos que el Universo se encuentra en expansión, las asociaciones de galaxias pueden sobrepasar esta expansión en pequeñas escalas a través de sus propias atracciones gravitacionales. Esto hace que la mayoría de las galaxias se encuentre ligada gravitacionalmente con otras galaxias formando estructuras en el universo. Las estructuras más grandes, que reciben el nombre de **cúmulos de galaxias**, pueden contener miles de galaxias englobadas en pequeñas regiones del universo. Estos cúmulos son dominados frecuentemente por una única galaxia gigante elíptica en el centro.

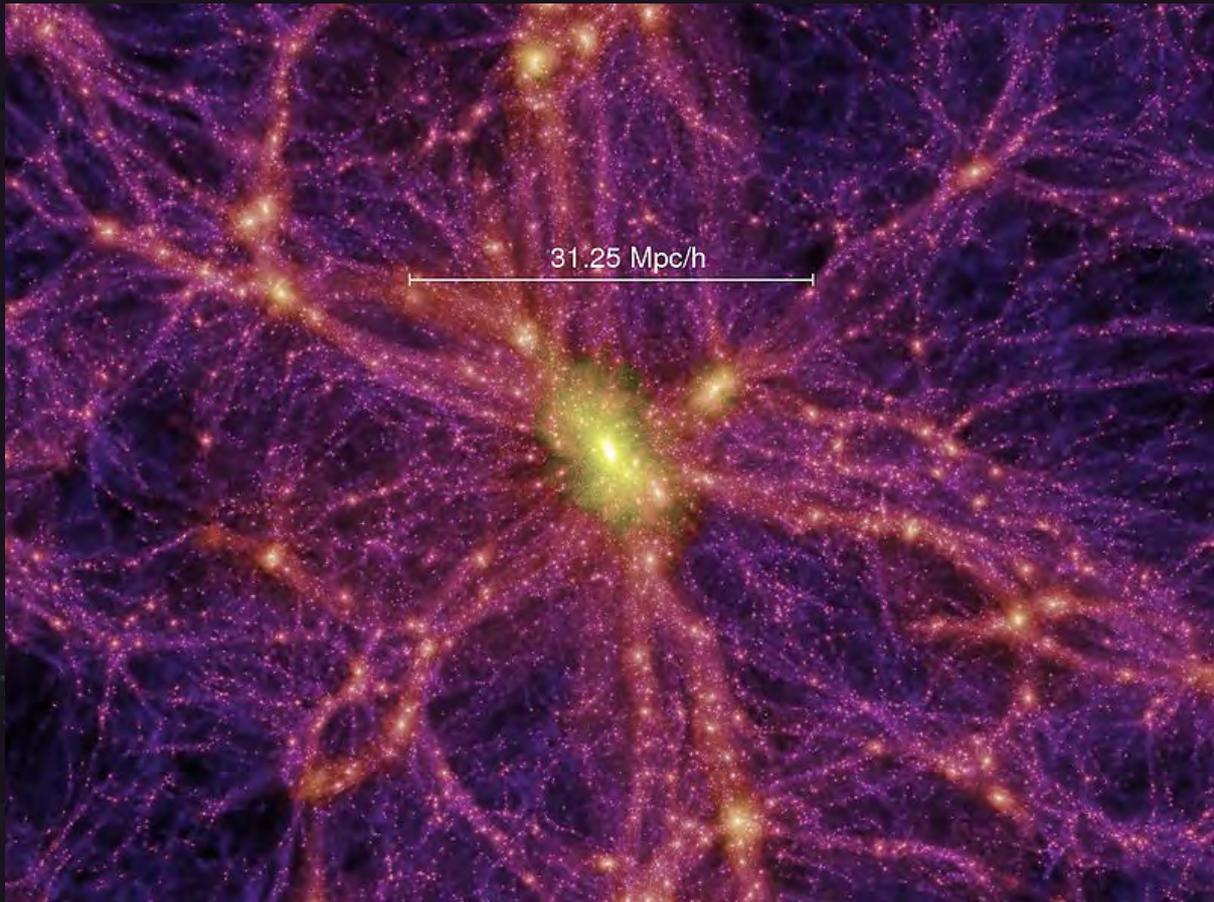


Figura 1. Estructura a gran escala por la simulación Millenium

Al estudiar el Universo a una escala mayor, también existen los llamados **Supercúmulos** que contienen decenas de miles de galaxias en forma de cúmulos y grupos de galaxias. Estos cúmulos y supercúmulos de galaxias se ordenan en verdaderos filamentos y que circundan vastos espacios con pocas galaxias y material intergaláctico, y que se llaman “vacíos”. (El término usado comúnmente en inglés es “Voids” por lo que la traducción más correcta es “vacíos”, no vacíos de galaxias.)

Estas agrupaciones de galaxias son muy masivas por lo que provocan unos de los fenómenos físicos predichos por la teoría de la relatividad general, el cual es la curvatura del espacio-tiempo por la masa. La curvatura produce que la luz también siga esa trayectoria curva, produciendo los llamados “**lentes gravitacionales**”. Este fenómeno nos ha permitido estimar la masa de los cúmulos de galaxias y hoy en día son considerados unas de las pruebas más fehacientes de la existencia de materia oscura, debido a que las masas necesarias para provocar esos “lentes” es mucha mayor a la que se puede observar.



Figura 2. Lente gravitacional

EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Las observaciones deben considerarse para cualquier modelo cosmológico que se construya. El astrónomo estadounidense Edwin Hubble en la década de 1920 descubrió que la luz proveniente de galaxias distantes se encuentra corrida hacia la porción más roja del espectro. Hoy en día conocemos este efecto como el "corrimiento al rojo" o "redshift". Esto implica que aquellas galaxias están alejándose de nosotros, haciéndonos pensar que si los objetos se encuentran alejándose unos de otros quizás en un tiempo pasado estos mismos objetos estuvieron más cerca. Los datos obtenidos por Hubble mostraron que mientras mayor es la distancia del objeto observado, mayor es su redshift "z". Estas relaciones se encuentran englobadas en la conocida **Ley de Hubble** y nos dice que a gran escala, el universo se encuentra expandiéndose, con lo cual la separación promedio entre las galaxias está aumentando individualmente con el pasar del tiempo.

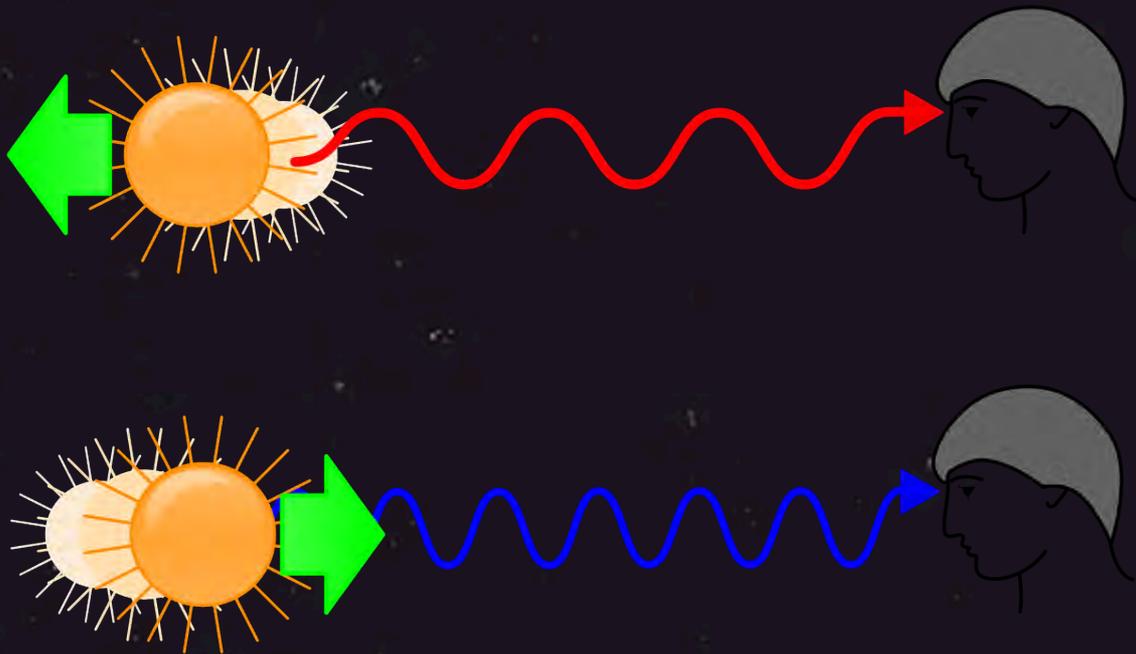


Figura 3. Corrimiento al rojo o “redshift”

TEORÍAS DEL ORIGEN DEL UNIVERSO

A lo largo del tiempo han existido diferentes teorías para dar explicación al Universo que hoy conocemos, algunas de ellas están obsoletas pero nos sirven para entender de mejor manera cómo han evolucionado los modelos cosmológicos hasta nuestros días.

Universo de estado estacionario (Steady-State Universe)

A pesar de ser una teoría ya obsoleta es importante destacarla debido a su importancia histórica y a los científicos que la avalaban.

La teoría del estado estacionario salió a la luz de la mano de Bondi, Gold y Hoyle, físicos renombrados de la época, en 1948 y postulaba que el universo es homogéneo y eterno, es decir no tiene comienzo ni fin. Debido a que en ese tiempo ya se conocía de su expansión, esta teoría incluía un mecanismo de creación de masa dentro de él para mantener la densidad constante y su homogeneidad. A pesar de que este modelo gozó de gran popularidad a mediados del siglo XX, hoy en día es rechazado por la gran mayoría de los cosmólogos y astrofísicos debido a la evidencia observacional que hoy se tiene.

Hasta el mismo Einstein fue partidario de esta teoría y usó sus ecuaciones de campo obtenidas de la relatividad general para modelarla. Años después declaró que esto sería uno de los peores errores de su vida.

Universo MOND

MOND es la sigla en inglés para Dinámica Newtoniana modificada. Esta teoría plantea una modificación a la Teoría de gravitación de Newton y fue creada por el físico Israelí Mordehai Milgrom en 1983.

La motivación original fue el explicar la dispersión en las velocidades de rotación de las estrellas en torno al centro galáctico, ya que esta dispersión es uno de los principales argumentos para la existencia de la materia oscura.

A pesar de que esta teoría ha sido capaz de explicar algunos fenómenos astronómicos, hay algunos casos especiales en los que falla, lo cual hace que los científicos duden de su certeza cada vez más.

Big Bang

Esta teoría bautizada por los promotores del universo estacionario, nos dice que el universo hace aproximadamente 13.700 millones de años se expandió rápidamente desde un estado infinitamente denso y caliente y ha estado en evolución desde entonces. La gran explosión o el "Big Bang" marca el comienzo del espacio y el tiempo como los conocemos.

Al comienzo, toda la materia y la radiación de nuestro universo actual se encontraba empaquetada. A los 10^{-32} segundos después la temperatura era del orden de 10^{32} K. El universo temprano era opaco y estaba compuesto por gas cargado eléctricamente muy caliente y que emitía y absorbía fotones de luz de alta energía.

La expansión enfrió el Universo. Pocos segundos después se formaron los protones, neutrones, electrones, positrones y neutrinos. Dentro de unos pocos minutos se formaron el Deuterio, Helio y el Litio y unos 380.000 años después, el universo se había enfriado lo suficiente para que los electrones y protones pudieran combinarse y formar átomos neutros. Fue entonces cuando la materia y la luz tomaron caminos separados, y los fotones comenzaron a viajar libremente por el universo.

Varios millones de años tuvieron que pasar para que se formaran las primeras estrellas y galaxias. El universo, al seguir expandiéndose, provocó que las galaxias se encontrarán cada vez más lejos unas de otras y la radiación continuara enfriándose desde entonces.

En nuestros días el universo sigue expandiéndose pero de forma acelerada y las estrellas se forman dentro de las galaxias usando el hidrógeno remanente del Big Bang. La materia observable es aproximadamente el 74% Hidrógeno y 24% Helio, y el resto son elementos como el Litio, entre otros. Esta abundancia de los elementos que podemos observar hoy en día es la misma predicha por la teoría.

La Teoría del Big Bang tiene cuatro fundamentos principales que hacen de ella la más aceptada en la actualidad: i) Abundancia de los elementos, ii) Existencia de la radiación cósmica de fondo, iii) expansión del Universo y iv) La estructura a Gran escala. Los parámetros entregados por la teoría coinciden con lo que se ha obtenido con las observaciones mediante el uso de los instrumentos más poderosos y sensibles jamás construidos. He allí la fortaleza de la teoría.

Las mismas preguntas ancestrales: ¿Quiénes somos?, ¿De dónde venimos? y ¿Hacia dónde vamos? Siguen siendo igual de válidas hasta nuestros días. Con el conocimiento adquirido en estos siglos de observación y medición de los cielos nos hemos acercado un poco más a las respuestas, pero sin lugar a dudas, han aparecido muchas más preguntas y que por el momento aún no tienen una respuesta certera. Así que el desafío sigue estando en pie y nos impulsa a seguir adelante para buscar respuestas a nuestras inquietudes...