

TEMA 2. NUESTRO LUGAR EN EL UNIVERSO

1- EL SISTEMA SOLAR



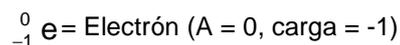
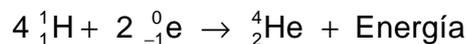
Situación aproximada del Sol en la Vía Láctea (flecha). Vivimos en “un barrio periférico” situado a unos 30.000 año luz del centro

En uno de los brazos exteriores de la Vía Láctea, el llamado brazo de Orión, y situado a unos 30.000 años luz del centro de la misma, se encuentra el Sistema Solar, un sistema planetario formado por ocho planetas que orbitan alrededor del Sol, situado en su centro. Además de los ocho planetas: Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, existen

otros objetos de menor tamaño tales como los planetas enanos y los asteroides.

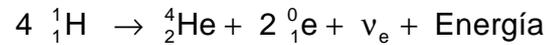
El Sol.

El Sol es una estrella mediana-pequeña. Pertenece a la clase espectral G (ver *Galaxias y estrellas*) y su temperatura superficial es de unos 6.000 °C, mientras que en su interior se estima que pueden alcanzarse temperaturas próximas a los 15.000.000 de °C. Su masa es de $2 \cdot 10^{30}$ kg, es decir, más de 300.000 veces la masa de la Tierra ($6 \cdot 10^{24}$ kg) y obtiene su energía de la fusión de átomos de hidrógeno que, a las enormes temperaturas que existen en su núcleo, son capaces de vencer las fuerzas de repulsión electrostática y se transforman en helio desprendiendo una gran cantidad de energía. Se estima que el Sol transforma en helio 4,5 millones de toneladas de hidrógeno por segundo. El proceso recibe el nombre de cadena protón-protón y se puede escribir de forma simplificada como:



Observar que en el proceso, como en cualquier reacción nuclear, se conserva el número másico A (número de nucleones) y la carga eléctrica.

Nota. Aunque parece que el proceso protón-protón es el fundamental en estrellas de masa igual o menor a la del Sol, en las estrellas de mayor masa tiene lugar con preferencia otro proceso de fusión, el llamado ciclo CNO (carbono-nitrógeno-oxígeno), así llamado porque estos elementos actúan como catalizadores en las reacciones intermedias. La reacción global es:



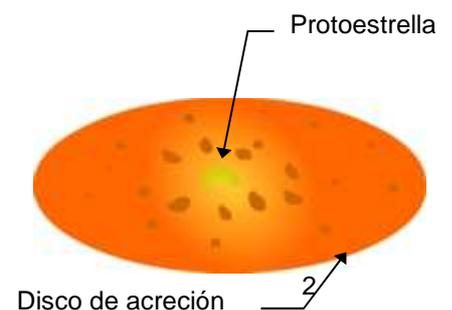
$\text{}^0_1\text{e}$ = Positrón (A = 0, carga = +1) ν_e = Neutrino electrónico (A = 0, carga = 0)

El radio del Sol es de 700.000 km (unas 100 veces el radio de la Tierra), su gravedad es de 274 m/s², (28 veces superior a la de la Tierra) y se desplaza alrededor del centro de nuestra galaxia a una velocidad de 250 km/s (900.000 km/h), tardando unos 225 millones de años en completar su órbita.

Nuestro Sol está actualmente en la secuencia principal (ver *Galaxias y estrellas*). Su edad se estima en unos 4.500 millones de años y se calcula que permanecerá estable otros 4.500 millones de años. Entonces habrá “quemado” prácticamente todo el hidrógeno del que dispone y entrará en una fase al final de la cual se convertirá en una gigante roja (se expandirá hasta que su tamaño llegue, aproximadamente, hasta la órbita de Marte) y comenzará a fusionar átomos de helio para obtener elementos más pesados. A partir de ahí el sol se volverá bastante inestable atravesando periodos de contracción gravitatoria y otros de violenta expansión, como consecuencia de los cuales expulsará parte de la materia que lo forma originando una nebulosa en torno suyo, pero poco a poco su capacidad para producir energía y radiación que contrarreste la fuerza de gravedad irá disminuyendo. Al final la fuerza de gravedad ganará la partida y el Sol se contraerá para transformarse en una pequeña y fría estrella: una enana blanca que seguirá enfriándose más y más en el centro de la nebulosa.

La formación del Sistema Solar

La formación de sistemas planetarios alrededor de una estrella puede explicarse mediante la teoría de acreción. Según dicha teoría la formación de un sistema planetario tiene lugar en varias fases. Nuestro sistema solar probablemente siguió una secuencia parecida.



1. Colapso de una nube de gas (He e H₂) y polvo (H₂O_(s), Fe...)

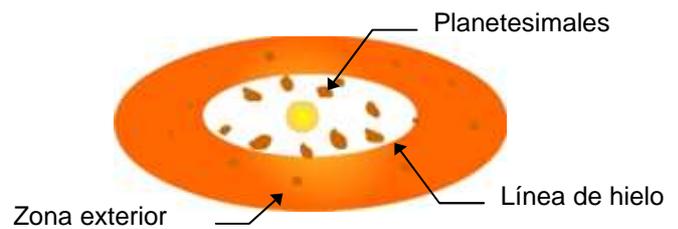
Cuando una nube interestelar alcanza una densidad suficiente la fuerza de gravedad puede producir un colapso formando en su centro una protoestrella alrededor de la cual se extiende un disco de materia residual en el cual los materiales sólidos forman grumos.

La protoestrella central comienza a fusionar el hidrógeno y a producir energía que calienta el disco.

2. Formación de los protoplanetas

Los de tamaño superior caen hacia la estrella calentándose progresivamente y las sustancias de menor punto de ebullición (H₂O y otras) se evaporan. Esto ocurre hasta una distancia de unas 2-4 unidades astronómicas. La llamada *línea de hielo* que en nuestro sistema solar se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter.

La línea de hielo marca la frontera entre la zona interna del sistema en la que existe poco gas y bastantes cuerpos sólidos y la zona más externa, rica en gas y en materia helada.



En la zona interior se produce la agregación de los cuerpos rocosos inicialmente formados como consecuencia de los múltiples choques entre ellos con el resultado final de un enjambre de cuerpos con un tamaño aproximado de pocos kilómetros. Son los embriones de los planetas, los planetesimales o protoplanetas.

Entre los protoplanetas y los cuerpos más pequeños se entabla una competición por el espacio disponible: los cuerpos de mayor tamaño, debido a su mayor atracción gravitatoria, terminarán atrapando a los más pequeños “limpiando” una franja centrada en su órbita.

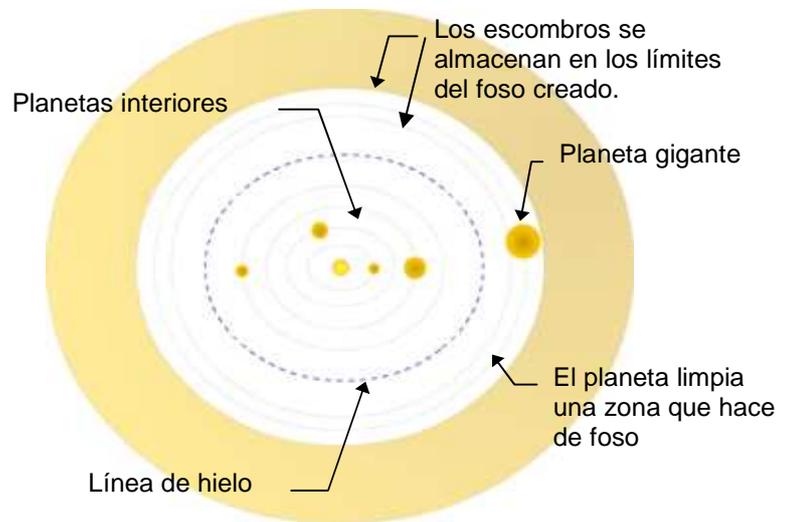
En la zona interior los protoplanetas crecen al chocar entre ellos. Las colisiones con fragmentos más pequeños dejan la superficie de estos planetas llena de cráteres de impacto.

Los cuatro planetas interiores del Sistema Solar: Mercurio, Venus, Tierra y Marte, están compuestos de materiales con elevados puntos de ebullición: silicatos y hierro, lo que parece indicar que se formaron en la parte interior de la línea de hielo.

3. Formación de los planetas exteriores.

Los planetas exteriores se formaron, probablemente, a partir de un núcleo sólido de tamaño similar al de la Tierra que comienza a atraer gas. Si las condiciones son las apropiadas (composición del gas, masa del embrión, composición del mismo...) este gas queda ligado al núcleo sólido.

Una vez formado el planeta gigante, éste tenderá a “limpiar” su órbita formando una “zona de escombros” en el límite interior y exterior de su órbita. Además, la creación de una franja libre de materia crea una especie de foso que impide que el material que procede de las zonas más exteriores caiga hacia el centro, acumulándose en el borde externo de la órbita. El planeta gigante amontona el material del que surgirán nuevos planetas.



En 1995 se descubrió el primer planeta extrasolar orbitando alrededor de la estrella 51 Pegasi. Su masa es 150 veces la de la Tierra y completa su órbita en sólo 4,2 días, lo que significa que debe estar muy cerca de la estrella (a unos 7.500.000 km). Desde entonces se han identificado unos 300 planetas extrasolares. Todos ellos son planetas muy grandes (similares a Júpiter) y no han sido observados directamente. Su existencia se deduce de las variaciones de la luz de la estrella al pasar por delante de ella (“tránsito”) y de las perturbaciones producidas en el movimiento de la estrella debido a su fuerza de gravedad.

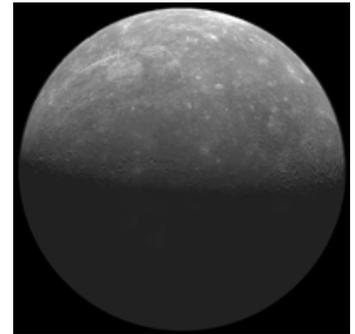
Los planetas extrasolares se han clasificado en dos grandes grupos:

Júpiteres calientes. Orbitan muy próximos a las estrellas con órbitas casi circulares y periodos orbitales pequeños (hasta una semana).

Gigantes excéntricos. Presentan periodos orbitales más grandes (hasta casi diez años), masa bastante mayor y describen órbitas muy alejadas de la estrella y muy elípticas.

Mercurio

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	0,387
Periodo orbital (“año”)	87 d 23,23 h
Periodo de rotación (“día”)	58 d 15,51 h
Radio ecuatorial (km)	2.440
Masa (kg)	$3,30 \cdot 10^{23}$
Composición	Niquel-hierro, silicatos
Densidad media (g/cm^3)	5,43
Gravedad en la superficie (m/s^2)	3,7
Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) día/noche	350 / -170
Satélites	No tiene



Mercurio es un planeta pequeño que describe una órbita muy cercana al Sol y la que presenta mayor excentricidad (“achatación” de la elipse) de todos los planetas.



Tamaño comparado Tierra-Mercurio

Se supone que tiene un núcleo metálico (probablemente hierro) mucho más grande que el de la Tierra. Su superficie está totalmente cubierta de cráteres de impacto resultado del bombardeo de meteoritos en el periodo de formación del sistema solar. Gira muy lentamente alrededor de su eje. El día en Mercurio tiene una duración de unos 58 días terrestres.

La diferencia de temperaturas entre el día y la noche es enorme lo que puede provocar fracturas en las rocas que contribuyen a su erosión. En su cielo destacan dos objetos muy brillantes: Venus y, un poco más pequeña, la Tierra, cuya luna casi puede verse a simple vista como un pequeño punto brillante.

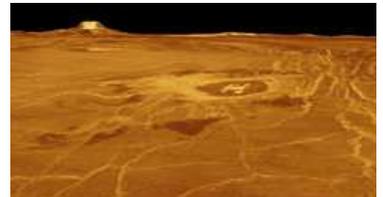
La sonda Mariner 10 (NASA) reveló en 1975 la existencia de una tenue atmósfera compuesta por sodio y potasio.

Hay varios acantilados enormes que cortan su superficie. Tienen unos 500 km de longitud y el terreno de un lado del acantilado está más elevado (2 a 4 km) y el del otro lado ha descendido. Pueden observarse cráteres partidos en dos por este accidente geológico.

Alguien ha descrito a Mercurio como *“un mundo creado por el Sol y que ha quedado a medio hacer”*

Venus

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	0,723
Periodo orbital (“año”)	224,7 días
Periodo de rotación (“día”)	- 243,02 días (retrógrado)
Radio ecuatorial (km)	6.052
Masa (kg)	$4,87 \cdot 10^{24}$
Composición	Niquel-hierro, silicatos, CO ₂
Densidad media (g/cm ³)	5,24
Gravedad en la superficie (m/s ²)	8,87
Temperatura media (°C)	460
Satélites	No tiene



Venus es un planeta muy parecido a la Tierra en tamaño, masa y proximidad al Sol, que gira lentamente sobre su eje al revés que los demás planetas. Sin embargo, las condiciones superficiales de Venus distan mucho de ser apacibles. Su atmósfera es muy densa y está formada casi al 100% de CO₂. Su proximidad al Sol impidió que en Venus se formasen los océanos que cubren la Tierra. En nuestro planeta la presencia de grandes masas de agua facilitó que el dióxido de carbono, muy abundante en las etapas iniciales, se disolviera para acabar creando rocas.



Tamaño comparado Venus-Tierra

La atmósfera de Venus ejerce una presión casi cien veces superior a la que existe en la superficie de nuestro planeta y

equivalente a la que existe a 1.000 m de profundidad bajo la superficie del mar.

La gran concentración de CO₂ en la atmósfera produce un efecto invernadero elevado provocando que la temperatura superficial ascienda hasta cerca de 500 °C.

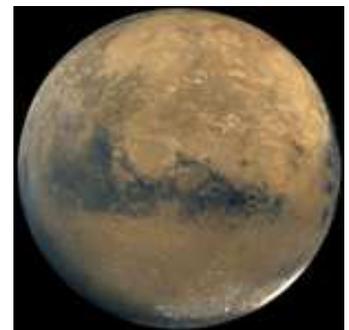
En las nubes situadas a unos 40 km de la superficie se forman gotas de ácido sulfúrico, aunque no llegan a caer sobre su superficie ya que se evaporan antes debido a la enorme temperatura. La presencia de ácido sulfúrico en las nubes superiores es el responsable del color amarillento de Venus.

El relieve de Venus es menos accidentado que el de la Tierra, su superficie consiste, fundamentalmente, en llanuras con elevaciones poco pronunciadas, aunque existen algunas montañas de considerable altura.

Uno de los objetos más brillantes del firmamento nocturno (“el lucero de la mañana”) es un auténtico infierno en el que algunos metales como el estaño, el plomo o el zinc están en estado líquido.

Marte

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	1,52
Periodo orbital (“año”)	686,98 días
Periodo de rotación (“día”)	24,63 horas
Radio ecuatorial (km)	3.397
Masa (kg)	6,42 10 ²³
Composición	Hierro, silicatos, CO ₂
Densidad media (g/cm ³)	3,94
Gravedad en la superficie (m/s ²)	3,71
Temperatura media (°C)	- 46
Satélites	2



Tamaño comparado Tierra - Marte

Marte, visible a simple vista, presenta un aspecto rojizo característico en el firmamento nocturno. Durante mucho tiempo fue uno de los más firmes candidatos a albergar vida,

ya que está situado a una distancia del Sol adecuada para que su temperatura no sea excesivamente alta como en Mercurio o Venus. Hoy sabemos que muy probablemente hubo zonas considerablemente extensas de agua líquida en Marte, pero eso se calcula que sucedió hace unos 3.000 millones de años. Hoy Marte es una tierra de volcanes inactivos, lechos de antiguos lagos secos y llanuras de lava compuestas de basalto con una elevada proporción de óxidos de hierro que le dan al planeta su color rojo característico. Su clima es frío y seco. Tiene una tenue atmósfera compuesta, fundamentalmente, de CO₂. La presión en su superficie no supera los 10 hPa (en la Tierra la presión es de unos 1.000 hPa).

Cerca del ecuador se encuentra el Valle Marineris, un inmenso cañón de 2.700 km de longitud, una anchura de 500 km y una profundidad entre 2 y 7 km.

En ambos polos se observan depósitos de hielo. Muy probablemente bajo una capa de CO₂ sólido se encuentre agua helada.

Dos asteroides: Fobos (22 km de diámetro) y Deimos (23 km) orbitan alrededor del planeta y a corta distancia de éste.

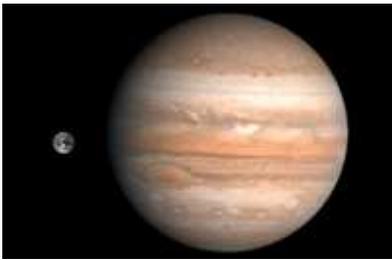
El descubrimiento, en 2003, de metano en su atmósfera alimentó nuevamente la posibilidad de que existan procesos biológicos responsables de dicho gas.

Júpiter

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	5,20 UA
Periodo orbital (“año”)	11 años 315 días 1,1 h
Periodo de rotación (“día”)	9 h 55,5 min
Radio ecuatorial (km)	71.600
Masa (kg)	1,90 10 ²⁷
Composición	H ₂ , He
Densidad media (g/cm ³)	1,33
Gravedad en la superficie (m/s ²)	23,12
Temperatura media (°C)	121
Satélites	63



Júpiter, el primero de los planetas exteriores de Sistema Solar, es también el más grande. Tiene una masa que es 2,5 veces mayor que la del resto de los planetas juntos. Debido a su enorme masa ejerce una gran influencia gravitatoria sobre el resto de los planetas y objetos interplanetarios (cometas y otros).



Tamaño comparado Tierra-Júpiter

Júpiter, al igual que los demás planetas, se formó a partir de un disco protoplanetario, pero debido a su enorme gravedad aún retiene los gases originales que otros planetas más pequeños han perdido. Las densas nubes de Júpiter están compuestas de un 88 % de hidrógeno, 11 % de helio y pequeñas cantidades de metano, amoníaco, agua, monóxido de carbono y otros. Los colores amarillos y rojizos de las nubes probablemente se deban a compuestos del hidrógeno con azufre y fósforo.

La Gran Mancha Roja, una inmensa tormenta del tamaño de la Tierra, es uno de los rasgos distintivos del planeta.

El interior de Júpiter, inobservable, probablemente contenga un núcleo rocoso de tamaño superior a la Tierra cubierto en extensas zonas de océanos de hidrógeno líquido.

Actualmente se conocen 63 lunas que orbitan alrededor del planeta. De ellas, cuatro: Io, Europa, Ganímedes y Calisto ya fueron descubiertas por Galileo en 1610 y son visibles desde la Tierra con un pequeño telescopio.

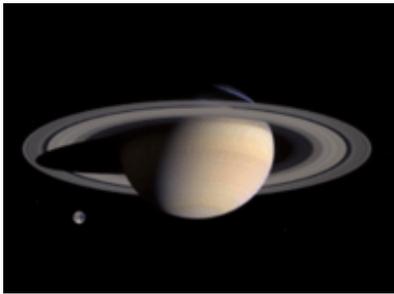
Saturno

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	9,54
Periodo orbital (“año”)	29 años 167 días 6,7 h
Periodo de rotación (“día”)	10 h 14 min
Radio ecuatorial (km)	60.250
Masa (kg)	$5,70 \cdot 10^{26}$
Composición	H ₂ , He
Densidad media (g/cm ³)	0,69



Gravedad en la superficie (m/s^2)	9,05
Temperatura media ($^{\circ}C$)	- 143
Satélites	60

Saturno, el segundo planeta más grande del sistema solar, es famoso por sus anillos. Destaca, además, su pequeña densidad (inferior a la del agua) que es la más pequeña de todos los planetas.



Tamaño comparado Tierra-Saturno

Está formado fundamentalmente por hidrógeno, aunque se supone que en su centro habrá un núcleo rocoso con un tamaño varias veces superior al de la Tierra, probablemente rodeado de hidrógeno metálico, una forma de hidrógeno líquido que tiene propiedades metálicas. Se obtiene cuando se somete el hidrógeno a presiones elevadas y temperaturas muy bajas. Probablemente en su

superficie existan océanos de hidrógeno líquido.

Saturno presenta en su atmósfera más exterior unas franjas similares a las de Júpiter, aunque mucho menos coloreadas.

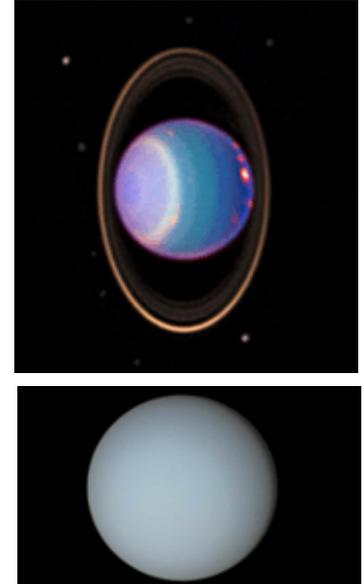
Los anillos son muy finos (anchura inferior a 1 km), tienen unos 270.000 km de diámetro y están formados por rocas heladas cuyo tamaño raramente supera el de una pelota de baloncesto. La llamada discontinuidad de Cassini separa el anillo más exterior (anillo A) y el interior (anillo B).

Es visible a simple vista en el cielo nocturno como un objeto brillante de magnitud entre 0 y 1.

Titán y Encélado son dos de sus lunas que tienen un especial interés ya que ambas tienen atmósfera. La de Encélado es rica en metano y su composición podría ser similar a la de la Tierra primitiva. Titán es muy probable que contenga agua en su interior a poca profundidad de la superficie.

Urano

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	19,19
Periodo orbital (“año”)	84 años 3 días 15,7 h
Periodo de rotación (“día”)	- 17 h 14 min
Radio ecuatorial (km)	25.560
Masa (kg)	$8,67 \cdot 10^{25}$
Composición	H ₂ , He, CH ₄
Densidad media (g/cm ³)	1,29
Gravedad en la superficie (m/s ²)	8,69
Temperatura media (°C)	- 205
Satélites	27

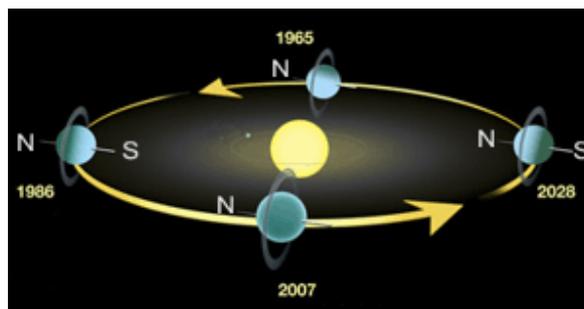


Tamaño comparado Tierra-Urano

El disco de Urano tiene un tono azul verdoso visto con un telescopio. Se supone que, al igual que Júpiter y Saturno, tiene un núcleo rocoso, parecido al de la Tierra, ligeramente mayor que ésta, rodeado de una capa de “hielo” (metano, agua y amoníaco en estado sólido) estando su superficie cubierta por océanos de hidrógeno líquido. Su atmósfera está formada por hidrógeno, helio y metano (que absorbe la luz roja reflejando luz azul y verde, de ahí su coloración).

Urano también tiene anillos, pero bastantes diferentes a los de Júpiter y Saturno. Consisten en varios anillos muy estrechos separados por anchos intervalos.

Urano orbita alrededor del Sol en sentido retrógrado y su eje de rotación (eje N-S), está inclinado casi 90° respecto al plano de su órbita. De esta manera su hemisferio Norte está iluminado casi al completo



En 1965 (ver esquema) empezó a hacerse la noche en el polo norte de Urano que ha permanecido a oscuras hasta 2007, año en el que ha empezado a iluminarse. A la larga noche de 42 años la seguirá un periodo de luz (“día”) que durará hasta 2049, año en el que Urano volverá a estar en la posición que ocupaba en 1965.

durante 42 años y en total oscuridad durante el mismo tiempo. Como puede observarse en la imagen, al estar los anillos de Urano situados en su ecuador son iluminados por el sol desde abajo (año 1986), desde arriba (año 2028) o de canto (1965 y 2007) ofreciendo un aspecto muy cambiante para un observador exterior.

Neptuno

Datos básicos	
Distancia media al Sol (UA)	30
Periodo orbital (“año”)	164 años 288 días 13 h
Periodo de rotación (“día”)	16 h 6,5 min
Radio ecuatorial (km)	24.786
Masa (kg)	$1,02 \cdot 10^{26}$
Composición	H ₂ , He, CH ₄
Densidad media (g/cm ³)	1,64
Gravedad en la superficie (m/s ²)	11,0
Temperatura media (°C)	- 220
Satélites	13



La existencia de Neptuno fue predicha (Le Verrier y Adams) antes de que fuera visto a través de un telescopio, ya que los cálculos mostraban unas perturbaciones en la órbita de Urano que solamente podían ser debidas a la existencia de un planeta de las características de Neptuno. Fue descubierto en 1846 donde Le Verrier había predicho.



La sonda Voyager 2 sobrevoló Neptuno en 1989 aportando valiosa información sobre el planeta, que está situado a una distancia del Sol treinta veces superior a la Tierra.

Presenta una gran mancha, similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter, que ,como ésta, es debida a una gigantesca tormenta en el interior de la cual soplan vientos a más de 2000 km/h.

Tiene también un sistema de cuatro anillos: dos más estrechos y otros dos más anchos.

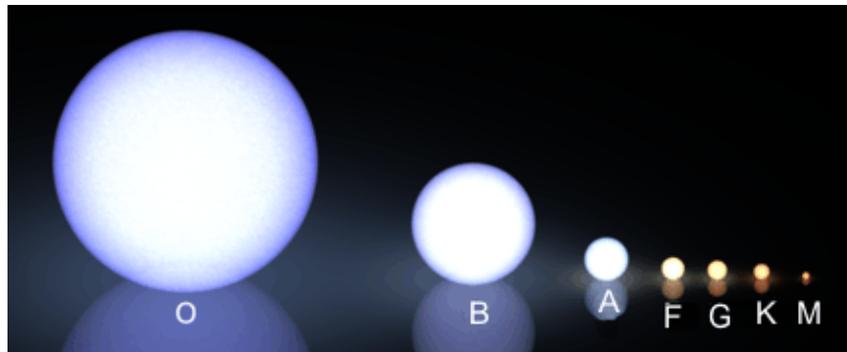
Su estructura interna es muy parecida a la de los planetas exteriores: un núcleo rocoso sobre el cual se extiende una extensa capa helada (agua, amoníaco y metano) a la que rodea una densa atmósfera de gases: hidrógeno, helio, agua y metano.

De sus trece satélites conocidos dos, Nereida y Tritón, tienen un tamaño considerable. Tritón tiene una temperatura cercana a los -230°C , forma esférica y es uno de los pocos cuerpos del sistema solar que tiene actividad volcánica. Sus volcanes helados emiten chorros de nitrógeno líquido que alcanzan varios kilómetros de altura.

2-LAS ESTRELLAS

Las estrellas son la parte más visible del firmamento. Son auténticos hornos que generan cantidades enormes de energía a partir de reacciones nucleares de fusión consistentes, básicamente, en juntar átomos de hidrógeno para formar helio. En el proceso de fusión parte de la masa se transforma en energía según la conocida ecuación de Einstein: $E = m c^2$.

Existen varias formas de clasificar las estrellas. Una de ellas se basa en su color o **clase espectral**. Según este criterio las estrellas se clasifican en las siguientes clases ⁽¹⁾



La clase espectral está muy relacionada con el color, la temperatura y el tamaño de la estrella:

Clase	Temperatura (°C)	Color	Masa (M/M _{sol})	Radio (R/R _{sol})
O	50.000 – 28.000	Azul	60	15
B	28.000 - 9600	Blanco azulado	18	7
A	9600 - 7100	Blanco	3,1	2,1
F	7100 - 5700	Blanco amarillento	1,7	1,3
G	5700 - 4600	Amarillo	1,0	1,0
K	4600 - 3200	Amarillo anaranjado	0,8	0,9
M	3200 - 1700	Rojo	0,3	0,4

Otra manera de clasificar las estrellas es según su **magnitud visual o magnitud aparente**. Las estrellas más tenues que pueden distinguirse a simple vista son de magnitud 6 y cuanto más brillante es la estrella menor es su magnitud. La estrella Polar, por ejemplo, es de magnitud 2 y Sirio (la más brillante del cielo tiene una magnitud de -1,4 (negativa). El Sol según esta clasificación tiene una magnitud aparente de -26,8.

La magnitud aparente es engañosa. Podemos apreciar una estrella como muy brillante no porque realmente lo sea, sino porque está cerca (el brillo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia). Por eso los astrónomos definen la **magnitud absoluta** o magnitud aparente que tendría la estrella si la colocásemos a un parsec (1 parsec = 206.265 UA = 3,26 años luz) de distancia. La relación entre magnitud aparente (m) y magnitud absoluta (M), viene dada por la siguiente expresión, donde d es la distancia a la que se encuentra la estrella, medida en parsecs:

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

Algunos ejemplos:

- El Sol está situado de la Tierra a una distancia $d = 1$ UA y su magnitud aparente o visual es $m = -26,4$. Su magnitud absoluta sería:

$$1 \cancel{\text{UA}} \frac{1 \text{ parsec}}{206.265 \cancel{\text{UA}}} = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ pc}$$

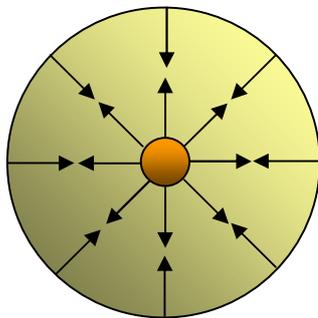
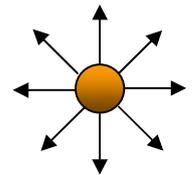
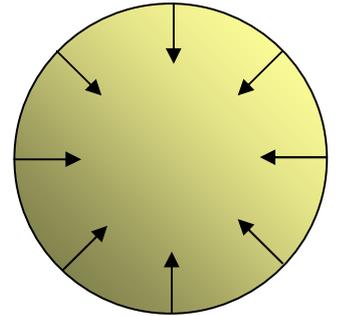
$$M = -26,4 + 5 - 5 \log (4,85 \cdot 10^{-6}) = 5,2$$

- Betelgeuse es una estrella de la constelación de Orión de magnitud 1 situada a 200 pc de nosotros. Su magnitud absoluta sería:

$$M = 1,0 + 5 - 5 \log(200) = -5,5$$

El nacimiento, vida y muerte de un estrella están condicionados por la magnitud de dos efectos contrapuestos:

- Por un lado la fuerza de gravedad hace que la estrella, una vez que ha alcanzado cierta masa, se contraiga. La energía gravitatoria liberada en el proceso hace que la materia se caliente hasta que en su núcleo se alcance una temperatura tal que comiencen las reacciones de fusión del hidrógeno para dar helio.
- Una vez que las reacciones de fusión se han iniciado en el núcleo, la energía liberada y las partículas (electrones, neutrinos) resultantes ejercen una presión (presión de radiación) que tiende a expandir la estrella.



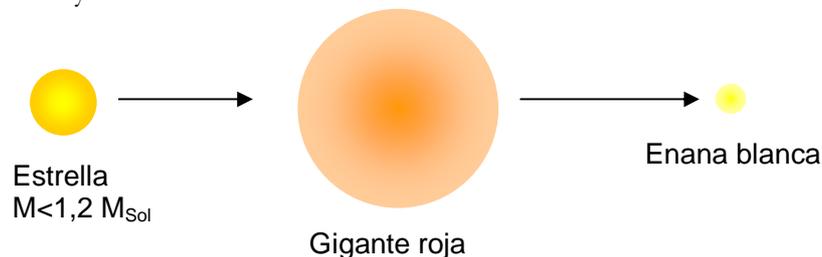
Cuando ambas presiones se equilibran la estrella entra en un periodo de estabilidad que dura aproximadamente el 90 % de su vida. Se dice que la estrella se encuentra en la **secuencia principal**.

La estrella permanecerá en la secuencia principal mientras tenga hidrógeno que quemar. Pero, inevitablemente, llega un tiempo en que el combustible (hidrógeno) se agota. Las estrellas cuya masa se sitúa alrededor del 1% de la masa del Sol (estrellas enanas) queman su combustible lentamente, pudiendo permanecer en la secuencia principal billones de años. Las que tienen una masa similar al Sol lo consumen mucho más rápidamente (4,5 millones de toneladas por segundo) y lo agotan en sólo unos miles de años, 10.000 millones de años en el caso del Sol. En el extremo opuesto las estrellas muy masivas (60 veces la masa del Sol, estrellas gigantes) consumen el hidrógeno muy rápidamente y sólo duran en la secuencia principal unos pocos millones de años (entre 1 y 100).

Cuando el hidrógeno se agota el núcleo de la estrella, formado ahora por helio, se expande primero para contraerse a continuación a la vez que su envoltura se expande y enfría

convirtiéndose en una estrella mucho más grande y cuya luz tiene un tono rojizo. Se convierte en una ***gigante roja***. En su núcleo se seguirá generando energía fusionando ahora núcleos de helio para formar otros elementos tales como el litio, carbono, oxígeno, neón... Cuando todo el helio se haya consumido la estrella abandona el estado de gigante roja y entra en un periodo de gran inestabilidad. El núcleo comenzará a contraerse de nuevo (la presión de la gravedad se hace mayor que la de la radiación del núcleo) lo que aumentará su temperatura permitiendo que comience la fusión de núcleos más pesados y la consiguiente generación de nuevos elementos hasta llegar al hierro. En este punto la temperatura alcanza los 5.000 millones de grados en su núcleo y su fin está próximo, porque la fusión de los átomos de hierro para generar elementos más pesados no desprende energía, sino que la absorbe. La fuerza de gravedad comenzará a comprimir el material de la estrella a la vez que se eleva su temperatura. El final de la estrella dependerá ahora de su masa:

- Si la masa es inferior a 1,2 masas solares (límite de Chandrasekhar) la compresión se detiene cuando su núcleo alcance la increíble densidad de 10^6 g/cm^3 . La estrella termina su vida como una ***enana blanca***. Es demasiado densa para seguir contrayéndose y las reacciones nucleares han cesado en su núcleo.

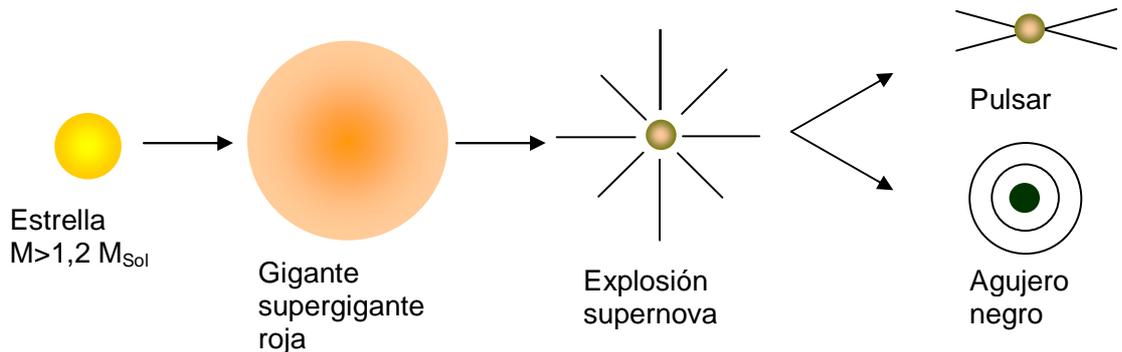


- Si la masa es superior a 1,2 masas solares puede acabar sus días de dos formas diferentes.

Si la masa es doble que la del Sol terminará estallando como una ***supernova*** y esparciendo la mayor parte de la materia al exterior quedando como residuo una pequeña (y enormemente densa) estrella de neutrones que gira rápidamente. Su campo magnético atraparé las partículas cargadas haciendo que emitan una radiación en forma de haz giratorio. Para un observador que se encuentre en la dirección del haz éste aparecerá como una especie de faro que

aparece a intervalos regulares de tiempo. La estrella se ha convertido en un *pulsar*.

Una estrella de masa superior que después de explotar como una supernova aún tenga una masa aún considerable (cinco soles) sufrirá un colapso gravitatorio que la convierte en algo inimaginablemente denso: un punto de volumen cero con un campo gravitatorio infinito. Esto es, aparece una singularidad (las ecuaciones de la física no pueden manejar campos gravitatorios infinitos) que se conoce con el nombre de *agujero negro*.



En la década de los cincuenta se descubrieron los *quasar* (quasi-stellar radio source), objetos estelares mucho más pequeños que las galaxias (del orden de un millón de veces más pequeños que la Vía Láctea), que emiten una enorme cantidad de energía (cien veces más que una galaxia gigante), cuyo brillo fluctúa con periodos que van desde pocos años hasta días, situados a enormes distancias de nosotros (se han descubierto quasares a 12.000 millones de años luz) y que se alejan a velocidades superiores al 90% de la velocidad de la luz.

A día de hoy la naturaleza de los quasares es un misterio. Se cree que pueden ser núcleos de galaxias muy jóvenes en las que un agujero negro arrastra la materia situada a su alrededor

acelerándola y calentándola a millones de grados lo que explicaría la gran luminosidad de estos objetos.

3-LAS GALAXIAS. UNIVERSO A GRAN ESCALA

Nuestra estrella, el Sol, se encuentra situada en uno de los brazos más exteriores de la Vía



La Vía Láctea de perfil fotografiada por el COBE



Situación aproximada del Sol en la Vía Láctea (flecha). Vivimos en "un barrio periférico" situado a unos 30.000 año luz del centro

Láctea, el brazo de Orión (o del Cisne).

La Vía Láctea es una galaxia espiral formada por unos 100.000 millones de estrellas y de unos 100.000 años luz de diámetro. En el disco central se agrupan las estrellas más viejas, en los brazos se encuentran las estrellas con luz más azulada, las más jóvenes. Sólo son visibles las estrellas más brillantes, pero en las zonas oscuras situados entre los brazos, también hay estrellas. La edad de la Vía Láctea se calcula en unos 13.000 millones de años y su masa se estima en un billón (10^{12}) de masas solares ⁽²⁾

Además de estrellas existen grandes zonas oscuras (nebulosas) en las que se concentran nubes de gas y polvo que impiden ver lo que hay situado tras ellas. Estas nebulosas (como la de Orión) son zonas en las que se están formando nuevas estrellas.

Todas las estrellas rotan alrededor del centro de la galaxia. Nuestro Sol rota a una velocidad de 250 km/s (900.000 km/h) y tarda en completar una vuelta unos 225 millones de años.

No sabemos muy bien lo que se oculta en el centro de nuestra galaxia, pero hay bastantes razones para creer que puede localizarse un gigantesco agujero negro.

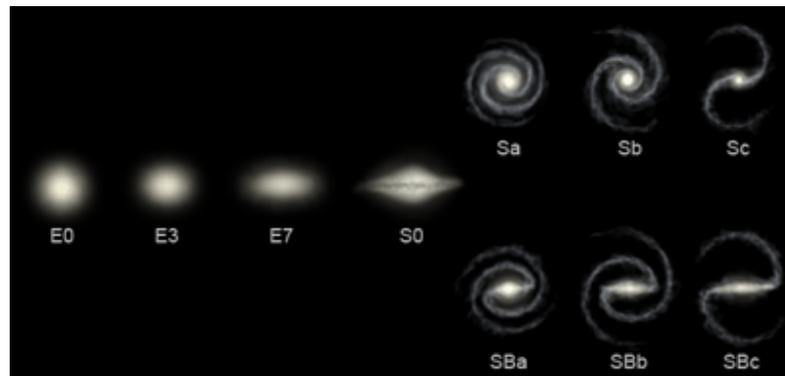
⁽²⁾ La masa del Sol es 2.10^{30} kg. Esto es, más de 300.000 veces la masa de la Tierra.

La Vía Láctea forma parte de un agrupamiento de galaxias llamado el Grupo Local. En él existen dos subgrupos muy claros: 20 galaxias ligadas gravitatoriamente a la Vía Láctea, mucho más pequeñas que ella y otro grupo de 15 pequeñas galaxias que rodean a la galaxia M31 o galaxia de Andrómeda. Ésta tiene un tamaño de 250.000 años luz (más del doble que nuestra galaxia) y está situada a 2,5 millones de años luz de nosotros, aunque se calcula que su masa no es mayor de $4 \cdot 10^{11}$ masas solares. M31 viaja hacia nosotros a la nada despreciable velocidad de 400.000 km/h y se calcula que colisionará con nuestra galaxia dentro de aproximadamente cinco mil millones de años ($5 \cdot 10^9$). Además, existe un elevado número de pequeñas galaxias “libres”. En la actualidad se considera que el Grupo Local está formado por 54 galaxias.

Se calcula que en el universo observable o visible (esfera situada a nuestro alrededor de 93.000 millones de años luz de diámetro) existen unos cien mil millones de galaxias (10^{11}).

El primero que realizó una clasificación de las galaxias fue E. Hubble. Según su esquema las galaxias se clasifican en:

- **Elípticas.** Se nombran con la letra E y un número del 0 al 7 que indica su excentricidad. El cero se correspondería con una galaxia prácticamente esférica y el 7 con una muy aplanada.
- **Lenticulares.** Nombradas como S0. Tienen forma de disco
- **Espirales.** Se usa la letra S y una letra a,b, c que indica si los brazos están muy pegados al núcleo (letra a) o muy separados de éste (letra c)
- **Espirales barradas.** (SB) Parecidas a las espirales pero se puede apreciar una barra que conecta diametralmente el núcleo con los brazos.



Clasificación de las galaxias según Hubble

Se cree que la Vía Láctea pertenece al grupo Sa, aunque últimamente existen datos que nos inclinan a creer que puede ser del tipo SBa.

Además de éstos existe un quinto grupo, el de las galaxias irregulares (I), sin forma definida.

Las galaxias elípticas están formadas por estrellas más viejas que las que forman las galaxias espirales, cuyos brazos son auténticos crisoles de nuevas estrellas. Los astrofísicos piensan que las galaxias elípticas surgen como consecuencia de una colisión entre galaxias espirales (o irregulares). Como consecuencia del choque se expulsa al espacio gran cantidad de gas y polvo, además de estrellas, que posteriormente se juntarán formando cúmulos estelares. Este parece ser el destino de nuestra Vía Láctea tras la colisión con M31.

El universo a gran escala.

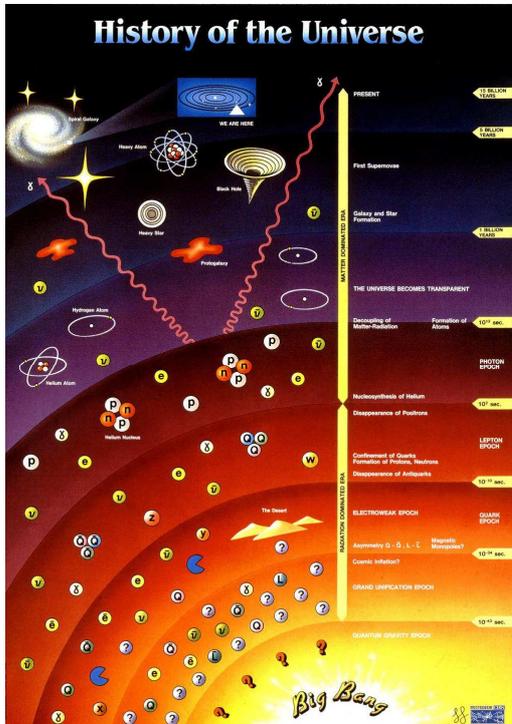
Aún con sus enormes magnitudes, las galaxias no son las mayores estructuras conocidas del universo. Desde los años 80` se sabe que las galaxias están dispuestas en cúmulos galácticos. La Vía Láctea pertenece al Grupo Local, junto con Andrómeda, Magallanes y otras de menor tamaño, y los cúmulos más próximos son los de Virgo. Éstos a su vez, se agrupan en supercúmulos (el Grupo Local, junto con el Cúmulo de Virgo y otros cien cúmulos vecinos, forman el supercúmulo local) El mayor de todos los conocidos es el supercúmulo de Pegaso-Perseo de más de 1000 millones de años luz de longitud.

En resumen, el universo posee enormes volúmenes de espacios vacíos rodeados por finas películas donde se concentran las galaxias. En la antigüedad se pensaba que el universo eran unas pequeñas esferas que sostenían los planetas y las estrellas y que giraban sobre nuestras cabezas. En la actualidad, nuestra visión del universo es otra. Imaginemos que solidificamos un montón de espuma de jabón, y que la cortáramos con un cuchillo. Veríamos espacios huecos rodeados por finas capas de jabón. Sustituycamos el jabón por galaxias y cúmulos galácticos: así es el universo.

4. ORIGEN DEL UNIVERSO. EL BIG BANG.

A comienzos del Siglo XX, la imagen de un universo ordenado, eterno y mecánico, cuyas leyes nos había dejado Newton, comenzó a tambalearse. El joven Albert Einstein había publicado ya sus teorías de la relatividad espacial y general, en las que magnitudes como masa, tiempo y espacio, dejaban de ser magnitudes independientes y se convertían en variables. Las teorías de Einstein, se vieron corroboradas por dos hechos. En primer lugar eran capaces de explicar las irregularidades de

la órbita de Mercurio, cosa que las leyes de Newton no eran capaces de hacerlo. Por otro lado, en 1919 se pudo comprobar la curvatura de la luz, durante un eclipse.



Aunque la Teoría de la Relatividad no pretendía explicar el origen del universo, en una de sus ecuaciones, se obtenía una curiosa solución: El universo había estado en un principio concentrado en un punto, y desde entonces debía estarse expandiendo. El propio Einstein, atribuyó este hecho a algún error suyo.

Por otra parte, también a principios del siglo XX, se descubrió que nuestra galaxia, no era la única, sino que había millones más de ellas. El universo, volvía a crecer de tamaño. En los años 20' el astrónomo Edwin Hubble, estudiando los espectros luminosos de distintas galaxias, descubrió algo parecido a un efecto Doppler. Las galaxias, presentaban un "corrimiento al rojo", tanto más intenso, cuanto más lejanas estaban, (lo que indicaba, que las galaxias se alejan de nosotros, más rápidamente, cuanto más alejadas se encuentran) El Universo por tanto, se encuentra en expansión.

Nació entonces la Teoría del Big Bang, según la cuál, todo el universo nació de una gran explosión, de la que fue apareciendo el tiempo, el espacio y la materia. La Teoría, planteaba que en la Explosión, se habría liberado una gran fuente de radiación infrarroja, que en la actualidad, debido al corrimiento al rojo, estaría presente como ondas de radio, o microondas (radiación de fondo)

En 1966 Penzias y Wilson, descubrieron por casualidad una radiación de microondas, que no provenía de ningún astro en particular ni de la Tierra. Habían encontrado la radiación de fondo. La Teoría del Big Bang, comenzó a ser considerada como algo verosímil.

Hoy en día, se acepta el Big Bang. Los puntos de vista acerca del futuro del universo, o de un supuesto pasado antes de la explosión, son meramente hipotéticos.