

Tema 1.- La Tierra en el Universo. Geología de los planetas. Origen de la Tierra y del Sistema Solar.

- Primer curso E.S.O. Tema 1. La Tierra en el Universo

SUMARIO

1.1. (OPCIONAL). El estudio del Universo.

1.1.1. Estudio de las radiaciones

1.1.2 El estudio de los meteoritos.

1.1.3. Otros estudios

1.2. Origen y Evolución del Universo. Teorías cosmológicas.

1.2.1. Teoría del Estado estable o estacionario

1.2.2 Hipótesis del Universo en expansión

HIPÓTESIS DEL BIG-BANG

1.3. Galaxias. La Vía Láctea

1.4. Origen y Evolución del Sistema Solar.

1.4.1. Teoría del Campo magnético de Alfven-Hoyle.

1.4.2. Origen de la Tierra

1.5. Descripción del Sistema Solar: Planetas, satélites, Asteroides, Meteoritos y Cometas.

1.5.1. EL SOL

1.5.2. LOS PLANETAS

1.5.3. Satélites.

1.5.4. Asteroides.

1.5.5. Los cometas

1.6. Estrellas. Clasificación. Evolución (OPCIONAL).

1.6.1. La magnitud de las estrellas.

1.6.2. Evolución de las estrellas.

1.1. (OPCIONAL). El estudio del Universo.

El estudio de la corteza terrestre, los cambios que sufre debido a la acción de las capas interiores y exteriores, las huellas que dejan en las rocas, los procesos geológicos pasados, plantean numerosas interrogantes que no pueden ser resueltas con las investigaciones que podamos hacer de nuestro planeta. La composición química de la Tierra, su densidad, su h^a térmica y el origen del calor interno, etc. son algunas características que han condicionado la evolución terrestre, y que deben ser explicadas con la ayuda de otras ciencias.

La respuesta a estos interrogantes sólo puede hacerse relacionando el origen y evolución de nuestro planeta con la del Sistema Solar, y este modelo explicativo no debe ir contra las leyes físicas y químicas que los científicos van aceptando como válidas para la evolución de las galaxias y del conjunto del Universo.

Por tanto vamos a exponer algunos de los datos que se conocen de los diferentes cuerpos del Universo, algunos conceptos básicos de Astronomía y las teorías que explican la evolución del Universo y sus unidades estructurales.

Entre los métodos de estudio en el siglo XX, tenemos:

1.1.1. Estudio de las radiaciones

Las radiaciones que nos llegan de las estrellas y galaxias tienen diferentes longitudes de onda, de las cuales sólo son visibles las comprendidas entre el rojo y el violeta. Todas estas radiaciones, desde las ondas de radio hasta los rayos X, se transmiten a la velocidad de la luz, por tanto según la fórmula **velocidad = frecuencia x longitud de onda**. A mayor frecuencia, menor longitud de onda: las ondas más energéticas tienen mayor frecuencia. Así, la luz roja indica un nivel energético y de temperatura de emisión más alto que el amarillo.

Las radiaciones luminosas han sido las más utilizadas por los astrónomos ya que nos proporcionan información sobre la composición química y t^a de las estrellas. La luz que nos llega del Sol nos lo hace aparecer como de color amarillo, pero al atravesar la atmósfera los días lluviosos se separan las diferentes radiaciones y aparecen los colores del arco iris.

Para conocer la composición química de las nebulosas y gases interestelares, además de los **espectros de absorción**, se utilizan las **ondas de radio**. El espectro de ondas que recibimos del espacio, incluye radiaciones de mayor longitud de onda que las visibles, que pueden ser recogidas por **radiotelescopios**. En 1944 el astrónomo holandés Van de Hulst predijo la posibilidad de detectar la presencia de H en el gas interestelar frío, que aunque no brilla como las nebulosas de emisión, podría emitir ondas de radio en una longitud de onda de 21 m. En 1951 H. Ewen construyó un radiotelescopio que registró la radiación prevista. Esta emisión se debe al campo magnético que crea el electrón girando alrededor del núcleo de H. Según sea su eje de giro coincidente o antiparalelo con el del protón crean dos estados energéticos (mayor y menor) cuya alternancia produce la emisión de ondas de radio. Los choques de átomos de H elevan su nivel energético y el descenso inmediato origina la radiación. La energía total de esta radiación, que llega a la Tierra, es de 1 o 2 vatios, puede ser captada por receptores muy sensibles que orientar sus antenas hacia zonas escogidas del espacio, traducen a una gráfica la intensidad de las emisiones, permitiendo conocer la cantidad de H y su distribución en el espacio interestelar.

1.1.2 El estudio de los meteoritos.

Han sido los primeros materiales, exteriores a la Tierra, que hemos podido estudiar.

Los meteoritos que podemos recoger son sólo una pequeña parte de los que chocan con nuestro planeta, pues los más pequeños se volatilizan por el rozamiento con la atmósfera o al chocar con la corteza. Además el 70 % caen al mar. Se han clasificado en :

a) **Litometeoritos**: Formados por fundamentalmente por silicatos (sobre todo piroxeno y olivino). A su vez se subdividen en:

a₁) **Condritos** Su material procede de los primeros tiempos del sistema solar. Suponen el 86 % del total, con 40 % de olivino, 30 % de piroxeno, 5-20 % de NiFe, 10 % de plagioclasas y 6% de troilita (SFe). Un tipo de

ellos, los carbonáceos, presentan una composición muy parecida a la del Sol en elementos no volátiles. Se caracterizan por los "cóndrulos", que son estructuras esféricas de tamaños cercanos a 1 mm. y formados por vidrio además de los minerales indicados; se interpretan como gotas fundidas durante las primeras colisiones que se produjeron en la nebulosa que formó el sistema solar.

Los condritos ordinarios carecen de restos de volátiles carbonáceos.

a₂) **Acondritos**: (sin cóndrulos) con olivino, piroxenos y plagioclasas. Cristalizados en granos gruesos (posiblemente se formaron a partir de fundidos como nuestras rocas magmáticas).

b) **Sideritos** (4,5 %) con un 89 % de NiFe que aparece cristalizado formando unas estructuras con caras octaédricas, llamadas figuras de Widmanstätten.

c) **Siderolitos**: (2 %) con el 50 % de NiFe y el resto de silicatos. En alguno de ellos aparecen cristales de olivino con caras perfectas.

Es notable en todos ellos la ausencia de minerales formados a alta presión, lo que indica que los cuerpos en los cuales se formaron deben ser pequeños, el máximo quizás del tamaño del asteroide Ceres.

Posteriormente los viajes espaciales nos han permitido ir a la búsqueda de datos, preparar cuidadosamente las observaciones a realizar y los descubrimientos han abierto un nuevo campo de investigación: la Geoplanetología. Las nuevas técnicas utilizadas han sido:

1.1.3. Otros estudios

Estudio sobre las características físicas de los planetas; medidas de densidad, radio, campo gravitatorio y magnético. Estos datos ayudan a conocer la distribución de densidades, estado físico y composición interior.

Estudios sobre las atmósferas planetarias: el análisis de sus espectros permite conocer su composición química, densidad, presión atmosférica. Son datos importantes para deducir el origen de esa atmósfera, su influencia sobre las rocas, t° , etc.

Estudio de los paisajes que forman la superficie de los planetas y que muestran los efectos de una actividad geológica. Estas observaciones se hacen directamente en los viajes o por fotografías.

La recogida de muestras de rocas, que permite la comparación y estudio de los materiales terrestres, meteoríticos y los procedentes de otros planetas: pudiendo así deducir sus condiciones de solidificación, tiempo de enfriamiento, etc.

1.2. Origen y Evolución del Universo. Teorías cosmológicas.

Las teorías cosmológicas deben explicar **dos aspectos fundamentales** de la evolución del Universo:

a) El **origen de la energía** que continuamente gasta y también determinar la importancia de las diferentes formas de esa energía que circulan por él, transformándose unas en otras y compitiendo entre sí, lo que provoca la continua evolución del Universo.

b) ¿Cuál es el **origen de las diferentes concentraciones de materia**, galaxias, estrellas, nubes de gases y polvo? ¿Qué relación hay entre unas y otras formas y entre los tipos de estrellas? ¿Cuál es la tendencia del Universo: la concentración de materia en cuerpos ultradensos (agujeros negros, estrellas de neutrones), o la dispersión continua, como parecen interpretarse del desplazamiento hacia el rojo de los espectros de las galaxias?

Las teorías de formación del Universo tratan de aclarar cuál puede ser la "tendencia general".

1.2.1. Teoría del Estadio estable o estacionario

Los astrónomos F. Hoyle, T. Gold y H. Bondi fueron los creadores de una hipótesis sobre el origen del Universo, denominada **Principio cosmológico perfecto**, cuyo postulado fundamental dice así: Prescindiendo de irregularidades locales, el Universo es uniforme espacial y temporalmente, no existe un verdadero centro en el espacio ni un origen del tiempo. Este principio es el fundamento del modelo cosmológico del **estado estacionario**, que propone un Universo que ha existido siempre y siempre existirá, sin comienzo ni fin donde la densidad media de la materia se mantiene constante.

Este modelo fue generalmente aceptado por la comunidad científica, e incluso Einstein, que más tarde reconoció éste como el mayor error de su carrera científica.

Para Hoyle, Bondi y Gold, la expansión continua iría acompañada por la creación de materia para compensar la progresiva disminución de densidad que se produce en el Universo expansivo. De esta manera, aunque las galaxias evolucionen el universo siempre presentaría el mismo aspecto, ya que unas se sustituirían por otras y correspondería al principio perfecto de homogeneidad del Universo en el espacio y en el tiempo. La materia nueva se crearía espontáneamente y en todo el Universo, a partir de la energía de expansión del mismo. La velocidad de creación de materia tendría que compensar la que desaparece, según los cálculos sería del orden de 1 átomo de H por litro y por cada 1.000 millones de años. Obviamente esta cifra no es comprobable.

Posteriormente Hoyle y Narlikar han intentado mejorar esta teoría, pues el descubrimiento de la radiación de fondo ocurrió posteriormente a la formulación de su teoría e indica un Universo más denso y las emisiones de los quasars desde distancias tan enormes nos habla de un estado anterior del Universo nada parecido al actual y por lo tanto no homogéneo en el espacio y en el tiempo.

1.2.2 Hipótesis del Universo en expansión

A finales de los años veinte, E. Hubble (1889-1953) proporcionó la primera evidencia sólida de que el Universo se expande. Descubrió que las **líneas espectrales** de determinados elementos químicos presentes en las galaxias, cuando se comparaban con los espectros obtenidos en el laboratorio, aparecían desplazados hacia longitudes de onda mayores, es decir, hacia el extremo rojo del espectro (**desplazamiento al rojo**).

La luz que llega a la Tierra desde las galaxias y otros cuerpos astrales contiene una mezcla de muchas frecuencias distintas, que se pueden recoger en una película fotográfica con un espectroscopio. La frecuencia está también relacionada con la percepción del color, de forma que la luz roja tiene una frecuencia más baja (o la longitud de onda más larga) que la luz azul.

El conjunto de todos los colores, separados como en el arco iris, constituye el **espectro de emisión** (que es continuo), típico de toda la materia, suficientemente densa y caliente y que ocupe grandes extensiones (estrellas).

Los gases que hay en la superficie de las estrellas absorben parte de la radiación emitida, apareciendo una serie de rayas oscuras (**espectro de absorción**) superpuesto sobre el de emisión. La posición de las rayas detecta, por baja que sea la concentración, la presencia de distintos elementos químicos (la frecuencia en la que aparecen las bandas de absorción, es una constante característica de cada elemento).

Hubble comparó el espectro del Ca de las galaxias, con el obtenido en el laboratorio. Observó que, cuanto más alejada estaba una galaxia, las bandas del espectro de absorción aparecían cada vez más desplazadas hacia el rojo (longitudes de onda mayores). Para ello utilizó los resultados obtenidos por J. C. Doppler, quién descubrió que la luz emitida por todos los objetos en movimiento respecto a un observador cambia de color: se vuelve más roja si el objeto se aleja, o más azul si se acerca. Hubble convirtió sus medidas de desplazamiento hacia el rojo con velocidades de alejamiento de las galaxias y enunció la ley resultante de sus observaciones: **la velocidad de alejamiento de una galaxia es proporcional a su distancia**. Esto asestó un golpe definitivo a la teoría del Universo estacionario ya que, si el movimiento de alejamiento de las galaxias se invirtiese durante un tiempo igual a la edad del Universo actual, extrapolando hacia atrás se llegaría a que todas las galaxias se encontrarían en el mismo punto en el mismo instante, que marcaría el origen del Universo.

Así pues, actualmente, se concibe que el Universo es una entidad global, dinámica y en evolución, igual que un ser vivo, con una *h*^a de su vida y quizás un nacimiento y un fin.

HIPÓTESIS DEL BIG-BANG

Según esta hipótesis, toda la materia y la energía del Universo se encontraba en el instante $t = 0$ (hace 15000 millones de años), bajo una forma infinitamente condensada y caliente (**estado de singularidad original**). La materia-energía estaría concentrada en una zona de 10^8 Km. de radio, su densidad sería 10^{14} gr/cc, su t^a sería de 10^{12} °K estaría formada principalmente por radiación; en este estado se produjo una explosión que dio lugar a la expansión actual. Durante este tiempo el Universo se ha enfriado poco a poco hasta alcanzar el aspecto presente.

La aparición de las distintas partículas elementales y de las fuerzas que rigen su comportamiento en el Universo (gravidad, electromagnetismo, etc.) no es más que el resultado del enfriamiento progresivo de la energía primordial liberada en el gran estallido. Los aceleradores de partículas y los radiotelescopios son los instrumentos básicos utilizados por los astrofísicos para interpretar los sucesos ocurridos en los instantes previos a posteriores al gran estallido.

1. Al inicio (**era cuántica**, 10^{-43} segundos después de la gran explosión) toda la materia se hallaba en forma de energía, existiendo una única fuerza electronuclear gravitatoria.

2. Tras la gran explosión (**era hadrónica**, entre 10^{-43} y 10^{-4} segundos), se produjo una rápida disminución de la t^a , lo que permitió la separación de las fuerzas fundamentales (gravidad, fuerza nuclear fuerte y débil, electromagnetismo). Aparecieron las primeras asociaciones estables de partículas: protones, neutrones, mesones, y las correspondientes antipartículas¹.

A medida que proseguía la expansión, descendía la t^a , de forma que la energía de los fotones no bastaba para su materialización en un par de partícula-antipartícula. Sin embargo, las colisiones materia-antimateria continuaban aniquilándose y generando fotones. Todas las partículas desaparecían por aniquilación con sus antipartículas, con excepción de una entre mil millones. Esta ligerísima preferencia por la materia es la causa de que vivamos en un Universo de **materia**. Subsistieron protones y neutrones.

El resultado final de esta era fue la aniquilación de las partículas al colisionar con sus antipartículas, lo que explica el predominio del gran nº de fotones existentes en la actualidad frente al nº de partículas de materia superviviente.

3. En el período comprendido entre 10^{-4} y 10 seg. (**era leptónica**), la baja t^a impedía la materialización de los fotones ni se generaban pares de materia-antimateria (electrón-positrón); mientras que "casi todos" estos pares se transformaban en protones. Al final había desaparecido toda la antimateria, y su aniquilación produjo una gran cantidad de energía radiante (fotones), de forma que hoy, éstos, son más abundantes en el Universo. Un vestigio de esta era son los neutrinos² (se especula que debe haber la misma cantidad que fotones y su t^a sería de 2 °K).

4. El período comprendido entre los 10 seg. y los 10^6 años (**era radiactiva**), subsiste el mismo nº de electrones que de protones, manteniéndose la neutralidad.

A medida que fue descendiendo la t^a hasta los 3000 °K empezaron a asociarse protones y neutrones formando núcleos de H, y al mismo tiempo, era lo suficientemente alta para que pudieran producirse reacciones de fusión nuclear entre núcleos de H, formando núcleos de He (Deuterio + Trítio = He + protón + energía).

No todo el H se transforma en He, ya que la t^a desciende rápidamente no alcanzándose la t^a crítica para la fusión termonuclear. Por lo que la masa del Universo está, en el presente, formada aproximadamente por un 75 % de H, 23 % de He y un 2 % de elementos pesados.

Los electrones libres se combinaron con los núcleos de H y de He formando átomos, dejando de interaccionar los fotones. Éstos han evolucionado independientemente de la materia, han dejado de crear pares de materia-antimateria y se han enfriado poco a poco hasta alcanzar la t^a actual de 2,9 °K (radiación fósil, de fondo o isotrópica, vestigio de la inicial).

¹Según Einstein, $E = mc^2$. Es decir si los fotones colisionan a una $t^a > 10^{12}$ °K, se materializan dando un par de partículas de materia y antimateria. También la materia se puede convertir en energía al colisionar una partícula de materia con su correspondiente antipartícula, dando dos fotones.

² son capaces de atravesar la materia

La radiación cósmica de fondo, predicha en 1946 por G. Gamow, y descubierta por Penzias y Wilson en 1965, es una radiación térmica, de igual intensidad en todas las direcciones del espacio y en una longitud de onda de 3'2 cm. Equivale a la radiación de un cuerpo que estuviera a 2'9 °K.

5. La **Era estelar** abarca hasta el momento actual. Cuando desaparecieron los electrones libres del plasma para formar átomos, el Universo se hizo transparente a la radiación, la presión descendió bruscamente y, a partir de inmensas nebulosas de H y de He, pudieron formarse las galaxias por un mecanismo de inestabilidad gravitatoria.

La **Gravitación es la energía base del Cosmos**; la materia dispersa tiende a concentrarse por la atracción que unas partículas ejercen sobre otras, pero al acercarse van desprendiendo parte de la energía en forma de calor, como ocurre si dejamos caer un cuerpo pesado sobre el suelo. Esta energía desprendida, desencadena una nueva: la energía nuclear. Excitados los núcleos y separados de los electrones por la intensa agitación térmica, superan las fuerzas de repulsión nuclear y se producen choques y procesos de fusión nuclear. Los nuevos núcleos tienen una masa igual a la suma de los que chocaron menos una parte que se ha transformado en energía, que es emitida en formas de radiaciones de diferente longitud de onda. La materia emisora y receptora de esta radiación se expande deteniendo momentáneamente el colapso gravitatorio y durante un tiempo se mantiene el equilibrio (etapa larga y tranquila de la vida de las estrellas), pero acaba venciendo la gravedad; incluso en algunos casos se convierten en cuerpos tan densos como los agujeros negros y las estrellas de neutrones, que aunque han agotado su energía nuclear, parecen producir un intenso campo gravitatorio los primeros y unas emisiones "pulsars" las segundas.

A pesar de lo expuesto el Universo no se ha convertido en un agujero negro en sus 11.000 millones de años de vida pese a emitir mucha energía en los quasars, en las explosiones que originan las supernovas, etc.

Las estrellas durante la etapa más larga de su vida, gastan lentamente su energía, pues los átomos de H tienen muy poca probabilidad de chocar. Además, las estrellas no dejan salir toda la energía que producen en su interior. Un fotón de luz puede tardar en salir más de 500.000 años desde el centro del Sol, puesto que las capas medias hacen de filtros, remitiendo una parte de la energía recibida en otras longitudes de onda.

La gravitación, junto con la expansión universal, ha dividido la materia, inicialmente homogénea, en estructuras cada vez menores; galaxias, estrellas, planetas, etc.

El alejamiento de las galaxias, la existencia de la radiación fósil (de fondo) y la proporción entre las masas de H y de He en el cosmos son las observaciones experimentales que corroboran la hipótesis del Big-Bang, nacida de la conjunción entre la física de las partículas elementales y la cosmología.

(OPCIONAL)

El futuro del Universo depende de su densidad, pueden darse tres posibilidades:

a) **Un Universo abierto**, donde la materia es insuficiente y no se alcanza la densidad crítica precisa para que la fuerza de la gravedad frene la expansión. La densidad de la materia iría disminuyendo. Desde la Tierra veríamos alejarse las galaxias y su radiación se iría debilitando con la distancia, incluso nuestra galaxia (la vía Láctea) desaparecería al agotarse el H de sus estrellas.

b) **Un Universo cerrado**, donde la cantidad de materia resulte suficiente para alcanzar la densidad crítica que permita a la fuerza de cohesión gravitatoria superar el movimiento de expansión. el alejamiento de las galaxias iría disminuyendo, frenado por la acción gravitatoria, hasta detenerse en un futuro; a continuación se invertiría el movimiento de expansión y comenzaría una contracción hasta alcanzar la singularidad inicial (Big Crunch o Gran crujido en el que toda la materia se contrae en un único punto de densidad infinita).

La densidad del Universo es un dato importante pues la fuerza de atracción gravitatoria disminuye al hacerlo la densidad y no podrá provocar la contracción. Así se define el coeficiente $\Omega = dr/dn$, en la que dr = densidad real y dn = densidad necesaria para provocar la contracción; si $\Omega < 1$ el Universo se expandiría ilimitadamente; el valor calculado para $\Omega = 0,06 \pm 0,02$, por lo tanto la contracción futura no parece posible.

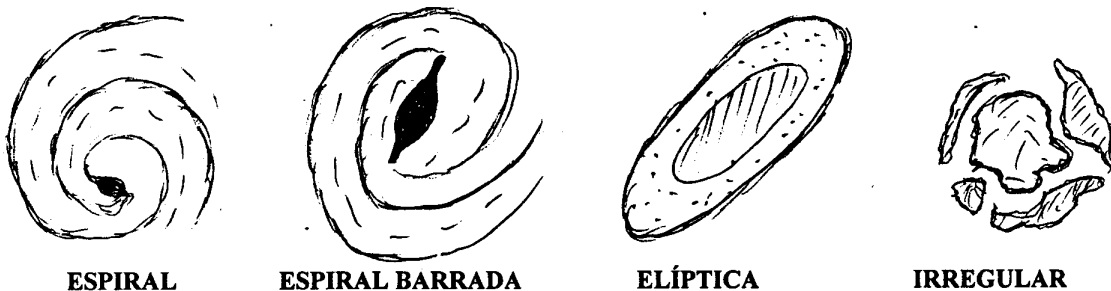
A nivel cósmico, el colapso gravitacional parece dificultoso: la densidad media del Universo se ha calculado en 10^{-30} y el tiempo necesario para que se produzca es $t = 1/Gd$, siendo G = la constante de Gravitación Universal; por lo que el tiempo preciso sería enorme. Además, la rotación de las Galaxias y estrellas desarrolla una fuerza centrífuga que mantiene alejados unos sistemas de otros.

c) **Un universo pulsante** (Friedman); es este caso no existiría ni comienzo ni fin, el Universo habría existido siempre y siempre existirá, como el Universo estacionario, pero sometido a infinitos ciclos de expansión-compresión.

Si los neutrinos poseen masa (cosa que se desconoce), el Universo será cerrado; si no la poseen será abierto: su destino es acabar convertido en una inmensa y compacta bola de fuego o, por el contrario extinguirse en un frío interminable. La teoría del Universo pulsante es más bien una opción filosófica, pues no hay observaciones científicas que permitan afirmar o negar su existencia.

1.3. Galaxias. La Vía Láctea

Son grupos enormes de estrellas que se mantienen agrupadas por su mutua atracción gravitatoria. Tienen una dimensión de 10^4 años luz (9.460.800.000.000 Km.) y una masa de 10^{40} gramos. Sus formas son variadas y han sido clasificadas por Hubble (1930) en los tipos que aparecen en la figura a las que habría que añadir las irregulares (4 % del total). Están formadas por grupos de estrellas, con nubes de polvo y gas entre ellas.



El origen del movimiento de giro de las galaxias y sistemas planetarios se ha explicado de distintas formas. Una de ellas admite que a medida que disminuía la t^a (ver la gran explosión), la gravedad iba agrupando a la materia, de diferente densidad. Estas diferencias generarían desiguales velocidades de concentración y desencadenarían movimientos turbulentos, que a causa de la fuerza centrífuga mantendría las nubes de gas y polvo alejadas unas de otras. A medida que la concentración se producía, la velocidad de giro aumentaba, de la misma forma que el patinador, girando sobre sí mismo aumenta su velocidad acercando sus brazos al cuerpo.

Las fases de evolución están en discusión por los astrónomos. Parece que las **galaxias irregulares** serían la primera etapa; posteriormente la rotación va determinando su forma. Para algunos, las **elípticas** seguirían la evolución hacia las **espirales**, según la clasificación de Hubble. Para otros, tras las irregulares, vendrían las espirales, y al final las elípticas. En este último caso los brazos de las espirales se irían incorporando al disco central, por su mayor velocidad de giro. En cualquier caso, se sabe que los brazos son posteriores al disco central, las estrellas más brillantes de las situadas en los brazos son azules, jóvenes (de menos de 100 millones de años) y presentan una proporción más alta de elementos metálicos (C, O, Mg, Si) que las del disco central o las que tienen las elípticas, que son rojas, de más de 5.000 millones de años. La cantidad de gases y polvo alrededor de las estrellas azules es grande, pero falta en el disco central y en las elípticas.

La vía Láctea. Nuestra Galaxia es de las de tamaño medio y tiene unos 100.000 millones de estrellas. Se han podido apreciar agrupaciones de Galaxias, la nuestra pertenece a la supergalaxia llamada Grupo Local formada por 17 galaxias, entre las cuales están Andrómeda, muy parecida a nuestra vía Láctea y quince más... Otras agrupaciones tienen más de 100.000 galaxias.

Las nebulosas. Están formadas por gas y polvo, poseen el 2 % total de la masa de nuestra galaxia y equivale a la de 2000 millones de soles. Se cree que a partir de ellas se han formado las galaxias y las estrellas por procesos de contracción.

Las nebulosas oscuras no emiten radiaciones visible, pero las nebulosas de emisión sí. Sus átomos de H alcanzan t° suficientes para emitir radiaciones IR o luminosas. Su composición química incluye 99 % de H y He y el 1 % restante, que forma el polvo de las nebulosas, elementos como el C (en forma de grafito), Fe y Si, que retienen moléculas de amoníaco, agua, metano, a veces olivino y alcohol etílico. Se localizan, normalmente en el interior de las galaxias (a veces pueden ocultar estrellas).

1.4. Origen y Evolución del Sistema Solar.

Nuestro Sol y su sistema planetario se formaron hace 4.500 o 5.000 millones de años. El Sol pertenece, pues, a la segunda generación de estrellas del Universo [en las primeras estrellas (novas, supernovas), los elementos más pesados, se formaron mediante la fusión de núcleos de hidrógeno; cuando explotaron difundieron estos elementos por todo el espacio y se incorporaron a la actual generación de estrellas].

A pesar de vivir en el Sistema Solar sabemos poco de su evolución, quizás menos que de lo referente a las estrellas. No lo hemos podido comparar con otros sistemas. Parece que una de cada 100 o 1.000 estrellas tiene planetas a su alrededor. Pero los planetas de otras estrellas no son, por ahora, observables para nosotros. Con los datos que poseemos quedan incógnitas por responder, una de ellas es la de si la formación de los planetas de nuestro sistema solar fue anterior o posterior a la del Sol.

Los **planetas** son esferas mucho más pequeñas que las estrellas, cuya materia está compuesta, en su mayor parte, por elementos pesados. Por lo tanto, no pudieron formarse cuando el Universo era joven, puesto que los elementos pesados aún no existían, sino que tuvieron que esperar al nacimiento de las estrellas de gran masa, cuya muerte asegura una fertilización continua del espacio con esta clase de elementos y da origen a nebulosas, donde más tarde pueden nacer otras estrellas y, además, los planetas, que pueden considerarse como condensaciones de cenizas procedentes de estrellas extinguidas.

La utilización del Telescopio facilitó la observación de las superficies de los planetas, las nubes de Venus, los anillos de Saturno, los cráteres lunares y la determinación de las órbitas planetarias, que se caracterizan por:

- 1º. La **coincidencia de todas las órbitas** en el plano ecuatorial del disco que forma el Sol y los planetas. El único planeta con órbita no coplanaria, es Plutón (inclinada 17°).
- 2º. El **movimiento de rotación** sobre sí mismo, es en el mismo sentido que el de traslación en todos los planetas excepto Venus y Urano y en la mayoría de los satélites.
- 3º. El 99,5 % del momento angular del sistema está en los planetas, mientras que el 99,8 % de la masa está en el Sol.

1.4.1. Teoría del Campo magnético de Alfvén-Hoyle.

El modelo teórico que explica la formación del sistema solar está basado en la antigua **hipótesis de la condensación** (Laplace en el siglo XVIII), quien, a su vez, recogió las ideas de Descartes y del Kant. Esta teoría afirmaba que el Sol y los planetas se habían formado a partir de un disco rotatorio de materia procedente de una nebulosa que se contrajo. La nebulosa, sometida a rotación fue desgajando anillos, al superar la fuerza centrífuga la atracción del núcleo central, que se convirtió en Sol. La velocidad del protosol iría aumentando a medida que se contraía.

La nebulosa primitiva que dio lugar al sistema solar estaba formada, en su mayor parte, por H y He y, en una pequeña porción, por los elementos pesados acumulados en el polvo interestelar. Posiblemente la explosión de una supernova cercana, que creó parte de los materiales pesados de este polvo, fue la responsable de la onda de choque causante de la compresión de la nebulosa, y marcó el inicio del enorme colapso gravitatorio que, más tarde, permitió la formación del Sol y de los planetas.

Esa enorme bola de gas y polvo en lenta rotación empezó a elevar su velocidad de giro conforme aumentaba su compactación (lo mismo que un patinador gira más rápido cuando encoge sus brazos), hasta que la rotación se hizo tan rápida que las regiones ecuatoriales de la nebulosa se desgajaron y formaron un disco de material aplanado y comprimido.

Cuando cesó la onda de choque provocada por la supernova, aparecieron turbulentos remolinos, causados por la inestabilidad gravitatoria, que dividieron en porciones el primitivo disco aplanado de gases y polvo. El remolino central capturó la mayoría de los materiales de la nebulosa (99'9 %) y se convirtió en protosol (de la misma manera que una bola de nieve que cae por una ladera aumenta su tamaño al incorporar más nieve); el resto de remolinos formados en el disco aplanado formaron **protoplanetas, protolunas**, etc.

Como la t^a era mayor en las regiones próximas al centro que en la periferia del disco, mientras que el protosol continuaba calentándose al contraerse, los elementos pesados situados en sus proximidades alcanzaron t^a suficientemente frías como para cristalizar, y pasaron así de una fase gaseosa y caliente a otra sólida y más fría (la fuerza electromagnética permitió que los átomos se uniesen para formar moléculas que, a su vez, se agruparon para constituir los diferentes tipos de rocas).

Los gases, el polvo cósmico y las rocas fueron atrapados en los turbulentos remolinos, donde la fuerza de la gravedad, al provocar el impacto de unos cuerpos sobre otros, favoreció la constitución gradual de estructuras cada vez mayores, llamadas **planetesimales o planetésimos** (planetas diminutos). La aglomeración de estos cuerpos, mediante un proceso de **acreción de planetesimales**, permitió más tarde la aparición de los planetas, satélites, asteroides y demás cuerpos astrales:

- Los planetesimales próximos al Sol, dadas las altas t^a (1000 °C), eran de naturaleza rocosa, a partir de ellos se formaron los planetas terrestres.
- En las regiones exteriores del primitivo Sistema Solar, la t^a (200 °C), era adecuada para permitir la formación de pequeñas moléculas (agua, amoníaco, metano,...). El enfriamiento progresivo de estas regiones del espacio permitió la aparición de microscópicos granos de hielo que, en sucesivos choques, formaron planetesimales destinados a convertirse en planetas jovianos², en cuya composición aparece un núcleo helado y una envoltura de diferentes sustancias gaseosas, atrapadas por la fuerte atracción gravitatoria de estos planetas de gran masa.

La **formación de planetésimos** por acreción se debería a los choques entre las partículas, que formarían planetésimos, alguno de los que crecieran al recibir impactos de otros, se escindirían y los más grandes tendrían posibilidades de acrecentar materia sin fracturarse, por su mayor fuerza gravitatoria. Esta explicación se apoya en varias observaciones: los impactos que han dejado su huella en los meteoritos, en Marte, Venus y Mercurio y en los cráteres lunares principalmente. La distribución estadística de masas encontradas entre los cantos que rodean a estos cráteres guarda la misma proporción que la distribución de masas del Sistema Solar. Los cuerpos más numerosos son los asteroides, un millón del tamaño de 1 Km., si bien el total de su masa es pequeñísima en comparación con el resto. Esto indicaría que los cuerpos mayores han crecido incorporando a la mayor parte de los pequeños, pero quedando algunos libres.

También la influencia de Júpiter podría dispersar asteroides de la órbita cercana, chocando éstos con los planetas interiores o exteriores, cambiándoles el sentido de giro (a Urano, Venus y algunos satélites) o convirtiéndose en satélites ellos mismos (los más exteriores a Júpiter). Plutón sería también un antiguo satélite escapado de Neptuno que se salió de su órbita por la influencia de Tritón, quedando éste con movimiento retrógrado.

1.4.2. Origen de la Tierra

El protoplaneta terrestre, formado a partir de la nebulosa que dio origen al Sistema Solar, era en sus inicios bastante mayor que el planeta actual, y estaba constituido, en su mayor parte, por H y He, rodeados por amoníaco y metano. Poco a poco, el protoplaneta terrestre comenzó a contraerse, al tiempo que su t^a aumentaba hasta los 3.000 °C, debido a esa contracción, y su campo gravitatorio se hacía más potente.

El mencionado ascenso de la t^a hizo que la mayor parte de los componentes de la atmósfera del protoplaneta, especialmente el H y el He, escaparan de su campo gravitatorio, en tanto que el oxígeno permanecía y se combinaba con el H aún presente para formar agua, y el carbono se conservaba en forma de metano residual y carburos metálicos.

² Son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno; el nombre de jovianos lo toman por su parecido a Júpiter, y son fundamentalmente gaseosos

Como consecuencia de la acreción de planetesimales, la superficie de la Tierra recibió el impacto de inmensos bloques de roca, de varios kilómetros de diámetro, atrapados por la fuerza de gravedad del planeta.

Durante millones de años la energía de estos impactos mantuvo la Tierra en estado de fusión, lo que permitió a los elementos pesados (Ni, Fe) hundirse hacia el centro y formar el **núcleo**, sobre el que se situaron otros materiales menos densos (**manto**); los más ligeros, fundamentalmente los silicatos, emigraron hacia la superficie que, poco a poco, se fue enfriando hasta formar la **corteza** sólida, y en las capas más externas se concentraron las sustancias más ligeras y gaseosas, componentes de la primitiva atmósfera, de efímera duración.

La **atmósfera primitiva**, a juzgar por los gases que expulsan los volcanes, ha sido modificada por el Sol y los seres vivos. De la corteza primitiva formada al parecer hace 4.600 millones de años no queda nada, las rocas más antiguas conocidas datan de menos de 4.000 millones de años, se supone entonces que los fenómenos magmáticos posteriores las han destruido.

La diferenciación química continúa en la Tierra por medio de fenómenos geológicos, como el magmatismo, orogenias, etc.

1.5. Descripción del Sistema Solar: Planetas, satélites, Asteroides, Meteoritos y Cometas.

El Sistema Solar es un conjunto de nueve planetas, conocidos, que giran en torno a una estrella que denominamos Sol. En él hay también satélites de estos planetas, asteroides, cometas, meteoritos que se acompañan en su desplazamiento por la Galaxia.

1.5.1. EL SOL

Esta situado a unos 33.000 años luz del centro de la vía Láctea, alrededor del cual gira en un lapso de tiempo denominado año cósmico (225 - 250 millones de años). Se calcula en más de 100.000 los soles de nuestra galaxia.

Planetas y asteroides giran en torno al Sol (traslación), que se encuentra situado en el centro del sistema, en órbitas concéntricas ligeramente elípticas o casi circulares, con períodos de revolución que van desde los 249 años de Plutón, hasta los 88 días de Mercurio.

El Sol constituye una esfera de gases incandescentes, 70 % de H, 27 % de He y el 3 % de otros elementos o compuestos. Su t^a superficial es de unos 5680 °C, su radio es mil millones de veces mayor que el terrestre y su masa 332.550 mayor. Gira sobre sí mismo, variando su velocidad con la latitud (25 días en el ecuador y 30 días en los polos). Se mueve, en relación a la galaxia, a unos 20 Km./seg., hacia un punto situado en la constelación de Hércules, cerca de la estrella Vega. En el núcleo del Sol la t^a llega a los $15 \cdot 10^6$ °C, y la densidad en el centro es unas 100 veces la del agua. La energía solar se produce en su núcleo por reacciones termonucleares y es transmitida a las capas exteriores, desde donde irradia el espacio. Esta energía nuclear proviene de una compleja cadena de reacciones nucleares, en las que los elementos pesados se van formando a partir de los más ligeros. La primera fase es la más importante: dos núcleos de Hidrógeno se fusionan formando un núcleo de Helio. Parte del "excedente" de la masa se convierte en calor.

La estructura del Sol presenta cierto número de capas concéntricas, de las cuales, las internas son inaccesibles por métodos directos. Su atmósfera se divide en tres capas entre las que no existe discontinuidad, si bien quedan perfectamente diferenciadas por sus propiedades ópticas. Son, de dentro a afuera:

Núcleo. Que funciona como un enorme reactor nuclear. fusiona H para formar He a una t^a de 14 millones de °C. La energía generada se eleva a la fotosfera y de ahí al espacio.

Zona Radiactiva. La energía del núcleo se irradia hacia el exterior a través de esta capa de Hidrógeno. Su t^a es de 1'5 millones de °C.

Zona convectiva. En esta zona, corrientes ascendentes y descendentes transportan el calor de salida hacia la fotosfera. Su t^a es de 1'5 millones de °C.

Fotosfera: Espesor de 350 Km., es la más próxima al disco solar; emite la mayor parte de la radiación electromagnética solar. presenta una estructura granular (granos de arroz). Se supone que constituyen la parte superior de unas columnas de gases ascendentes rodeadas de masas más frías que descienden hacia el interior de la estrella. Su Hidrógeno caliente se encuentra a unos 5.500 °C.

Cromosfera: 1.000 Km. de altura, se sitúa sobre la anterior. Su t^a se eleva conforme se asciende. Color rosado, muy luminoso, aspecto dentado. Emite unos salientes gaseosos (espículas) que duran unos cinco minutos y parecen relacionados con los gránulos de la fotosfera. Tiene una t^a entre 4000 y 8000 °C.

Corona: Aureola blanca e irregular, sin límites definidos, que puede ascender hasta unos tres millones de Km. Pese a irradiar mucha energía (t^a de 106 °C), es menor que la que irradia la fotosfera (de mayor densidad). Está formada por nubes de electrones y átomos metálicos (Fe, Ca, Ni) altamente ionizados. Se puede observar durante los eclipses. En la superficie solar se han observado algunas perturbaciones cíclicas (cada once años), entre las que podemos citar:

Manchas solares. Aparecen agrupadas y tienen duración variable. Son zonas oscuras en las capas más externas del Sol de t^a más baja que la de las zonas circundantes; se forman debido a campos magnéticos que bloquean el flujo de calor que procede del núcleo. Aparecen en parejas con una t^a de 4000 °C, y tienen una actividad cíclica (11'5 años)³.

Fáculas. Rodean, preceden y suceden a las manchas solares. Al parecer responden a calentamientos muy considerables de ciertas zonas de la fotosfera.

Erupciones solares. Llamadas súbitas de la Cromosfera que duran entre una y tres horas. Emiten junto a radiaciones luminosas y UV, rayos X, ondas de radiofrecuencia, y partículas con mucha energía. Influyen mucho en la atmósfera y en las emisiones radiofónicas.

Protuberancias. Son como grandes surtidores rojizos desde la cromosfera. Las hay rápidas o eruptivas y lentas o quiescentes, parecen relacionadas con las erupciones solares. Algunas protuberancias irrumpen en el espacio como grandes arcos a velocidades de 400 m/s.

Viento solar o Heliosfera. Es un gas ionizado de protones y electrones libres, que barre la atmósfera del astro y cubre prácticamente todo el Sistema Solar. Se supone que este fenómeno se debe a que la energía del gas ionizado de la corona del Sol es tan elevada que dicho gas no puede ser retenido por el campo gravitatorio de la estrella y escapa al espacio interplanetario. En la Tierra interviene en la formación de las auroras boreales. A él se debe también la formación de la cola de los cometas y su orientación.

El Sol lleva brillando unos 5.000 millones de años y, al parecer, seguirá brillando durante otros tantos años. La mayoría de las grandes estrellas y de las enanas son el resultado de los procesos normales de envejecimiento de las estrellas. Cuando el Sol lleve luciendo unos 11.000 millones de años habrá consumido todo el hidrógeno disponible y empezará a producir energía por combustión del Helio. El Sol se convertirá en una estrella gigante roja y se expandirá hacia afuera, hacia la órbita del planeta más próximo, Mercurio. Sus capas exteriores engullirán a Mercurio, a Venus y posiblemente a la Tierra. Tras disolverse en el espacio sus capas exteriores, su núcleo se transformará en una enana blanca (estrella superdensa de tamaño aproximado al de la Tierra); se irá desvaneciendo hasta dar una estrella enana negra (ver el ciclo de una estrella)

NOTA: Por si acaso (encerrona) conviene no olvidar que un eclipse de Sol se produce cuando la Luna se interpone entre aquél y la Tierra. El de luna se produce cuando la Tierra, iluminada por el Sol, proyecta su sombra contra la Luna. En un año se pueden producir un mínimo de dos y un máximo de siete eclipses; en el primer caso ambos serán de Sol, en el segundo, cinco de Sol y dos de Luna.

1.5.2. LOS PLANETAS

Los planetas tienen masas más pequeñas que las estrellas y no alcanzan las temperaturas suficientes para emitir luz, sólo emiten radiaciones de mayor longitud de onda. Así Júpiter, con una masa de 10 es un gran emisor de ondas y, en menor escala, Saturno e incluso la Tierra.

³ el próximo pico será en el 2001.

Hasta finales del siglo XVIII sólo se conocían seis planetas y varios satélites de Júpiter y Saturno, además de la Luna. en 1781 W. Herschel descubrió Urano con la ayuda del telescopio. La perturbación de su órbita condujo a la localización de Neptuno (1846), en la zona prevista por el matemático Leverrier. Las perturbaciones de la órbita de Urano condujeron a la localización de Plutón que fue fotografiado en 1930. Incluímos en los cuadros adjuntos algunos datos de los planetas. Como se puede deducir de su consulta, los cuatro planetas más próximos al Sol son los menores, los más densos y con menor número de satélites (de 0 a 2), son lo que en ocasiones se denomina "mundos de bola de cañón" o **planetas telúricos**: orbes minerales compactos rodeados de un fino cinturón atmosférico. Los planetas exteriores están compuestos principalmente por gases. La rotación sobre su eje es muy lenta, la traslación alrededor muy rápida.

Los cuatro restantes, más externos y de mayor tamaño son los **planetas jovianos**. Plutón es el planeta más alejado, y sus características no encajan en ninguno de los grupos; probablemente en sus comienzos no fue un planeta, sino una luna de Neptuno.

El movimiento de los planetas alrededor del Sol sigue la ley dinámica de Newton, basada en las **tres leyes de Kepler**:

1. La órbita de un planeta alrededor del Sol es una elipse, en uno de cuyos focos se halla el Sol. Se llama afelio y perihelio, respectivamente, a los puntos de máxima y mínima distancia al Sol.
2. El radio vector que une el Sol a un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales. Por tanto, el planeta va más despacio en el afelio que en el perihelio.
3. El cuadrado de los períodos de revolución de los planetas son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas.

$$\frac{T^2}{D^3} = cte$$

Los planetas mayores, más lejanos, son muy poco densos, parecen estar en gran parte en estado líquido o gaseoso. Algunos datos complementarios son los siguientes:

MERCURIO.

Carece enteramente de atmósfera y es muy parecido a nuestra luna, aunque la t^a de su superficie iluminada fundiría el plomo (hasta 467 °C), en la no iluminada se puede alcanzar (-173 °C). Su campo magnético es de 350 a 700 δ , y sugiere que está diferenciado en capas, con un núcleo de Fe, que explicaría su gran densidad media. Según recientes mediciones el tiempo que el planeta invierte en dar dos vueltas al Sol completa tres vueltas sobre sí mismo.

Es muy parecido a nuestra Luna. El paisaje presenta cráteres someros formados por el impacto de meteoritos, llanuras que parecen estar formadas por coladas volcánicas y escarpes de compresión tectónica, de centenares de Km. de extensión.

Las rocas de su superficie deben estar formadas por mezclas de silicatos poco densa.

La edad de craterización parece ser entre 3.000 y 4.000 millones de años y su conservación se debe a la escasa actividad erosiva y a la falta de atmósfera.

VENUS.

Su atmósfera es masiva, con una presión de 90 atm. y formada por CO₂ (97 %), CO (2 %) y un 1 % de agua. La dificultad de observación de su superficie sólida se debe a las nubes amarillentas que cruzan extensas zonas del planeta. Parecen ser de ac. sulfúrico, FH y ClH. Estas nubes y los gases hacen un efecto invernadero impidiendo salir el calor y favoreciendo el desprendimiento de CO, SO, Cl y F de las rocas (482 °C). La atmósfera sería muy corrosiva y el relieve estaría intensamente erosionado.

Sólo recientemente se ha podido traspasar la atmósfera de Venus con equipos especiales de radar, y han obtenido indicios de extensión cortical a lo largo de un valle de 1.500 Km. y una especie de domo volcánico. Las rocas parecen de composición granítica, ya que su radiactividad medida a distancia corresponde a una roca con 4 % de K. Su campo magnético es débil, de 2 a 4 δ , dada su baja velocidad de rotación.

Su superficie es barrida por intensos vientos que pueden alcanzar una velocidad de hasta 100 m/seg. (a 50 Km. de altura). Tiene rotación retrógrada (gira en sentido contrario a la Tierra y los demás planetas a

excepción de Urano), que dura 243 días, lo que supone que, en un punto determinado del planeta, la salida del Sol se produce cada 118 días y por el oeste. Se le solía llamar "**lucero de la tarde**", Pitágoras descubrió que el lucero de la mañana era también Venus.

LA TIERRA.

Su extenso campo magnético y su atmósfera la protegen de las radiaciones solares nocivas para la vida. Sólo nuestra Tierra tiene una atmósfera de oxígeno y agua líquida. El estudio de la mayoría de sus características escapa a este tema. (Fundamentalmente corresponde al Tema 2). Señalaremos algunas, aunque muy conocidas, en función de lo que se les suele explicar a nuestros alumnos.

Forma esférica, ligeramente achatada por los polos debido a la rotación, tiene un diámetro de 12.758 Km. Está constituida por una parte sólida (rocas y minerales), en su mayoría hierro, níquel y silicatos y dos envolturas, una líquida (mares y aguas continentales) y otra gaseosa (78 % de N, 21 % de O, 1 % de agua y gases nobles). Su masa, con respecto a la del Sol, es de 1/300.000. Refleja un 40 % de la luz solar que recibe (albedo).

Hay que aludir a sus movimientos y duración (día sideral 23 h. 56'). Su **afelio** sucede en Junio y su **perihelio** a principio de enero. El plano de la eclíptica forma un ángulo de $23^{\circ} 27'$ con el ecuador. Presenta, eso sí, dos puntos en común, que corresponden a los lugares en que el Sol está en el cenit del ecuador (equinoccios), y a ellos llega la Tierra y su acompañante lunar los días 21 de marzo y septiembre. Los puntos en los que el sol se encuentra a mayor distancia angular respecto al ecuador terrestre son los solsticios (21 de Junio y diciembre). Hacer una breve referencia a las estaciones del año.

MARTE.

Desde la Tierra adquiere el aspecto de un astro brillante y rojizo (debido a la oxidación de las rocas y polvo superficiales); se puede observar con gran detalle usando un telescopio. Su campo magnético es de 64. Su atmósfera, transparente y azulada, está compuesta por un 95 % de CO_2 , 2-3 % de Ne, 1-2 % de Ar y 0,1-0,2 % de O. Parece que el O y el (OH) está en la superficie formando goethita, responsable de su color rojo.

La presión atmosférica es baja, una centésima parte de la terrestre, y permite el desarrollo de vientos rápidos, responsables de depósitos eólicos que cubren enormes extensiones en los polos (sobre todo en el Norte). Los más llamativo de su paisaje son los sinuosos canales de hasta 1.500 Km. de longitud y 200 Km. de anchura, la existencia de valles dispuestos como los de una red hidrográfica y, la inmensa montaña (Nix Olympica), que mide 23.000 m. de altura. En otras zonas aparecen acumulaciones caóticas de bloques. Los dos casquetes de hielo (nieve carbónica) en sus polos hacen pensar en un clima anterior más cálido, el hielo derretido originaría estas formaciones. Sus t° oscilan entre los 15°C de las zonas caldeadas, y los -100°C .

Su actividad tectónica parece intensa, presenta indicios de fracturas tensionales, de más de 200 Km. de longitud y 6 Km. de profundidad. Asociados a estas fracturas se encuentran algunos volcanes con enormes edificios en escudo. Su corteza contiene un 60 % de sílice, lo que corresponde a una roca de tipo granítico. La actividad volcánica debió iniciarse hace 400 millones de años y ser intensa de los 50-300 millones de años.

En 1976, dos módulos Viking de la NASA descendieron sobre la superficie y realizaron experimentos biológicos para detectar, sin éxito, indicios de materia orgánica.

El 4 de Julio de 1997 llegó a la superficie de Marte la nave no tripulada **Mars Pathfinder**, a una zona llamada Ares Vallis, en la región ecuatorial del planeta, y es seguramente el lecho plano de un caudaloso cauce por el que debió correr agua en tiempos remotos (uno de los famosos canales). No cabe duda de que, este importante hito, aportará una información mucho más precisa de la geología de este Planeta.

Los planetas exteriores, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, son gigantescas bolas de gases muy fríos, principalmente hidrógeno, helio, metano y amoníaco. La densidad es baja (en Neptuno menor que la del agua), pero dado su gran tamaño los campos gravitacionales de estos planetas tienen una fuerza extraordinaria.

JÚPITER.

Es el planeta mayor del Sistema Solar, produce gran cantidad de calor debido a la contracción gravitacional. Visto desde la Tierra es el que más brillo tiene, después de Venus. Recientemente se ha

descubierto que posee un anillo, como Saturno, aunque más tenue y oscuro. Su rápida rotación (10 horas), más rápida en el ecuador, produce unas típicas bandas nubosas

Su fuerte campo magnético es 20 veces superior al terrestre y su atmósfera está formada por H, He y NH₃ en suspensión (diferente a la de los planetas menores). Los gases atmosférico están en estado de agitación, calentados por el Sol y el planeta, aunque la turbulencia de algunas zonas especiales (Gran mancha roja, con una superficie equivalente a la de la Tierra) no está bien explicada.

Su composición química es parecida a la del Sol, con una molécula de He por cada diez de H. Densidad = 1,33; Volumen 1.000 el de la Tierra y su masa 318 veces. El modelo de estructura es muy debatido. Algunos astrónomos piensan que su atmósfera recubre una capa helada de miles de Km. de espesor, la cual envuelve a su vez un núcleo planetario rocoso, otros consideran que el H llega hasta el mismo centro del planeta, donde, debido a las enormes presiones, se encontraría en estado líquido con características metálicas: sería buen conductor del calor y de la electricidad. La tª en las capas superiores es de -150 °C, en las interiores puede alcanzar 20.000 °C, e irradia más energía que la que recibe del Sol, de lo que se deduce que ésta procede de las reacciones existentes en su propio interior. Parece que se halla en un estado intermedio entre estrella y planeta.

Dada su composición hubiera podido convertirse en una estrella sólo con tener masa 100 veces mayor de la que tiene: la densidad habría sido suficiente para que la tª de su núcleo alcanzase el valor necesario para iniciar la fusión del hidrógeno que lo convertiría en una pequeña estrella (**sistema binario**), situación incompatible sin duda con la aparición de la vida sobre la Tierra.

Fue fotografiado por las naves Voyager. La Galileo está ahora en órbita de Júpiter observando también sus satélites Ganimedes, Io, Calisto y Europa, donde ha detectado bloques parecidos a icebergs.

SATURNO.

El segundo planeta más grande, también emite más calor del que recibe, debido a la contracción gravitacional. Su atmósfera presenta bandas como las de Júpiter pero menos espesas. Su baja densidad, inferior a la del agua, sugiere que su atmósfera de H y He debe ser muy profunda. Tiene cinco anillos a su alrededor separados por bandas oscuras, apreciables con un telescopio escolar. La anchura total es de 70.000 Km. y su espesor varía según las interpretaciones de unos cm. a 16 Km. Parecen estar formados por cristales de hielo o de amoníaco de 3-20 cm. de diámetro; otros especulan que los millones de corpúsculos sólidos proceden, según se cree, de la desintegración de varios satélites que, o bien se pulverizaron por su excesiva proximidad al planeta, o bien nunca llegaron a formarse.

Tiene 19 lunas. Da una vuelta al Sol cada 29`46 años terrestres. Fue fotografiado por la nave Pioneer 11 las dos Voyager. Su luna Titán tiene una atmósfera de composición similar a la que se supone que tenía la Tierra primitiva

URANO.

Fotografiado desde un telescopio situado en un globo a 26 Km. sobre la Tierra presenta una gran uniformidad y poca densidad, la luz penetra profundamente antes de ser reflejada. La inclinación de su eje es la mayor de los planetas 82 ° (está prácticamente tumbado), ignorándose la causa. Al igual que Neptuno tiene también unos tenues sistemas de once anillos y posee 10 lunas (Voyager 2). Junto a Neptuno, son cuerpos gigantescos que giran con rapidez y poseen atmósferas muy extensas de H, He y CH₄ (que le proporciona un color azulado). Su tª, dada la lejanía al Sol, no sobrepasa los - 200 °C.

NEPTUNO.

Es el planeta más denso de los gigantes, la débil absorción del H atmosférico, dificulta su reconocimiento en el espectro, aunque se supone que su atmósfera así como las otras capas interiores deben ser parecidas a las de Urano.

Da una vuelta al Sol cada 164,82 años terrestres. Tiene 8 satélites (el Voyager 2 descubrió seis), los vientos de sus atmósfera alcanzan enormes velocidades (2400 km./h). El Voyager 2 fotografió una gran Mancha Negra (una tormenta circular del Tamaño de la Tierra).

PLUTÓN.

Su masa no parece ser tan alta para explicar las perturbaciones de las órbitas de Neptuno y Urano, que ayudaron a su descubrimiento. Su densidad parece superior a la de los planetas exteriores y su masa es

quizá como la de la Tierra. Se especula con que sea un planeta adoptado: un cuerpo celeste venido de otro mundo. Tiene una excentricidad muy acusada, tanto que a veces se mueve dentro de la órbita de Neptuno; recientemente se le descubrió un satélite, Caronte. No ha sido visto aún por ninguna nave espacial.

1.5.3. Satélites.

Los planetas externos poseen un número elevado de satélites, algunos de ellos mayores que Mercurio, como Ganímedes (Júpiter) y Titán (Saturno). A Júpiter se le ha comparado con el sistema solar en miniatura, con sus cuatro satélites internos (Io, Europa, Ganímedes y Calixto) exceptuando la pequeña luna Amaltea, descubiertos en 1610 por Galileo y cuyas densidades disminuyen de 3,5 a 1,6. Los cuatro últimos satélites exteriores tienen órbitas muy inclinadas y rotación retrógrada, parecen haber sido capturados. Titán posee una atmósfera de H y metano, semejante a la que debió tener la Tierra en sus comienzos; si se produjeran fenómenos volcánicos y se derritiera el hielo que parece existir, podrían darse las condiciones necesarias para que se formaran aminoácidos.

Los satélites de Marte son Fobos y Deimos. Los de Júpiter: además de los citados, Hestia, Hera, Démeter,Adrastea, Pan, Poseidón y Hades. Los de Saturno: además del de Titán, Jano, Mimas, Encelade, Thetys, Dione, Rhea, Themis, Hiperion, Japeto y Foebe. Los de Urano: Miranda, Ariel, Umbriel, Titania y Oberón y los de Neptuno: Tritón y Nereida.

La Luna.

Es el cuerpo celeste que percibimos con mayor brillo después del Sol, dista de la Tierra 384.000 Km. Se trata de uno de los satélites mayores de todo el sistema solar (más de un cuarto del diámetro terrestre, superior a los 2/3 del de Mercurio), lo que ha hecho que, algunos astrónomos, lleguen a pensar que el sistema Tierra-Luna sea un planeta doble. La rotación sidérea es 27 días y ocho horas. Dado que invierte el mismo tiempo en su movimiento de traslación en torno a la Tierra que en el de rotación sobre su eje, sólo podemos ver una cara de su superficie. Puede que inicialmente no sucediera así pero, la atracción terrestre, debió de retrasar su giro hasta alcanzar el período de revolución actual (efecto mareal).

Su origen ha planteado largas polémicas científicas. La captura parece imposible, la cantidad de isótopos radiactivos del oxígeno de sus rocas, muy diferentes a las de los meteoritos y semejante a la de los terrestres, indican que su formación ha tenido lugar en una zona cercana a la Tierra. Por otra parte la captura de un planeta por otro no encuentra explicación.

Tampoco parece haberse escindido de la Tierra; la proporción de algunos elementos como Ti, Zr, Na y K es muy diferente de la existencia de las rocas terrestres, por lo cual no deben haber formado sus materiales una masa común. Además la fuerza centrífuga necesaria para provocar su separación, sería enorme.

Por lo que parece debió formarse por acreción, como los demás cuerpos del sistema, en una órbita cercana. Se formó al mismo tiempo que la Tierra a partir de un anillo de materia que había quedado suspendido en torno a nuestro planeta o bien en una órbita muy próxima a él, de forma que pudiera ser capturado por él. La falta de atmósfera y por tanto de agentes erosivos le ha permitido conservar las huellas de los fenómenos geológicos más antiguos del Sistema Solar. Otra de las consecuencias de la falta de atmósfera son los bruscos cambios de t° entre la noche (-173°C) y el día (más de 100°C).

Las tierras más altas están formadas por anortositas, compuestas por plagioclasas fundamentalmente. Los cráteres originados al parecer desde hace 4.000 millones de años por impacto de meteoritos, tienen sus fondos cubiertos por basalto. Según algunos científicos los impactos de meteoritos habrían producido el suficiente calor para provocar la fusión del manto y originar la efusión de lavas basálticas. Tal vez tuviera en el pasado cierta actividad volcánica, pues se han detectado corrientes de lava solidificada en bastantes zonas del satélite; pero en la actualidad no hay ni un solo volcán activo. Los únicos acontecimientos que se desarrollan en la superficie son ciertos movimientos sísmicos provocados por el violento choque de meteoritos, ya que no haya atmósfera que impida o frene su llegada al suelo lunar.

En la superficie advertimos la presencia de dos zonas distintas (**tierras o continentes** y mares). Las primeras se aprecian como manchas más claras y están constituidas por montañas y aglomeraciones rocosas algo diferentes a las de la Tierra. Las formaciones orográficas más frecuentes son los cráteres y los circos (grandes huecos rodeados por un anillo de montañas de pendiente interior abrupta), si bien existen grandes cadenas montañosas de altura similar a la de la Tierra. Se calcula en más de 200.000 el número de cráteres y circos. Destacan entre los cráteres, el Tycho (con sus montañas radiantes), y el Clavius (diámetro de 235 Km. y montañas de más de 6000 m. de altura).

Los **mares** son llanuras poco accidentadas de un color pardo oscuro, cubiertas de una fina capa de polvo meteórico bajo la cual subyacen grandes mantos de lava. Destacan el Mare Imbrium, Mare Serenitatis, Mare Tranquilitatis, el Oceanus Procellarum que es el más extenso e irregular. Las fases lunares son consecuencia de los cambios en las posiciones relativas del Sol, la Tierra y la Luna.

Los astronautas estadounidenses del programa Apolo trajeron 382 kilos de muestras de rocas y suelo lunares entre 1969 y 1972. La nave Clementine ha detectado indicios muy controvertidos de presencia de agua helada en el polo Sur.

1.5.4. Asteroides.

La ley de Bode postula que cada planeta dista del Sol el doble que el anterior (Mercurio dista 4 del Sol; Venus, 7; la Tierra, 10; Marte, 16; Júpiter, 52, Saturno, 100; Urano 196, y Plutón, 388). La ley se cumple con cierta aproximación. De acuerdo con ella, el valor 28, situado entre Marte y Júpiter, no lo ocupa ningún planeta, está ocupado por los asteroides.

En la órbita comprendida entre Marte y Júpiter y a una distancia media de 2,8 unidades astronómicas (distancia de la Tierra al Sol), se encuentran más de 3.000 asteroides. El 10 % de tamaño comprendido entre los 100-200 Km. de diámetro y situados más cerca de Marte, revelan al espectro su composición férrica. De los restantes más del 80 % tienen una composición parecida a la de los meteoritos llamados condritos carbonosos (Ver apartado 1.1.2.), que han caído a la Tierra. Entre los asteroides localizados en esta zona, destaca Ceres, con un tamaño de 770-995 Km., mayor que algunos satélites. En contra de las primeras teorías los asteroides no son fragmentos procedentes de la explosión de un planeta, sino que son los materiales de un planeta que no llegó a formarse, porque la fuerza gravitacional del planeta gigante Júpiter los mantenía en continua dispersión.

Muchos de estos asteroides caen sobre Mercurio, la Luna o Marte. Los más pequeños que llegan a la Tierra se volatilizan en su atmósfera. Sin embargo, algunos han logrado abrirse paso a través de ella: son los meteoritos que han horadado el cañón del Diablo (Arizona), o la Deep Bay (Canadá), o los que provocaron lo que pareció monstruosa explosión de Siberia.

1.5.5. Los cometas

Son cuerpos, parecidos a los asteroides, que siguen órbitas muy excéntricas con foco en el Sol. En la mayoría son elípticas, pero algunos siguen una trayectoria tan alargada que no se puede distinguir si se trata de elipse, parábola o hipérbola (se cree que las órbitas abiertas se deben a perturbaciones gravitatorias por los planetas). Todos pertenecen al sistema Solar, pero algunos pueden ser expulsados de él. El núcleo cometario, no bien conocido, consta de un sólo cuerpo rocoso, helado. La cabellera o cabeza del cometa es un halo que se genera por evaporación parcial del núcleo al acercarse al Sol. La cola se forma al aproximarse aún más al Sol a partir de la cabellera. Cuando el cometa ha pasado su perihelio y se empieza a alejar del Sol, se van debilitando la cabeza y la cola, hasta desaparecer.

A cada paso por el perihelio, el cometa agotaría un poco más de su material constituyente, hasta descomponerse en infinitud de pequeñas partículas, las cuales, al interponerse en la trayectoria de la Tierra, producirían las llamadas lluvias de estrellas. Muchos cometas regresan en un lapso de tiempo conocido y variable (el Halley cada setenta años), lo que les ha hecho objeto de supersticiones.

1.6. Estrellas. Clasificación. Evolución (OPCIONAL).

Las estrellas son enormes concentraciones de materia. Nuestro Sol, que es de las medianas, tiene una masa de 10^{33} gr. y parece que no hay estrellas de masa 50 veces superior, tampoco las hay menores de 10^{31} gr., pues no podría emitir luz. Las temperaturas que alcanzan son tan elevadas que emiten sólo radiaciones luminosas (las emisiones más abundantes) sino también rayos X. Otras estrellas, al parecer jóvenes, emiten ondas infrarrojas.

Los **Cuerpos Ultradensos** incluyen diversos tipos de estrellas, como las **enanas blancas**, cuya densidad es de 100 Tn/cm^3 , y las **estrellas de neutrones** de densidad 10^8 Tm/cm^3 . Estas últimas no son luminosas pero parecen ser los centros emisores de los **pulsars**, ondas de radio de gran frecuencia, con periodos de pulsación muy cortos, que parecen ser emitidos por estrellas de neutrones girando a gran velocidad y dotadas de un fuerte campo magnético. Por último, los **agujeros negros**, objetos cuya existencia es postulada por los científicos como etapa final de la vida de las estrellas de mayor masa. Su campo

gravitatorio sería tan grande que la luz no podría salir de ellos. Habría que detectarlos por la influencia que ejercieran sobre el movimiento de otras estrellas.

1.6.1. La magnitud de las estrellas.

El griego Hiparco, en el año 150 a. de C. comparando el tamaño con que aparecían las estrellas, las ordenó por magnitudes. La más grande de la 1ª magnitud, la siguiente de la 2ª, así hasta la 6ª magnitud. En el siglo XVIII la utilización del Telescopio permitió ampliar la escala hasta la número 23. A principios del presente siglo, con el acoplamiento de placas fotográficas a los telescopios, se pudo establecer una clasificación más exacta, por la facilidad en las mediciones y, sobre todo, porque utilizando placas sensibles al azul y al amarillo, se puede establecer una comparación más objetiva, ya que nuestro ojo es más sensible al amarillo y, por tanto, vemos peor las estrellas azules.

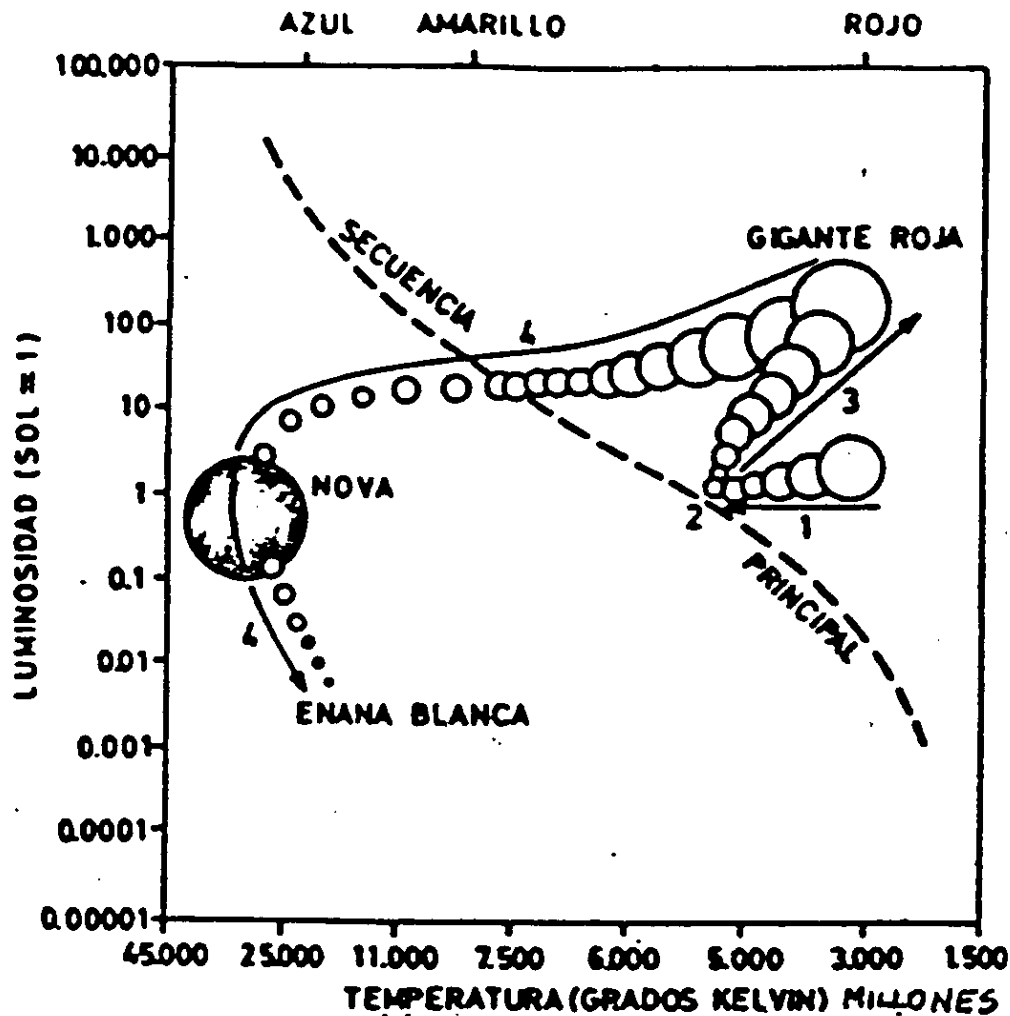
Las magnitudes aludidas son aparentes, pues estrellas pequeñas pero cercanas nos parecen más luminosas (de menor magnitud) que otras más lejanas, que en realidad tienen mucha más luminosidad real (la luminosidad es directamente proporcional a la magnitud real). Los astrónomos han podido calcular las distancias a que se encuentran muchas de estas estrellas y hallar la pérdida de luminosidad con que llegan hasta nosotros. Se puede, por tanto, establecer su magnitud real.

1.6.2. Evolución de las estrellas.

Las estrellas son los únicos puntos del Universo donde se alcanzan tª similares a las que existieron en la era radiativa (ver teoría del Big Bang), gracias a las cuales fue posible la formación de helio por fusión termonuclear de núcleos de hidrógeno. Una vez originados estos elementos, la gravitación y la expansión dividieron la primitiva y homogénea nube de hidrógeno y helio en fragmentos (nebulosas). La nebulosa, por efecto de su propia gravedad, se fragmenta en glóbulos más pequeños que giran alrededor de un eje, donde continúa actuando el colapso gravitatorio. A partir de estos glóbulos compactos se forman **protoestrellas** (estrellas azules), cuya evolución y destino final está en función de su masa inicial.

Todas las teorías cosmológicas apoyan la formación de las estrellas a partir de condensaciones de nebulosas (en los brazos de las galaxias espirales aparecen estrellas azules).

Las etapas por las que pasan las estrellas podemos estudiarlas utilizando un diagrama H-R como el de la figura. La evolución sería la siguiente 1) etapa de contracción gravitatoria, 2) estado estacionario en la secuencia principal, 3) Expansión hacia las gigantes y supergigantes, 4) Fases finales: novas, supernovas, enanas blancas.



1) Etapa de contracción gravitatoria:

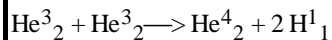
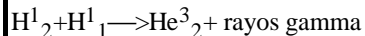
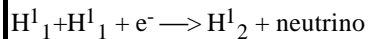
En observaciones realizadas en la Nebulosa Orión se han observado unas nebulosas brillantes (objetos de Herbig-Haro), que emiten radiación infrarroja, también se ha observado la aparición de dos nuevas estrellas, que por su espectro son **estrellas rojas**. Se supone que estos fenómenos corresponden al nacimiento de estrellas. Durante esta etapa la energía gravitatoria es la única que produce calor y luminosidad, la concentración de materia va produciendo un aumento de t° . Esta contracción, muy rápida al principio, se ve dificultada después por la presión interna. La t° va aumentando hasta que comienza la combustión del H y se estabiliza la secuencia principal. La duración de esta primera etapa depende de la masa de la estrella así como el lugar en que aparece en la secuencia principal.

2) Secuencia principal.

Durante esta etapa la estrella no sufre cambios importantes de volumen ni luminosidad. Las reacciones nucleares transforman el H en He y la energía producida en estas reacciones impide la contracción. Su duración supone el 90 % de la vida de la estrella y depende de su masa (a mayor masa menor duración).

Las reacciones nucleares que parecen producirse en esta etapa, originan He en dos procesos diferentes: El ciclo protón-protón y el ciclo C-N-O. En las estrellas pequeñas, como el sol, solo se produce el ciclo protón-protón. En las medianas se dan los dos tipos de ciclos, el C-N-O en el núcleo del astro y el protón-protón en las capas medias.

CICLO PROTÓN-PROTÓN



La energía se desprende en forma de neutrinos y de rayos gamma

CICLO C-N-O

El C_{12} actúa como catalizador; recibe H^1_1 y se transforma en N_{13} , C_{13} , N_{14} , O_{15} , N_{15} ; obteniéndose al final $C_{12} + He^4_2$; en resumen que, $H^1_1 \longrightarrow He^4_2 + 2 e^- + 2 \text{ neutrinos}$

Las reacciones del ciclo protón-protón, en estrellas del tamaño del Sol son las que mantiene su vida en la secuencia principal y cuando se agota el H pasará a la fase siguiente.

Cuando el 10 % del H total de la estrella se ha convertido en He, comienza la siguiente la siguiente etapa: su conversión en Gigante o Supergigante roja.

3) Evolución hacia las "Gigantes rojas".

La combustión típica de esta fase es la del He obteniéndose como resultado Be, C, Ne, etc. La t^a necesaria para estas reacciones es la de 200×10^6 °K, se alcanza al producirse la contracción gravitatoria del núcleo, debido al agotamiento de la combustión del H. Por combustión del He, se obtienen núcleos cuya masa aumenta de 4 en 4, por la captura de partículas α .

$He + He = Be$ y así los demás C, O, Mg, Si.

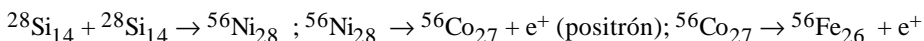
La presión que originan estas nuevas reacciones, es tan grande que las capas exteriores se expanden, enfriándose la estrella en superficie y convirtiéndose en una Gigante roja o Supergigante si la masa es mayor.

4) Etapa final: Novas o explosivas, supernovas, enanas blancas.

Cuando el He se agota se vuelve a producir otra contracción, la estrella evoluciona hasta otros estadios. Se pueden dar tres posibilidades:

4-A) Para estrellas con poca masa (hasta 4 veces el Sol), la contracción gravitatoria aumenta con la t^a . llega un momento en el que la presión interna supera a la externa y la capa exterior de la estrella es lanzada fuera (**etapa de nova**), su brillo puede aumentar 10.000 a 300.000 veces y volver a repetirse. La estrella se va apagando y las reacciones nucleares se irán acabando. (no se puede impedir las fuerzas de repulsión de los núcleos de C, Si, O, Ne, etc.). Se ha agotado el H y el He, y la contracción gravitatoria es la causante de la luminosidad de esta fase "**enana blanca**". En este estadio parece que la densidad de la estrella ha alcanzado su máximo, el gas de electrones impide una compactación mayor (gas de electrones degenerado).

4-B) Para estrellas de masa entre 4 y 8 veces la del Sol, la contracción gravitatoria es suficiente para que aumente la T^a y a los 2×10^9 °K se inicia la formación de núcleos del grupo del Fe, apartir del Si, mientras se agotan las últimas fases de las gigantes rojas, las reacciones son:



Con el núcleo estelar formado por elementos férricos, se acaba la formación de nuevos núcleos atómicos, que se continúan en otras estrellas. Acabado el proceso de formación del Fe, disminuye la t^a interna y por tanto se impone la gravitación y provoca una rapidísima contracción que en menos de media hora puede elevar la t^a a 10.000 millones de °K, a la cual el He vuelve a ser el núcleo estable: los de Fe, Co, Ni, Cr y Cu se convierten en partículas α y enormes cantidades de neutrones. La masa de neutrones se

forma al chocar los e⁻ con los protones y el núcleo de la estrella aumenta su densidad hasta 10^{14} gr./cm³ y la energía se libera en forma de neutrinos.

La estrella colapsa liberando su energía gravitatoria, el núcleo superdenso atrae a las capas cercanas y las exteriores son expulsadas hacia el espacio, convirtiéndose en una "**supernova**". El núcleo quedará convertido en una "**estrella de neutrones**".

En los últimos 1.000 años se tienen datos de 3 explosiones de supernovas, la primera, observada por astrónomos chinos y japoneses en 1054, dejó como restos la nebulosa Cangrejo, aún en expansión, otra en Casiopea, 1572 que fue estudiada por Tycho Brahe, y la tercera en Sagitario en 1904. La luz que produce uno de estos fenómenos equivale a la de 100 millones de soles.

4-C) En el caso de que la masa inicial fuera 8 veces la masa solar, el colapso gravitatorio a partir de la supergigante roja, puede continuar hasta convertirse en un **agujero negro**. La gravedad sería tan intensa que reduciría un cuerpo tan denso como el Sol a una esfera de 6 m. de diámetro.

La materia lanzada al espacio por las novas y supernovas, sería recogida por otras nubes interestelares y en los procesos de nucleosíntesis de otras estrellas, se formarían nuevos elementos con núcleos más pesados, que tienen edades de 7.000 a 15.000 millones de años, superior a la de cualquier estrella conocida. Por lo que algunos autores estiman en 11.000 millones de años la edad del Universo. Esto explicaría también que las estrellas jóvenes en los brazos espirales tengan una cierta abundancia de C, Ne, Si, etc.

Resumiendo, podemos considerar los procesos que ocurren en el Universo como unos procesos físicos: transformación de la energía en materia y condensación en algunas zonas de ésta, favorecida por la gravedad que desencadena a su vez procesos dispersantes de materia, excepto en algunos lugares que concentran cantidades insospechadas de materia.

A veces una protoestrella gira rápidamente sobre sí misma, produciéndose una fuerza centrífuga grande que se opone a la gravitacional y a veces la divide en partes; originando así un sistema de dos o más estrellas. Estas giran alrededor de un centro de gravedad común, gracias a la gravitación. Los sistemas más comunes son los **dobles o binarios**, que constan de una estrella más grande (primaria) y otra más pequeña (secundaria). Se sospecha que ciertas secundarias, como la Sirius B, puedan ser estrellas de neutrones o agujeros negros. Los sistemas dobles abundan mucho en la Vía Láctea.

Además de las estrellas vistas en la evolución estelar, existen otras que, durante alguna fase de su vida, no brillan con luz constante, sino que aumentan y disminuyen periódicamente de brillo, en lapsos de tiempo más o menos regulares. Son las **estrellas variables** y se clasifican atendiendo a la intensidad y al intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos sucesivos de luminosidad (período de la variación). Se dividen en Pulsantes y explosivas o novas:

Las **estrellas pulsantes** pueden ser de tres clases:

- **RR Lyrae**. Su periodo de oscilación oscila entre varias horas y días. Son muy luminosas y se sitúan en el diagrama H-R en la zona de las gigantes rojas. Todas tienen el mismo brillo absoluto (se utilizan para medir distancias estelares). Son calientes con t° entre 10.000-15.000 °C y se cree que están en la última etapa de su vida.
- **Cefeidas clásicas**. Sus períodos están comprendidos entre uno y cincuenta días. Gigantescas, poco calientes (6.000 ° en superficie) y "jóvenes".
- **Irregulares**. Períodos entre 50 días y varios años. Las semirregulares son frías (3.00 a 4.000 °C, luz rojiza) y se caracterizan porque la máxima luminosidad puede ser de cien veces la mínima. Son jóvenes. Las eruptivas tienen pequeñas variaciones de brillo, de sólo centésimas de su luminosidad media.

Las estrellas **emisoras de rayos X**, a veces emiten de gran intensidad, necesitan t° de millones de °C, que no se dan en la superficie de las estrellas normales. Se las ha asociado recientemente a las estrellas dobles, en la que la estrella emisora sería una estrella invisible de neutrones o agujero negro. Esta generaría masa, a expensas de la envoltura de su acompañante, y, al chocar la materia con su superficie, formaría una atmósfera muy caliente, responsable de la emisión.

La **energía radiante** producida en el interior de una estrella, puede fluir hacia el exterior de tres modos distintos:

- Por **radiación**. La energía es absorbida y emitida de nuevo a menor t^a , por átomos vecinos cada vez más exteriores.
- Por **convección**. Los materiales ascienden desde el interior en forma de corrientes, debido a su menor densidad, es un transporte de energía con movimiento de masas. Al viento estelar se le atribuye este origen.
- Por **conducción**. En las estrellas normales tiene poca importancia, pero, en las fases finales de su vida, donde se alcanza grandes densidades centrales, es fundamental.

Ligados a estos cambios de materia y energía y por medio de las reacciones nucleares va cambiando la composición química del Universo, pues aunque las estrellas y galaxias desaparecen, los elementos permanecen, por lo menos algunos de ellos.

Quasars. Su descubrimiento ha planteado a los astrónomos un nuevo reto, ya que su comportamiento no responde a ninguna estructura conocida. Parecen encontrarse a una distancia de 8.000 a 11.000 millones de años luz, lo que les convierte, de momento, en los objetos más alejados del Universo y en los más antiguos. Parecen ser más pequeños que una galaxia minúscula y de peso mayor que 100 millones de soles; emiten una cantidad de energía superior a 8×10^{44} erg./seg. (las galaxias emiten entre 0,5 y 8×10^{44}) y radiaciones luminosas y radio eléctricas con enormes variaciones de intensidad. Estos cambios se producen en el plazo de meses, semanas e incluso días y se perciben como el encendido y apagado simultáneo de 100.000 millones de soles.

Las agrupaciones de materia en las galaxias pueden ser difusas o concentradas, y sus temperaturas aumentan con la densidad. El Gas Interestelar se compone fundamentalmente de H y He.