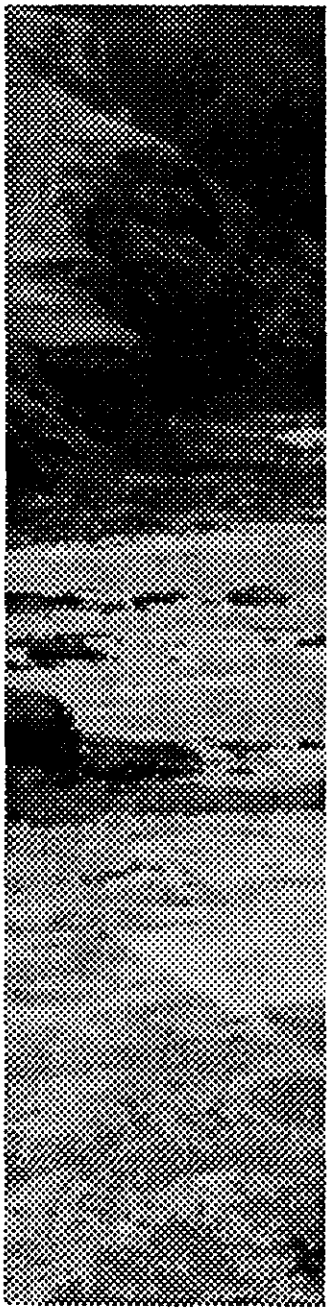
TEMA 1



BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA

Desarrollo de los temas

La Tierra en el Universo. Geología de los planetas. Origen de la Tierra y del sistema solar.

elaborado por
EL EQUIPO DE PROFESORES
DEL CENTRO DOCUMENTACIÓN

GUIÓN - ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

3. BREVE HISTORIA DE LA MATERIA

4. FORMACIÓN Y TIPOS DE GALAXIAS

5. LAS ESTRELLAS

6. EL SISTEMA SOLAR

6.1. La teoría planetesimal

7. PLANETOLOGÍA: GEOLOGÍA DE LOS CUERPOS DEL SISTEMA SOLAR

7.1. El sol
7.2. La luna
7.3. Los planetas
7.3.1. Planetas interiores
7.3.2. Planetas exteriores

8. ÚLTIMAS APORTACIONES DE LA CIENCIA EN ESTE CAMPO

8.1. El origen del universo
8.2. Los planetas del sistema solar tras la nueva definición de planeta
8.3. Planetas extrasolares

BIBLIOGRAFÍA

Es difícil encontrar libros que traten estos temas con el suficiente grado de actualización, pero aún así se pueden recomendar los siguientes:

ANGUITA, F. **Geología Planetaria**. Ed. Mare Nostrum, colección Arjé. Madrid, 1993.

ANGUITA, F. **Historia de Marte**. Planeta. Barcelona, 1998.

ANGUITA, F. **Origen e Historia de la Tierra**. Ed. Rueda. Madrid, 1988.

ARRANZ, P. **Conocer y observar el sistema solar**. Agrupación Astronómica de Madrid, 2003.

BAKULIN, P.I. **Curso de astronomía general**. Ed Mir. Moscú, 1987.

FERNÁNDEZ CASTRO, T. **Historias del universo**. Espasa. Madrid, 1997.

HAWKING, S. **Historia del tiempo**. Ed. Crítica. Barcelona, 1988.

LÓPEZ, C. **Universo sin fin**. Taurus. Madrid, 1999.

MENZEL, D.H. **Guía de campo de las estrellas y los planetas**. Omega. Barcelona, 1986.

MOORE, P. **La luna**. Hermann Blume. Madrid, 1986.

PÉREZ MERCADER, J. **¿Qué sabemos del universo?** Temas de Debate. Madrid, 1996.

SAGAN, C. **Cosmos**. Ed Planeta. Barcelona, 1985.

SHIPMAN, H.L. **Los agujeros negros, los cuásares y el universo**. Alambra. Madrid, 1987.

TARBUK, E.J. **Ciencias de la Tierra**. Prentice may. Madrid, 2000.

1. INTRODUCCIÓN

Los habitantes de comienzos del siglo XXI tenemos la inmensa dicha de poder acercarnos a la comprensión de uno de los arcanos que más han desconcertado al hombre desde que su espíritu científico le empujó a hacerse ciertas preguntas: ¿Cómo es el universo? ¿Qué tamaño tiene? ¿De qué está compuesto? ¿Qué lugar ocupa en él nuestro planeta? etc.

Parece ser que los paradigmas relativos al origen y evolución del universo se van confirmando con nuevos descubrimientos. Asimismo, la fecha del momento en que "empezó todo" se va acotando respecto a la incertidumbre de pasadas décadas. No obstante, incluso los astrofísicos más optimistas opinan que serán las limitaciones técnicas las que nos impedirán comprender profundamente los misterios de "la creación".

La propuesta de este tema es estudiar cómo la materia ha evolucionado desde los primeros instantes del universo para dar lugar a galaxias, luego a estrellas y posteriormente a planetas. Se pretende también encajar nuestro planeta Tierra en el contexto general del universo y comprender las leyes que gobiernan el cosmos en su conjunto, las cuales afectan tanto a los que estén leyendo estas frases como a los elementos que componen el más lejano quásar.

2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

Según los últimos datos del telescopio espacial Hubble (llamado así en homenaje a Edwin Hubble, descubridor en los años 20 de que todas las galaxias se alejan unas de otras) y del satélite WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), el universo se originó hace unos 14.700 millones de años. El margen de error estimado para esta edad es de 1.000 millones de años por arriba o por abajo, con lo cual queda bastante ajustado el momento en que surgieron el tiempo, el espacio, la materia y la energía, tal como los conocemos hoy y los estudiamos con nuestras leyes físicas. Dicho momento tuvo lugar con una gran explosión o ***Big Bang***. En un principio, el universo se encontraba en un estado en que la temperatura y la densidad eran altísimas, formalmente tendiendo a infinito. Esta situación de hiperdensidad, conocida como **singularidad** (estado de la materia que sólo podría describirse con leyes físicas aún desconocidas), se supone inestable e inició un proceso de expansión que persiste hasta nuestros días.

Edwin Hubble estudió la relación que existía entre la distancia que había entre las galaxias y la velocidad a la que se alejaban unas de otras. De aquí surgió **la ley de Hubble** que dice que cuanto más alejada de la Tierra está una galaxia mayor es su desplaza-

miento hacia el rojo. De este modo, las galaxias más remotas se alejan de nosotros a velocidades proporcionales a la distancia a la que se encuentran.

El desplazamiento hacia el rojo del espectro de luz de una galaxia en movimiento se mide mediante la ecuación de Doppler. **El efecto Doppler**, definido el siglo XIX para el comportamiento de las ondas acústicas emitidas por un objeto en movimiento, ha podido extrapolarse a los fotones de la radiación electromagnética que recibimos de las galaxias. Este proceso viene a significar, en suma, que cuando una fuente sonora se acerca a un observador (por ejemplo, una persona parada en el andén de una estación), éste percibe un sonido más agudo, mientras que si el objeto se aleja el sonido es percibido más grave. De la misma manera, un fotón de luz de una galaxia distante tiene que viajar por el espacio, pero como el espacio está en expansión, el fotón antes de llegar a nuestros ojos aumenta también su longitud de onda. Lo hará tanto más cuanto más alejada esté la galaxia: ése es el llamado desplazamiento al rojo cosmológico. Según este razonamiento, y para situaciones concretas –como los brazos de una galaxia en espiral al girar–, se pueden hacer mediciones de estrellas que se alejan de nosotros y nos envían una luz "más roja", o bien estrellas que se acercan y su luz resulta "más azul".

La dependencia de la distancia y la velocidad o ley de Hubble viene expresada por la fórmula $V_r = H_o \cdot D$, siendo V_r la velocidad de recesión o alejamiento y H_o el coeficiente de proporcionalidad o constante de Hubble. Como la constante de Hubble relaciona precisamente la distancia entre las galaxias y la velocidad de recesión de las mismas respecto a un observador, conociendo el ritmo de expansión del universo podemos determinar cuando éste comenzó. Las estimaciones más recientes han establecido una H_o entre 60 y 80, por consiguiente la edad media que hoy se atribuye al universo es de unos 14.700 millones de años, lo cual resulta compatible con otros trabajos de medición de edad basados en el estudio de las estrellas más viejas (se trata de nuevas estimaciones realizadas en 2004 en el laboratorio LUNA, ubicado a 1.400 metros de profundidad) y parece que los resultados cuadran perfectamente. Los cálculos de la edad y expansión del universo también se realizan mediante el estudio de supernovas lejanas y de la radiación de fondo de microondas (WMAP). Últimamente todos los experimentos parecen coincidir o aproximarse a la edad antes mencionada, con lo cual existe cierto consenso respecto al origen del universo. Estos estudios recientes han demostrado, además, que la expansión del universo, contrariamente a lo que se pensaba, se acelera. En mayo de 2002 cosmólogos del Caltech (California) que trabajaban con el CBI (*Cosmic Background Imager*) han confirmado que el universo está formado de aproximadamente un 5% de materia ordinaria, alrededor del 25% de materia exótica u oscura y cerca de un 70% de algún tipo de "energía oscura". Ello significa que –teniendo en cuenta toda la densidad que estas cifras representan– vivimos en un universo plano lleno mayoritariamente de materia oscura y de energía oscura, y que aparentemente el cosmos experimentó un breve momento de inflación extrema en los primeros instantes del primer segundo.

Actualmente el universo se está acelerando debido a algún efecto antigravitatorio o "energía oscura", que se corresponde con la Constante Cosmológica de Einstein. Esta corrección, que el gran físico llamó "su mayor error" tuvo que ser introducida para describir el universo estacionario que él postulaba. Poco después se descubriría que las galaxias se alejan unas de otras.

3. BREVE HISTORIA DE LA MATERIA

Según la ecuación de Einstein $E = mc^2$, para formar una partícula con masa m se requiere una cantidad de energía E no menor de mc^2, donde c es la velocidad de la luz. La creación de materia a partir de energía es un proceso que se lleva a cabo rutinariamente en los aceleradores de partículas. Cuando un fotón de alta energía (rayos gamma) colisiona con un segundo fotón ambos desaparecen y en su lugar se forma materia. Este proceso origina un electrón y su antipartícula, el positrón.

$$\gamma + \gamma \leftrightarrow e^+ + e^+$$

Contrariamente, la reacción inversa representa la aniquilación de una partícula y su antipartícula, lo que resulta en la formación de 2 cuantos de rayos gamma.

De este modo, para que surgieran las primeras partículas de materia, el universo, extremadamente caliente en el primer instante después del *Big Bang*, tuvo que ir enfriándose paulatinamente (la propia expansión es la que determina el enfriamiento).

- Desde el tiempo 0 hasta el segundo 10^{-44} tuvo lugar una etapa llamada **época de Planck** en la cual las 4 fuerzas que existen en la naturaleza (la gravedad, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil) se encontraban unificadas. Al final de este periodo, cuando la temperatura descendió a 10^{32} K, la gravedad se separó de las restantes fuerzas y surgieron los cuantos del campo de gravitación: los gravitones.

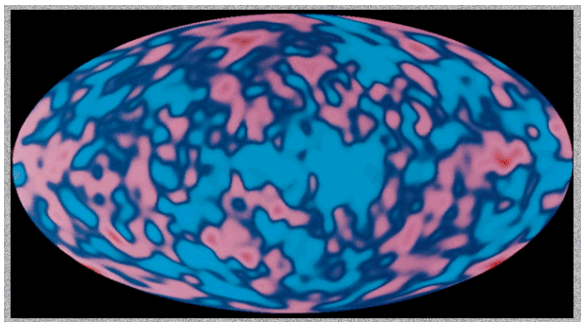
- La **etapa de los hadrones** aconteció desde 10^{-43} segundos hasta 10^{-5} segundos y en ella aparecieron las partículas más elementales que se conocen, los quarks, que darían lugar a los hadrones, partículas sometidas a interacciones fuertes, como los protones, neutrones y otras. Durante este pequeño lapso de tiempo sucedió el llamado "universo inflacionario" (10^{-35} a 10^{-24} segundos) durante el cual aumentó considerablemente de tamaño, quizás por un factor de 10^{50}. Asímismo, durante este periodo se separaron las restantes fuerzas, primero la nuclear fuerte y la electrodébil, y después esta última rindió finalmente la nuclear débil y la electromagnética.

- La **etapa de los leptones**, de 10^{-4} a 0.2 segundos está caracterizada por la formación de los electrones, partículas subatómicas ligeras, casi sin masa.

• La **etapa de la radiación**, de 10 segundos a 300.000 años, supone un momento en la historia del universo en el predominan los fotones, que todavía interaccionan fuertemente con la materia, y al final del mismo comienza la nucleosíntesis: los protones se unen con los neutrones y se sintetizan los núcleos atómicos (plasma) más sencillos: Hidrógeno, Deuterio, Helio.

• La **etapa de la materia** comenzó cuando el universo tenía 300.000 años de edad y ya se había enfriado lo suficiente para que los núcleos no estuvieran ionizados y quedaran orbitados por sus correspondientes electrones. A partir de este momento los fotones se desacoplaron de la materia y el universo se hizo transparente, lo que quiere significar que se formó "la luz". Este universo dominado por la materia es en el que vivimos y la acumulaciones de masa que lo constituyen han dado lugar, millones de años después, a estrellas y galaxias.

Como testigo de ese momento de 300.000 años desde el origen, se puede considerar la llamada **radiación cósmica de fondo**, detectada por primera vez en 1965 por Arno Penzias y Robert Wilson con una antena de los laboratorios Bell en Holmdel, New Jersey. Dicha radiación, medida en la región de microondas del espectro electromagnético, debido a la expansión de universo se ha ido enfriando hasta el presente. Los datos obtenidos por el satélite COBE en 1989 confirmaron esta **radiación "fósil"** como la del espectro de un cuerpo negro con una temperatura de tan sólo 2.73 K. Los resultados del COBE dieron un enorme apoyo, y para muchos definitivo, a la teoría de la gran explosión o *Big Bang*.



4. FORMACIÓN Y TIPOS DE GALAXIAS

Las galaxias se formaron a partir de gigantes nubes de Hidrógeno y Helio que formaban parte del universo temprano. Según los principios de la radiación cósmica de fondo, el universo al principio parecía uniforme, pero presentaba pequeñas perturbaciones de-

bido al continuo movimiento de partículas de materia y radiación como resultado de la altísima temperatura. La gravedad actuó sobre esas fluctuaciones favoreciendo la concentración de la materia bajo la fuerza de atracción de su propia masa. A partir de estas heterogeneidades las nubes pregalácticas se colapsaron en protogalaxias que contendrían las semillas de la primera generación de estrellas.

Según algunos estudios la tasa de formación de estrellas en una protogalaxia determina si se convertirá en una galaxia espiral o elíptica.

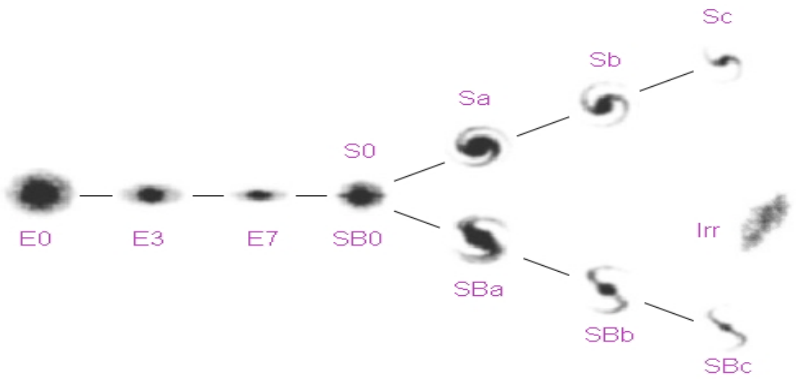
a) Si la tasa de nacimiento de estrellas es baja, la mayoría del gas colapsa para formar un disco aplanado y, por tanto, una galaxia de tipo espiral.

b) Si la tasa de nacimiento de estrellas es alta, entonces el gas pregaláctico se convierte en estrellas antes de que se pueda formar el disco y el resultado es una galaxia elíptica.

Algunas teorías sobre la evolución de galaxias han postulado que las primeras galaxias que se formaron eran de tipo irregular, después se achataron para formar brazos espirales y finalmente dieron lugar a las elípticas. Sin embargo, por un lado, el telescopio espacial Hubble ha observado galaxias elípticas jóvenes muy parecidas a las galaxias modernas de nuestro entorno, y, por otro lado, se desconoce todavía qué provocó en el universo primigenio que la materia evolucionara a galaxias y qué influencia tuvo el 90% de la materia que llamamos oscura y de la que ignoramos por completo sus características.

TIPOS DE GALAXIAS

A pesar de la gran cantidad de galaxias que se estima existen en el universo –miles de millones– y de su gran variabilidad, todavía se sigue usando el sencillo **esquema en diapasón** que utilizó E. Hubble para su clasificación.



a) Galaxias espirales. Son más o menos aplanadas con un núcleo o bulbo central del que parten unos brazos de estrellas y brillantes nubes interestelares que les confieren un aspecto espiral y a veces en remolino. La intensidad del núcleo y la separación entre los brazos da lugar a 3 distintas modalidades. Abundan las estrellas jóvenes que se originan a partir del polvo interestelar.

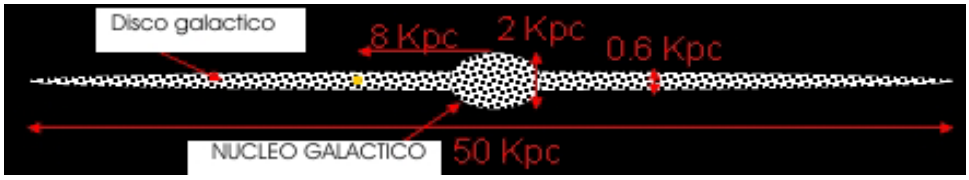
b) Espirales barradas. Semejantes a las anteriores pero con una barra de materia que atraviesa diametralmente la galaxia. Algunos astrónomos han encontrado ciertas evidencias que sugieren que nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, es barrada con al menos 4 brazos. Los brazos en las espirales barradas se extienden desde el final de la barra y no desde el bulbo central como en las espirales normales.

c) Galaxias elípticas. Llamadas así por su distintiva forma elipsoidal, carecen de brazos espirales. A su vez se clasifican, según tiendan a la forma esférica o elongada, en 7 tipos. Debido a que las estrellas se forman en nubes interestelares pocas estrellas se forman en las galaxias elípticas y la mayoría de las que en ellas se encuentran son estrellas viejas y de poca masa.

d) Galaxias lenticulares. Atendiendo al esquema del diapasón se observa que se trata de un tipo transicional entre las elípticas y las dos clases de espirales.

e) Galaxias irregulares. No presentan una geometría característica y se clasifican independientemente. Entre ellas están la Gran Nube de Magallanes (LMC) y la Pequeña Nube de Magallanes (SMC), galaxias enanas e irregulares que pueden ser observadas a simple vista desde del hemisferio sur.

Las galaxias no se encuentran esparcidas aleatoriamente en el universo sino que se concentran en cúmulos. Observaciones del movimiento de las galaxias han revelado que los miembros de un mismo cúmulo se encuentran unidos gravitacionalmente. De la misma manera, los cúmulos de galaxias se asocian entre sí formando gigantescas agrupaciones llamadas supercúmulos. Éstos, a su vez, se distribuyen formando estructuras filamentosas que se diseminan por el universo entero delimitando espacios vacíos, a modo de burbujas, en cuyos bordes se aglutinan las galaxias.



El sol está situado a unos 8000 pc (1pc = 3,26 años luz) del centro galáctico)

Nuestra galaxia, la ***Vía Láctea***, está estructurada en un disco de aproximadamente 100.000 años luz de diámetro, con un espesor de unos 2.000 años luz y con una alta concentración de gas y polvo interestelar. Contiene alrededor de 200.000 millones de estrellas. El núcleo de la Vía Láctea está rodeado por una esfera achatada de estrellas que constituye el bulbo central; la galaxia entera, a su vez, está rodeada por un conjunto de cúmulos globulares, que en disposición más o menos esférica determina el llamado halo galáctico. Del disco de la galaxia se extienden unos enormes brazos espirales. El Sol se encuentra aproximadamente a 28.000 años luz del núcleo galáctico entre dos de esos grades brazos. El Sol se mueve en su órbita a una velocidad de unos 828.000 kilómetros por hora y tarda alrededor de 230 millones de años en completar una órbita alrededor del centro de la galaxia. Recientemente se ha apuntado la posibilidad de que nuestra galaxia contenga una barra central pero se está a la espera de nuevos datos y confirmaciones.

5. LAS ESTRELLAS

NACIMIENTO

Las estrellas son los objetos más característicos y difundidos del universo. Sus componentes fundamentales son Hidrógeno y Helio. Nacen debido al colapso gravitatorio de nubes de gas y polvo interestelar a partir de unos grumos iniciales que se condensan en agrupaciones de materia llamados glóbulos de Bok, perceptibles como zonas oscuras en algunas nebulosas brillantes.

El colapso de las nubes de gas y polvo puede deberse a causas variadas. Entre ellas, se postulan como probables, la compresión provocada en los brazos espirales debido al giro de la galaxia, el estallido de supernovas o el propio nacimiento de otras estrellas cercanas que comprimen la nube de polvo de los alrededores.

Debido a la compresión se genera energía gravitatoria que aumenta la temperatura del gas. Si la masa que posee la estrella en formación supera un valor mínimo, la temperatura de su núcleo puede llegar a alcanzar varios millones de grados y comenzar las reacciones termonucleares, es decir, la fusión del Hidrógeno. A partir de este momento la estrella comienza a brillar y su contracción se va deteniendo pues va siendo compensada por la energía de irradiación que produce. Así, el estado de equilibrio o fase a la que tiende la

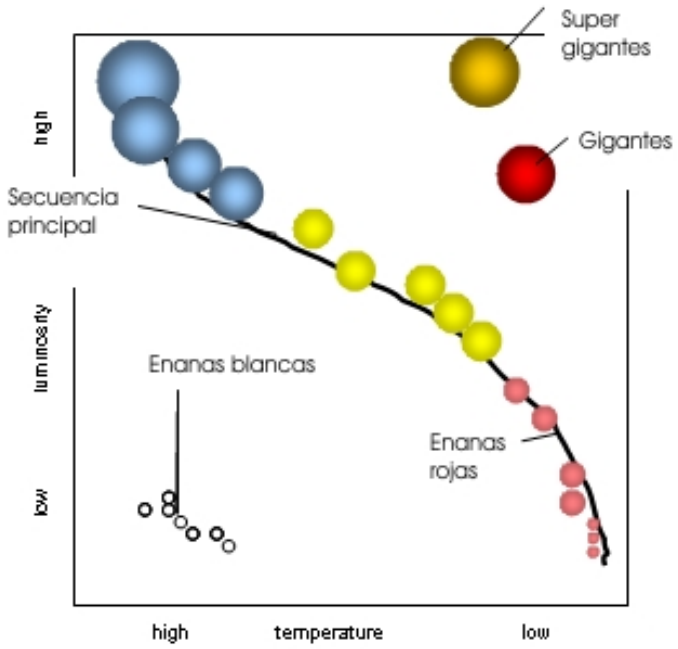
energía de irradiación que produce. Así, el estado de equilibrio o fase a la que tiende la evolución de la estrella es la llamada secuencia principal.

CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN

El **tamaño** de las estrellas varía considerablemente. Para que el proceso inicial de nacimiento tenga lugar, se calcula que la masa de la estrella tiene que estar comprendida entre 0.08 y 60 masas solares. La cantidad exacta de masa definirá el lugar exacto de la secuencia principal donde esa estrella pasará la mayor parte de su vida. El tamaño se puede determinar en el diagrama H-R (Hertzsprung-Russell) que consiste en un gráfico en el cual las magnitudes absolutas de las estrellas (luminosidad) son representadas en relación con la temperatura de su superficie. En dicho gráfico aparecen distintos campos en los que se pueden agrupar las estrellas: gigantes, supergigantes, enanas blancas y estrellas de la secuencia principal.

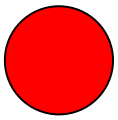
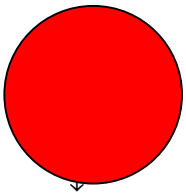
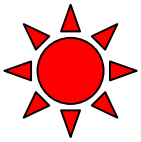
El **brillo** o luminosidad se debe a la energía que emite la estrella y se mide mediante su magnitud, la cual depende de la temperatura de su superficie y de la distancia a la que se encuentra (ésta sería la magnitud aparente, ya que la magnitud absoluta correspondería al brillo intrínseco de la estrella). La magnitud varía desde –26.5, que corresponde al Sol, hasta +23 de los objetos más lejanos. Aproximadamente, una estrella de magnitud 1 es 2.5 veces más brillante que una de magnitud 2, luego la proporcionalidad no es directa.

Respecto del **color** de las estrellas conviene señalar que éstas pueden emitir luz en toda la banda del espectro electromagnético, aunque tienen un color predominante según la masa, la temperatura y la fase de evolución. Una estrella con poca masa inicial será roja, pues su temperatura no se elevará en exceso antes de llegar al equilibrio, pero según tenga una masa mayor virará hacia el naranja, amarillo, blanco o azul, como si de un cuerpo negro se tratara. Cada uno de estos colores define una **clase espectral**: O para las más azules y, por tanto, con la temperatura más elevada y M para las más rojas y frías, pasando por las clases B, A, N, G y K. Por lo tanto, a mayor masa inicial, mayor temperatura, distinta clase espectral y diferente situación en la secuencia principal del **diagrama H-R**.



LA MASA Y LA MUERTE ESTELAR (Cadáveres estelares)

A lo largo de la vida de la estrella el H existente en el núcleo terminará agotándose y convirtiéndose en He (después de 10.000 Ma en una estrella como nuestro Sol). En ese momento las fuerzas en expansión, producidas por las reacciones nucleares en el centro de la estrella, cesarán, rompiéndose el equilibrio que ha mantenido estable a la estrella. Las fuerzas gravitatorias "vencerán" y la estrella comenzará a contraerse. La presión y la temperatura aumentan y comienza la fusión del He transformándose en C. Las reacciones nucleares son tan violentas que desestabilizan la estrella produciendo un hinchamiento desmesurado a fin de ajustar nuevamente su estructura: cuando lo consigue el volumen de la estrella ha aumentado mil millones de veces y el color ha cambiado a rojo (la temperatura superficial ha bajado al alejarse del núcleo caliente) y se ha convertido en una **gigante roja** (en el caso de nuestro Sol alcanzaría un diámetro de 1 UA, vaporizaría Mercurio, causaría la caída en espiral de Venus y reduciría a cenizas la Tierra).

MASA INICIAL	ETAPA FINAL EXPANSIVA	ELEMENTOS FORMADOS	VALOR CRÍTICO PARA COLAPSO	CADÁVER ESTELAR
< 8-10 M⊙	GIGANTE ROJA 	He, C, O	< 1,4 M⊙	ENANA BLANCA
> 10 M⊙	**SUPERGIGANTE ROJA**  **SUPERNOVA** 	He, C, Ne, O, Si, Fe	< 2,5 M⊙	ESTRELLA DE NEUTRONES (PÚLSAR)
			> 2,5 M⊙	AGUJERO NEGRO

Cuando se trata de estrellas supermasivas, éstas llegan al final de su vida y las reacciones termonucleares de su interior ocurren mucho más rápido que en las estrellas menos masivas, puesto que pueden quemar C y O. Se ha calculado que en una estrella con 25 masas solares (M⊙ en el **esquema de evolución estelar**) la fusión del Carbono dura 600 años, la del Neón 1 año y la del Oxígeno 6 meses. Al cabo de los 6 meses, la temperatura se eleva a 2.7×10^9 K, lo que desencadena la fusión del Si en 1 solo día (el Si se convierte en Fe). Cada etapa de fusión añade un nuevo escudo de materia alrededor del núcleo y se crea una estructura en capas de cebolla. La cantidad de energía generada en estas capas y en el núcleo calienta las capas exteriores de la estrella y se expande formando una **supergigante roja**.

A diferencia de elementos más ligeros, el Fe no puede servir de combustible para nuevas reacciones termonucleares y los protones y neutrones dentro del núcleo de Fe están unidos tan estrechamente que la fusión cesa. Pero los electrones del núcleo no pueden soportar la presión de las capas externas, degeneran y así comienza el colapso del núcleo de la estrella. Cuando la parte central del núcleo estelar alcanza la densidad del propio núcleo el colapso se detiene, dando lugar a una onda de choque que se propaga desde el centro hasta

el exterior de la estrella, arrastrando todo a su paso y haciendo estallar la envoltura, que es lanzada hacia el espacio a velocidades de 50.000 Km/s: este fenómeno es la **supernova**. Dependiendo de la masa del núcleo que colapsa, la evolución final de una estrella puede derivar, siguiendo un esquema teórico, hacia uno de los siguientes cuerpos ultradensos: enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros.

a) Las **enanas blancas** son cuerpos que no alcanzan la suficiente presión interior para quemar elementos más pesados y su masa final se comprime moderadamente hasta formar un residuo estelar estable de aproximadamente el tamaño de la Tierra. En consonancia con su masa, nuestro Sol, después de la fase de gigante roja se convertirá en una enana blanca, fría y sin brillo.

b) Las **estrellas de neutrones o púlsares** se forman como resultado de una explosión tipo supernova tras la cual el núcleo residual, si la masa no es mayor de 2.5 masas solares, queda extremadamente comprimido en una bola de neutrones. La densidad a la que queda compactada la estrella de neutrones es tan grande que si equivaliese a 2 masas solares resultaría un cuerpo de un diámetro de tan sólo 8 Km. Además, las estrellas de neutrones, a medida que colapsan, su velocidad de giro aumenta progresivamente, se incrementa su campo magnético y comienza a emitir señales de radio. El descubrimiento de estas fuentes pulsantes de radio hizo que recibieran el nombre de púlsares.

c) Si después de la explosión de la supernova la masa que queda es superior a 2.5 masas solares, el objeto sigue colapsando hasta convertirse en una pequeña región del espacio con densidad infinita o **agujero negro**. Después del colapso gravitatorio, el agujero negro alcanza un tamaño y forma que sólo depende de su masa y de su velocidad de rotación. Cuando se ha reducido hasta un cierto radio crítico, el campo gravitatorio en la superficie llega a ser tan intenso que la luz ya no puede escapar. Del mismo modo, tampoco podrá escapar ningún otro objeto ya que todo es arrastrado por el campo gravitatorio. Los agujeros negros representan regiones del espacio-tiempo desde donde no se podría escapar y llegar hasta un hipotético observador externo. El límite o frontera se denomina horizonte de sucesos y corresponde al lugar donde los rayos luminosos están a punto de salir pero no lo consiguen, de ahí el nombre de negros con que se designan estos “agujeros”.

6. EL SISTEMA SOLAR

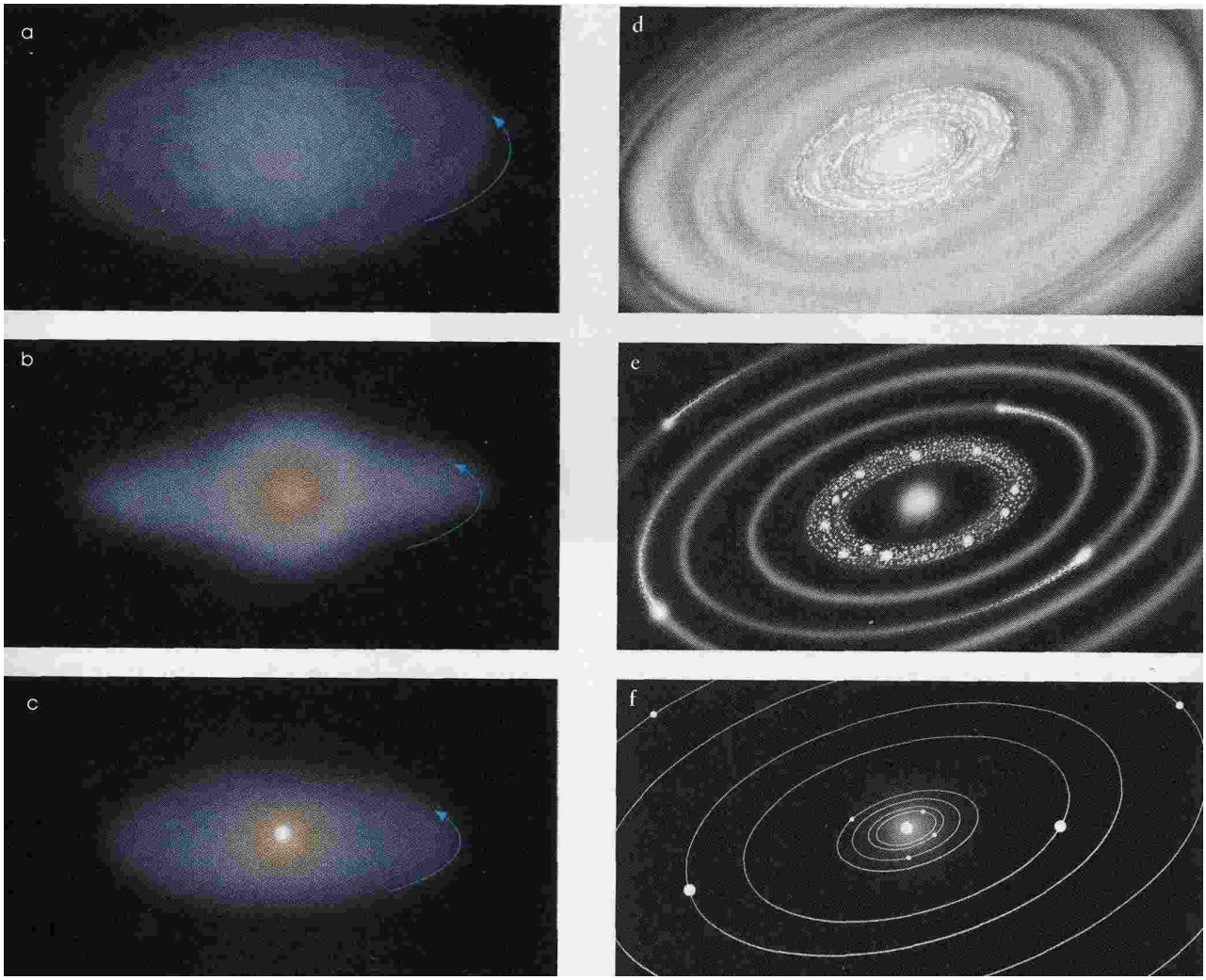
6.1. ORIGEN: LA TEORÍA PLANETESIMAL

El Sistema Solar se formó hace unos 4.600 millones de años a partir de una nube gas y polvo que se ha llamado la **nebulosa solar**. Dicha nube se condensó (colapsó) bajo su propia fuerza gravitacional en el Sol, los planetas y demás cuerpos menores. El **colapso gravitatorio** pudo ser causado por explosiones de supernovas cercanas o, según otras teorías, debido a variaciones en la velocidad de giro de nuestra galaxia.

La nebulosa solar estaba formada por gas, hidrógeno y helio, y enriquecida en elementos pesados: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, carbono, calcio y otros, que se crearon en el interior de otras estrellas de generaciones anteriores al Sol.

Al principio la temperatura de la nube era muy baja y abundaban las partículas de hielo o bien polvo rodeado de una capa de hielo. Una vez comenzado el proceso de colapso gravitatorio la materia se dirige hacia la zona interna que se vuelve poco a poco más densa hasta formar una gran concentración de materia llamada **protosol**. En esta situación, la densidad y la presión son tan grandes que los átomos colisionan unos con otros generando calor y subiendo enormemente la temperatura del interior de la nebulosa.

Los planetas pudieron formarse porque la nebulosa solar tenía una cierta cantidad de rotación, circunstancia que permitió que se transformara en un **disco aplanado** con un centro caliente y unos bordes fríos (esto explica porqué las órbitas de los planetas están contenidas aproximadamente en el mismo plano).



Por un **proceso de *acreción gravitatoria*** los granos de polvo se fusionaron unos con otros y al cabo de unos pocos millones de años dieron lugar a objetos más grandes llamados **planetesimales**, con diámetros de alrededor de 100 Km. Debido a ello la teoría de la formación del sistema solar y los planetas se ha llamado la **teoría planetesimal**.

Durante la siguiente etapa los planetesimales colisionaron y se fusionaron, a causa de su mutua atracción gravitatoria, en cuerpos de mayor tamaño llamados protoplanetas. La formación de los 4 planetas interiores estuvo dominada por la fusión de partículas rocosas. Los planetas exteriores están compuestos fundamentalmente por sustancias de baja densidad, como hidrógeno, helio, metano, amoniaco y agua. Muchas de sus lunas parcialmente también están compuestas de estas sustancias.

Durante millones de años se fueron formando los planetas y mientras tanto la temperatura y la presión en el interior del protosol continuó aumentando hasta que su núcleo se calentó tanto que pudo empezar la fusión termonuclear del hidrógeno para convertirse en helio:

tanto que pudo empezar la fusión termonuclear del hidrógeno para convertirse en helio: el **Sol** había nacido.

Las colisiones dominaron el primitivo sistema solar

Nuestra luna muestra numerosas cicatrices o **cráteres**, resultado de los numerosos impactos durante la formación del sistema solar. Estas señales también se observan en otros planetas y satélites que no poseen atmósferas muy desarrolladas o en los que no han sido borradas por la actividad geológica.

La violencia que dominó las primeras etapas de la formación del sistema solar nunca ha cesado completamente: las colisiones todavía existen en el presente, aunque la actividad importante empezó a disminuir hace 3.500 millones de años.

Todavía existen pequeños fragmentos residuales de la formación del sistema solar:

Además de los 9 planetas y sus satélites (hay al menos 65 lunas en el sistema solar y más aún que están siendo descubiertas) muchos objetos orbitan alrededor del Sol.

Entre las órbitas de Marte y Júpiter se piensa que hay más de cien mil de tales cuerpos, llamados **asteroides**, la mayoría menores de 1 kilómetro. Esta región se llama el **cinturón de asteroides**. Están compuestos fundamentalmente de metales y rocas. El de mayor tamaño llamado Ceres tiene un diámetro de 900 Km. Los más importantes se observan en la siguiente tabla.

NOMBRE	TAMAÑO (KM)
Ceres	900
Palas	550
Vesta	550
Eunomia	270
Psique	260
Héctor	250
Temis	250
Hebe	200
Otros: Gaspra, Matilda, Tutakis,etc	

Además de los asteroides que se encuentran entre Marte y Júpiter, otros asteroides giran en órbitas muy elípticas que a veces se cruzan con el recorrido que hacen otros planetas. Los pequeños fragmentos de roca y metal más pequeños que los asteroides reciben el nombre

de **meteoroides** y tienen tamaño de bloques, cantos o menores. Se encuentran por todo el disco del sistema solar y también en el cinturón de asteroides. La mayoría de los meteoroides son probablemente pequeños fragmentos de asteroides procedentes de otros mayores que colisionaron entre sí.

Asteroides fuera del cinturón de asteroides

Las fuerzas gravitacionales del Sol y Júpiter, juntas, mantienen unidos en órbita un conjunto de asteroides: son los **Troyanos**, asteroides atrapados en la órbita de Júpiter.

Además otros asteroides presentan órbitas altamente elípticas que los llevan a regiones muy internas del Sistema Solar: algunos cruzan la órbita de Marte, mientras que otros, llamados asteroides **Apollo**, incluso cruzan la de la Tierra.

El asteroide Eros pasó a 23 millones de Km. de nuestro planeta en 1931. El 30 de octubre de 1937 el asteroide Hermes pasó a 900.000 Km. de la Tierra, sólo un poco más de 2 veces la distancia a la Luna. El 14 de Junio de 1968, Ícarus pasó la Tierra a una distancia de sólo 6 millones de Km. El 23 de marzo de 1989, un asteroide llamado 1989FC pasó a 800.000 Km. de la Tierra, y el 9 de diciembre de 1994 el asteroide 1994XM1 pasó a 105.000 Km.: este asteroide mide alrededor de 10 metros, el tamaño de un pequeño autobús. El asteroide 2004MN4 sobresaltó a la opinión pública a finales de 2004 cuando las predicciones apuntaron la posibilidad de un impacto contra nuestro planeta el 13 de abril de 2029. No obstante, se consiguió una precisión mayor en la órbita que sigue dicho asteroide y parece ser que pasará muy cerca de la Tierra, aproximadamente a una décima parte de la distancia que nos separa de la Luna, lo cual, por supuesto, sigue siendo preocupante.

La mayoría de los asteroides Apollo chocarán finalmente contra un planeta o luna, incluso la Tierra. Algunos asteroides terminarán hundiéndose en las profundidades del Sol. Sin embargo, la probabilidad de que la Tierra sea golpeada por un asteroide en los próximos miles de años es bastante remota.

Meteoroides y meteoritos

Los **meteoroides** son pequeños fragmentos rocosos o metálicos de tamaño menor que los asteroides: miden menos de unos pocos cientos de metros y la gran mayoría son más pequeños de un milímetro.

Los meteoroides son a menudo empujados por la gravedad dentro de la atmósfera terrestre. La fricción con el aire genera tanto calor que la capa más externa se vaporiza. A medi-

da que el meteoroide penetra en la atmósfera, deja una cola de polvo y gas que se conoce con el nombre de **meteoro**. Los nombres comunes para estos dramáticos flases de luz que atraviesan los cielos nocturnos son: **estrellas fugaces, bólidos y bolas de fuego**. Las bolas de fuego son meteoros que brillan tanto como Venus; los bólidos son meteoros que además explotan, a menudo sin sonido, en el aire.

La mayoría de los meteoros se vaporizan completamente antes de que choquen contra la Tierra. El polvo que dejan cae lentamente, con frecuencia transportado por las gotas de lluvia. Si una parte del meteoro sobrevive desciende con violencia hacia la Tierra y puede dejar un **cráter de impacto**. La meteorización y la erosión en general están borrando la mayoría de los más de 200 cráteres de impacto que se conocen actualmente en la Tierra, y otros tantos miles han desaparecido por el movimiento de las placas tectónicas.

Aunque se puede por término medio observar un meteoro cada 10 minutos, existen periodos durante el año en los que se puede predecir que la Tierra se va a ver inundada por muchos de ellos: son las **lluvias de meteoros**, que ocurren cuando la Tierra se desplaza a través de la órbita del residuo de fragmentos dejado por la cola de un cometa. Se pueden observar 30 lluvias de meteoros al año. Puesto que los meteoros parecen venir de una región fija del cielo, las lluvias de meteoros se nombran según la constelación de la que procede el radiante. Las perseidas, que tienen lugar en el verano, son las más conocidas.

Los meteoritos son fragmentos procedentes del espacio que aterrizan intactos.

Aunque la mayoría de los meteoros se vaporizan completamente, algunos alcanzan la superficie terrestre antes de desintegrarse totalmente. Estos fragmentos son los meteoritos y la gente los ha recogido durante miles de años (la caída de fragmentos del espacio aumenta la masa de la Tierra más de 30 toneladas al día).

Los meteoritos metálicos suelen presentar restos del calentamiento o fusión que han sufrido al cruzar la atmósfera. Esto se manifiesta en la presencia de cavidades o depresiones que reciben el nombre de **regmaglifos**. Se han formado debido a la fusión y ablación diferencial de minerales (troilita) cercanos a la superficie del meteorito.

Clasificación de los meteoritos

Litometeoritos (Rocosos) 95%

Se parecen a las rocas ordinarias pero tienen una costra oscura producida por la fusión del meteorito durante su descenso.

• **Condritas:** Presentan cóndrulos (estructuras esféricas, restos de gotas fundidas de los primeros procesos de colisión que dieron lugar a los planetas).
• **Acondritas:** No presentan cóndrulos.

Siderolitos (Metalo-rocosos) 1%

• Palasitos: Fe, Ni, Olivino.
• Mesosideritos: Fe, Ni, Ca piroxeno, plagioclasa.

Sideritos (Metálicos) 4%

• Hexahedritas: Líneas de Neumann (Ni: 4.5-6.5%).
• Octahedritas: Figuras de Widmanstätten (Ni: 7-13%).
• Ataxitas: Sin estructura (Ni > 16%).

Los cometas

Los cometas son bolas sucias de nieve que se mueven en torno al Sol describiendo órbitas más o menos elípticas. Se formaron en el joven sistema solar a partir del polvo y el hielo residual de las zonas más alejadas de la estrella naciente.

Aparecen concentrados en dos reservorios: por un lado el cinturón de Kuiper que se extiende más de 500 UA (1 UA o unidad astronómica equivale a 150.000.000 Km, la distancia media aproximada que separa la Tierra del Sol) a lo largo del plano de la eclíptica; por otro, la gran nube de Oort, llamada así por –igual que G.P. Kuiper de origen holandés– el astrónomo Jan Oort que propuso su existencia en los años cuarenta. Se calcula que esta última abarca al menos 50.000 UA, un tercio de la distancia a las estrellas más cercanas y contiene miles de millones de cometas.

Los cometas son desviados de su ubicación en los suburbios del sistema solar, donde parecen icebergs a la deriva, a causa de la influencia de alguna estrella cercana que pase por los alrededores y los perturbe gravitacionalmente, empujándolos hacia el interior del sistema solar donde son atrapados por la gravedad solar.

Según observaciones detalladas realizadas en el cometa Halley, éstos están constituidos por un núcleo oscuro y rodeados por una cubierta en cuya superficie se produce la sublimación de los componentes helados que se proyectan como brillantes chorros de material. Exteriormente, se localiza la coma o cabellera, que lo rodea como una envuelta esférica en la que

se han detectado entre otros los siguientes productos: agua, nitrilos, formaldehido, amoniaco, así como OH, CO, CO_2, CN, H y otras partículas de composición silicatada.

La cola producida como consecuencia del deshielo y de su acercamiento al Sol a gran velocidad –siempre se opone a dicho astro– está formada por partículas ionizadas, fundamentalmente de OH^+, H_2O^+, CO^+, CO_2^+, etc. Además de la cola citada, que se denomina cola de plasma, puede aparecer una segunda cola de polvo.

Finalmente, envolviendo todo lo anterior, existe una nube de Hidrógeno de bajísima densidad y, por tanto, no perceptible, que se extiende a distancias considerables.

7. PLANETOLOGÍA: GEOLOGÍA DE LOS CUERPOS DEL SISTEMA SOLAR

7.1. EL SOL

Es una estrella mediana, incluso podría considerarse de pequeño tamaño, merced a lo cual presenta un estado de evolución, brillo, temperatura y características en general que hacen factible que en un planeta como la Tierra, que se encuentra a la distancia adecuada, se haya desarrollado la vida. A ello también ha contribuido el hecho de que el Sol no comparta el espacio con otra compañera (lo cual no deja de ser poco común, pues la mayoría de las estrellas son dobles, triples o múltiples), aunque ésta se ha buscado y descartado –la estrella Némesis–, ya que ello habría imposibilitado la formación de planetas; se calcula que si Júpiter hubiera tenido una masa 70 veces mayor se habría constituido en una segunda estrella, impidiendo la existencia de otros planetas y de la vida misma.

El Sol está constituido por hidrógeno (70%), helio (29%) y otros elementos químicos como N, C, O, Mg, Na, Ca, Fe (1%), que pueden alcanzar en el núcleo temperaturas de millones de grados y en la superficie aproximadamente unos 5.500º C. Debido a las altas temperaturas la sustancia solar constituye un plasma con la mayor parte de sus átomos ionizados.

CARACTERÍSTICAS DEL SOL (T: Tierra)	
Diámetro ecuatorial	1.390.000 Km
Masa	330.000 T
Rotación	25 días (ecuador) 30 (polos)
Densidad	1,4 g/cm^3
Gravedad	273,4 m/s^2 (28 g)
Temperatura	5.500º C
Volumen	1.300.000 T

Estructura: el Sol presenta forma esférica y en él se pueden distinguir 3 partes:

Parte interna

• El **núcleo**, de 139.000 Km, tiene una temperatura que varía de 10 a 15 millones de grados y en él se producen las reacciones termonucleares protón-protón:

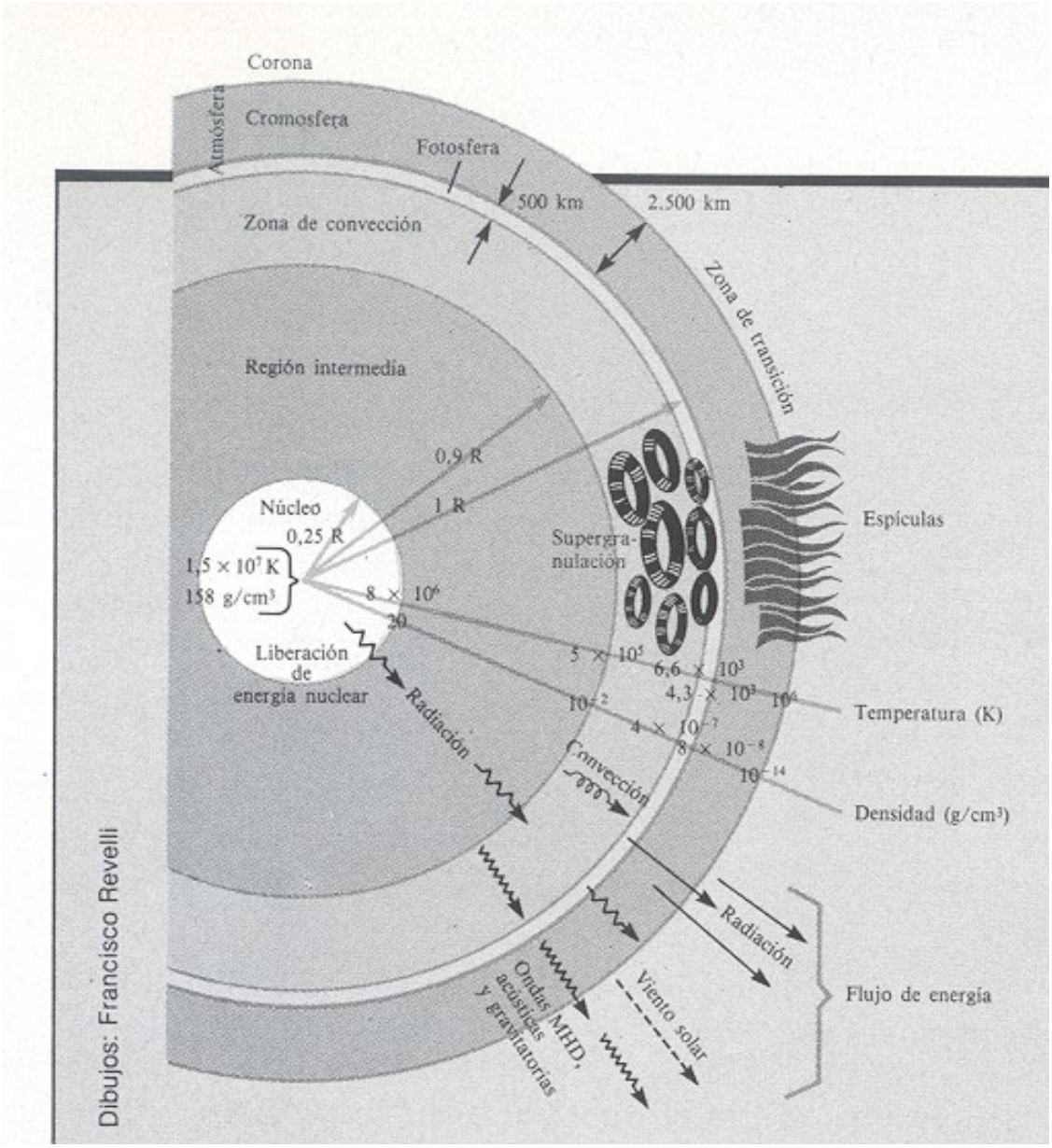
$$^{1}H + {}^{1}H \rightarrow {}^{2}D + e^{+} + \nu + 1{,}44 \text{ MeV}$$

• La **zona de radiación**, hasta los 625.000 Km, es el lugar por donde se transmite la energía producida en el núcleo.

• La **zona de convección**, desde los 625.000 Km hasta la superficie, permite el flujo de calor mediante corrientes convectivas, pues la temperatura varía entre 9.000ºC y 500.000ºC.

Parte externa (Atmósfera solar)

• La **fotosfera** es la más baja de las 3 capas que componen la atmósfera solar. Tiene unos 400 Km de espesor y es la que emite la luz que la Tierra recibe del Sol. Es la zona que se puede observar a simple vista. Su temperatura es de 5.500ºC, de ahí su color amarillo. Presenta **granulaciones** que son las manifestaciones observables de la actividad de la zona convectiva inferior.



• La **cromosfera** es una zona de unos 8.000 Km por encima de la fotosfera y en la cual la densidad de la materia disminuye con la altura. El impropio nombre de cromosfera significa “esfera de color”, lo cual indica que sea la capa que normalmente vemos, pero solamente es posible su visión durante un eclipse total de Sol cuando la fotosfera se encuentra tapada. Imágenes de alta resolución revelan que la cromosfera contiene numerosas **espículas**, que son finos chorros o emanaciones de gases fríos que parecen aguijonear las regiones más calientes de la atmósfera superior.

• La **corona solar** es la región más externa de la atmósfera solar y se extiende varios millones de kilómetros desde la cromosfera. Sólo puede ser observada durante un eclipse de Sol o artificialmente mediante un coronógrafo. Parecería plausible que la

temperatura comenzara a descender a medida que nos alejamos de la fuente de calor, sin embargo, partiendo de la fotosfera con 5.500ºC, la temperatura desciende hasta los 4.000ºC en la baja cromosfera, para a partir de aquí empezar a ascender en la corona hasta los 2.000.000ºC. Los astrónomos no comprenden bien este fenómeno, aunque los datos sugieren que la causa es la energía transportada desde la cromosfera hasta la corona por los complejos campos magnéticos solares. Parte del gas de la corona se mueve tan rápidamente –alrededor de 1 millón de kilómetros por hora– que fluye hacia el espacio interplanetario formado el **viento solar**. De este modo, el Sol emite millones de toneladas de materia cada segundo, mayormente protones y electrones, y estas partículas ionizadas al interaccionar con el campo magnético terrestre forman las **auroras boreales**.

Manifestaciones de la actividad solar

– Las **manchas solares**. Como otras características ligadas a la actividad solar, el número y localización de las manchas solares varía en ciclos que duran una media de 11 años. Son los rasgos más conspicuos que aparecen en determinadas regiones de la fotosfera y presentan color oscuro porque son más frías que la superficie solar circundante. Algunas aparecen aisladas pero a menudo se manifiestan en grupos de manchas solares. Aunque se deben a alteraciones del campo magnético, aún está lejos de comprenderse la causa de las manchas y la periodicidad de los ciclos. El modelo de la "dinamo magnética" explicaría ciclos de 22 años más que los de 11 años. Además, las inversiones del campo magnético solar alteran los ciclos de manchas, que durante periodos largos de tiempo dejan de exhibirse. Esta ausencia de manchas solares, precisamente, ha sido asociada con años de intenso frío sobre la Tierra (entre 1645 y 1715 no fueron observadas manchas solares; coincidentemente, este periodo de tiempo está comprendido dentro de lo que ha venido a llamarse la Pequeña Edad Glacial).

– Las **fáculas** son regiones calientes (6.000ºC) y por tanto más brillantes que la cromosfera que las rodea. Suelen aparecer antes de que se formen nuevas manchas solares y al igual que éstas están asociadas al campo magnético local.

– Las **fulguraciones** son explosiones que desprenden gran energía y rodean a las manchas solares. Son también conocidas como filamentos o prominencias.

– Las **protuberancias solares** son círculos o lenguas de gas que ocurren en grupos de manchas solares complejas y representan los eventos eruptivos más vistosos de la actividad solar. Emiten enormes cantidades de partículas y radiación al exterior, que alcanzan la Tierra y pueden interferir con las comunicaciones de radio y producir intensas

auroras boreales al saturar de partículas solares el cinturón de van Allen (faja de radiación electromagnética que rodea la Tierra).

7.2. LA LUNA

Como satélite de la Tierra, es el objeto celeste más cercano y mejor comprendido. Motivo de observación y estudio desde hace milenios, finalmente el hombre pudo dar pasos por su superficie el 20 de julio de 1969. El Apollo 11 fue el encargado de culminar el programa americano del mismo nombre: en total, se llegó con éxito en 6 misiones, 12 hombres pisaron el suelo lunar y se trajeron 382 Kg de materiales rocosos. También el programa Luna soviético, en los años 60 y 70, consiguió recoger material lunar y traerlo a la Tierra.

Debido al tamaño relativo de la Tierra y la Luna se ha considerado que ambos forman un sistema o un **planeta doble**. A ello ha contribuido la hipótesis más consensuada que existe sobre la formación de nuestro satélite y que postula un nacimiento catastrófico. Ésta es la "hipótesis del gran impacto" que supone la colisión contra la Tierra de un gran cuerpo, aproximadamente del tamaño de Marte, unos 100 millones de años después del inicio de la consolidación de los planetas. El choque provocó la expulsión de una masiva nube de roca pulverizada que permaneció en órbita. Este material estaba empobrecido en Fe y era rico en elementos refractarios. La mayoría de los volátiles más ligeros pronto se perdieron en el espacio interplanetario. A medida que la nube se iba enfriando y solidificando probablemente se formó un disco alrededor de la Tierra, cuyos componentes se juntaron por coalescencia para forma la Luna al cabo de unas decenas de millones de años.

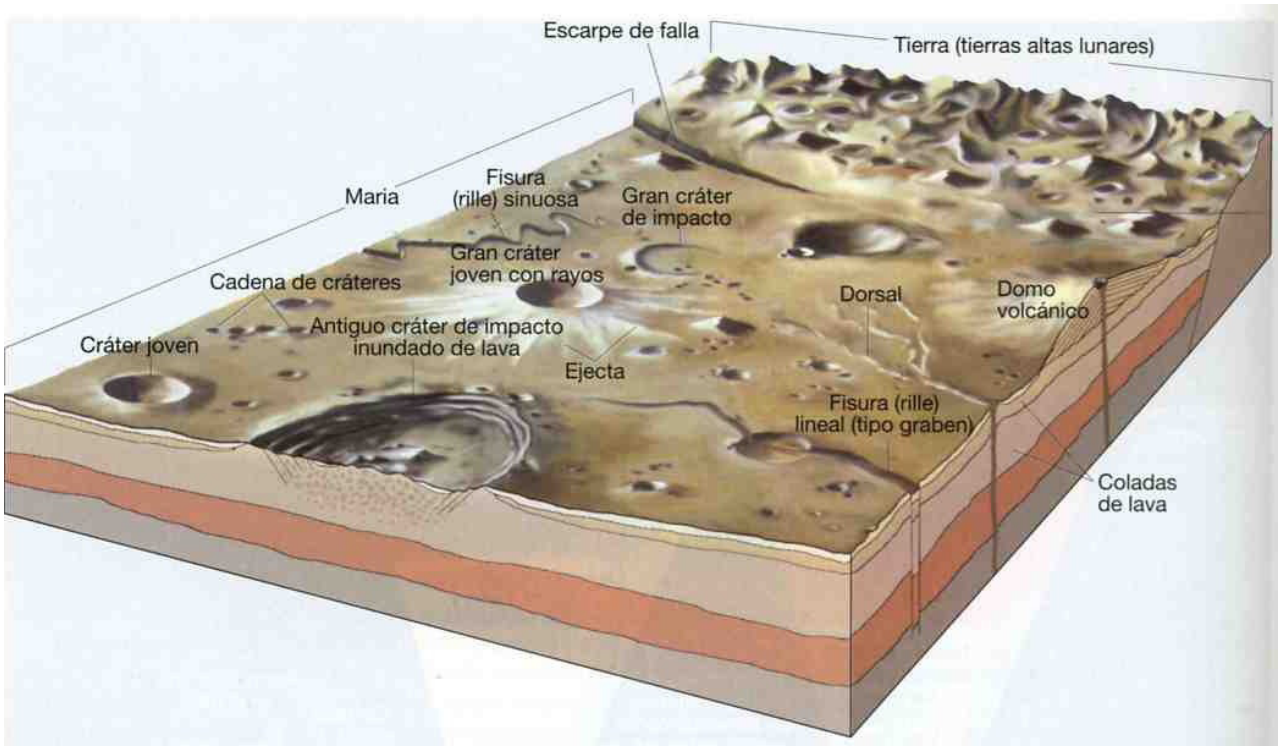
Algunos programas históricos de investigación en la Luna
• 1959 Lunik I (URSS) Primer ingenio que se envió a la Luna (erró por 6.000 Km). • 1959 Luni II (URSS) Impactó el el satélite. • 1964 Programa Ranger (USA). • 1967 Inicio del proyecto Apollo. El 21 de Julio de 1969 el Apollo 11 desciende y los primeros hombres dan sus pasos sobre la Luna. En total tuvieron éxito 6 misiones, alunizaron 12 hombres y recogieron 382 kg de rocas lunares. • Años 60 y 70 proyecto Luna (URSS). Los Luna 16 a Luna 20 recogieron material y lo trajeron a la Tierra. • 1976 Luna 24 (URSS) Última nave posada en nuestro satélite.

La Luna es un mundo inhabitable, sin aire ni agua, con temperaturas extremas (150ºC durante el día y –170ºC por la noche). Además, el viento solar, las radiaciones ultravioletas y los rayos cósmicos hieren continuamente su superficie, sin ninguna pantalla que la proteja. Otras características de la Luna son:

– Diámetro: 3.476 Km.
– Volumen: 0,02 Tierra.
– Masa: 0,01 Tierra.
– Densidad: 3,33 gr/cm^3.
– Distancia: 384.403 Km.
– Revolución sinódica: 29d, 2h, 44m, 3s.
– Fuerza gravitatoria: 1/6 Tierra.
– Velocidad de escape: 2,38 Km/s.

Una característica singular de nuestro satélite es que presenta siempre la misma cara debido a que su rotación es sincrónica. A pesar de ello, debido a pequeñas oscilaciones lunares llamadas libraciones, podemos llegar a ver hasta el 59% de su superficie, siendo el resto conocido como la cara oculta de la Luna. No tiene campo magnético aunque en el pasado, hace unos 3.900 millones de años, pudo llegar a ser hasta 1/10 del campo terrestre.

Su interior se divide en corteza, manto y núcleo. La corteza está formada por **anortositas**, rocas de la familia del gabro, y es variable en grosor, presentándose más delgada en la cara visible (60 Km) frente a la cara oculta (aproximadamente 100 Km). Sobre el manto se especula si puede ser peridotítico como el terrestre. Respecto al núcleo, puede estar fundido o parcialmente fundido ya que algunas ondas sísmicas quedan amortiguadas al atravesar su interior; su diámetro podría llegar hasta los 400 Km y quizás estar constituido de hierro o sulfuros de hierro.



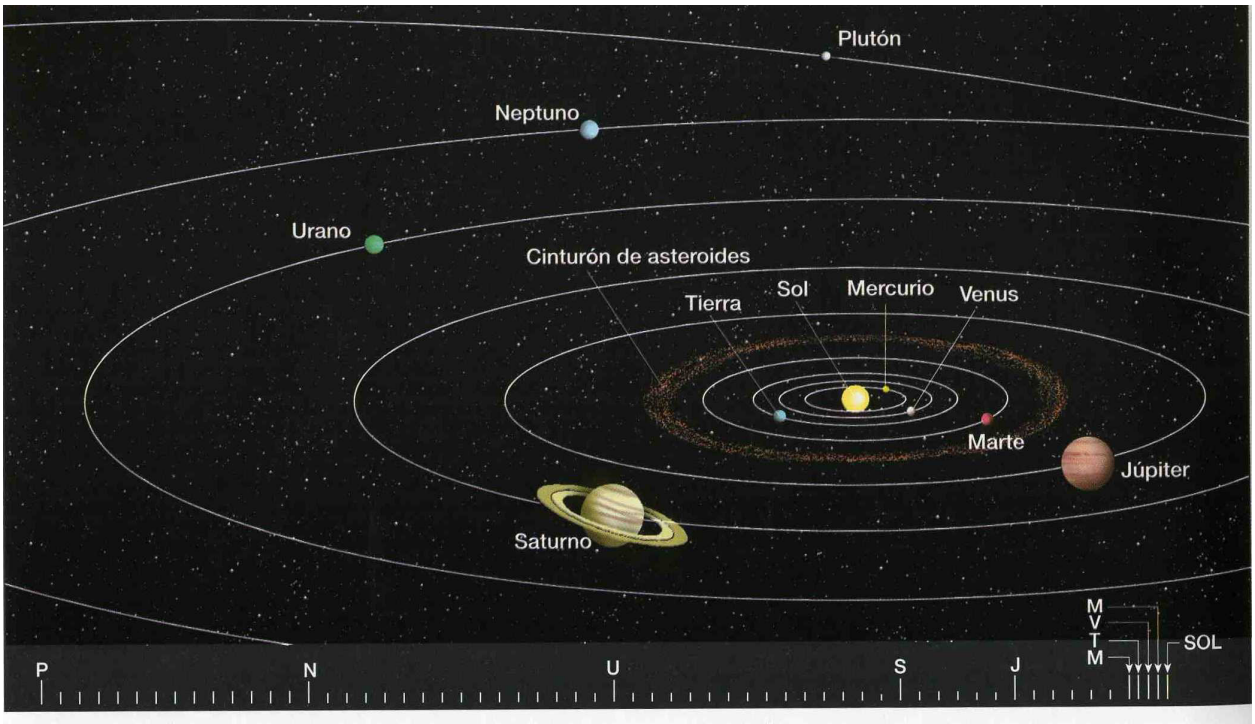
La **superficie lunar** está cubierta de un fino **regolito** de centímetros a metros de espesor formado por impactos meteoríticos, puede que por algunos seísmos y con la ayuda de la gravedad, pues en ausencia de atmósfera son los únicos agentes o fuerzas que pueden modificar el relieve lunar. Se puede dividir en las "tierras altas" o ***terrae*** de color claro y formadas por gabros, anortositas y brechas de impacto. También están las cuencas bajas o ***mare*** más o menos circulares, oscuras y rellenas hasta 8 Km por basaltos. Las "tierras altas" están saturadas de cráteres y cuencas de impacto, mientras que los maria son mucho más frecuentes en la cara próxima y presentan craterización débil. Esta diferenciación se debe a que han existido 2 épocas de formación de rocas en la Luna: una antigua en la que se formaron las "tierras altas" (4.400-4.000 Ma) y otra más reciente en que se constituyeron los basaltos de los *maria* (3.900-3.200 Ma).

Otros rasgos que dominan el paisaje lunar son los cráteres de impacto, las crestas de contracción (de los basaltos que rellenan los *maria*) y los rilles o canales sinuosos, formados por el hundimiento de techo de algunas coladas volcánicas.

7.3. LOS PLANETAS

Son cuerpos celestes que describen órbitas alrededor del Sol o de otras estrellas. Hasta la fecha se han descubierto más de 150 planetas extrasolares, algunos orbitando alrededor de sistemas solares similares al nuestro.

Todos tienen un movimiento propio y periódico, producto del movimiento circular de acreción que originó el propio sistema. Giran a lo largo de órbitas elípticas y en el mismo sentido. Este sentido de giro se considera antihorario, tomando como referencia la de un observador situado encima del polo Norte solar. Además del movimiento de traslación alrededor del Sol, todos los planetas presentan un movimiento de rotación alrededor de un eje más o menos inclinado respecto a la eclíptica. El sentido de rotación se considera directo si coincide con el de traslación. En caso contrario, como ocurre en Venus y Urano, el giro se denomina retrógrado. Cuanto más grandes son, los cuerpos del sistema solar giran más deprisa, siendo el Sol una excepción ya que lo hace muy despacio.



Las **órbitas de los planetas** son elípticas, aunque casi circulares. Excepto Plutón (ahora catalogado como planeta enano), con una órbita muy excéntrica y no coplanaria, todos giran dentro de un plano llamado eclíptica. Su movimiento viene regido por las 3 leyes enunciadas por Kepler:

- Los planetas se mueven en órbitas elípticas en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.
- Los planetas durante su recorrido orbital y a tiempos iguales, definen áreas iguales de la elipse, tomando como centro el Sol.
- Los cuadrados de los periodos de revolución de cada planeta son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas.

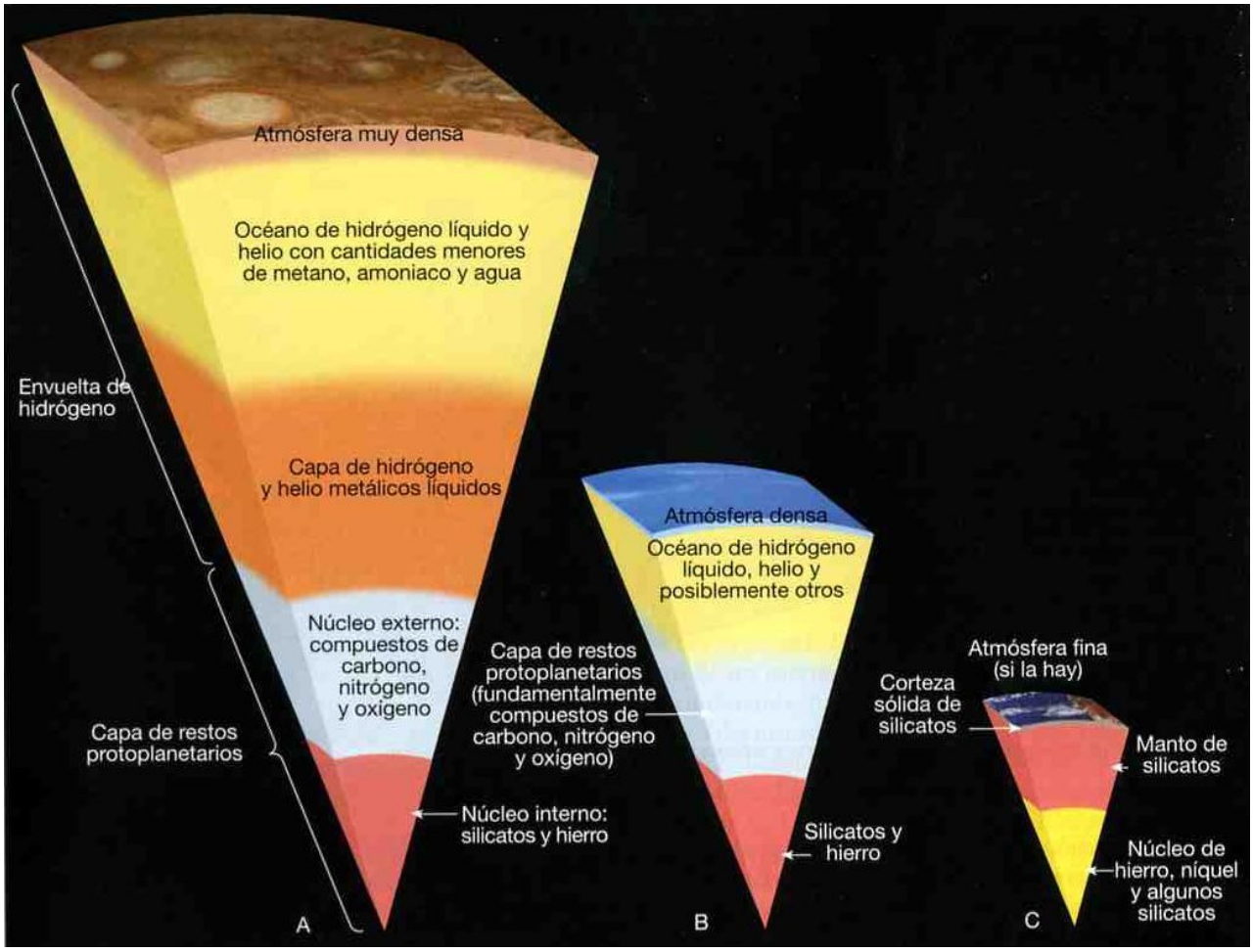
Por regla general, los satélites orbitan alrededor de sus planetas en sentido contrario a las agujas del reloj (traslación directa). Hay excepciones como Tritón, satélite de Neptuno, que lo hace al revés (traslación retrógrada). La mayoría de los satélites circulan en los planos ecuatoriales de sus planetas respectivos.

Júpiter con 39 satélites, Saturno con 30, Urano con 21 y neptuno con 8 forman una especie de sistemas planetarios en miniatura. La mayor parte de los satélites presentan la misma cara a sus planetas (rotación sincrónica) al igual que la Luna siempre ofrece la misma cara hacia la Tierra. En el caso de la Tierra, la influencia de la Luna, y en menor medida del Sol, da origen a las mareas.

7.3.1. Los planetas interiores

Los planetas interiores, también llamados rocosos o terrestres –Mercurio, Venus, Tierra y Marte– son relativamente parecidos entre sí en cuanto a tamaño y composición. Son cuerpos pequeños, de alta densidad y están formados por rocas silicatadas y hierro distribuidos en su interior según una zonación composicional en corteza, manto y núcleo.

	PLANETAS INTERIORES (Terrestres o rocosos)	**PLANETAS EXTERIORES (Gigantes o gaseosos)**
COMPOSICIÓN	Si, O, C, Fe, Mg	H, He
TAMAÑO	Pequeños y densos	Gigantes y ligeros
ATMÓSFERA	Poco desarrollada	Muy desarrollada
CRATERIZACIÓN	Abundante	No
SATÉLITES	Pocos	Numerosos
ANILLOS	No	Si



Mercurio, el planeta más próximo al Sol, es junto con Plutón el más desconocido del sistema solar, ya que se ignora el 60% de su superficie. Dotado con una atmósfera enigmática, muy poco densa, con algo de Na y K, tiene una presión atmosférica de tan sólo 10^{-15} atmósferas. Este hecho hace que no se pueda distribuir el calor del Sol y que exista un elevado contraste de temperaturas entre el día (430ºC) y la noche (–180ºC). Su densidad es parecida a la de la Tierra, luego debe tener un núcleo metálico rico en Fe. El campo magnético es 180 veces menor que el terrestre pero aún así es mayor que el de Venus y Marte, lo que induce a pensar que parte del núcleo está fundido y experimenta procesos convectivos. El aspecto externo es parecido al de la Luna, con zonas craterizadas y áreas volcánicas. El mayor de los cráteres de impacto es la cuenca Caloris, de 1.600 Km de diámetro. Las llanuras, aproximadamente una séptima parte del terreno conocido, son volcánicas, quizás materiales basálticos a pesar de tener un color demasiado claro. Se ha detectado algo de actividad tectónica en forma de fallas inversas producidas en episodios de contracción a partir del estado caliente inicial. Por otra parte, representa un cuerpo inactivo desde hace miles de millones de años.

Venus es el planeta más parecido a la Tierra por su tamaño y estructura interna. Su giro es muy lento, 243 días, y retrógrado. Aunque al comienzo de la literatura fantástica pudo

representar el paraíso para los escritores de ciencia-ficción, el tiempo ha revelado que debido a sus características resulta ser el ambiente más inhóspito de todo el sistema solar. La sequedad es absoluta, las nubes son de ácido sulfúrico y la temperatura media de 475ºC. Por si fuera poco, la atmósfera (96% CO_2, 3% N_2 y 0,1 H_2O) es de una densidad altísima, con presiones de hasta 90 atmósferas, lo que para algunos significa algo así como caminar por un océano a 900 metros de profundidad. Estos gases son, además, los responsables del intenso efecto invernadero que asola Venus, como resultado del rebote y confinamiento de la radiación infrarroja. La densidad de 5,25 gr/cm^3 le hace muy similar a la Tierra, es decir, un planeta diferenciado con núcleo metálico rico en Fe.

El paisaje típico está formado por llanuras onduladas salpicadas de edificios volcánicos. Las zonas con mayor relieve se encuentran en el ecuador (Aphrodite Terra y Beta Regio) y también en el polo norte (Ishtar Terra). Abunda los cráteres de impacto pero en menor cantidad que en la Luna y en Mercurio. La densidad de cráteres se utiliza para medir la edad media de la superficie, habiéndose estimado en unos 500 millones de años, lo cual significa que Venus es un planeta activo. Existe una gran cantidad de edificios volcánicos, cubriendo estos materiales ígneos el 70% del planeta, más o menos lo mismo que en la Tierra. También hay domos térmicos, esto es, grandes regiones abovedadas con gran número de volcanes. No se han detectado erupciones pero hay constancia de lavas muy recientes. Las “coronas” de Venus son estructuras únicas en todo el sistema solar; tienen forma circular u ovalada con un centro elevado y un diámetro de 200 a 1000 Km. Se ha pensado que pueden originarse por la existencia de puntos calientes. De todo ello se puede inferir que debe haber una actividad global en el manto que sea el origen el vulcanismo y las “coronas”, aunque se descarta que haya subducción, placas y tectónica global.

La observación en la superficie de Venus de fracturas con redes dendríticas ha espoleado la hipótesis de que el planeta albergara una hidrosfera en el pasado. No es desdeñable esta especulación y Venus bien pudo contener agua líquida en tiempos remotos cuando era un planeta más frío sin efecto invernadero. Dadas las semejanzas evolutivas con nuestro propio planeta es preciso reflexionar sobre la posibilidad de que la Tierra progrese hacia un ambiente venusiano.

Marte es, atendiendo a los datos orbitales, un planeta de características similares a las terrestres. El día dura 24 horas y media y la inclinación del eje es de 25º. Aún así, aunque presenta estaciones, la excentricidad de la órbita marciana (17% frente a un 3%) hace que el clima sea diferente. Con un tamaño menor que la Tierra y Venus, también presenta con respecto a ellos una atmósfera muy tenue (1% y una presión de 0,01 atmósferas) compuesta en un 95% de CO_2, 3% de N_2, 1,6% de argón y trazas de vapor de agua. La temperatura es muy variable: en el ecuador varía desde 27ºC en verano hasta –100ºC en invierno; en los polos la temperatu-

ra es de –140ºC. El resultado es una atmósfera muy dinámica con vientos de 160 Km/h y borrascas y tormentas globales de polvo. La inexistencia de campo magnético, así como la baja densidad media del planeta, 3,9 gr/cm^3, hace pensar que su núcleo no sea muy rico en Fe. La hidrosfera se encuentra actualmente en forma de agua sólida en los casquetes polares y en el regolito como permafrost. En el pasado hubo agua líquida en ríos, cañones y océanos como demuestra la geomorfología de su superficie. Se está estudiando el posible origen de los cauces y depósitos torrenciales de formación reciente y díficil explicación ya que en la actualidad la presión atmosférica impide la existencia de agua líquida. La variación estacional del tamaño de los casquetes polares se debe a procesos de sublimación.

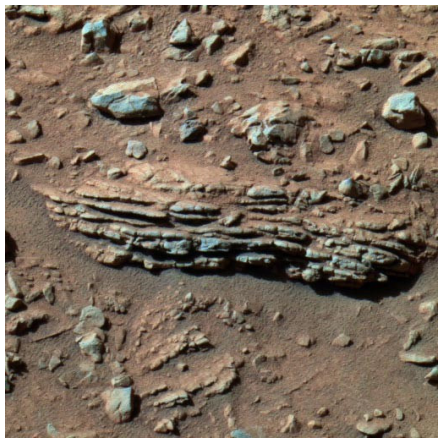
El estudio del relieve permite dividir la morfología de su superficie en 2 zonas: el tercio superior, más joven y muy volcánico, y las dos terceras partes inferiores, de aspecto lunar. Las variadas estructuras que se pueden encontrar en Marte son las siguientes:

– Domos térmicos (Tharsis y Elysium).
– Cuencas de impacto (Hellas, de 2.000 Km de diámetro, Argyre e Isidis).
– Cráteres de impacto, sobre todo en el hemisferio sur.
– Campos de dunas en los bordes de los casquetes polares y en el interior de cráteres.
– Canales de inundación y meandriformes.
– Edificios volcánicos tipo escudo (Olympus Mons mide 24 Km de altura).
– Fosas tectónicas (Valles Marineris tiene una longitud de 4.500 Km, una anchura en algunos tramos de 600 Km y una altura variable de 2 a 7 Km).

Los dos satélites de Marte, Phobos y Deimos, de pequeño tamaño (menos de 30 Km) pueden ser explicados como asteroides capturados en el pasado cuando la atmósfera del planeta era mucho más densa que la actual.

Desde comienzos de 2004 dos robots, Spirit y Opportunity, están recorriendo la superficie de Marte y analizando las rocas de su superficie. En líneas generales, han descubierto que en el pasado había aguas saladas y ácidas que llenaban lagunas y lagos, algunos tan grandes como el mar Báltico. La presencia de hematites, óxido rico en hierro, en estructuras concrecionares y oolíticas indica un ambiente sedimentario acuoso, hecho que también se deduce a partir de los afloramientos con **formas laminadas de origen sedimentario** propias de un medio fluidal. Posteriormente se ha detectado goetita, confirmando los supuestos anteriores, ya que es rarísimo como mineral primario. La existencia de rocas porosas que contienen sulfatos de magnesio, así como bromatos, cloratos y minerales ricos en hierro, demuestra claramente un medio acuoso para su formación. Por si cabía alguna duda, también se han descubierto afloramientos de rocas con estratificación cruzada. La ausencia de carbonatos, principal obstáculo de la teoría de que Marte fue en el pasado un planeta caliente y con agua, podría salvarse me-

diante la confirmación de la existencia de lagos y corrientes de agua ácida: la aparición de jarosita en la superficie de Marte alimenta esta posibilidad. Finalmente, por lo que se conoce en torno a las últimas investigaciones, se puede decir que el agua líquida pudo estar presente en Marte en época temprana, hace unos 3.000 millones de años. Lo que también parece probable es que quizás la masa de agua fue abundante, no se sabe si tan grande como para formar océanos, pero efímera. Los lagos, torrentes, ríos e inundaciones aparecían y desaparecían rápida y repetidamente.



7.3.2. Planetas exteriores

Los cuatro gigantes o gaseosos –Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno– son planetas bastante similares en cuanto a composición y tamaño. Están constituidos por una gran masa fluida de hidrógeno y helio y en menor proporción amoníaco, metano y agua, que envuelve un pequeño núcleo rocoso. En el caso de Júpiter y Saturno, debido a las condiciones de presión tan elevadas, existe un "manto" de hidrógeno metálico. Plutón, por el contrario, es un cuerpo pequeño, no gaseoso, y con algunas características de los satélites de los planetas gigantes. Como tras la última definición de planeta ha pasado a catalogarse como planeta enano, sus características se indicarán en el apartado posterior, junto a la de los otros dos astros con los que se ha integrado.

Júpiter es el mayor de los planetas del sistema solar. Se estima que si su masa hubiera sido unas 13 veces mayor se habría convertido en una enana marrón, estrella de poco brillo pues las temperaturas de su núcleo sólo permiten la fusión del deuterio. Junto con sus numerosos satélites reproduce un sistema solar en miniatura. Este sistema joviano está formado por los 4 satélites mayores o galileanos (Io, Europa, Ganímedes y Calixto) y por una cohorte de más de 30 satélites menores, además de un conjunto de anillos muy poco desarrollado.

Los satélites galileanos son todos relativamente masivos, comparables a la Luna o mayores, de modo que sus órbitas se ven influidas o perturbadas respectivamente. Esta situación, junto con las relaciones de resonancia en el movimiento de rotación de los 3 satélites más interiores, ha permitido deducir su masa y explicar la presencia de volcanes en Io. Este satélite es precisamente uno de los cuerpos más asombrosos del sistema solar. La combinación de una actividad volcánica muy intensa, su extraña composición química y sus interacciones con la magnetosfera joviana hacen de Io uno de los más activos e interesantes cuerpos planetarios que se han explorado hasta el momento. Su color amarillento se debe a las erupciones de azufre y el paisaje, que carece por complejo de cráteres de impacto, está dominado por las formas volcánicas. Europa, por su parte, se ha revelado como uno de los pocos lugares donde es posible la existencia de vida fuera de la Tierra. Ello se debe a que su corteza helada se encuentra completamente resquebrajada, con placas que se mueven y encajan unas en otras como un rompecabezas, lo que induce a pensar que está siendo alimentada por debajo, quizás, por agua líquida. Calixto y Ganímedes son los más grandes de los satélites jovianos y este último es el más grande de todo el sistema solar. En Calixto la superficie se presenta helada y completamente saturada de cráteres. Estos rasgos también caracterizan a Ganímedes, aunque aquí se han observado grietas y surcos de origen tectónico y formación más reciente.

Saturno es, de los planetas conocidos desde la antigüedad, el más lejano de todos, aproximadamente 2 veces más que Júpiter. A tan grande distancia apenas recibe algo más del uno por ciento de la energía solar que llega a la Tierra. No obstante, debido a su dinámica atmosférica emite casi 3 veces la energía que recibe del Sol. Su característica más notable es su complejo sistema de anillos dividido en bandas claras y oscuras. Titán, su satélite de mayor tamaño, posee una atmósfera con algo de metano y argón, pero sobre todo rica en nitrógeno, como la Tierra. La temperatura y las propiedades físicas de la atmósfera de Titán hacen posible la condensación del nitrógeno, la formación de nubes de metano y la existencia de lagos o bien océanos de etano, metano y nitrógeno. Este hipotético escenario hace de la luna de Saturno un crisol, como el de la primitiva Tierra, donde estudiar la vida o el origen de la misma.

Con ese fin ha sido diseñado el proyecto Cassini-Huygens, misión que ha llegado a Titán en enero de 2005 y cuyos datos siguen recogiendo y analizando los investigadores. Se ha confirmado la existencia de una atmósfera con altas proporciones de nitrógeno y un pequeño porcentaje de metano, pero apenas se han encontrado mínimas cantidades de gases nobles. El origen del metano sigue siendo incierto, ya que de no reciclarse desaparecería de la atmósfera en poco tiempo. Entre otras causas, puede producirse por un proceso de serpentinización, el cual libera hidrógeno que puede después reaccionar con CO_2 y con CO. Este mecanismo abiogénico, a su vez, es también uno de los invocados para explicar las pequeñas cantidades de metano encontradas en Marte. El descenso de la Huygens ha corroborado la existencia de ríos de metano líquido sobre la superficie helada de Titán. Dicha superficie es de agua conge-

lada sobre la que discurren corrientes de metano, el cual, de esta manera, participa en un ciclo de evaporación, precipitación y escorrentía.

(Fotos recientes de la superficie de Titán)

Urano y Neptuno fueron descubiertos en 1781 y 1846 respectivamente. De tamaño algo menor y menos brillantes que los anteriores, son tan fríos que solamente se detectan en su atmósfera compuestos volátites hidrocarbonados. El metano es particularmente abundante y su tendencia a absorber la luz roja confiere a estos planetas su color verdeazulado característico. Alrededor de urano gira uno de los objetos más misteriosos de todo el sistema solar: Miranda. Este satélite de tan sólo 500 Km de diámetro ofrece un aspecto completamente catastrófico dando la impresión de haber sido roto y reensamblado (hipótesis sostenida por algunos planetólogos). Sus cicatrices llamadas "coronas" tienen estructura más o menos ovalada o trapezoidal y parecen haberse formado a consecuencia de terribles esfuerzos tectónicos. Neptuno, a su vez, es el hogar de Tritón, satélite de tamaño comparable a las lunas galileanas de Júpiter, el cual gira en una órbita retrógrada. Atrapado en rotación sincrónica, los estudios de sus propiedades dinámicas indican que no se formó al mismo tiempo que Neptuno. Probablemente, el satélite fue capturardo dentro de una órbita elíptica para pasar luego a una circular debido a las fuerzas de marea de Neptuno.

8. ÚLTIMAS APORTACIONES DE LA CIENCIA EN ESTE CAMPO

8.1. EL ORIGEN DEL UNIVERSO

La Astronomía es uno de los campos científicos donde la ciencia avanza más y más rápidamente, prueba de ello es que el Premio Nobel del 2006 ha sido concedido a dos astrónomos norteamericanos por sus estudios sobre el origen del Universo. John C. Mather y George F. Smoot han sido los ganadores de dicho Premio Nobel de Física. Los científicos recibirán el premio por "su mirada hacia la infancia del universo" y "sus intentos por entender el origen de las galaxias y las estrellas".

En 1989 se lanzó el satélite COBE cuyo objetivo era estudiar en detalle una radiación residual que nos proporcionara información sobre el origen del Universo y la formación de las galaxias. Esta radiación se detectó en 1964, cuado Arno Penzias y Robert Wilson "escucharon" un ruido independiente de la dirección en que la antena estuviera apuntando, de la época del año o de la hora del día, concluyéndose que era originado por una radiación que llena todo el espacio y que más tarde se probó que es una reliquia de la gran explosión. Cuando encendemos un televisor y no tenemos sintonizada ninguna emisora, parte de la interferencia que se ve en la pantalla corresponde a esa radiación de fondo.

En los últimos años, el análisis de los datos del satélite COBE ha permitido a los dos científicos galardonados obtener una imagen del Universo en su infancia, justo cuando los fotones de esa radiación de fondo lograron escapar de su interacción con la materia y pudieron viajar libremente por el espacio y obtener un mapa de las anisotropías del fondo de radiación cósmica, que ha servido para mostrar que el Universo no ha sido nunca homogéneo y que las pequeñas fluctuaciones en temperatura fueron el germen de las galaxias que se formarían mucho después.

8.2. LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR TRAS LA NUEVA DEFINICIÓN DE PLANETA

En agosto de 2006 la IAV (Unión Astronómica Internacional) ha establecido, para el sistema solar, una nueva definición de planeta. A partir de ahora, por tanto, un planeta es un cuerpo celeste que:

– Presenta una órbita alrededor del Sol.
– Tiene suficiente masa para que su gravedad supere las fuerzas del cuerpo rígido de manera que adquiera una forma en equilibrio hidrostático (más o menos esférica).
– Haya despejado los alrededores de su órbita.

De esta manera, un objeto que no sea satélite y que sólo cumpla los dos primeros criterios será clasificado como "planeta enano", mientras que si sólo cumple la primera condición su categoría será "pequeño cuerpo del sistema solar".

Según la nueva definición, actualmente se conocen 8 planetas y 3 planetas enanos. Los nuevos criterios de clasificación no se aplican fuera del sistema solar y no incluyen a los planetas extrasolares.

Así, 3 nuevos cuerpos celestes han sido reconocidos como planetas:

– Ceres, que fue considerado planeta en el momento de su descubrimiento, pero que posteriormente ha sido clasificado como asteroide.
– Caronte, la luna de Plutón. El sistema Plutón-Caronte pasa a ser ahora un planeta doble.
– Eris, un cuerpo transplutoniano en el extrarradio del sistema solar.

Estos nuevos requerimientos de clasificación planetaria establecen que 2 objetos celestes pueden considerarse un planeta doble si cada componente por separado cumple los criterios mencionados anteriormente y si el centro de gravedad del sistema (conocido como baricentro) se encuentra fuera de ambos cuerpos planetarios. Plutón y Caronte sería el único sistema de planeta doble dentro del sistema solar. Otro satélite –como, por ejemplo, la Luna– estaría en equilibrio hidrostático, pero no se reconoce como planeta doble puesto que el baricentro del sistema se sitúa en el interior del cuerpo más masivo, la Tierra.

Plutón. En 1929, C.W. Tombaugh descubrió el último de los planetas del sistema solar basándose en las predicciones anteriores de W. Pickering y P. Lowell. Pero no fue hasta 1978 cuando se descubrió que junto a él se hospedaba un satélite que recibió el nombre de Caronte y cuya masa era relativamente grande en comparación con el planeta. Ambos, por este motivo, han recibido la denominación de planeta doble, distinción que antes ostentaba en primer lugar el sistema Tierra-Luna. A ello se añade la peculiaridad de un exacto sincronismo entre el periodo de rotación de Plutón y el periodo orbital de su satélite. Como consecuencia, Caronte podría "ser visto" únicamente desde un hemisferio de Plutón, y viceversa. La órbita de Plutón se presenta muy excéntrica e inclinada respecto a la eclíptica. La superficie, de acuerdo con las bajísimas temperaturas reinantes, es de metano helado. Dado el pequeño tamaño de Plutón –2.300 Km de diámetro, mucho menor que la Luna–, la Unión Astronómica Internacional (IAU) propuso catalogarlo como asteroide, aunque, dada la polémica surgida, manteniéndolo a la vez como planeta, hasta que en 2006 se le ha otorgado definitivamente, junto con su satélite Caronte la categoría de planeta enano.

Eris es un planeta enano descubierto por Michael Brown en 2005, mayor que Plutón, pero que debido a la enorme distancia a la que se encuentra su tamaño es difícil de medir con exactitud. En mitología, Eris (la diosa griega de la discordia) provocó una disputa que desencadenó la guerra de Troya. En la vida real, Eris también ha causado cierto desacuerdo que ha llevado a los astrónomos a la redefinición del término planeta y que finalmente ha hecho que Plutón perdiera la categoría de planeta que adquirió en 1930. Eris tiene una luna llamada Dismonia.

Ceres fue el primer asteroide descubierto por el hombre. Pero su estatus cambió a la categoría de planeta enano según lo indicado anteriormente. Fue descubierto el 1 de enero de

1801 desde Palermo (Italia) por Giuseppe Piazzi (1746-1826), sacerdote católico y educador, mientras trabajaba en la compilación de un catálogo estelar. El objeto fue cautamente anunciado por su descubridor como un cometa más que como un nuevo planeta. Piazzi lo bautizó como **Ceres Ferdinandea** por Ceres, la diosa romana de las plantas y el amor maternal y patrona de Sicilia, y por el rey Fernando IV de Nápoles y Sicilia. Tiene un diámetro de 960 × 932 km. y una superficie de 1.800.000 km². Es el mayor asteroide conocido en el tradicional cinturón de asteroides entre **Marte y Júpiter**, conteniendo aproximadamente la tercera parte de la masa total de dicho cinturón.

8.3. PLANETAS EXTRASOLARES

Otro de los aspectos donde se puede observar una gran aportación de la ciencia es en el descubrimiento continuo de planetas girando alrededor de diferentes estrellas. El primer planeta extrasolar descubierto orbitando una estrella de la secuencia principal fue 51 Pegasi B descubierto en 1995 por Michel Mayor y Didier Queloz del Observatorio de Ginebra. Este planeta tiene una masa comparable a la de Júpiter. El descubrimiento desde ese momento ha sido rápido y a finales del 2006 se conocen ya más de 200 planetas, generalmente de gran tamaño. El más semejante a la Tierra descubierto en 2005 tiene una masa 5,5 veces superior a la de nuestro planeta.

Incluso se han llegado a estudiar las atmósferas de algunos de estos planetas, por ejemplo con datos proporcionados por el *Hubble*, se ha descubierto que el planeta HD209458b, de tamaño gigante, posee una densa capa caliente de hidrógeno en su zona externa que escapa por la parte superior de la atmósfera, en esta zona la temperatura pasa de forma brusca desde los 1000ºK a los 15000ºK, superior a la del Sol.

En la actualidad hay numerosos proyectos de las agencias espaciales de desarrollo de misiones capaces de detectar y caracterizar la abundancia de planetas así como de detectar planetas de tipo terrestre. La misión Darwin/TPF propuesta para dentro de 20 años sería capaz de analizar las atmósferas de estos planetas terrestres teniendo la capacidad de detectar vida extraterrestre mediante el análisis espectral de estas atmósferas.

Los métodos de detección que se han utilizado para reconocer estos cuerpos son variados, podemos destacar dos de ellos:

A. Velocidades radiales, es el método que mejores resultados ha proporcionado en este campo. Está basado en el efecto Doppler. El planeta, al orbitar la estrella central, ejerce también una fuerza gravitacional sobre ésta. Las oscilaciones de la estrella pue-

den detectarse mediante leves cambios en las líneas espectrales según la estrella se acerca a nosotros (corrimiento hacia el azul) o se aleja (corrimiento al rojo).

B. Tránsitos. Consiste en observar la estrella y detectar mínimos cambios en la intensidad de su luz cuando un planeta gira sobre ella. Igual que el anterior, es más eficaz para detectar los planetas gigantes más cercanos a la estrella principal.

RESUMEN

Los avances en el conocimiento del origen y de la evolución del Universo han progresado de forma significativa en los últimos años, datándose con el telescopio espacial Hubble y el satélite WMAP en 14700 +– 1000 los millones de años en que se originó el Big Bang. A partir de ese momento y a través de varias etapas surgió la materia en unos 300.000 años, quedando como testigo la denominada "radiación cósmica de fondo".

Parece que las primeras galaxias que se formaron a partir de gigantescas nubes de hidrógeno y helio fueron irregulares y posteriormente se aparecieron las espirales, elípticas, barradas y lenticulares.

Las estrellas nacen por el colapso gravitatorio de nubes de gas y polvo y evolucionan hasta llegar a convertirse en supergigantes rojas y supernovas para acabar convirtiéndose en cuerpos ultradensos como enanas blancas, estrellas de neutrones o, incluso, agujeros negros.

El Sistema Solar se forma hace unos 4600 millones de años por el colapso de la nebulosa solar de hidrógeno y helio, además de otros elementos pesados que se habían formado en el interior de otras estrellas de generaciones anteriores al Sol.

Un proceso de acreción gravitatoria provocó la aparición de los planetesimales que, tras colisionar unos con otros, acabaron originando los planetas. Además de estos hay otros cuerpos de menor tamaño, los asteroides, que orbitan alrededor del Sol. Los más numerosos se encuentran en el cinturón de asteroides situado entre Marte y Júpiter, pero otros muchos poseen órbitas muy elípticas cruzando algunos la órbita de la Tierra. Los meteoroides son de menor tamaño, desde menos de un milímetro a pocos cientos de metros. Al penetrar en la atmósfera terrestre dejan una nube de polvo y gas y se llaman meteoros. Algunos consiguen alcanzar la superficie terrestre (meteoritos). Los cometas son bolas de nieve que describen órbitas elípticas alrededor del Sol y que, al aproximarse al mismo, generan una cola por el deshielo.

De esta forma observamos como el Sistema Solar está dominado por su estrella, el Sol, en el que se diferencian de dentro a fuera un núcleo, una zona de radiación, una zona de convección y una atmósfera subdividida a su vez en fotosfera, cromosfera y corona. Alrededor de él orbitan una serie de planetas, con o sin satélites que se pueden diferenciar en dos grupos: interiores o rocosos y exteriores o gaseosos. Además, forman parte del Sistema solar los anteriormente mencionados: asteroides, meteoroides y cometas.

La ciencia está continuamente aportando nuevos conocimientos en este campo. En el estudio del origen del Universo son importantísimos los últimos datos aportados por el satélite COBE. Además es de destacar la nueva definición de planeta y planeta enano que estableció en 2006 la IAV que dejó a Plutón-Caronte, junto con Ceres y Eris catalogados en la categoría de planetas enanos.

EDITA Y DISTRIBUYE:

CENTRO DOCUMENTACIÓN DE ESTUDIOS Y OPOSICIONES - C/ CARTAGENA, 129 – 28002 MADRID
www.cede.es – e-mail: oposiciones@cede.es – TEL.: 91 564 42 94