

TEMA 6: LA TIERRA EN EL UNIVERSO

1- LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO

El **universo** se podría definir como el conjunto de toda la materia y energía detectable, junto con los espacios vacíos en que está inmersa. La **astronomía** es la ciencia que estudia los astros (cuerpos celestes) componentes del universo, utilizando la información que proporciona la radiación electromagnética (luz visible, rayos ultravioletas, radiación infrarroja, rayos X, ondas de radio) que nos llega de ellos. Por otra parte, la **astrofísica** es la parte de la astronomía que aplica las leyes de la física para estudiar la composición, estructura y evolución de los astros.

El universo detectable está formado por agrupaciones de materia que forman los cuerpos celestes o astros, que pueden ser los siguientes:

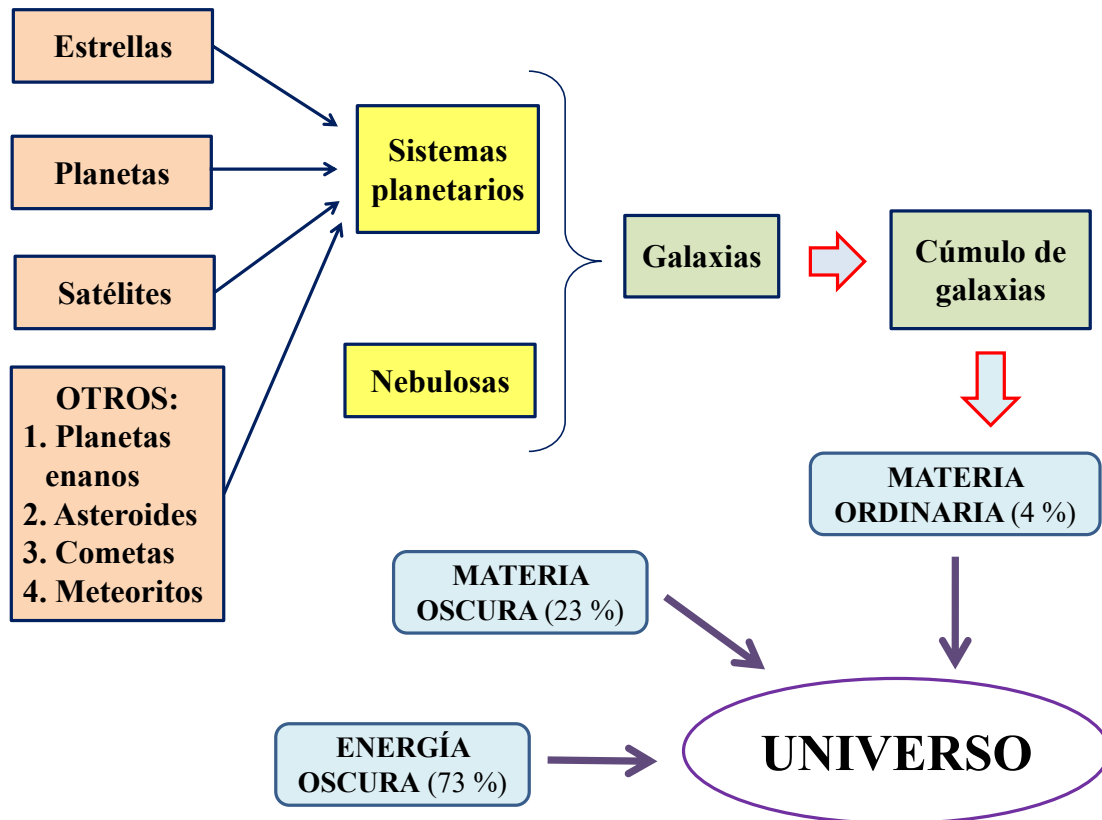
- **Estrellas:** astros esféricos de gases (H y He) a tan altas temperaturas que permite la existencia en su núcleo de reacciones de fusión nuclear que emiten gran cantidad de energía radiante.
- **Planetas:** cuerpos con masa suficiente para tener forma esférica que gira en torno a una estrella en una órbita despejada de asteroides.
- **Satélites:** cuerpos (esférico o no) que giran en torno a un planeta.
- **Planetas enanos:** cuerpos esféricos que gira en torno a una estrella y en cuya órbita existen más astros de tamaño similar. Si no son esféricos se consideran **asteroides**.
- Los **meteoritos** son cuerpos rocosos de forma irregular que vagan por el espacio.

Estos astros se asocian entre sí para formar **sistemas planetarios**, que pueden tener una o varias estrellas. Entre estos sistemas, se encuentran las **nebulosas**, unas nubes interestelares de polvo cósmico (elementos químicos pesados y compuestos orgánicos) y gas (hidrógeno y helio).

Una entidad mayor de materia serían las **galaxias**, que son enormes agrupaciones de estrellas (con sus sistemas planetarios) y de nebulosas, unidos entre sí por la atracción gravitatoria. Pueden tener formas variadas: elípticas, lenticulares, espirales e irregulares. Galaxias próximas entre sí forman **cúmulos de galaxias** y se asocian a su vez en grandes **racimos de galaxias**, cuyo conjunto formaría la **materia ordinaria**, aquella detectable por las radiaciones electromagnéticas que emite o refleja (el 4 % del conjunto de materia-energía).

No obstante, se cree que el universo se compone de una cantidad de materia y energía todavía no detectada pero cuya existencia explica ciertos hechos que se han observado. Se habla entonces de una materia y una energía oscuras:

- La **materia oscura** es aquella materia no detectada y de naturaleza desconocida que forma una tela invisible sobre el cual se engarzan los racimos de galaxias formadas por la materia ordinaria a modo de un *esqueleto cósmico*. Supone el 23 % del conjunto de materia-energía y su existencia sólo puede ser puesta en evidencia indirectamente por sus efectos gravitacionales sobre las galaxias.
- La **energía oscura**, por otra parte, es un tipo de energía desconocida, responsable de la aceleración de la expansión del universo. Supone el 73 % del conjunto de materia-energía del universo y actúa como fuerza repulsiva contraria a la gravedad.

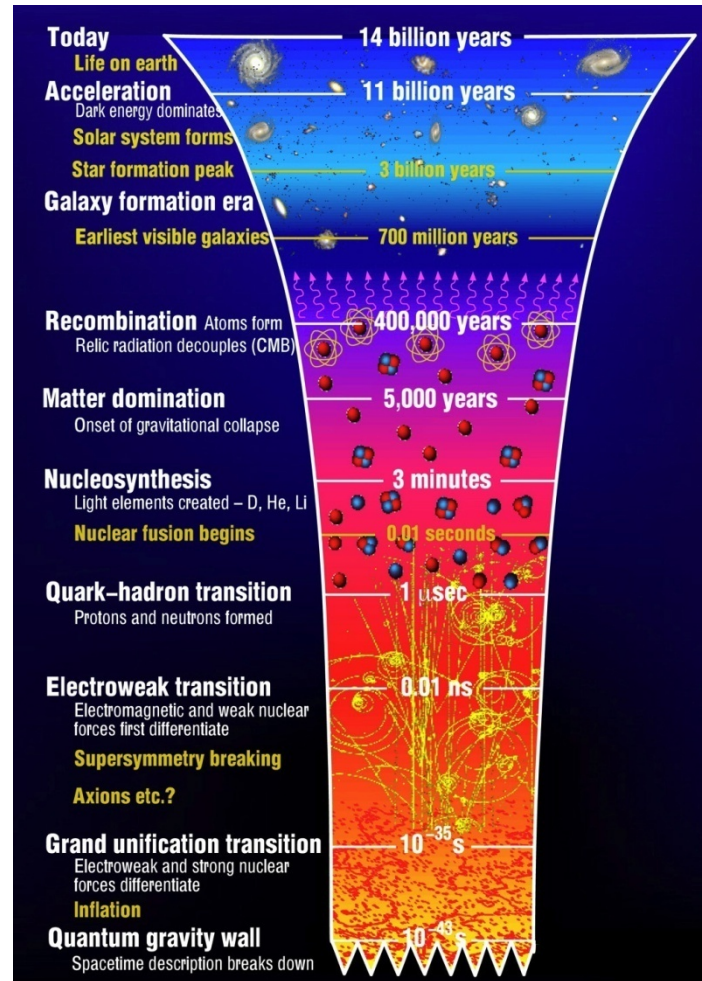


1.2 EL ORIGEN DEL UNIVERSO

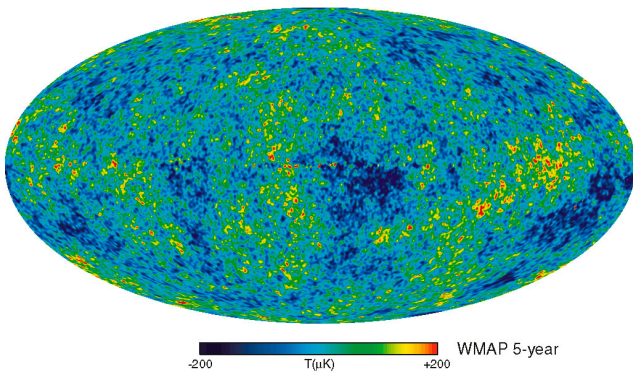
La **cosmología** es la parte de la astronomía que estudia el origen, desarrollo e incluso el futuro del universo. Según la teoría actualmente más aceptada (la gran explosión o **Big Bang**), hace 13.700 millones de años, la materia concentrada virtualmente en un punto (muy denso y a muy alta temperatura) empezó a expandirse en un proceso que todavía continúa, a la vez que se iba concentrando en algunos puntos dispersos, formando los astros. Podemos decir que en el momento de la gran explosión no sólo se formó la materia y la energía, sino que también se originaron el espacio y el tiempo. Por eso, no tiene sentido plantearse lo que había antes de este suceso. De forma resumida, la evolución de la materia en las distintas etapas del origen del universo sería la siguiente:

- Antes de 10^{-6} segundos ($t^a = 3 \times 10^{12}$ K) se forman las partículas subatómicas (quarks y partículas subatómicas como protones y neutrones), mezclado en un **plasma** (conjunto de partículas cargadas a alta temperatura). En este momento se produce la **inflación**, un corto periodo de expansión acelerada del espacio (superior a la velocidad de la luz), con los objetos en reposo con respecto a él.
- A los Tres minutos ($t^a = 3 \times 10^9$ K): se forman los primeros núcleos de átomos (He, Li, Be) en un proceso conocido como **nucleosíntesis primordial**. La bajada gradual de la temperatura hace que este proceso termine pronto, razón por la cual el universo quede con una proporción del 75 % de H y un 25 % de He (como el universo actual, al que hay que añadir la pequeñísima proporción de átomos pesados sintetizados en las estrellas).
- A los 380.000 años ($t^a = 3.000$ K): los electrones se unen a los núcleos y se forman los primeros átomos. El universo pasa de ser un plasma de partículas cargadas a un gas formado por hidrógeno y helio. Por tanto, se hace transparente y la luz puede viajar libremente al desacoplarse de la materia (aparece la **radiación cósmica de fondo**, el rastro más antiguo que podemos captar del universo en formación).

- Después de 100 a 1.000 millones de años ($t^a = 2,7 \text{ K}$), se forman los primeros cuerpos celestes (nebulosas primarias). Las **nebulosas primarias** se empezaron a contraer debido a la atracción gravitatoria de las partículas de H y He. Los átomos chocan y la temperatura aumenta hasta producir las **reacciones termonucleares de fusión** en la que los núcleos de H se unen para formar nuevos elementos químicos más pesados (He primero y después C, N, O, hasta el Fe) y se irradia gran cantidad de energía luminosa. Aparecen entonces las **estrellas primarias**, que se asocian para formar las primeras galaxias.
- A los 3.000 a 9.000 millones de años: Las estrellas primarias moderadamente masivas, cuando acaban su combustible, primero colapsan por acción de la gravedad, lo que vuelve a generar nuevas reacciones nucleares de fusión en donde se forman los elementos más pesados (del Fe hasta el U). La energía generada se libera en una gran explosión, formando **supernovas**, que lanzan al espacio toda la materia que se acumulan en nebulosas secundarias. Éstas son el germen de las estrellas **secundarias** y sus sistemas planetarios asociados (que ya poseen los elementos de la tabla periódica, generadas en el núcleo de las estrellas primarias).



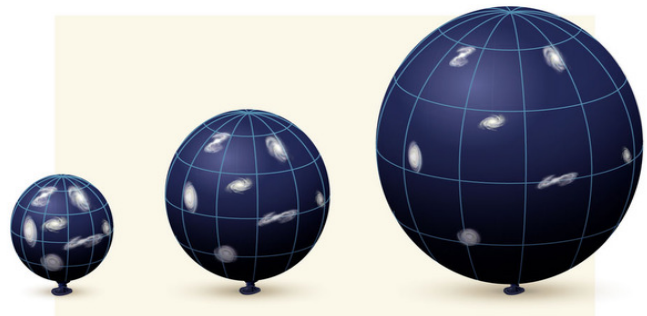
Fuente: www.ctc.cam.ac.uk



las galaxias, y la superficie del globo representa al espacio-tiempo, a medida que se expande el globo (el espacio), las galaxias se alejan unas de otras. Cuanto más lejanas sean éstas, más se rápidamente se alejan de nosotros, fenómeno que ya descubrió Edwin Hubble al principio del siglo XX al observar galaxias lejanas y medir la velocidad con la que se alejan.

La radiación cósmica de fondo, formada por radiaciones del espectro de microondas y descubierta por A. Penzias y R. Wilson, es un eco luminoso del fogonazo generado 300.000 años después de la gran explosión, en el momento en que el universo se hizo transparente al dispersarse suficientemente la materia.

Analogía del globo: Si comparamos el universo a un globo, en el que los puntos representan



1.3 EL CICLO VITAL DE LAS ESTRELLAS y EL ORIGEN DE LOS ELEMENTOS

Nacimiento de las estrellas:

Las **nebulosas** son nubes interestelares formadas por gas (hidrógeno y helio) y polvo cósmico (elementos químicos pesados y compuestos orgánicos). Estas formaciones pueden ser criaderos de nuevas estrellas, aunque también son el resultado de la muerte de las mismas.



Nebulosa cabeza de caballo



Supernova ojo de dios

Las estrellas se clasifican diferentes tipologías en función de parámetros como el tamaño, la temperatura superficial, su luminosidad y su magnitud

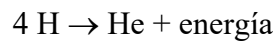
En general, se puede decir que cuanto más masiva sea la estrella, mayor va a ser su temperatura superficial (color azul) y menor va a ser la duración de su vida, dado que consumen mucho más rápidamente su combustible.

Muerte de las estrellas:

Cuando la estrella consume todo su combustible, se rompe el equilibrio entre radiación y gravedad, lo que genera una serie de acontecimientos que dependerán de la masa inicial del astro.

A partir de una nebulosa primaria, formada por el H y He procedentes de la nucleosíntesis primordial, se produce una condensación por gravedad que genera unos glóbulos relativamente pequeños que giran sobre su propio eje que se llaman **protoestrellas**.

El aumento de la densidad en el seno de cada protoestrella favorece las colisiones entre los átomos de hidrógeno, lo que aumenta la temperatura de este plasma (gas ionizado) hasta que se alcanza el valor crítico de 10^7 °C para que se activen las **reacciones termonucleares de fusión**:



El helio generado se acumula en el núcleo de la estrella y la gran energía generada (debida a una ligera pérdida de masa, tal como marca la ecuación de Einstein $E=mc^2$) se libera como energía radiante.

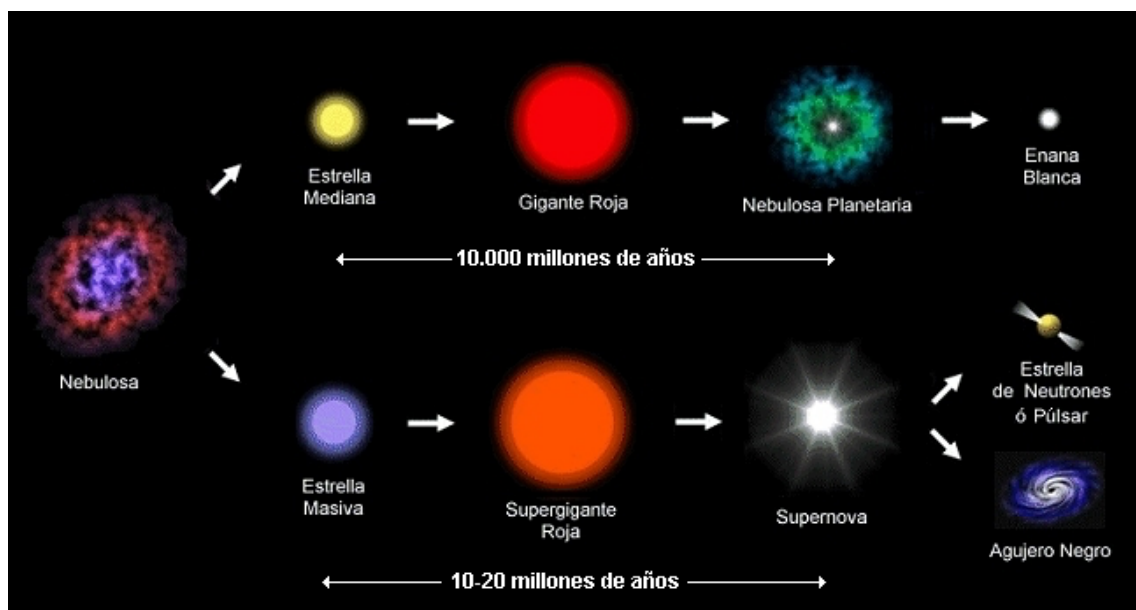
Vida de las estrellas:

Se establece durante la vida de la estrella un equilibrio entre dos fuerzas antagónicas que son la energía radiante expansiva por un lado y la gravedad tendente al colapso por el otro.



En una estrella mediana como el Sol, cuando se consume todo el hidrógeno del núcleo, las reacciones termonucleares se van dirigiendo a la periferia, en donde queda todavía este elemento. Al ir agotando el combustible, el astro pierde masa y la componente gravitatoria se reduce en relación con el componente radiativo, con lo que las capas externas se expanden a la vez que disminuye la temperatura superficial, convirtiéndose en una **gigante roja**.

En el núcleo de la gigante roja se acumula el helio y se compacta, por lo que aumenta nuevamente la temperatura y surgen nuevas reacciones termonucleares de fusión para formar carbono en este caso. La energía que se libera hincha y desestabiliza la estrella hasta desprender las capas externas para formar una **nebulosa planetaria**. El núcleo despojado de sus capas externas se convierte por compactación en una estrella densa denominada **enana blanca**, que libera energía por fusión de los núcleos de He hasta que se agote y se convierta en una **enana negra** fría y apagada formada por carbono.



Las **estrellas gigantes** tienen un tamaño superior a 10 veces la del Sol y son azules, puesto que consumen su hidrógeno de forma mucho más rápida y así alcanzan una mayor temperatura superficial. Por ello, rápidamente agotan el hidrógeno para convertirse en **supergigantes rojas** con capas concéntricas dentro de las cuales se van formando por fusión nuclear elementos progresivamente más pesados (C, O, N, Mg, Si) conforme se avanza hacia el interior. Todas estas reacciones producen energía radiante hasta llegar al hierro, que ya la consume, por lo que se para la cadena de nucleosíntesis.

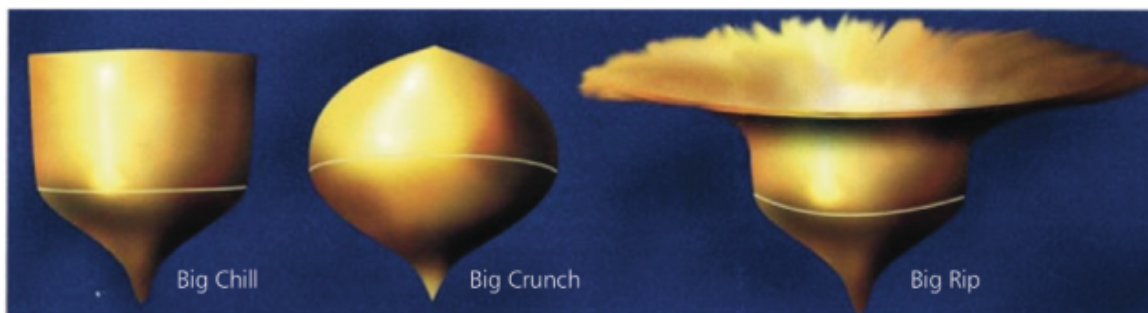
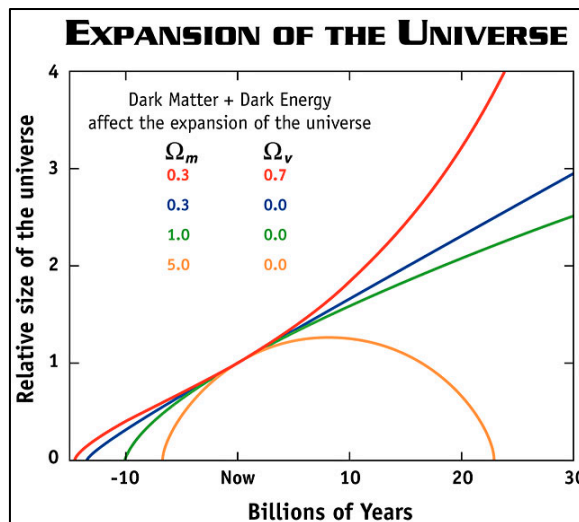
Una supergigante roja con un núcleo masivo de hierro tiene una componente gravitatoria mayor que la radiativa, por lo que colapsa y se produce una implosión de las capas internas. Esto produce un aumento de presión y temperatura que genera más reacciones de fusión para formar los elementos más pesados de la tabla periódica (Au, Ag, U). El núcleo se compacta para originar una **estrella de neutrones** (entre 10 y 30 masas solares) o un **agujero negro** (más de 30 masas solares).

Por otra parte, las ondas de choque de la implosión rebotan para dar lugar a la expulsión de las capas externas en una explosión denominada **supernova**. Ésta genera el polvo cósmico con todos elementos generados en la estrella anterior que pasa a contaminar nebulosas primarias para formar aquellas **nebulosas secundarias** que volverán a originar estrellas con sistemas planetarios, que incluyen planetas rocosos formados por los elementos pesados dispersados por la explosión e incluso con seres vivos, cuyos bioelementos también tienen su origen en estas fábricas de elementos que son el núcleo de las estrellas.

1.4- EL FUTURO DEL UNIVERSO

En virtud del equilibrio entre el parámetro de densidad (Ω_m) marcada por la materia (tendente a la contracción) y, por otro lado, la energía oscura (Ω_v tendente a la expansión), se plantean tres escenarios posibles para el futuro del universo:

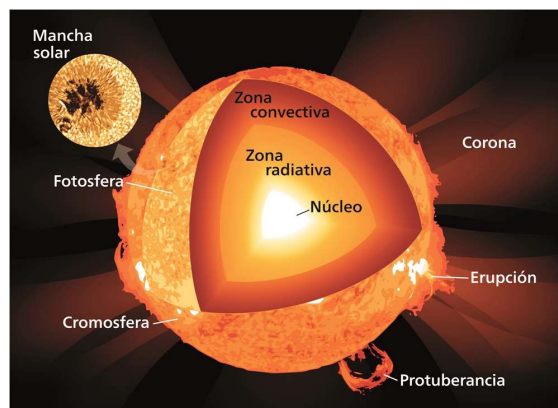
1. El **gran enfriamiento** (*Big Chill*): el universo continuará indefinidamente en expansión, aunque a un ritmo lento debido a la fuerza de la gravedad. En este contexto, las galaxias se apagarán y el universo se convertirá en un lugar oscuro y frío en la que únicamente existirá una radiación uniforme.
2. La **gran contracción** (*Big Crunch*): en este caso la densidad media es suficiente para frenar la expansión inducida por la energía oscura. Se produce una contracción hasta alcanzar el punto de singularidad inicial en un proceso inverso al del *Big Bang*. De este hecho, algunos autores proponen la teoría del universo oscilante, con infinitos procesos de expansión (*big bang*) y de contracción (*big crunch*).
3. El **gran desgarramiento** (*Big Rip*): la fuerza repulsiva de la energía oscura supera a la fuerza de la gravedad para provocar un episodio de expansión tan acelerada que acaba con el universo roto en pedazos y formado por partículas elementales desligadas. Como la expansión se haría infinita, se alcanzaría una singularidad y el tiempo se detendría.



2- EL SISTEMA SOLAR

La galaxia en la que se ubica nuestro planeta es la **vía láctea**. Tiene una forma espiral barrada (con brazos espirales que salen de un núcleo alargado) y unas diámetro de 100.000 años-luz y 25.000 años-luz de grosor. Posee varios centenares de miles de millones de estrellas, cada una con sus sistemas planetarios. Uno de ellos es el nuestro, el sistema solar, que consta de los siguientes componentes:

- El **Sol**, una estrella enana amarilla (tipo G) que tiene un diámetro de 1.400.000 km y una temperatura superficial de 5.500° C. Está formado por H (75 %) y He (24,5 %), con trazas de elementos más pesados (C, O, S, Si, Mg, Fe). Consta de un **núcleo** en donde se producen las reacciones termonucleares que generan energía radiante. Ésta pasa por las zonas radiante y convectiva hacia la **fotosfera**, que es la capa externa visible, en donde



se emite los rayos X, UV, radiación visible e infrarroja. Sobre ella están las manchas solares (a menos temperatura). En la parte exterior se encuentran la **cromosfera** y la **corona solar**, en donde se producen las erupciones solares que generan las protuberancias que emiten las partículas cargadas del viento solar.

- 8 **planetas** que giran en un movimiento de traslación alrededor del Sol (el tiempo invertido es el año) y que también rotan en torno a su eje (su periodo es el día). Estos planetas se dividen en dos grupos: interiores, rocosos o pequeños (**Mercurio, Venus, Tierra y Marte**) y exteriores, gaseosos o gigantes (**Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno**). Muchos de ellos tienen **satélites** que giran en torno a ellos.

LOS PLANETAS INTERIORES

- Cercanos al sol (interiores)
- Corteza y manto rocosos y núcleo metálico.
- Pequeño tamaño

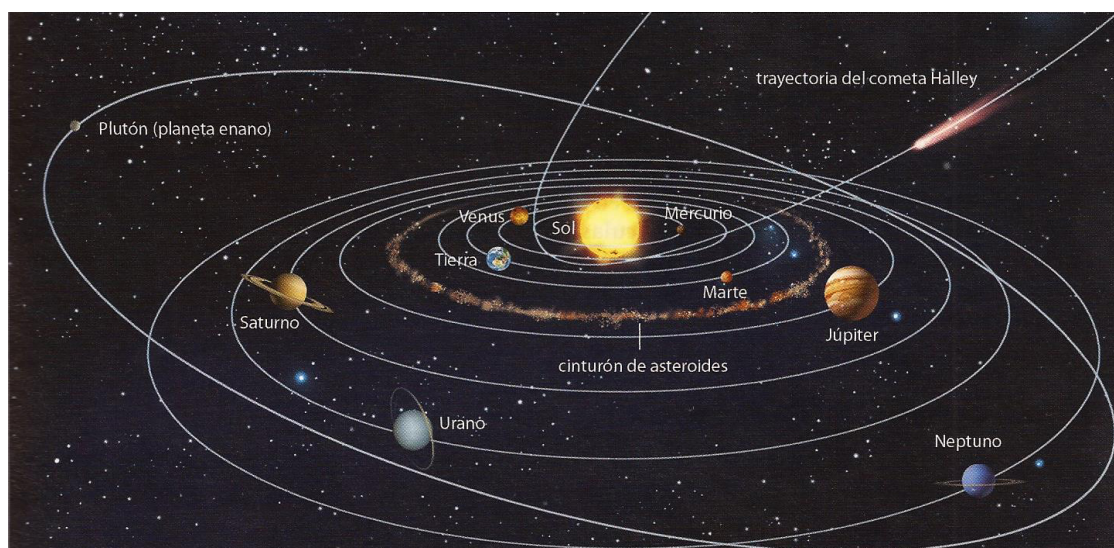
	Atmósfera	Satélites	Temperatura	Día	Año	Particularidades
MERCURIO	No tiene	No tiene	425 a -170 °C	59 d.	88 d.	El más cercano al Sol. El planeta más pequeño
VENUS	CO ₂	No tiene	480 °C	243 d.	224,7 d.	Rotación inversa
TIERRA	N ₂ y O ₂	Luna	15 °C	23h 56'	365,26 días	Planeta azul (agua líquida) y con vida.
MARTE	CO ₂ y muy tenue	Fobos y Deimos	-23 °C	24 h 37'	687 d.	Planeta rojo

LOS PLANETAS EXTERIORES

- Alejados del sol (exteriores)
- Compuestos por gas (gaseosos)
- Gran tamaño (gigantes)

	Atmósfera	Satélites	Temperatura	Día	Año	Particularidades
JÚPITER	Hidrógeno y Helio	67; Io, Calisto, Ganimedes y Europa	-150 °C	9 h 50'	11,86 a	El más grande (11 veces la Tierra)
SATURNO	Hidrógeno y Helio	61 Titán	-180 °C	10h 14'	29,46 a	Posee sistema de anillos. 10 Tierras.
URANO	H, He y metano	27 Miranda	-210 °C	11 h	84,01 a	Sistema de anillos. Eje horizontal.
NEPTUNO	H, He y metano	14 Tritón	-220 °C	16 h	164,8 a	4 veces la Tierra

- Numerosos planetas enanos (muchos por descubrir, especialmente en el exterior del sistema solar). Los más grandes son **Plutón, Ceres y Eris**.

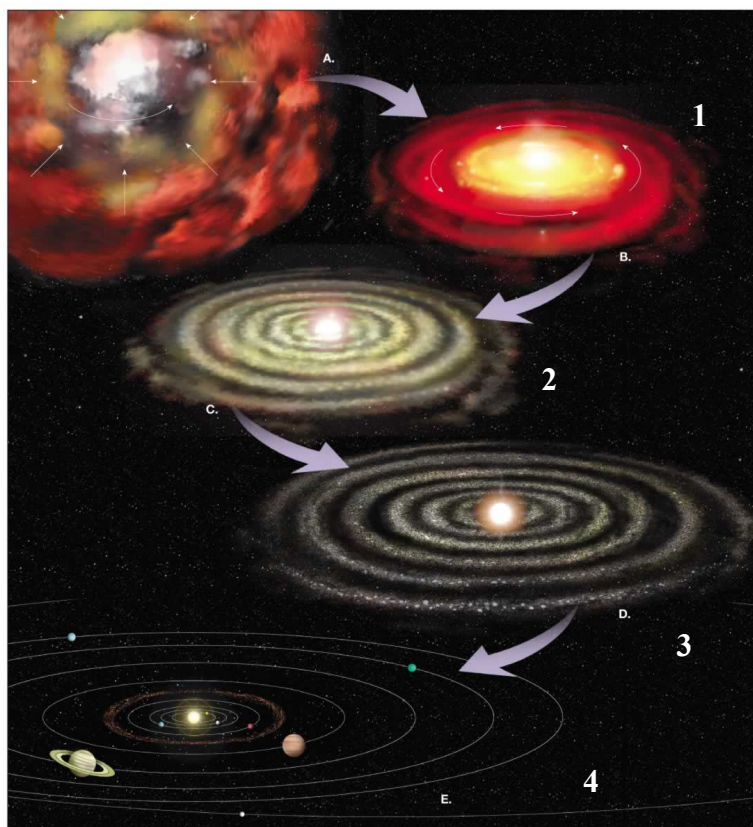


- Dos **cinturones** (de **asteroides** y de **Kuiper**), formados por fragmentos rocosos de diversos tamaños y planetas enanos que giran juntos en torno al sol. Corresponden con restos del material del origen del sistema solar. De allí proceden la mayoría de los **meteoritos**, cuerpos rocosos de forma irregular que vagan por el espacio.
- Los **cometas** son cuerpos rocosos con hielo que giran en torno al sol mediante una órbita muy excéntrica. Cuando están cerca del sol, el hielo se vaporiza para generar una cabellera en torno al núcleo rocoso, que refleja la luz del sol y desprende una larga cola. Proceden del **cinturón de Kuiper** (más allá de la órbita de plutón) y de la **nube de Oort** (a un año luz del Sol).

2.2- EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

Dado el elevado grado de orden que se observa en el **Sistema Solar**, se tiende a creer que todos los astros integrados en el tuvieron un origen simultáneo. De todos los modelos propuestos para este proceso, el más aceptado sería la de la **teoría nebular**, formulada al final del siglo XVIII por Laplace y que incluye la siguiente secuencia de acontecimientos:

1. Hace 4.570 millones de años, una nebulosa secundaria se condensa por rotación sobre sí misma, transformándose en un **disco protoplanetario** de forma aplanada. Esta compresión se realiza por acción de la gravedad o por la explosión de una supernova cercana, cuya onda de choque afecta a la nebulosa.
2. En el centro de la nebulosa se almacenan más partículas y chocan más entre sí, lo que hace que las temperaturas que se alcanzan permitan la activación de reacciones termonucleares de fusión. Se origina una **estrella** (el sol), que emite radiación y partículas del viento solar.



3. Por acción del viento solar, en la periferia del disco central se forman núcleos secundarios en torno a él. En cada uno de ellos se produce, por acción gravitatoria, la colisión de los fragmentos materiales en un proceso denominado **acreción**. Estos fragmentos se van haciendo más grandes, convirtiéndose en **planetésimos** primero y en **protoplaneta** después. Éste, al tener una fuerza gravitatoria creciente, barre e

incorpora todos los cuerpos rocosos más pequeños hasta formar un **planeta**, cuando ya no es posible captar más materia.

- Los planetas con los elementos más pesados (**planetas rocosos**) se forman en las órbitas interiores, mientras que los planetas con los elementos más ligeros (**planetas gaseosos**) se disponen hacia el exterior del Sistema Solar

3- LA TIERRA EN EL UNIVERSO

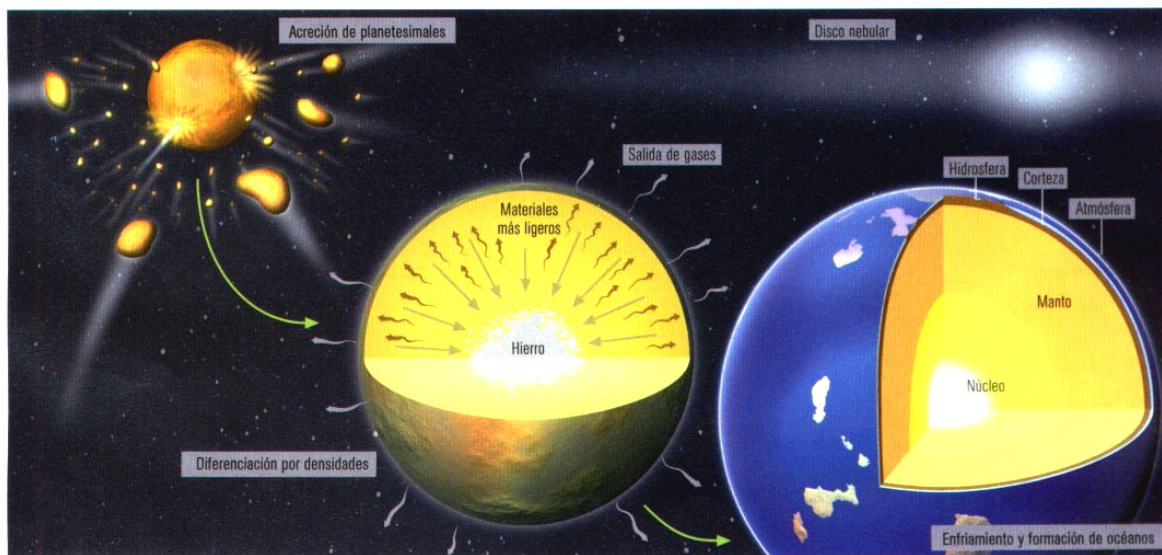
La Tierra es un planeta interior y rocoso, que ocupa la tercera posición en cuanto a la distancia con respecto al Sol. Su diámetro es de 12.742 km y posee un único satélite (la Luna).

3.1 EL ORIGEN DE LA TIERRA

La formación de nuestro planeta está ligada a la formación del sistema solar, aunque existe una evolución posterior que lleva a la configuración de un planeta vivo. Las etapas que se establecen hasta llegar a este estado son las siguientes:

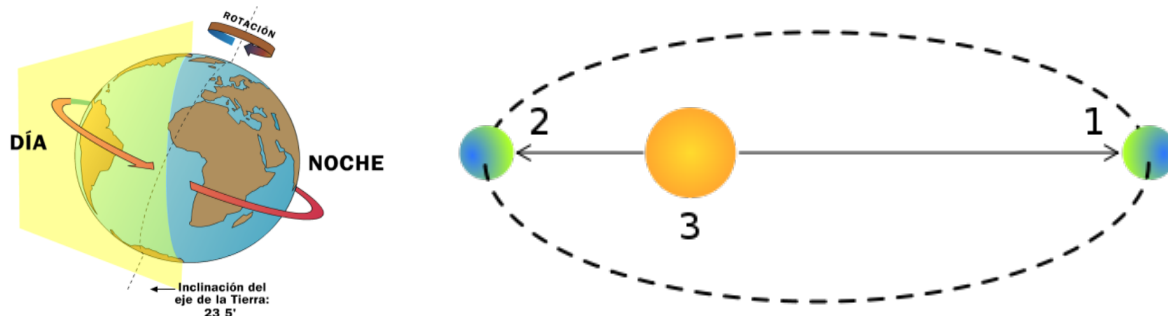
- En primer lugar, se produce la formación del **protoplaneta** Tierra por acreción de todos los planetésimos en su órbita. El proceso de choque meteorítico produce tal incremento de temperatura que genera la fusión de los materiales que se incorporan.
- La Tierra recién formada sufre un proceso de **diferenciación gravitatoria**, consistente en la separación de los componentes de la materia fundida por orden de densidades para originar las distintas capas y sistemas terrestres. De este modo se produce la separación de la **geosfera** en capas: un núcleo metálico formado fundamentalmente por hierro y un manto rocoso (formado por silicatos). También se origina la **atmósfera** por un proceso de desgaseificación en la que los gases (poco densos, incluido el vapor de agua) salen hacia el exterior y son retenidos por la gravedad terrestre para formar una capa gaseosa externa.
- El enfriamiento progresivo conforme iba cesando la acreción de planetésimos propició la formación de la corteza terrestre y también de la **hidrosfera** por condensación y precipitación del vapor de agua atmosférico.
- Una Tierra con una dinámica cortical (propiciada por la disipación de la energía interna atrapada en el interior terrestre), una atmósfera protectora y océanos de agua líquida, ya tenía las condiciones para originar y albergar la vida, y establecer un cuarto sistema terrestre: la **biosfera**.

PROCESO DE FORMACIÓN DE LA TIERRA



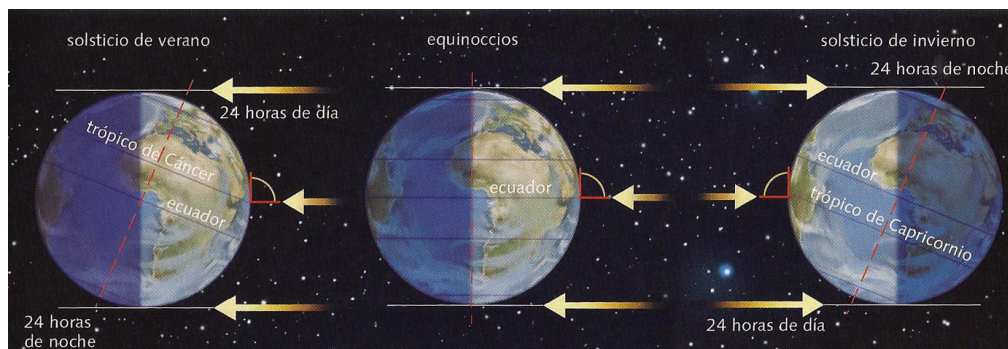
3.2 LOS MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

El movimiento de **rotación** es el giro completo alrededor de un eje, que en el caso de la Tierra se encuentra inclinado 23° con respecto a la **eclíptica** (el plano que contiene la órbita). Se produce en sentido antihorario y su periodo determina el día terrestre (24 horas). Este movimiento hace que se produzca la **alternancia entre días y noches**, pues cada punto de la superficie terrestre a lo largo de un día pasa de forma consecutiva por la parte iluminada (la que recibe directamente la luz del Sol) y la parte oscura (noche).



La traslación es el movimiento de giro (en sentido antihorario) del planeta en torno al Sol, describiendo una trayectoria que se denomina **órbita**. En el caso de la tierra dura 365 días y 6 horas, constituyendo el año terrestre. La órbita es algo elíptica, con el Sol (3) situado en uno de los focos. De este modo, existe un momento en que la Tierra se encuentra más cerca del Sol (perihelio, 2) y un momento en que se encuentra más alejado (afelio, 1).

La inclinación del eje terrestre propicia que los rayos solares incidan sobre la superficie terrestre con diferente ángulo, siendo el calentamiento directamente proporcional (máxima si es perpendicular, baja si es muy oblicua). Por otra parte, la traslación hace que cambie la orientación del eje terrestre con respecto al Sol, lo que explica la **sucesión de las estaciones** a lo largo del año y también la alternancia entre hemisferios norte y sur (uno se orienta hacia el sol y otro el lado opuesto, situación que se invierte seis meses después).



En los **equinoccios** (marzo y septiembre), el día y la noche tienen la misma duración, situación que se produce en ambos hemisferios. La mayor incidencia de los rayos solares se produce en el ecuador.

Durante los **solsticios** (junio y diciembre), se produce la máxima diferencia entre los días y las noches (extrema en los polos), siendo la situación inversa en entre hemisferios. La mayor incidencia de los rayos solares se produce en uno de los trópicos.

3.3 EL SISTEMA TIERRA-LUNA

La luna es el único satélite natural de la Tierra. En cuanto a su origen, se plantean tres hipótesis:

1. **Hermana:** propone un origen simultáneo de ambos astros mediante una acreción simultánea y paralela. Sin embargo, esto implicaría una densidad muy similar en ambos, algo que realmente no sucede (Tierra: $5,5 \text{ g/cm}^3$, Luna: $3,3 \text{ g/cm}^3$).
2. **Hija adoptada:** la luna sería un planeta formado en una órbita más alejada del sol, que fue capturada por el campo gravitatorio terrestre. Esta hipótesis no explica la diferencia de edad (100 millones de años) existente entre planeta y satélite.
3. **Hija:** es la más aceptada y postula que un fuerte impacto de un gran cuerpo celeste (del tamaño de Marte) expulsó gran cantidad de masa fundida en órbita. Por un proceso similar a la acreción, de esta nube de residuos se originó nuestro satélite. La menor densidad de la luna puede ser explicada por el hecho de que en la colisión no se eyectaron materiales del núcleo terrestre.



La Luna realiza un movimiento antihorario de traslación en torno a la Tierra de una duración prácticamente idéntica a la rotación en torno a su eje (28 días). Esto implica que el

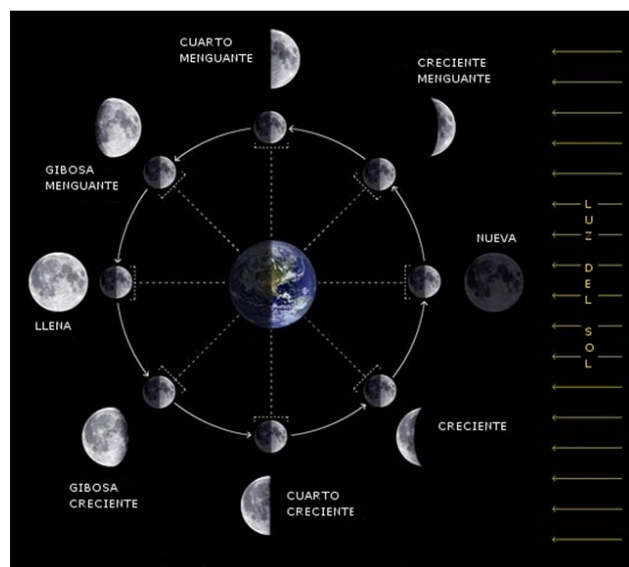
único satélite terrestre siempre muestre la misma cara (cara visible) hacia nuestro planeta, quedando la cara oculta siempre en el sentido opuesto. El sistema formado por la Tierra y la Luna (con sus movimientos) genera otros fenómenos como las fases lunares, las mareas y los eclipses.



Las fases lunares:

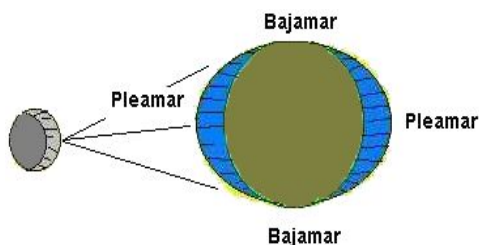
Como consecuencia de la traslación de la Luna en torno a la Tierra y teniendo en cuenta que la órbita lunar se encuentra inclinada 5° con respecto a la eclíptica terrestre, se producen variaciones progresivas y secuenciales de la iluminación de la cara visible de nuestro satélite. De este modo se definen las siguientes fases:

- Luna llena: iluminación completa.
- Luna nueva: sin iluminación.
- Fases menguantes y crecientes: iluminación parcial.



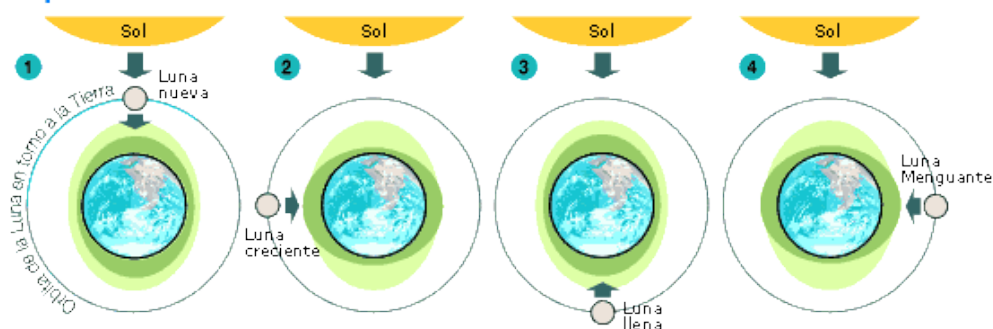
Las mareas:

Son cambios periódicos del nivel del mar a causa de la atracción gravitatoria que la luna ejerce sobre la hidrosfera terrestre. De este modo, en el lado enfrentado a la luna (por atracción) y en el opuesto (por acción de la fuerza centrífuga) se produce un ascenso del nivel del mar (**pleamar**), mientras que en las posiciones perpendiculares intermedias se produce el descenso (**bajamar**). Durante una rotación terrestre, un punto de su superficie pasa por cada una de las cuatro situaciones, razón por la que se producen dos pleamares y dos bajamar en un periodo algo superior al de un día.



El Sol ejerce también una acción gravitatoria sobre la hidrosfera, aunque algo limitada debido a la mayor distancia a la que se encuentra. Esto hace que module la intensidad de las mareas en función de que se sume su acción al de la luna (**mareas vivas**, con pleamares más altas y bajamares más bajas) o se reste al encontrarse en ángulo recto (**mareas muertas**, menos intensas).

Esquema de las mareas

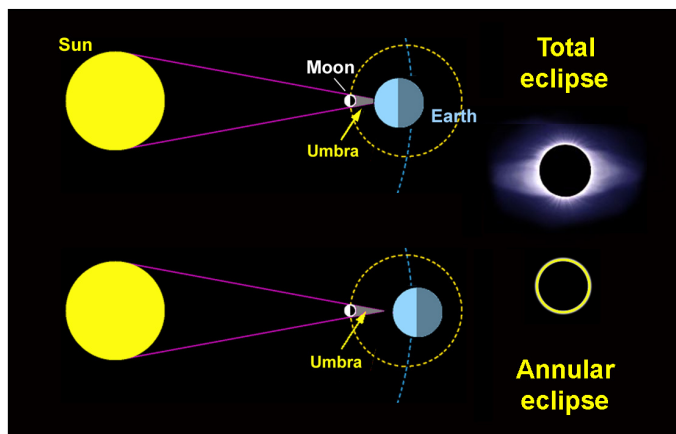


1 y 3: Cuando la Luna y el Sol están alineados (luna llena y luna nueva), se producen las mayores diferencias de mareas.

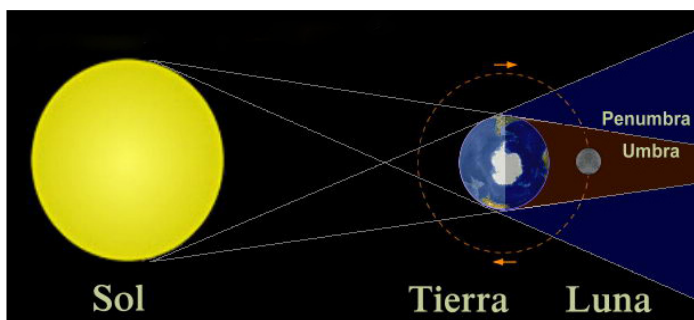
2 y 4: Cuando la Luna y el Sol están en ángulo recto (lunas crecientes y menguante), se producen las menores diferencias de mareas.

Los eclipses:

Son oscurecimientos de un cuerpo celeste cuando otro se interpone en la trayectoria de la luz que viene del Sol. Para que se produzcan, la Luna tiene que encontrarse en uno de los dos **nodos** definidos por la intersección de la órbita lunar con la eclíptica terrestre, lo que permite la alineación de los tres astros: Sol, Tierra y Luna.



Eclipse de Sol: la Luna se interpone en la trayectoria entre el Sol y la Tierra, generando una pequeña zona de sombra (total), con penumbra en la periferia (parcial)



Eclipse de Luna: la Tierra se interpone entre Luna y Sol, por lo que proyecta su sombra sobre la primera.

4- EL ORIGEN DE LA VIDA

La **vida** se puede definir como la capacidad de realizar las tres funciones vitales (nutrición, relación y reproducción), lo que permite a los seres vivos automantenerse y autorreplicarse. Otra característica de los seres vivos es la capacidad de experimentar cambios para adaptarse a las variaciones de las condiciones ambientales, es decir, de **evolucionar**.

La Tierra es, de momento, el único lugar del universo del que conocemos que exista vida. Varios aspectos concurren para hacer de nuestro planeta un lugar vivo:

- Se encuentra en la **zona de habitabilidad** del Sol, algo que hace que la temperatura sea la adecuada para mantener el agua en estado líquido. Además, nuestra estrella no es excesivamente grande, lo que hace que su vida sea lo suficientemente duradera como para permitir la evolución de las formas de vida.
- Una masa suficiente como para que su gravedad retenga una atmósfera no excesivamente densa. Además de una función **protectora** (ante radiaciones y meteoritos), esta atmósfera tiene una función **reguladora** gracias al efecto invernadero natural que permite que la temperatura media pase de -18 °C a 15 °C.
- Un tamaño que permite retener un **calor interno** que genera una dinámica geológica interna que permite la existencia de un vulcanismo activo enriquecedor y la presencia de un campo magnético que protege del viento solar.

La **astrobiología** es una ciencia multidisciplinar que trata de explicar el origen de la vida en la Tierra y su presencia en otros sistemas planetarios. Considera la vida como un **imperativo cósmico** que se produce al darse unas determinadas condiciones, lo que lleva a pensar que es posible que existan más planetas vivos. Para encontrarlos, los astrobiólogos estudian los organismos extremófilos que viven en la Tierra (arqueobacterias adaptadas a condiciones extremas de elevada salinidad o pH muy ácidos) y sondan la presencia de sustancias que actúan de biomarcadores (agua, oxígeno, metano) en planetas candidatos donde se den ciertas condiciones de habitabilidad.

El origen de la vida en nuestro planeta consta de varias etapas en la que las estructuras biológicas van cobrando más complejidad.

4.1 LA SÍNTESIS PREBIÓTICA

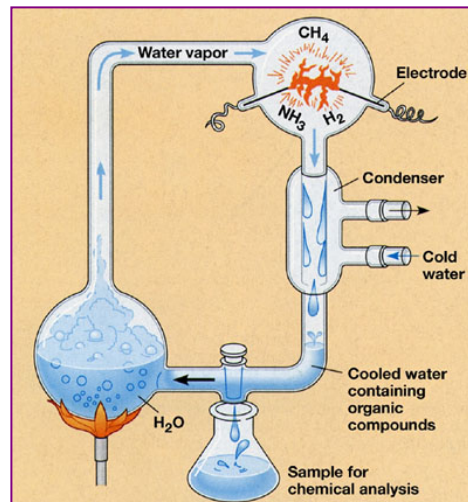
La **síntesis prebiótica** consiste en es el origen a partir de la materia inerte de los monómeros orgánicos (las piezas químicas para formar los seres vivos). Existen varias hipótesis que tratan de explicar esta síntesis prebiótica, que no son excluyentes entre sí.

1. La hipótesis de la **sopa primordial**, enunciada por *Oparin* y *Haldane* en 1923, establece que las biomoléculas que componen los seres vivos se sintetizaron en la hidrosfera terrestre a partir de componentes inorgánicos de la atmósfera primitiva. Postula que hace 4.000 millones de años, la Tierra primitiva presentaba un aspecto bastante diferente al actual e imperaban las siguientes condiciones:
 - En la Litosfera, el intenso enfriamiento de un planeta todavía muy joven genera un **vulcanismo** intenso que libera gran cantidad de gases (entre ellos el vapor de agua).
 - Una Hidrosfera a temperaturas aún elevadas (40 a 60 ° C) que se originó por la condensación del vapor de agua liberado por la actividad volcánica y que llegó a la Tierra a través de cometas.
 - Presencia de una atmósfera de carácter **reductor**, con metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua. No existe ni el oxígeno ni el ozono, por lo que los

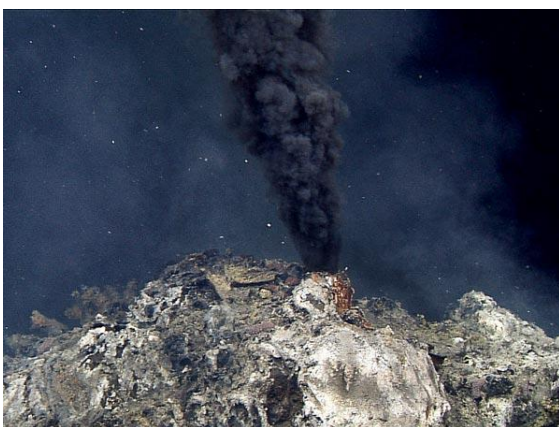
rayos ultravioletas llegan a la superficie terrestre. Además, se producen frecuentes tormentas pues la hidrosfera todavía está en formación.

En este contexto ambiental, los compuestos inorgánicos de la atmósfera reductora primitiva reaccionan entre sí para formar compuestos orgánicos sencillos (monómeros como aminoácidos y nucleótidos). La gran energía necesaria para estas reacciones químicas la aportaban las descargas eléctricas de las tormentas y las radiaciones ultravioletas del Sol. Posteriormente, las intensas lluvias arrastran las moléculas orgánicas hacia la hidrosfera, formando la sopa o caldo primitivo, cuya concentración aumenta en las charcas intermareales sometidos al calor de las rocas volcánicas y del sol.

El **Experimento de Miller** (1953) es la prueba más concluyente de la teoría inorgánica o prebiótica de Oparin. Colocando en un recipiente cerrado sustancias inorgánicas como metano, amoníaco y agua y aplicando descargas eléctricas sobre ellas, se obtienen aminoácidos (moléculas que forman proteínas) y otros componentes orgánicos.



- En la hipótesis de las **chimeneas hidrotermales**, se parte de la idea más actual de que la atmósfera primitiva era menos reactiva y estaba compuesta básicamente por N_2 , CO_2 y vapor de agua. Por tanto, la síntesis inorgánica se limitaría a zonas volcánicas con amoníaco y metano. En las chimeneas hidrotermales submarinas asociadas a dorsales oceánicas, existen ecosistemas que se basan en bacterias quimiosintéticas. Éstas no dependen de la luz, no producen oxígeno y generan materia orgánica a partir de la inorgánica. Según esta hipótesis, en los fluidos hidrotermales existen gases como metano, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, que reaccionarían entre sí para formar moléculas orgánicas sencillas (monómeros) ayudados por la acción catalítica de superficies formadas por pirita (sulfuro de hierro).



- La hipótesis de la **panspermia** postula un origen extraterrestre de la vida. En un primer momento consideraba que las primeras formas de vida proceden del espacio y llegaron a la Tierra como esporas u otras formas de resistencia en el interior de meteoritos. A partir de estos microorganismos se desarrollarían el resto de los seres vivos. Esta teoría ha cobrado cierto impulso últimamente a raíz de varios descubrimientos:
 - La existencia de moléculas orgánicas en las nebulosas, junto con gases, hielo y polvo cósmico.
 - Los meteoritos y cometas pueden llegar a la superficie terrestre y en algunos se han encontrado restos orgánicos.

Actualmente se piensa que pudieron llegar moléculas orgánicas sencillas del espacio exterior a través de meteoritos y cometas, especialmente durante el periodo de la acreción terrestre.

4.2 LA POLIMERIZACIÓN

El proceso de la **polimerización** consiste en la unión entre sí de monómeros que se han formado en el proceso anterior.

En charcas cercanas a las orillas de los océanos, los monómeros sintetizados inorgánicamente aumentan su concentración (lo que Oparin denominó “**sopa o caldo primitivo**”), por lo que se polimerizan y originan macromoléculas orgánicas como proteínas, lípidos o ácidos nucleicos.

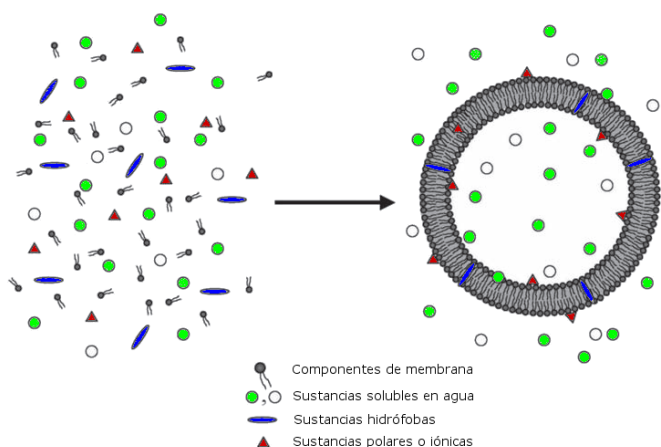
Estos monómeros pudieron unirse entre sí en zonas arcillosas, puesto que la disposición en capas de estas rocas catalizó la unión de estas moléculas en su superficie y también ejerció un efecto protector de las macromoléculas resultantes.



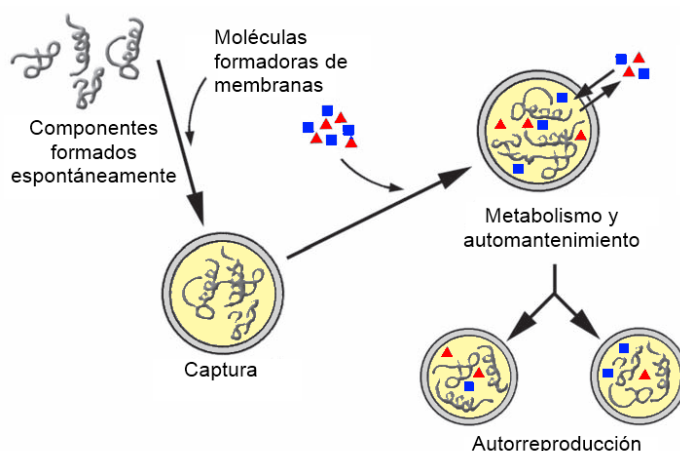
Coacervados

4.3 LA APARICIÓN DE LAS PRIMERAS CÉLULAS

En una etapa posterior, las macromoléculas se asocian para formar estructuras más complejas. De este modo, a partir de fosfolípidos se forman membranas biológicas que separan las macromoléculas orgánicas del medio acuático, para dar origen a unas estructuras que Oparin denominó **protobiontes** o **coacervados**. Cuando coacervados estables engloban ácidos nucleicos como el ARN, que empiezan a dirigir su propio metabolismo (gracias a su acción catalítica) y a dividirse para dar lugar a otros semejantes (gracias a su poder autorreplicante), aparecería lo que se puede considerar el primer ser vivo: el **eobionte** o **progenota**.



Posible formación de una vesícula tipo coacervado



De componentes orgánicos aislados a las primeras células

La evolución posterior del eobionte para convertirse en las primeras células procariotas de hace 3.800 millones de años podría ser el siguiente:

- Se considera que el primer ácido nucleico sería el ARN, que es el más sencillo.
- El ARN es una molécula que muta con relativa frecuencia, por lo que se seleccionan aquellas variedades más eficaces y que favorecen la supervivencia de la protocélula (arranca el proceso evolutivo).
- Los ARN que adquieren la capacidad catalítica (ribozimas) permiten la aparición de reacciones químicas que confieren a la protocélula la capacidad de obtener materia y energía del entorno, por lo que aparece el metabolismo.

- Otros ARN son capaces de obtener proteínas a partir de la información genética que ellas mismas contienen. Como la acción catalítica de las enzimas proteicas es más eficiente, acaban sustituyendo a los ARN en esta función.
- El ADN, un ácido nucleico más estable, desbanca al ARN en cuanto al almacenamiento de la información genética. Por tanto, éste queda relegado a un papel más secundario (responsable de la expresión génica).
- Como consecuencia de todos estos cambios, aparece una célula procariota con un ADN portador de la información genética y proteínas que dirigen el metabolismo y realizan muchas otras funciones.

4.4 LA EVOLUCIÓN CELULAR

Las primeras células procariotas (así como las protocélulas) tenían una nutrición heterótrofa anaerobia, dado que tomaban materia orgánica del medio (de la sopa primordial) y obtenían energía mediante fermentaciones.

Hace 3.500 millones de años, la materia orgánica empieza a escasear, puesto que la síntesis abiótica de materia orgánica comienza a ralentizarse. Aparece entonces un mecanismo alternativo a la nutrición heterótrofa anaerobia dominante que es la **fotosíntesis oxigénica** de las cianobacterias. Este proceso obtiene materia orgánica a partir de la inorgánica y produce oxígeno, lo que al cabo de varios centenares de millones de años transforma la atmósfera reductora en **oxidante** (con oxígeno). De forma paralela, aparece también la **capa de ozono**, lo que permitirá la vida terrestre (y la acuática de la zona fótica) al filtrar los rayos ultravioletas.

Para las células heterótrofas anaerobias primitivas, el oxígeno es un veneno, lo que hizo que muchas desapareciesen o fuesen confinadas en ambientes anóxicos. Otros evolucionaron a organismos heterótrofos aerobios capaces de utilizar (y neutralizar) el oxígeno para obtener gran cantidad de energía por el proceso de **respiración celular**.

Estos dos procesos (la fotosíntesis y la respiración celular), opuestos y complementarios, han permitido la coexistencia y la coevolución hasta nuestros tiempos de autótrofos y heterótrofos.

Hace 2.000 millones de años aparece la **célula Eucariota**. La teoría endosimbiótica de *Margulis* es la que encuentra más adeptos en la actualidad. Según ésta, una célula procariota ancestral fue englobando bacterias aerobias, cianobacterias (fotosintéticas) y bacterias espirales en un proceso de simbiosis (asociación con beneficio mutuo) para dar origen a las mitocondrias, cloroplastos y flagelos respectivamente. Es importante considerar que esta teoría incorpora la simbiosis (basada en la cooperación) como una nueva fuerza evolutiva alternativa a la selección natural (basada en la competencia y la depredación).

