



3 EL SISTEMA SOLAR

Agujero en ozono sobre la Antártida. ECOPORTAL

3.1 EL SISTEMA SOLAR

Está constituido por el Sol, 9 planetas, cerca de un centenar de satélites, 30 asteroides mayores entre unos 2 mil catalogados y 100 mil millones de cometas a los cuales se deben añadir nubes de gas y polvo. Al formarse el remolino primogénito, los elementos más pesados se ubicaron en el centro y los más livianos en la periferia, permitiendo de esta manera la formación de planetas rocosos en el centro y gaseosos hacia afuera. La localización del sistema solar en la galaxia y la de la Tierra en este, han sido favorables para el desarrollo de la vida. Esto apunta a las condiciones biofísicas y a la cantidad y proporción de los elementos complejos.

3.1.1 El Sol. El Sol es una estrella en cuyo interior se dan reacciones termonucleares. Tiene una composición del 70% de H, 27% de He y 3% de otros elementos; su masa de 2×10^{27} Ton (332270 veces la de la Tierra) y su radio de 1.39×10^6 Km. (109 veces el de la Tierra), explican una aceleración de la gravedad en su superficie de 2.74×10^4 cm/seg² (27.9 veces la terrestre).

La rotación es diferencial, así: período ecuatorial de 25 días y período polar de 30 días. La radiación solar de

emisión es de 3.8×10^{23} Kw y la recibida en la Tierra de sólo 1.7×10^{14} Kw.

El Sol se mueve con relación al patrón local o de reposo (grupo de estrellas cercanas), a 20 Km./seg en dirección a Hércules (punto llamado APEX, cerca a Vega de la Lira). La temperatura superficial varía desde 5000°C en las manchas solares a 6000°C en la fotosfera, mientras en el núcleo es superior a los 10 millones de $^{\circ}\text{C}$. Su densidad es de 100 g/cm^3 en el núcleo y en el conjunto del astro de $1,41 \text{ g/cm}^3$

3.1.2 La Tierra. Su figura es parecida a la de una esfera de radio, $r = 6370 \text{ Km.}$, la masa de la Tierra es, $m = 5,976 \times 10^{27} \text{ g}$, y su velocidad angular de rotación es, $w = 7,292115 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. No obstante, y a causa de la rotación del planeta sobre su propio eje, dada su masa, el planeta sufre el achatamiento de 1:297. La densidad media del planeta es $5,5 \text{ g/cm}^3$.

3.1.2.1 Leyes de Keppler (1571-1630). Son las leyes enunciadas sobre el movimiento planetario continuo, y que son de gran utilidad para describir la distancia relativa entre los cuerpos celestes, las posiciones planetarias y en general el movimiento de cualquier cuerpo puntual alrededor de un centro de atracción gravitacional.

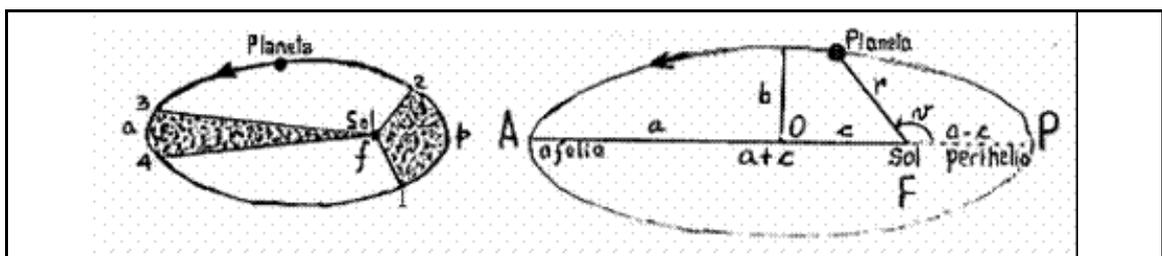


Figura 8. Órbita elíptica de un planeta en torno al Sol. En sombreado se ilustra la ley de las áreas; además el Sol ocupa uno de los focos de la elipse. Adaptado de Eduardo Brieva, Introducción a la Astronomía.

1. Las órbitas de los planetas alrededor del Sol son elípticas; el Sol ocupa uno de los focos. La distancia planeta-Sol, es menor en el perihelio y mayor en el afelio.
2. El radiovector que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales, por tanto la velocidad en el perihelio es mayor que en el afelio.
3. Si tomamos dos planetas con sus correspondientes períodos de revolución alrededor del Sol y las distancias medias respecto a él, los cuadrados de los períodos de revolución, T , son proporcionales a los cubos de dichas distancias, R .

$$T_1^2/T_2^2 = R_1^3/R_2^3$$

La Tierra describe su órbita sobre un plano llamado la eclíptica. Su eje de rotación está inclinado $23^\circ 27'$ respecto de la perpendicular a la eclíptica. Recorre la órbita en 365.26 días. La órbita tiene una excentricidad de 0.017. El afelio es el 2 de julio y el perihelio el 2 de enero. Por la inclinación del eje polar, existen estaciones en el norte, así: solsticio de verano el 21 de junio y de invierno el 22 de diciembre y equinoccio, de primavera el 21 de marzo y de otoño el 23 de septiembre. En el hemisferio sur, se invierten las fechas.

En el sistema solar las órbitas de los planetas son casi coplanares, las de menos son Mercurio con 7° y Plutón con 17° . La rotación y la traslación, por regla general, son del W al E; es decir, son retrógradas respecto a la estrella polar. En la rotación son excepción Venus y Urano, que la hacen en sentido directo.

3.1.3 Planetas terrestres o interiores. Son los planetas comprendidos entre el Sol y el cinturón de asteroides. En su orden son: Mercurio, Venus, Tierra y Marte, planetas duros y sólidos, de pequeño diámetro y baja gravedad, por lo que su atmósfera resulta poco densa y poco extensa. La rotación sobre su eje (día) es larga.

3.1.4 Planetas mayores o exteriores. Los planetas gigantes, después del cinturón de asteroides, son Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, sigue Plutón que es la excepción ya que por sus características se acomoda más a los interiores.

Aunque tienen gran masa son de baja densidad; mayoritariamente son líquidos y gaseosos aunque poseen un pequeño núcleo sólido. La atmósfera es extensa, compuesta de H, He, agua, Amoníaco y Metano; tienen alta velocidad de rotación (día corto) y muchos satélites (el de menos Neptuno), además de anillos.

3.1.5 Los satélites (lunas). La observación de Fobos y Deimos, en Marte, anuncia que parecen capturados por su forma irregular y pequeño tamaño; ello ha permitido clasificar los satélites así:

3.1.5.1 Satélites regulares. Los que tienen órbita circular, rotación y traslación W al E (retrógrada) y una órbita poco inclinada (casi coplanar con la del sistema solar). Dichos satélites y el planeta son congénitos.

3.1.5.2 Satélites Irregulares. De órbita extremadamente excéntrica y de plano muy inclinado, con rotación y traslación E al W (directa); estos satélites se asocian a asteroides capturados.

Nuestro satélite es la Luna, un satélite regular cuyos períodos de rotación y traslación son iguales, razón por la cual la Luna siempre muestra la misma cara a la Tierra. La Tierra y la Luna podrían considerarse de alguna manera como un sistema doble. Observe estos datos: Diámetro lunar 27% del terrestre, superficie 7.4%, de la de la Tierra, volumen 2.0% de la de la Tierra, masa 1.2% de la de la Tierra, gravedad 16.6% de la de la Tierra.

Por la falta de atmósfera e hidrosfera en la Luna, como consecuencia de su escasa gravedad, entre la cara diurna y

nocturna la temperatura pasa de +100 °C a -170 °C. La conformación de su superficie está condicionada por procesos térmicos internos, volcánicos, tectónicos, magmáticos e impactos meteóricos. La edad de la Luna y su condición de satélite regular anuncian su carácter congénito con la Tierra.

3.1.6 Los asteroides. Hoy en día se conocen 2300 con exactitud para especificar su órbita, pero se han descubierto más de 7000 planetoides o pequeños planetas. Los asteroides son bloques de roca en bruto con densidad media de 3,5 g/cm³, y de forma irregular. Los mayores en tamaño son Ceres, de 1003 Km.; Pallas, de 608 Km.; Juno, de 247 Km., y Vesta de 538 Km. (magnitudes en km. de diámetro equivalente). Se distinguen tres grupos principales de asteroides: el grupo APOLLO, de pequeña órbita y por lo tanto con un perihelio entre el Sol y la Tierra; el grupo AMOR, de órbita mayor cuyo perihelio está entre la Tierra y Marte, y finalmente los TROYANOS, que son los subgrupos Aquiles y Patroclo ubicados sobre las distancias Lagrangeanas ($a \pm 60^\circ$), sobre la órbita de Júpiter donde están libres de perturbaciones gravitacionales.

3.1.7 Los cometas. Pueden ser periódicos y no periódicos; los primeros tienen varios retornos, los segundos caen al Sol o a Júpiter, o simplemente dan un paso y salen del sistema solar. Los primeros se dividen en los de período corto y período largo, según éste sea inferior o superior a 200 años. Están compuestos de un núcleo (de Metano, CO₂, hielo sucio y amoníaco) y una cola (sublimación del núcleo por radiación solar en la que las partículas del núcleo se disocian formando polvo, H, O, cianuro, etc., pero ionizados).

Se supone que dichos cuerpos provienen de la nube de OORT ubicada a 100 mil UA (Alfa del Centauro dista 275000 UA); los cuerpos son capturados de la nube por perturbaciones gravitatorias de estrellas vecinas y pasajeras. UA es una Unidad Astronómica UA, equivalente a la distancia media

entre la Tierra y el Sol, cuyo valor es 150 millones de km..

Cuadro 2. Distancia a los planetas en unidades astronómicas

Dist. del Sol a	Mer	Ven	Tie	Mar	Ast	Jup	Sat	Ura	Nep	Plu
Serie	0	3	6	12	24	48	96	192	384	768
Constante	+4	+4 --	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4
Suma+10=	---	-0,7	---	---	---	---	---	---	----	----
dist. Según Boode	0,4		1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	38,8	77,2
Valor real UA	0.39	0.72	1.00	1.52	---	5.20	9.54	19.2	30.0	39.3

Gonzalo Duque E. Guía Astronómica, Universidad Nacional, 1992.

Para calcular en UA la distancia entre los miembros del sistema solar, a la serie 0, 3, 6, 12... Boode sumó 4 y dividió por 10 el resultado. Se muestran a continuación en unidades astronómicas, la distancia según Boode y la distancia media real, del Sol a cada uno de los planetas.

3.1.7.1 Velocidades de escape. Son las velocidades cósmicas. La primera velocidad es la necesaria para que un cuerpo orbite en un campo de gravedad con trayectoria elíptica, y la segunda, para que escape de él con trayectoria hiperbólica. De la segunda velocidad, de escape, depende que un cuerpo celeste tenga atmósfera, pues semejante valor se compara con la velocidad térmica de las moléculas de gas, dada por la siguiente expresión que involucra la temperatura ambiental T:

$$v_{\sqrt{kT/m}}$$

Mientras la segunda velocidad, de escape, en la Tierra es 11,2 Km./seg, las velocidades de las moléculas de distintos

gases a 300°K de temperatura, son menores: la velocidad térmica de las moléculas de hidrógeno es 1,1 Km./s; la de helio, 0,8 Km./seg, y las de nitrógeno y oxígeno, próxima a 0,3 Km./s. Esto quiere decir que la Tierra puede retener en su atmósfera cualquier gas, pues su gravedad es suficiente para retener moléculas que a la temperatura media de la atmósfera terrestre alcanzan velocidades por debajo de la primera velocidad de escape.

La primera y segunda velocidad de escape son de la forma:

$$v_1 = \sqrt{gR}$$

$$v_2 = \sqrt{2gR}$$

$$v_2 = v_1\sqrt{2}$$

Siendo g el campo de gravedad y R la distancia media del cuerpo que órbita al centro de masa. La diferencia entre la primera y la segunda expresión es la raíz de dos, razón por la cual en la tercera expresión se expresa una en función de la otra.

Sea el momento para describir los ambientes que pueden posibilitar las atmósferas de los planetas del sistema solar, en términos de las principales variables físicas relevantes para la vida como la conocemos en la Tierra. Se incluye a la Luna como escenario estratégico para la logística y la investigación espacial. Los valores de la siguiente tabla también explican aspectos de los océanos y montañas en los planetas, particularmente la temperatura y la gravedad.

Cuadro 3. Las atmósferas y las gravedades de los cuerpos del sistema solar.

Cuerpo	Radio (m)	Gravedad Tierra= 1	Densidad Tierra= 1	Temp. (K)	Composición Atmósfera
Sol	7,0 x 10 ⁸	27,90	0,25	5780	e ⁻ , H ⁺ , H, He

Cuerpo	Radio (m)	Gravedad Tierra=1	Densidad Tierra=1	Temp. (K)	Composición Atmósfera
Mercurio	$2,4 \times 10^6$	0,39	0,98	400	Despreciable
Venus	$6,1 \times 10^6$	0,88	0,95	290	CO ₂ , N ₂ , SO ₂
Tierra	$6,4 \times 10^6$	1,00	1,00	250	N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Luna	$1,7 \times 10^6$	0,16	0,61	250	No hay
Marte	$3,4 \times 10^6$	0,38	0,71	200	CO ₂ , N ₂
Júpiter	$7,1 \times 10^7$	2,34	0,24	110	H ₂ , He, CH ₄
Saturno	$6,0 \times 10^7$	0,93	0,125	80	H ₂ , He, CH ₄
Titán	$2,6 \times 10^6$	0,13	0,34	80	N ₂ , CH ₄
Urano	$2,5 \times 10^7$	0,79	0,216	55	H ₂ , He
Neptuno	$2,2 \times 10^7$	1,09	0,286	45	H ₂ , He
Plutón	$1,4 \times 10^6$	0,06	0,36	40	Despreciable?

A. Bialko. Nuestro planeta la Tierra, MIR, 1989.

El Sol es una esfera gaseosa en su totalidad, cuya atmósfera tiene electrones (e^-) y núcleos de hidrógeno (H), o sea, protones. Siguen al Hidrógeno en cantidad los núcleos de helio (He). Al considerar la composición del Sol en función del número de átomos y no de la masa, es probable que de cada 1000 átomos del Sol, 920 sean de Hidrógeno y 80 de Helio.

Si Mercurio, prácticamente no tiene atmósfera (la aceleración de la gravedad y la velocidad de escape son tan pequeñas), Venus, tiene una atmósfera importante de CO₂ y N₂, sobre la tierra firme, lo que atenúa las variaciones diurnas y nocturnas de la atmósfera. Titán, con un tamaño comparable a Mercurio, tiene menor gravedad pero alcanza a tener atmósfera, a causa de la menor temperatura.

Igualmente la Tierra, tiene una atmósfera importante sobre el océano y la tierra firme, compuesta de N₂, O₂ y H₂O. Casi todos los procesos meteorológicos ocurren en la troposfera,

donde también se forman y están las nubes, mientras en la estratosfera reina ya una calma mayor.

La Luna, no tiene atmósfera, en razón de su baja gravedad. La temperatura en su superficie varía dramáticamente entre el día y la noche desde +118 °C hasta -153 °C, sin que sean factibles los vientos por falta de aire, pero sí la incidencia de la radiación solar por la cara iluminada de nuestro satélite.

Marte, tiene la suficiente gravedad para mantener una atmósfera débil algo similar en composición a la de Venus. Su menor gravedad explica el relieve más accidentado (mayores alturas y depresiones).

Júpiter con temperatura superficial semejante a la de Saturno, muestra una potente atmósfera que se transforma constantemente en líquido. En ambos planetas la composición de la atmósfera es la misma. Titán, por tener masa suficiente, pese al efecto de la temperatura recibida de Saturno, tiene una atmósfera de N₂ y CH₄, sobre el océano de metano (?).

Mientras Urano y Neptuno, con temperaturas superficiales similares, tienen una atmósfera de igual composición, Plutón, con una temperatura sensiblemente igual no parece poseer atmósfera, en razón de su baja gravedad.

La superficie de Plutón es quizá un paisaje helado. Los gases atmosféricos más pesados que la escasa masa del planeta pudiera retener (metano y amoníaco p. ej) tienen que estar completamente helados a las temperaturas que prevalecen allí, pues el punto de congelación del metano es de -182 °C, el del amoníaco incluso de -78 °C y el del anhídrido carbónico -78,5 °C.

3.2 TEORIAS ACERCA DE LA FORMACION DEL SISTEMA SOLAR

Se subdividen en catastróficas y evolutivas. Cronológicamente son:

3.2.1 Teoría Infinitesimal (Evolutiva) Immanuel Kant, 1755. Supone la existencia de polvo describiendo órbitas. Posteriormente esta nube de materia en suspensión se compacta formando los miembros del sistema solar, tras una acreción gravitacional, es decir, un colapso de esa nube debido a que su densidad ha superado un cierto valor crítico.

3.2.2 Teoría de la Nebulosa (Evolutiva) Simón Laplace, 1796. Supone una bola de gas caliente en rotación la cual, al enfriarse la masa, sufre achatamiento y de éste modo el desprendimiento gradual de anillos del sistema. Por cada anillo ecuatorial separado de la nebulosa se forma un planeta del sistema solar, a partir de núcleos de acreción.

3.2.3 Teoría Planetesimal (Catastrófica). Chamberlain-Moulton, 1905. Supone una estrella que se aproxima al Sol para arrancarle hinchazones ígneas; estas explosiones levantan materia pero los brazos que caen chocan con brazos en ascenso, resultando de las colisiones pequeñas esferas de tamaños variables y órbitas diferentes llamadas planetesimales: del choque entre ellas se formarán los planetas.

3.2.4 Teoría de la Gota (Catastrófica) Jeans-Jeffreys, 1919. Recoge las dos teorías anteriores. La estrella invasora al aproximarse al Sol, le arranca una inmensa gota de gas en estado caliente que al enfriarse se fragmentará produciendo esferas de tamaño ordenadamente variable (planetas).

3.2.5 Teoría Magnetohidrodinámica (Evolutiva) Hoyle, 1960. Las teorías evolutivas habían perdido su vigencia porque no explicaban por qué mientras el Sol tiene el 99.9% de la

masa del sistema solar, en los planetas se concentra el 98.0% del momento cinético; ello da origen a teorías catastróficas que resuelven el problema mas el principio de la magnetohidrodinámica salva la dificultad y se regresa a las teorías evolutivas.

Dice el principio de la magnetohidrodinámica que los gases responden a las leyes de la gravedad, la presión y la rotación cuando se encuentran en un campo magnético sostenido por una corriente eléctrica, y esa ley gobierna las nubes de polvo compuestas de gases ionizados en rápida rotación. Un gas ionizado es tan buen conductor de electricidad como un alambre de cobre.

La teoría supone que a través de esos gases que invadían el espacio, corrían líneas de fuerza magnetohidrodinámicas a manera de hilos largos y elásticos; en las partes internas de los filamentos el gas era más lento que en las porciones externas. Con el giro flexible se favorecen las turbulencias dentro del sistema provocándose el enroscamiento y alargamiento de los hilos en espiral y, al mismo tiempo, una transferencia del momento angular hacia las porciones exteriores, donde se formarán posteriormente los planetas, todo, a expensas de la parte central enriquecida de masa y donde se formará el Sol.

3.3 FORMACION DE LA TIERRA

Hace 4500 millones de años se forma la Tierra por aglomeraciones de partículas sólidas del espacio; pero el calor de la acreción (por el colapso gravitacional) y el de desintegración de elementos radiactivos, produce el núcleo de hierro líquido rodeado de materia turbulenta (calor).

Posteriormente por diferenciación de densidades de masa, el núcleo se rodea de un manto y éste de una corteza primitiva. Los gases atrapados por el manto escapan de la corteza produciendo una atmósfera enriquecida en agua.

Seguidamente sobreviene la precipitación para formar los océanos, en un proceso que dura 1500 millones de años. Como resultado aparece la atmósfera en la que el oxígeno se liberará gracias a la luz ultravioleta y a la fotosíntesis de los primeros organismos vivos.

En la atmósfera inicial, tan similar a la de las actuales emanaciones volcánicas, el 75% es vapor de agua, mientras en la actual atmósfera actual es sólo del 4%.

La vida en la Tierra se inicia en los océanos hace más de 3000 millones de años. En esta historia de evoluciones el clima ha mostrado dramáticas modificaciones. El último período glaciario terminó cerca de 10000 años atrás y al retroceder los hielos, el nivel del océano comenzó a subir rápidamente, alcanzado su nivel actual 6000 años atrás.

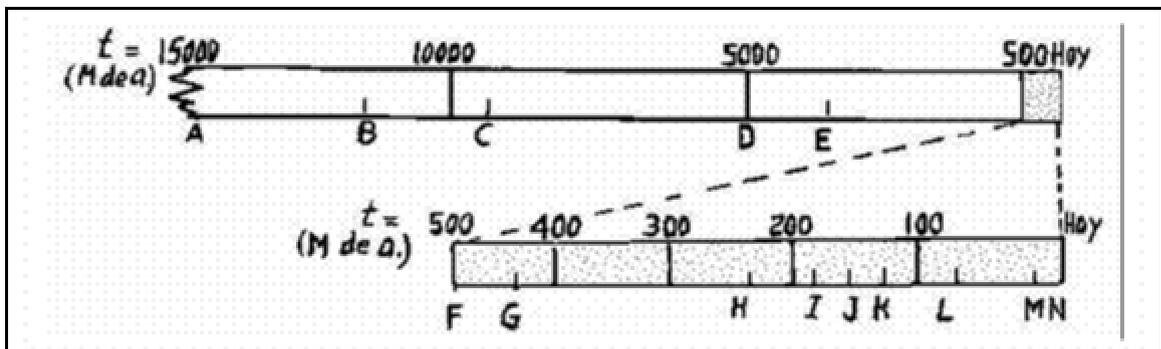


Figura 9. Diagrama temporal. El diagrama muestra cuánto tiempo hace que ocurrieron algunos acontecimientos importantes. Los últimos 500 millones de años se amplifican con un zoom. A. Big-Bang, B. formación de la galaxia, C. cúmulos globulares, D. formación del sistema solar, E. comienzo de la vida en la Tierra, F. abundancia de fósiles, G. vida en tierra firme, H. formación de Pangea, I. aparición de los dinosaurios, J. rotura de Pangea, K. aparición de los mamíferos, L. extinción de los dinosaurios, M. hombre primitivo, N. actualmente (tiempo en millones de años). Adaptado de El Universo Desbocado, Paul Davies.