

Sistema Solar

Magda Stavinschi¹, Beatriz García², Andrea Sosa³

1 Instituto Astronómico de la Academia Rumana (Bucarest, Rumania)

2 Instituto de Tecnologías en Detección y Astroparticulas y UTN Mendoza

3. Universidad de la República, Uruguay

Resumen

Sin duda, en un Universo en el que hablamos acerca de los sistemas estelares y solares, de los planetas y de los exoplanetas, el sistema más conocido es el Sistema Solar. Podríamos pensar que todos saben lo que es el Sol, cuáles son los planetas, que son los cometas y los asteroides. Pero, ¿es esto realmente así? Si queremos comprender al Sistema Solar desde el punto de vista científico, tenemos que saber las reglas que definen un sistema.

Los cuerpos que integran el Sistema Solar, de acuerdo con resolución de la Unión Astronómica Internacional, de 24 de agosto de 2006 son:

- planetas
- satélites naturales de los planetas
- planetas enanos
- otros cuerpos más pequeños: asteroides, meteoritos, cometas, polvo, los objetos del Cinturón de Kuiper, etc.

Por extensión, cualquier otra estrella rodeada por los cuerpos celestes de acuerdo a las mismas leyes que rigen nuestro sistema, se llama sistema exoplanetario. Una de las preguntas a responder sobre este tema es ¿Cuál es el lugar del Sistema Solar en el Universo?, pero no es la única. En este capítulo, intentaremos presentar las características más importantes de nuestro sistema

Objetivos

- Saber qué lugar ocupa el Sol en el Universo.
- Conocer que objetos forman el Sistema Solar.
- Conocer detalles de los diferentes cuerpos del Sistema Solar, especialmente de los más destacados.

Sistema Solar

Un sistema es, por definición, un conjunto de elementos (principios, normas, fuerzas, etc), que interactúan entre sí de acuerdo con una serie de principios o reglas.

Para definir el Sistema Solar indicaremos, en principio, los elementos del conjunto, que está integrado por una estrella, el Sol, y todos los cuerpos que lo rodean y que están unidos a él por la fuerza de gravedad.



Fig. 1 Sistema Solar en escala de tamaños

El Sistema Solar está situado en uno de los brazos exteriores de nuestra galaxia, también llamada Vía Láctea. Este brazo se llama el brazo de Orión. Está situado en una región de una densidad estelar relativamente pequeña



Fig. 2 Simulación de la Vía Láctea y la ubicación del Sol

El Sol, junto con todo el Sistema Solar, está en un movimiento de revolución alrededor del centro de nuestra galaxia, situado a una distancia de entre 25.000 y 28.000 años luz (aproximadamente la mitad del radio de la galaxia), con un período de revolución de entre 225250 millones de años (el año galáctico del Sistema Solar). La velocidad a la que se desplaza en esta órbita casi circular es de aproximadamente 220 km/s, mientras que la dirección del movimiento es hacia la posición actual de la estrella Vega.

Nuestra galaxia se compone de aproximadamente 200 mil millones de estrellas, junto con sus planetas, y de más de 1.000 nebulosas. La masa de todo el conjunto es aproximadamente 1000 mil millones de veces mayor que la del Sol y su diámetro es de unos 100.000 años luz.

Muy cerca del Sistema Solar está el sistema de Alfa Centauri (la estrella más brillante de la constelación del Centauro), compuesto de tres estrellas, es decir, un par de estrellas (Alfa Centauri A y B), similares al Sol, que giran a una distancia de 0,2 años luz alrededor de una enana roja, llamada Alfa Centauri C, de una luminosidad relativamente pequeña. La última es la estrella más cercana al Sol, se encuentra a una distancia de 4,24 años luz; es por eso que también se llama "Proxima Centauri".

Nuestra galaxia es parte de un grupo de galaxias llamado Grupo Local, compuesto de tres galaxias grandes y una serie de otras 30 más pequeñas. Nuestra galaxia tiene la forma de espiral barrada. Los brazos de esta espiral que, salen de los extremos de la barra formada por una particular distribución de estrellas, contienen, entre otras cosas, materia interestelar, nebulosas y estrellas jóvenes que nacen de forma permanente de esa materia. El centro de la galaxia está compuesto por viejas estrellas concentradas en grupos de forma esférica. Nuestra galaxia tiene aproximadamente unos 200 grupos de estos, de los que sólo 150 son más conocidos. Estos grupos se concentran sobre todo en el centro galáctico. El Sistema Solar está situado a 20 años luz por encima del plano de simetría ecuatorial y 28.000 años luz de distancia desde el centro galáctico. El centro de la galaxia se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario, entre 25.000 y 28.000 años luz de distancia desde el Sol.

La formación y evolución del Sistema Solar

De acuerdo a la teoría estándar, hace unos 4.600 millones de años el sistema solar se formó a partir de la contracción gravitatoria de una nube de gas y polvo interestelar. El colapso de la nube se inició a partir de una perturbación fuerte (posiblemente un estallido de supernova), que hizo que la fuerza gravitatoria venciera a la presión de los gases. La conservación del momento angular hizo que la nebulosa girara cada vez más rápido, se fuera achatando, y diera lugar a un **protosol** en su centro, y a un **disco protoplanetario** de gas y polvo a su alrededor.

En el disco protoplanetario fueron condensando pequeños núcleos sólidos *planetesimales*), que luego se fueron acumulando por un proceso de acreción hasta formar los planetas.

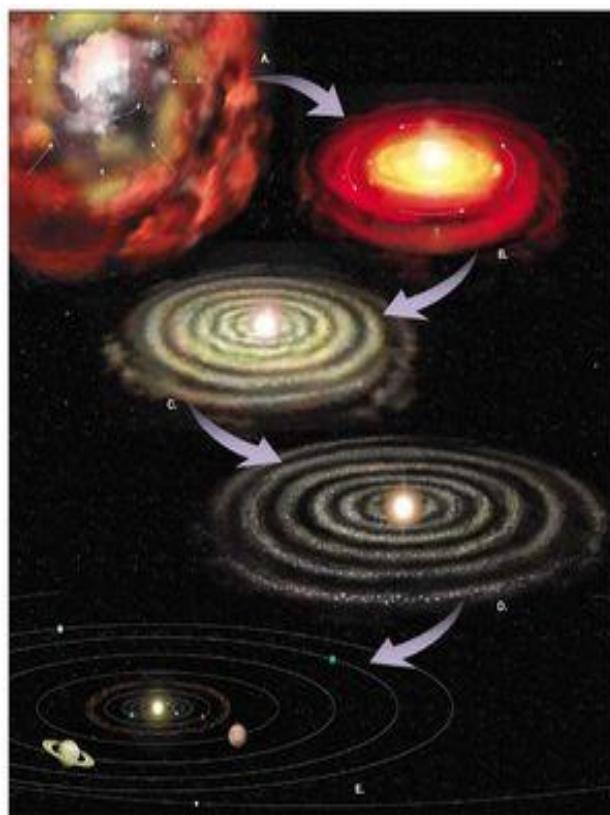


Fig. 3 Esquema del procesos de formación del Sistema solar, según la Teoría Standard, basada en la “hipótesis nebulosa”, propuesta originalmente por Kants y Laplace en el siglo XVII

La hipótesis de una nebulosa primitiva fue propuesta en 1755 por Emmanuel Kant y también por separado por Pierre-Simon Laplace.

La teoría estándar (basada en la “Hipótesis Nebular” propuesta originalmente por Kant y Laplace en el siglo XVII) explica la coplanaridad y quasi-circularidad de las órbitas y ha sido confirmada actualmente por observaciones de varios sistemas planetarios en torno a otras estrellas.

EL SOL

El Sol es una estrella de masa intermedia. Su edad es de aproximadamente 4,6 mil millones años. En la actualidad, el Sol ha completado cerca de la mitad de su ciclo de evolución, que está relacionada con la transformación de hidrógeno en helio en su núcleo, mediante el mecanismo de fusión nuclear. Cada segundo, en el núcleo del Sol, más de cuatro millones de toneladas de materia se convierten en materia más pesada y energía, generando así no sólo helio, sino también neutrinos y radiación electromagnética.

La mayor parte del Sol (74%) es hidrógeno, casi el 25% es helio, mientras que el resto son elementos pesados.

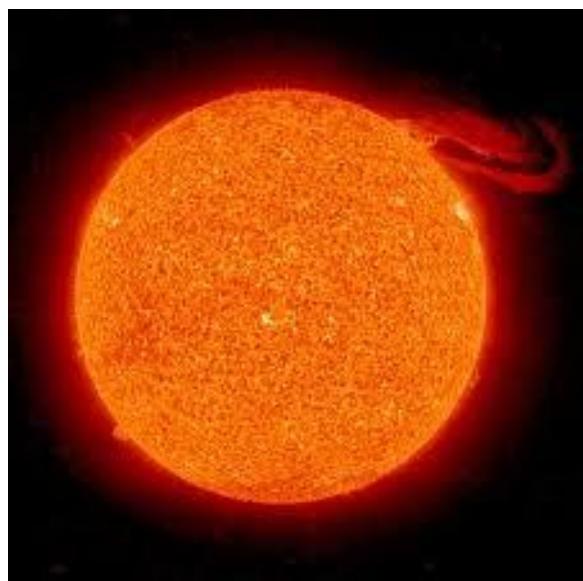


Fig. 3: El Sol en infrarojo.

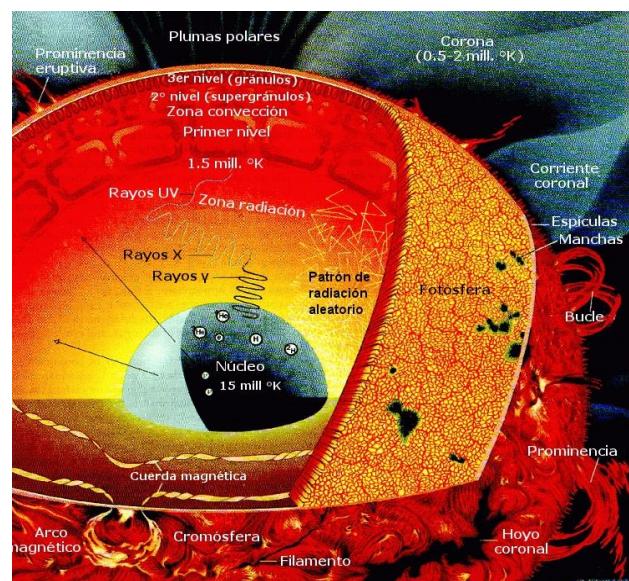


Fig. 4. Estructura interna del Sol

El ciclo de la vida del Sol

En unos 5 mil millones de años, el Sol se convertirá en una gigante y luego en una enana blanca, un período en el que nacerá una nebulosa planetaria. Se agotará el hidrógeno, y esto dará lugar a cambios radicales, incluida la destrucción total de la Tierra. La actividad solar, más exactamente su actividad magnética, se detecta a la vista por el número y la dimensión de las manchas en su superficie, así como por las erupciones solares y las variaciones del viento solar, que disipan la materia de la composición del Sol en el Sistema Solar e incluso más allá.

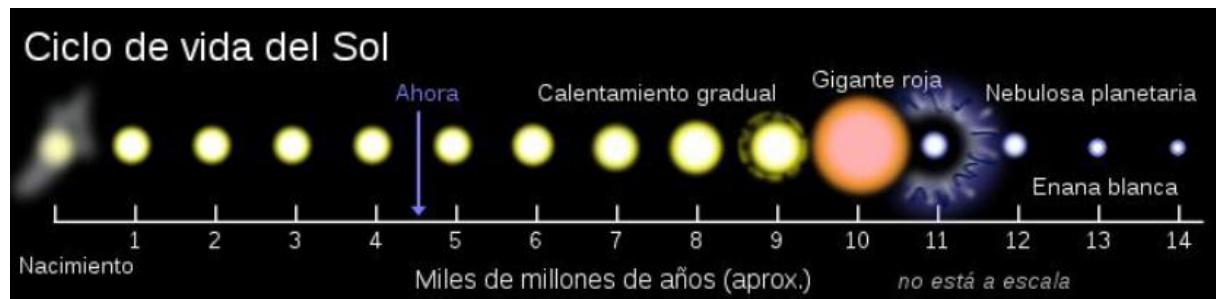


Fig. 5. Ciclo de vida del Sol, desde protoestrella hasta enana blanca.

Planetas

Para clasificar a los planetas, se utiliza la definición dada por la Unión Astronómica Internacional (UAI), en su 26a Asamblea General, que tuvo lugar en Praga, en 2006.

En el Sistema Solar un planeta es un cuerpo celeste que:

1. está en órbita alrededor del Sol,
2. tiene masa suficiente para mantener el equilibrio hidrostático (forma casi redonda), y ha "limpiado la vecindad" alrededor de su órbita.

Un cuerpo no-satélite que cumpla sólo los dos primeros de estos criterios se clasifica como "planeta enano".

Según la UAI, los planetas y los planetas enanos son dos clases distintas de objetos. Un no-satélite que cumpla sólo el primer criterio, se denomina un "pequeño cuerpo del Sistema Solar" (SSSB), tal es el caso de, por ejemplo, los asteroides.

Los proyectos iniciales de re-clasificación de cuerpos en el Sistema Solar planearon incluir a los planetas enanos como una sub-categoría de los planetas, pero como esto podría haber llevado a la adición de varias decenas de nuevos planetas en el Sistema, este proyecto fue abandonado. En 2006 se añadieron tres planetas enanos (Ceres, Eris y Makemake) y la re-clasificación de uno (Plutón). Así, el Sistema Solar-2006 tenía cinco planetas enanos: Ceres, Plutón, Makemake, Haumea y Eris. Con el correr de los años nuevos cuerpos que estaban en estudio fueron agregándose a la lista de planetas enanos.

La definición distingue los planetas de los cuerpos más pequeños y no es útil fuera del Sistema Solar, donde los cuerpos más pequeños no se pueden detectar con la tecnología actual. Los planetas extrasolares, o exoplanetas, se tratan por separado en virtud de un proyecto complementario de 2003 de directriz para la definición de los planetas, que los distingue de las estrellas enanas que son más masivas y de mayor tamaño.

Los 8 planetas del Sistema Solar pueden dividirse en:

- 4 planetas Terrestres, en la región más interna (Mercurio, Venus, Tierra y Marte).
Rocosos, con densidades aproximadas entre 4 y 5 g/cm³.
- 4 planetas Gigantes, en la región más externa, que a su vez se dividen en:
 - Gigantes Gaseosos: Júpiter y Saturno. Más ricos en H y He, con una composición química similar a la solar.
 - Gigantes Helados: Urano y Neptuno. Predominan los hielos con respecto a los gases. Su composición química difiere bastante de la solar.

Los planetas gigantes son más ligeros que los terrestres, con densidades entre 0.7 g/cm³ (Saturno) y 2 g/cm³.

Los planetas gigantes se habían formado en escalas de tiempo del orden de 10 millones de años (los terrestres lo hicieron en unos 100 millones de años). No se formaron “in situ”, hubo una migración causada por el intercambio de momento angular entre los planetas gigantes en formación y los planetesimales que eran barridos hacia otras regiones del Sistema Solar o eyectados del Sistema.

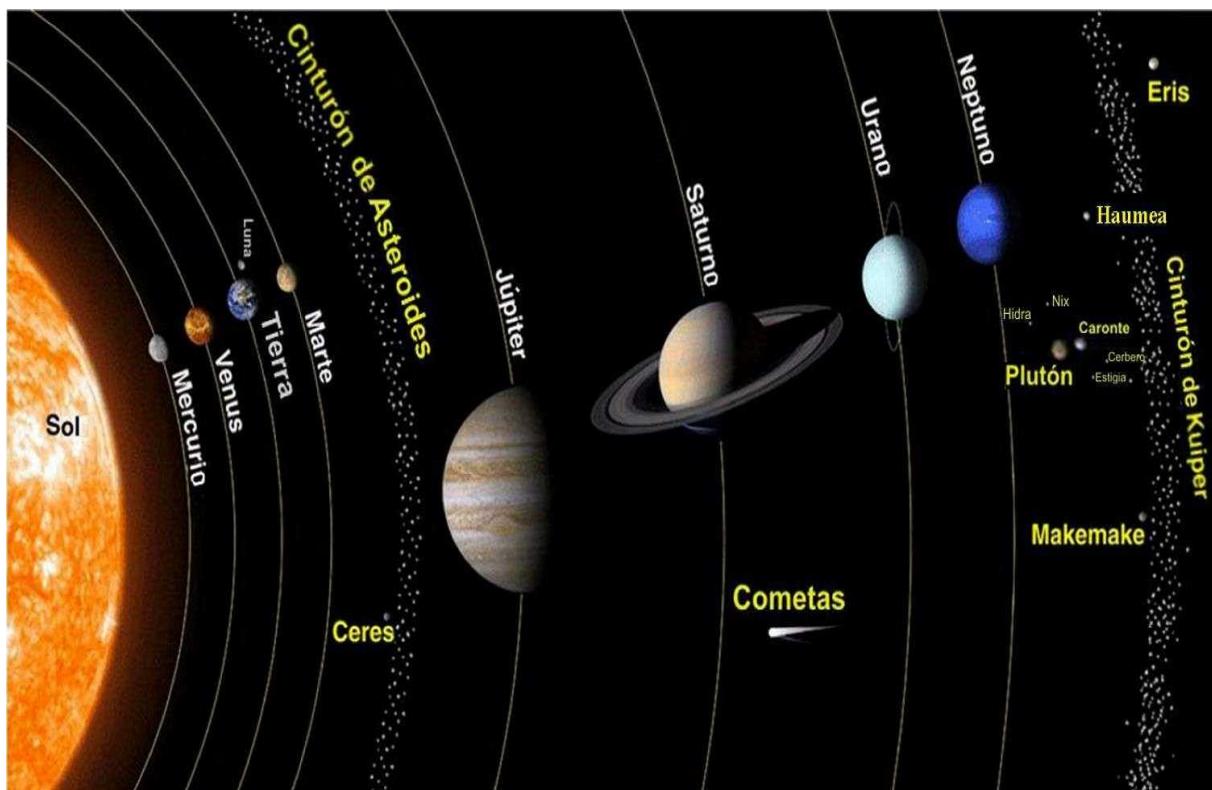


Fig 6. Cuerpos del Sistema Solar (la imagen no está en escala)

Caracterizar a cada planeta implica determinar sus propiedades generales, tales como masa, radio, densidad, período de rotación en torno de su eje (el dia), periodo de traslación, en torno del Sol, (el año), composición química de su estructura y de su atmósfera, entre otras magnitudes.

En este texto, no presentaremos las tablas de datos, ya que los mismos están disponible en Internet, además de los libros tradicionales. Aquí nos concentraremos únicamente en la descripción de la naturaleza de cada cuerpo, su origen, y aquellos datos de interés o de color para que el docente pueda trabajar sobre el tema en el aula. (Para datos específicos de los planetas y cuerpos del Sistema Solar ver información en Internet)

MERCURIO

Mercurio es el planeta más cercano al Sol y el planeta más pequeño del Sistema Solar. Es un planeta telúrico¹ en el interior del Sistema Solar. Recibe su nombre del dios romano de las artes y el comercio.

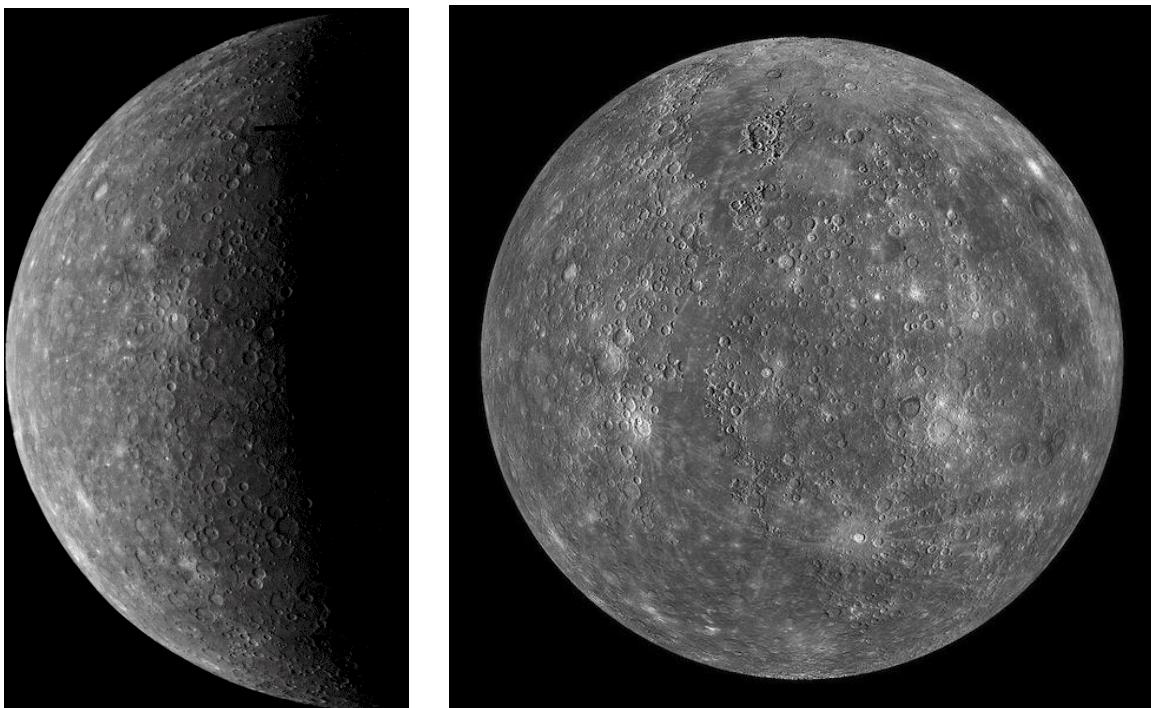


Fig. 7a y 7b : Planeta Mercurio

¹ Un planeta telúrico es un planeta que está compuesto principalmente de rocas de silicato. Dentro del Sistema Solar, los planetas terrestre (o telúrico) son los planetas interiores más cercanos al Sol.

No tiene ningún satélite natural. Es uno de los cinco planetas que pueden verse desde la Tierra a simple vista. Se ha observado con el telescopio sólo desde el siglo XVII. Últimamente, se estudió por dos sondas espaciales: Mariner 10 (tres veces en 1974-1975) y Messenger (dos veces en 2008).

Aunque puede ser visto a simple vista, no es fácilmente observable, precisamente porque es el planeta más cercano al Sol. Su lugar en la bóveda celeste se encuentra muy cerca del Sol y se puede también observar sólo alrededor de las elongaciones, un poco antes del amanecer y un poco después del atardecer. Sin embargo, las misiones espaciales nos han dado la información suficiente, lo que muestra sorprendentemente que Mercurio es muy similar a la Luna.

Vale la pena mencionar algunas características del planeta: es el más pequeño del Sistema Solar y el más cercano al Sol. Tiene la órbita más excéntrica ($e = 0,2056$) y también la más inclinada en sentido contrario a la eclíptica ($i \sim 7^\circ 5$). Su período sinódico es de 115,88 días, lo que significa que tres veces al año se sitúa en una posición de máxima elongación oeste del Sol (también se le llama "la estrella de la mañana", y en las tres posiciones de máxima elongación al este del Sol se llama "la estrella de la tarde"). En cualquiera de estos casos, la elongación no excede los 28° .

Su radio de 2.440 kilómetros hace que sea el planeta más pequeño del Sistema Solar, más pequeño incluso que dos de los satélites galileanos de Júpiter: Ganímedes y Calisto.

La densidad de $5,427 \text{ g/cm}^3$ lo convierte en el más densa después de la de la Tierra ($5,5 \text{ g/cm}^3$). El hierro podría ser el principal elemento pesado (70% contra el 30% materia rocosa), que contribuye a la gran densidad de Mercurio.

En general, se asegura que Mercurio no tiene atmósfera, lo cual no es correcto, pero su atmósfera es muy poco común y muy tenue, formada por oxígeno molecular 42%, sodio 29,0%, hidrógeno 22,0%, helio 6,0%, potasio 0,5% y trazas de argón, nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua, xenón, criptón y neón.

Mercurio es el único planeta (aparte de la Tierra) con un campo magnético significativo, que, aunque es del orden de 1/100 de la del campo magnético terrestre, es suficiente para crear una magnetosfera, que se extiende hasta 1,5 radios planetarios, frente a 11,5 radios en el caso de la Tierra. Por último, hay otra analogía con la Tierra: el campo magnético es bipolar, con un eje magnético inclinado 11° , frente al eje de rotación.

En Mercurio las temperaturas varían enormemente. Cuando el planeta pasa por el perihelio, la temperatura puede llegar a 427°C en el ecuador, a mediodía, es decir, suficiente para provocar la fusión de un metal como el zinc. Sin embargo, inmediatamente después de la caída la noche, la temperatura puede bajar a -183°C , lo que hace que el aumento de la variación diurna sea de 610°C !. Ningún otro planeta sufre una diferencia tan grande, que puede ser debida a la intensa radiación solar durante el día, la ausencia de una atmósfera densa y la duración del día de Mercurio (el intervalo entre el amanecer y el atardecer es de casi tres meses terrestres, es decir, tiempo suficiente para almacenar calor o, análogamente, frío durante una noche de igual longitud).

os cráteres de Mercurio son muy similares a los de la Luna en la morfología, la forma y estructura. El más notable es el de la cuenca de Caloris, testimonio de una gran catástrofe.

Los impactos que generan cuencas son los acontecimientos más catastróficos que pueden afectar la superficie de un planeta. Pueden causar el cambio de la corteza planetaria, e incluso desórdenes internos. Esto es lo que sucedió cuando se formó el cráter Caloris con un diámetro de 1.550 kilómetros.

El avance del perihelio de Mercurio

Al igual que cualquier otro planeta, el perihelio de Mercurio no es fijo, sino que tiene un movimiento regular alrededor del Sol. Mucho tiempo se consideró que este movimiento era de 43 segundos de arco por siglo más rápido comparado con las previsiones de la mecánica celeste clásica "newtonianas". Este avance del perihelio fue predicho por la teoría general de la relatividad de Einstein, siendo la causa la curvatura del espacio debido a la masa solar. La coincidencia entre el avance observado del perihelio y el predicho por la relatividad general fue la prueba en favor de la validez de la hipótesis de esta última.



Fig. 8 Movimiento de precesión del perihelio de Mercurio

VENUS

Uno de los cuatro planetas del sistema interno, de constitución similar a la de la Tierra y el segundo en distancia al Sol. Lleva el nombre de la diosa romana del amor y la belleza.

Su cercanía al Sol, la estructura y la densidad de la atmósfera de Venus hace que sea uno de los cuerpos más calientes en el Sistema Solar. Cuenta con un campo magnético muy débil y

no tiene satélites naturales. Es uno de los planetas con un movimiento de revolución retrógrada y el único con un período de rotación mayor que el período de la revolución. Es el cuerpo más brillante en la bóveda celeste después del Sol y la Luna.

La trayectoria de Venus alrededor del Sol es casi un círculo: su órbita tiene una excentricidad de 0,0068, es decir, la más pequeña del Sistema Solar. Un año de Venus es algo más corto que un día sideral de Venus, en una proporción de 0,924.

Su tamaño y estructura geológica es similar a la de la Tierra. La atmósfera es muy densa. La mezcla de CO₂ y densas nubes de dióxido de azufre crear el mayor efecto invernadero del Sistema Solar, con temperaturas de unos 460 ° C. Temperatura de la superficie de Venus es mayor que la de Mercurio, aunque Venus se encuentra casi dos veces más alejado del Sol que Mercurio, y sólo recibe aproximadamente el 25% de la radiación solar que Mercurio. La superficie del planeta tiene un relieve casi uniforme. Su campo magnético es muy débil, pero que arrastra una cola de plasma de 45 millones kilómetros de largo, observada por primera vez por el Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) en 1997.

Una característica notable de Venus es su rotación retrógrada (aunque Urano también la presenta): gira alrededor de su eje muy lentamente y en sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que los planetas del Sistema Solar lo hacen en general en sentido horario. Su período de rotación se ha conocido en 1962. Esta rotación - lenta y anti-horario- produce días solares mucho más cortos que el día sideral, siendo estos días más largos que en los planetas con rotación en sentido horario. En consecuencia, hay menos de 2 días completos en un año solar de Venus. Las causas de la rotación retrógrada de Venus no se han aclarado todavía. La explicación más probable sería una colisión con otro cuerpo de grandes dimensiones en la formación de los planetas del Sistema Solar. También podría ser que la atmósfera de Venus influyera en la rotación del planeta debido a su gran densidad.



Fig. 9: Superficie de Venus, Fig. 10. Venus en luz Visible (Telescopio Hubble) (Misión Magallanes, color falso)

Venus presenta una atmósfera singular.

Con una presión en la superficie 93 bar (9,3MPa), 90 veces mayor que la de la Tierra y compuesta principalmente por ~96,5% dióxido de carbono, ~3,5% nitrógeno, 0,015% dióxido de sulfuro, 0,007% argón, 0,002% vapor de agua, 0,001 7% monóxido de carbono, 0,0012% helio, 0,0007% neón.

Se ha descendido en Venus en 1975 y 1982: las Misiones Venera de la ex Unión Soviética lograron capturar imágenes de su superficie rocosa antes de ser destruidas, menos de 2 horas después de aterrizar, por la presión y la temperatura en la superficie del planeta.

Venus la hermana gemela de la Tierra. Analogía.

- Nacieron al mismo tiempo, desde el mismo gas y nubes de polvo, hace 4,6 millones de años.
- Ambos son planetas del Sistema Solar interno.
- Sus superficies tienen un terreno variado: montañas, campos, valles, altiplanos, volcanes, cráteres de impacto, etc.
- Ambos tienen un número relativamente pequeño de los cráteres, un signo de una superficie relativamente joven y de una atmósfera densa.
- Tienen parecidas composiciones químicas.
- Se ha descubierto actividad volcánica en Venus.

Tránsito de Venus

El tránsito de Venus se produce cuando el planeta pasa entre la Tierra y el Sol, y la sombra de Venus cruza el disco solar. Debido a la inclinación de la órbita de Venus, frente a la terrestre, este fenómeno es muy raro en nuestra escala de tiempo. Tiene lugar dos veces por siglo, separadas 8 años, a este doble tránsito le separa del siguiente más de un siglo (105,5 y 121,5 años). Los últimos tránsitos tuvieron lugar el 8 de junio de 2004 y el 6 de junio de 2012 y para el siguiente habrá de esperar hasta el 11 de diciembre 2117.

TIERRA

La Tierra es el tercer planeta más distante del Sol en el Sistema Solar, y es el quinto en dimensiones. Pertenece a los planetas interiores. Es el planeta más grande de los rocosos, y el único en el Universo conocido donde logró adaptarse la vida. La Tierra se formó hace unos 4,57 mil millones. Su único satélite natural, la Luna, comenzó su órbita poco después de la de la Tierra, hace unos 4533 millones años y existen varias teorías sobre su origen. El 71% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, el resto del 29% es sólido y "seco", pero el agua en total constituye una cantidad ínfima de materia en comparación con la estructura general del planeta.



Fig. 11: La Tierra y la luna (Misión Galileo, 1998)

Entre la Tierra y el resto del Universo existe una interacción permanente. Así, la Luna es la causa de las mareas. Además, ha influido de forma continua en la velocidad del movimiento de rotación de la Tierra. Todos los cuerpos del globo terrestre, son atraídos por la Tierra, la fuerza de atracción se llama gravedad y la aceleración con la que estos cuerpos caen en el campo gravitacional se llama aceleración gravitatoria (se denota con una " g " = 9,81 m/s²). Se cree que la razón de la aparición de los océanos fue una "lluvia" de los cometas en un período temprano de la Tierra. Más tarde, los impactos de asteroides ayudaron a modificar el medio ambiente de manera decisiva. Los cambios en la órbita del planeta pueden considerarse como los responsables de las edades de hielo que tuvieron lugar en la historia, que cubrieron la superficie terrestre con una capa de hielo.

La presión de su atmósfera sobre la superficie es de 101,3 kPa y está compuesta por 78% nitrógeno (N₂), 21% oxígeno (O₂), 0,93% argón, 0,04% dióxido de carbono y 1% de vapor de agua (varía con el clima).

La Teoría más aceptada relacionada con la existencia de la Luna, es la de un impacto en épocas remotas del planeta Tierra, cuando un cuerpo de enormes dimensiones impactó contra su superficie y produjo el denominado «efecto gota», la Luna sería precisamente la gota que se desprende de la superficie de la Tierra, pero que cae constantemente, manteniéndose en órbita.

MARTE

Marte es el cuarto planeta en distancia al Sol en el Sistema Solar y el segundo en dimensiones después del Mercurio. P pertenece al grupo de los planetas telúricos. Lleva el nombre del dios romano de la guerra, debido a su color rojizo. Varias misiones espaciales lo han estudiado desde 1960 para averiguar lo más posible acerca de su geografía, clima, así como otros detalles y continuarán haciéndolo en busca de agua y, tal vez, señales de vida, debajo de su superficie.

Marte puede ser observado a simple vista. Es menos brillante que Venus y sólo rara vez más brillante que Júpiter. Sobrepasa al último durante sus configuraciones más favorables (oposiciones). De entre todos los cuerpos del Sistema Solar el planeta rojo es el que más ha atraído la mayoría de los autores de ciencia ficción. La razón principal de esto son sus famosos canales, así llamados por primera vez en 1858 por Giovanni Schiaparelli y considerados por ese autor como el resultado de construcciones, lo que hoy sabemos era completamente equivocado. Se propuso que el color rojo de Marte se debe al óxido de hierro (también llamado hematites), que se encuentra en los minerales en su superficie; estudios recientes proponen que la presencia de ferrihidrita, un mineral de hierro rico en agua, es la razón por la que Marte es rojo (Valantinas et al., 2025). Marte tiene un relieve muy abrupto, con la montaña más alta del Sistema Solar (el volcán Monte Olimpo), con una altura de unos 25 km, o el mayor cañón conocido sobre un planeta (Valles Marineris), con una profundidad media de 6 km.

Este planeta tiene en el centro un núcleo de hierro con un diámetro de aprox. 1700 kilómetros, cubierto con un manto olivino y una corteza basáltica, con una anchura media de 50 km. Está rodeado por una atmósfera compuesta principalmente de dióxido de carbono. Solía tener una hidrosfera activa, es decir, hubo agua en su superficie alguna vez, pero los cambios en las condiciones de presión de la atmósfera, probablemente debido a la pérdida de su campo magnético, y de su temperatura, llevaron a que el agua se evapore a temperatura ambiente. En la actualidad, la atmósfera marciana se caracteriza por presentar una presión en la superficie de 0.6–1.0 kPa y estar compuesta por 95.72% dióxido de carbono; 2.7% nitrógeno; 1.6% argón; 0.2% oxígeno; 0.07% monóxido de carbono, 0.03% vapor de agua; 0.01% óxido nítrico; y trazas de neón, criptón, formaldehido, xenón, ozono y metano.

Marte tiene dos satélites naturales, Fobos y Deimos, probablemente asteroides capturados por el planeta. El diámetro de Marte es dos veces menor que el de la Tierra y su superficie es igual a la de los continentes. Su masa es la décima parte de la terrestre. Su gravedad es algo menor que la de Mercurio, aunque su masa sea dos veces mayor.

Los planos del ecuador marciano y el de su órbita en torno del Sol no coinciden. La inclinación del eje de Marte es similar a la de la Tierra, es por eso que en Marte hay estaciones como en la Tierra. Las dimensiones de los casquetes polares varían durante las estaciones a través del intercambio de dióxido de carbono y agua con la atmósfera. El día

marciano es sólo 39 minutos más largo que el terrestre. Y debido a su relativa lejanía del Sol, el año tiene algo más de 322 días que el año terrestre.

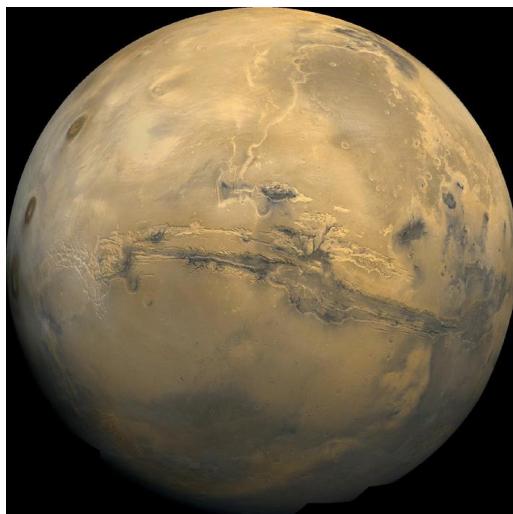


Fig. 12a: Marte, Fig. 12 b: Monte Olimpo

Marte es el planeta exterior más cercano a la Tierra; esta distancia es menor cuando está en oposición, con la Tierra entre él y el Sol.

El 27 de agosto de 2003 Marte estuvo a sólo 55,76 millones de km de distancia de la Tierra, es decir, a 0,3727 UA, la distancia más pequeña registrada en 59.618 años. Tal evento, dió paso a todo tipo de fantasías, por ejemplo, que Marte podría haber sido visto tan grande como la Luna. Sin embargo, con un diámetro aparente de 25,13 segundos de arco, Marte puede verse a simple vista como un punto, mientras que la Luna se extiende sobre un diámetro aparente de 30 minutos de arco (1800 segundos de arco). Una cercanía similar a la de 2003 tendrá lugar el 28 de agosto de 2287, cuando la distancia entre los dos planetas sea de 55,69 millones de km.

Una misión terrícola descendió en Marte por primera vez en 1976, la Vikingo I. Desde entonces, un importante número de satélites lo orbitan y diversas sondas recorren su superficie. Los logros más importantes respecto de descubrimientos y tecnología en Marte lo constituyen el rover Curiosity (2012), el Perseverance (2021) y el pequeño helicóptero que llevaba, el Ingenuity (2021).

JÚPITER

Júpiter es el quinto planeta en distancia al Sol, con un diámetro 11 veces mayor que el de la Tierra, es el más grande de todos los planetas del Sistema Solar. Respecto de nuestro

planeta, su masa es 318 veces mayor y su volumen 1.300 veces mayor. Orbita en torno del Sol a una distancia de 778.547.200 kilómetros.

Júpiter es el cuarto objeto más brillante del cielo a simple vista (después del Sol, la Luna, Venus y a veces Marte). El descubrimiento de sus cuatro grandes satélites: Io, Europa, Ganimedes y Calisto (conocidos como los satélites galileanos) por Galileo Galilei y Simon Marius en 1610 fue el primer descubrimiento de un centro de movimiento aparente que no se encontraba en la Tierra. Fue un punto importante a favor de la teoría heliocéntrica del movimiento planetario de Nicolás Copérnico. La comprobación por Galileo de la teoría copernicana le trajo problemas con la Inquisición. Antes de las misiones Voyager (en la década del 70 del siglo XX), se conocían sólo 16 de sus satélites: hoy sabemos que tienen más de 100 y seguramente algunos aún si descubrir.

Es probable que el núcleo de planeta sea de material sólido, entre 10 y 15 veces la masa de la Tierra. Por encima de este núcleo está la parte principal del planeta, compuesta de hidrógeno metálico líquido: debido a la temperatura y la presión dentro de Júpiter, el hidrógeno es un líquido y no un gas. En este estado, el material es un conductor eléctrico y la fuente del campo magnético de Júpiter. Esta capa contiene algo de helio y algunos restos de hielo.

La capa más superficial del planeta está compuesta principalmente de hidrógeno molecular y helio, líquido en la parte más interna y gaseoso en la externa. La atmósfera que vemos es sólo la parte superior de esta profunda capa. El agua, el dióxido de carbono, el metano, así como otras moléculas simples también están presentes en pequeñas cantidades.

La atmósfera de Júpiter se compone de aproximadamente 86% de hidrógeno y 14% de helio, con rastros de metano, agua, amoníaco y otros elementos. Se cree que su composición es muy parecida a la estructura original de la nube de la cual se formó el Sistema Solar (en ese sentido, Urano y Neptuno que también son gaseosos, tienen menos hidrógeno y helio).

Un rasgo distintivo de Júpiter es su **Gran Mancha Roja** que se observó por primera vez gracias a telescopios terrestres, hace más de 300 años. Es un óvalo de aproximadamente 12.000 por 25.000 kilómetros, lo suficientemente grande como para abarcar dos Tierras. Se trata de una región de alta presión, cuyas nubes superiores son mucho más altas y más frías que las zonas circundantes. Estructuras similares se han observado en Saturno y Neptuno. No se sabe aún por qué este tipo de estructuras resisten tanto tiempo.

En Júpiter y otros planetas gaseosos soplan vientos a gran velocidad, en amplias bandas de latitud. Los vientos soplan en direcciones opuestas en dos bandas adyacentes. Las diferencias de temperatura o de composición química son responsables de la diferente coloración de las bandas, un aspecto que domina la imagen del planeta. La atmósfera de Júpiter es muy turbulenta. Los vientos son impulsados, en gran medida, por el calor interno del planeta, no provienen del Sol, como pasa en la Tierra. La atmósfera joviana presenta una presión en la superficie 20–200 kPa (capas de nubes) y su composición química es 90% hidrógeno (H_2), 10% helio, ~0,3% metano, ~0,036% amoniaco, ~0,003% deuterio (HD), 0,0006% etano, 0,0004% agua. Y además hielos de: amoniaco, agua e hidro sulfuro de amonio (NH_4SH).

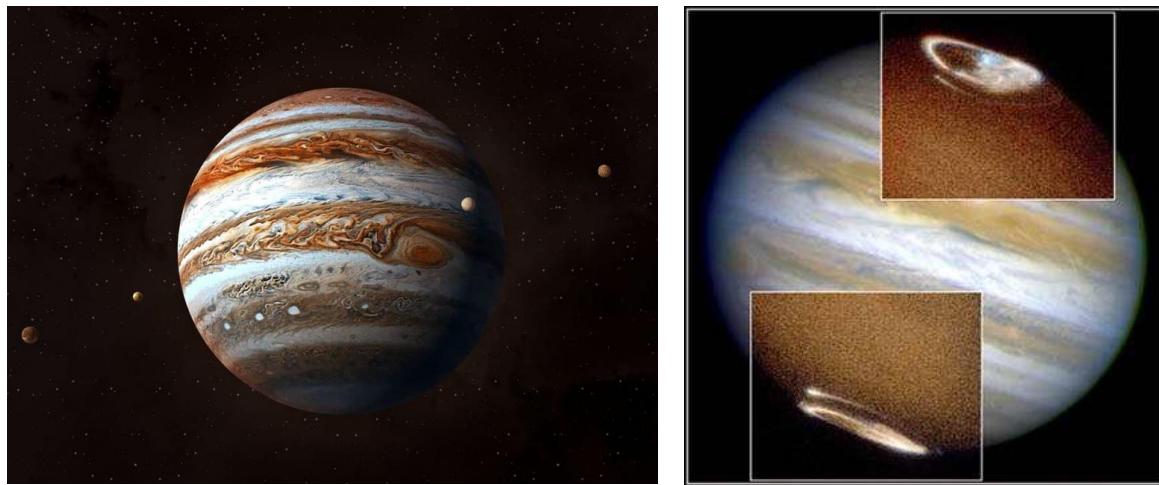


Fig. 13a Júpiter, Fig. 13b: Auroras en Júpiter (Créditofoto del Telescopio Hubble)

La Magnetosfera de Júpiter es muy intensa, 14 veces más fuerte que el de la Tierra y se extiende unos 650 millones de km (más allá de la órbita de Saturno). Los satélites de Júpiter se incluyen en su atmósfera, lo que explica parcialmente la actividad en Io. Un gran inconveniente para los viajes espaciales del futuro, así como un problema para los diseñadores de las sondas Voyager y Galileo, es que en el medio circundante de Júpiter hay grandes cantidades de partículas capturadas por el campo magnético de Júpiter. Esta "radiación" es similar, pero mucho más intensa, que la observada en los cinturones de Van Allen de la Tierra, sería letal para cualquier ser humano sin protección. La sonda Galileo descubrió una radiación nueva e intensa entre los anillos de Júpiter y los estratos superiores de la atmósfera. Este nuevo cinturón de radiación tiene una intensidad 10 veces mayor que la de los cinturones de Van Allen en la Tierra. Sorprendentemente, este nuevo cinturón contiene iones de helio de alta energía, de origen desconocido.

Júpiter tiene anillos como Saturno, pero mucho más delgados y opacos: a diferencia de los de Saturno, los anillos de Júpiter son oscuros. Es probable que se compongan de pequeños granos de material rocoso y no parecen contener hielo. Probablemente, las partículas de los anillos de Júpiter no permanecen allí por mucho tiempo (a causa de la atmósfera y el campo magnético).

La sonda Galileo encontró pruebas claras que indican que los anillos son continuamente alimentados por el polvo formado por los impactos de los micro meteoritos con el interior, que son muy energéticos, debido al campo gravitacional de Júpiter.

SATURNO

El sexto planeta más distante del Sol en el Sistema Solar, Saturno es un planeta gigante gaseoso, segundo en masa y volumen después de Júpiter. (3,3 veces más pequeño que Júpiter,

pero 5,5 más grande que Neptuno y 6,5 veces más grande que Urano. Es 95 veces más masivo que la Tierra. Su diámetro es de casi 9 veces mayor que el de la Tierra.

Saturno es el único planeta del Sistema Solar, cuyo promedio masa-volumen es menor que la del agua: 0,69 g/cm. Esto significa que su atmósfera, compuesta sobre todo de hidrógeno, es menos densa que el agua, pero su núcleo es mucho más denso.) Tiene un diámetro aproximado nueve veces mayor que el de la Tierra y está compuesto sobre todo de hidrógeno.

Saturno tiene la forma de esferoide aplanado, es achulado en los polos y abultado en el ecuador. Su diámetro ecatorial y polar difieren aproximadamente en un 10%, como consecuencia de su rápida rotación alrededor de su eje y de una composición interna muy fluida. Los otros planetas gaseosos gigantes del Sistema Solar (Júpiter, Urano, Neptuno) también son aplanados, pero en menor grado.

Al igual que Júpiter, la atmósfera de Saturno se organiza en bandas paralelas, aunque estas son menos visibles y más grandes en el ecuador. Los sistemas de nubes de Saturno (así como las tormentas de larga duración) fueron observadas por primera vez por las misiones Voyager. La nube observada en 1990 es un ejemplo de una mancha blanca grande, un fenómeno efímero de Saturno que tiene lugar cada 30 años. Si la periodicidad sigue siendo la misma, la próxima tormenta tendrá lugar probablemente en 2020.

En 2006 la NASA observó una tormenta de las dimensiones de un huracán, estacionado en el polo Sur, que tenía un ojo bien definido. Es el único ojo observado en otro planeta salvo en la Tierra.

Los anillos de Saturno son parte de uno de los espectáculos más hermosos del Sistema Solar y constituyen su principal característica. A diferencia de los otros dos planetas gaseosos gigantes, que son muy brillantes (albedo de entre 0,2 y 0,6) e impiden detectar los anillos que son oscuros, los anillos de Saturno pueden verse a través de un par de binoculares. Poseen una actividad permanente: colisiones, acumulaciones de materia, etc.

Saturno tiene un gran número de satélites. Es difícil decir cuántos hay, cualquier trozo de hielo de los anillos se puede considerar un satélite. En 2009 se identificaron 62 satélites, pero en la actualidad se contabilizan unos 100. La mayoría de ellos son pequeños: 31 tienen un diámetro de menos de 10 km, mientras que 13 son de menos de 50 km. Sólo siete son lo suficientemente grandes para asumir una forma esférica bajo la influencia de su propia gravedad. Titán es el mayor de ellos, más grande que Mercurio y Plutón y el único satélite del Sistema Solar con una atmósfera densa en cuya superficie la misión Cassini depositó una sonda, la Huygens, en el año 2004. La misión estudió este mundo en donde se produce un ciclo similar al del agua en la Tierra, pero de metano, elemento que se encuentra en los tres estados en la superficie del satélite.

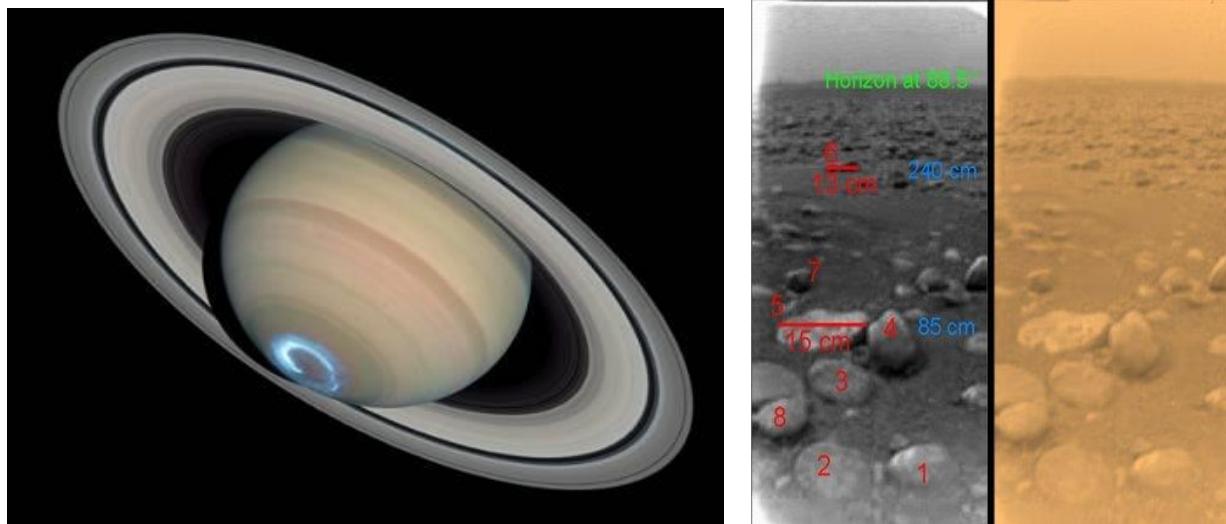


Fig. 14a: Saturno, se ve la aurora fotografiada por el telescopio espacial Hubble, Fig. 14b: Última imagen de la superficie de Titán, misión Cassini- Huygens (der.)

URANO

Urano es también un planeta gigante gaseoso helado, y como tal posee anillos: al menos 13 principales. Es el séptimo más alejado del Sol en el Sistema Solar, el tercero en dimensiones y el cuarto en masa. Es el primer planeta descubierto en la época telescópica. Aunque puede ser visto a simple vista como los otros 5 planetas clásicos, debido a su débil luminosidad no era fácilmente identifiable como planeta. William Herschel anunció su descubrimiento el 13 de marzo de 1781, ampliando así las fronteras del Sistema Solar por primera vez en la época moderna. Urano es el primer planeta descubierto por medio del telescopio.

Urano y Neptuno tienen composiciones internas y atmosféricas diferentes de la de los otros grandes planetas gaseosos, Júpiter y Saturno. Por eso, los astrónomos a veces los colocan en una categoría diferente, la de los gigantes helados o subgigantes.

La atmósfera de Urano, aunque se compone principalmente de hidrógeno y helio, también contiene grandes cantidades de hielo de agua, amoníaco y metano, así como huellas de hidrocarburos. Urano presenta la atmósfera más fría del Sistema Solar, que alcanza un mínimo de -224 C. Tiene una estructura compleja de nubes, las de los estratos más bajos podrían estar formados de agua y en los estratos superiores de metano. Como los otros planetas gigantes gaseosos, Urano tiene un sistema de anillos, una magnetosfera y numerosos satélites naturales. El sistema de Urano es único en el Sistema Solar, porque su eje de rotación está prácticamente en la órbita de su plano de revolución alrededor del Sol. Sus polos norte y sur están donde los otros planetas tienen su ecuador. En 1986, la Voyager 2 adquirió imágenes de Urano, que muestran un planeta sin características especiales en la luz visible, sin capas de nubes o sistemas de nubes como en los otros planetas gaseosos. Sin embargo, observaciones recientes han mostrado signos de cambio de estación y un aumento de la

actividad meteorológica, cuando Urano se acercaba a su equinoccio de diciembre de 2007. El viento puede alcanzar la velocidad de 250 m/s en su superficie.

A diferencia de cualquier otro planeta del Sistema Solar, Urano presenta un eje de rotación muy inclinado, casi paralelo a su plano orbital. Podríamos decir que rueda en su órbita y expone al Sol su polo Norte y su polo Sur sucesivamente. Una consecuencia de esta orientación es que las regiones polares reciben más energía del Sol que las ecuatoriales. Sin embargo, Urano permanece más cálido en el ecuador que en los polos, un mecanismo aún no explicado. Ninguna teoría sobre su inclinación puede pasar por alto la idea de una colisión catastrófica con otro cuerpo antes de su formación actual.

El período de revolución de Urano alrededor del Sol es de 84 años terrestres. Su distancia media al Sol es de unos 3 mil millones de kilómetros. La intensidad del flujo solar en Urano es de aprox. 1/400 de la que recibe la Tierra.

El período de rotación de las capas interiores de Urano es de 17 horas y 14 minutos. Sin embargo, en la atmósfera superior tienen lugar vientos violentos en el sentido de rotación, como ocurre con todos los planetas gigantes gaseosos. En consecuencia, alrededor de los 60° de latitud, las partes visibles de la atmósfera viajan más rápido y hacen una rotación completa en menos de 14 horas. La presión atmosférica es menor que 1,3 bar) y su composición química es 83% hidrógeno (H_2), 15% helio, 2,3% metano, 0,009%, trazas de deuterio y hielos de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio (NH_4SH) y metano (CH_4).

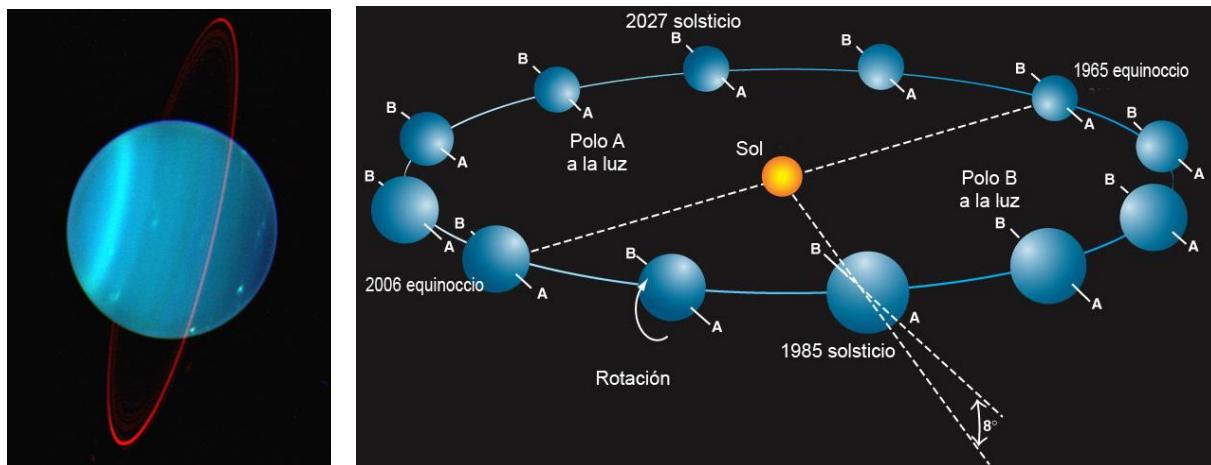


Fig. 15a: Urano, Fig. 15b: Urano en su órbita.

Aunque sabemos muy pocas cosas acerca de su composición interna, sabemos con certeza que es diferente de la de Júpiter o Saturno. En teoría, debería tener un núcleo sólido de silicatos de hierro, con un diámetro de unos 7.500 km, rodeado por un escudo formado por hielo de agua mezclado con helio, metano y amoníaco, de 10.000 km de ancho, seguido de un estrato superficial de hidrógeno y helio líquido, de aprox. 7.600 kilómetros, que se derrite lentamente en la atmósfera. A diferencia de Júpiter y Saturno, Urano no es tan masiva como para conservar el hidrógeno en estado metálico alrededor de su núcleo. El color verde azulado se

debe a la presencia de metano en la atmósfera, que absorbe el rojo y el infrarrojo de la luz solar.

Urano tiene al menos 27 satélites naturales. Los dos primeros fueron descubiertos por William Herschel el 13 de marzo de 1787 y fueron llamados Titania y Oberón.

NEPTUNO

Neptuno es el octavo y el planeta más alejado del Sol en el Sistema Solar. Es también el último planeta gigante gaseoso. Fue descubierto por el astrónomo alemán Johann Gottfried Galle, el 23 de septiembre de 1847, siguiendo las indicaciones de Urbano Le Verrier, quien, como el astrónomo inglés John Couch Adams, había previsto a través del cálculo, que en esa región del cielo, podía ser encontrado.

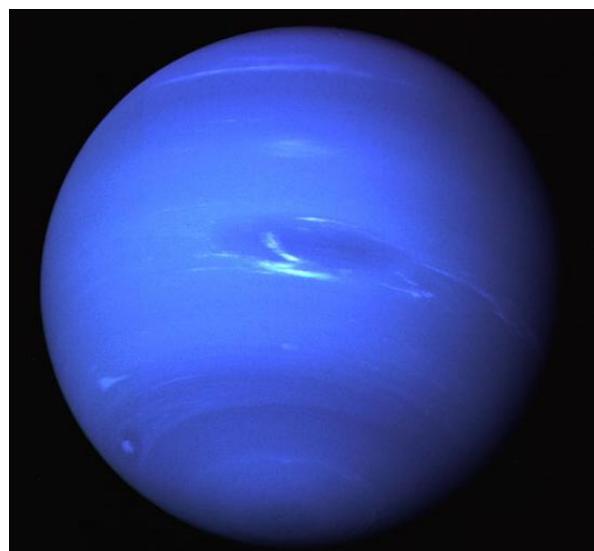


Fig. 16: Neptuno

Neptuno no es visible a simple vista y aparece como un disco de color verde azulado a través del telescopio. Ha sido visitado sólo una vez por la sonda espacial Voyager 2, que pasó cerca de él el 25 de agosto de 1989. Su satélite mayor es Tritón. Su composición interna es similar a la de Urano. Se cree que tiene un núcleo sólido formado de silicatos y hierro, casi tan grande como la masa de la Tierra. Su núcleo, al igual que Urano, está supuestamente cubierto con una composición bastante uniforme (rocas en fusión, hielo, el 15% de hidrógeno y algo de helio), no tiene ningún tipo de estructura en "capas" como Júpiter y Saturno.

Su color azulado proviene principalmente del metano, que absorbe la luz en las longitudes de onda del rojo. Su atmósfera está compuesta de un 80% hidrógeno (H_2), 19% helio, 1,5% metano, 0,019% deuterio, 0,00015 etano y hielos de: amoniaco, agua, hidrosulfuro de amonio y metano.

Como los otros planetas gigantes gaseosos, tiene un sistema eólico formado de vientos muy rápidos en bandas paralelas al ecuador, de fuertes tormentas y vórtices. Los vientos más rápidos en Neptuno soplan a más de 2.000 km/h. Durante la visita de la Voyager 2, la formación más interesante observada fue la "Gran Mancha Oscura", que podría ser del tamaño de la "Gran Mancha Roja" de Júpiter. Esta mancha podría ser un huracán gigante oscuro que supuestamente viaja a unos 1.000 km/h. Los anillos planetarios de Neptuno son poco visibles, oscuros, y de origen es aún desconocido. Neptuno tiene al menos 14 satélites naturales, entre los cuales el más importante es Tritón, descubierto por William Lassell sólo 17 días después del descubrimiento de Neptuno.

PLANETAS ENANOS

PLUTÓN, CARONTE y ERIS

Si bien existen una decena de planetas enanos confirmados, Plutón (39 UA de distancia media), su satélite Caronte y Eris, planeta enano de mayor dimensión que Plutón y que definió la reclasificación de estos objetos en el Sistema Solar, resultan particularmente interesantes.

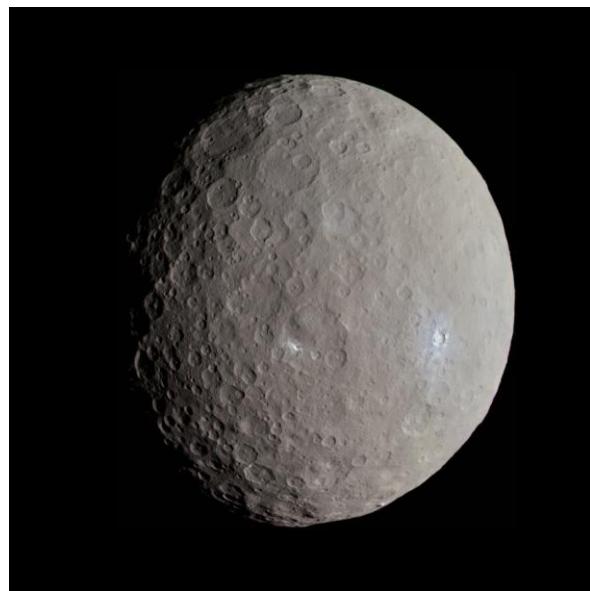


Fig. 17a: Plutón y Fig. 17b: Ceres

Plutón fue descubierto en 1930, considerado un planeta y re-clasificado en agosto de 2006, como planeta enano. Presenta una órbita excéntrica, inclinada 17° en contra de su plano eclíptico. Su perihelio se extiende hasta las 29,7 UA y el afelio hasta las 49,5 UA. El satélite más grande de Plutón, Caronte, es lo suficientemente grande para que el conjunto gravite entorno a un centro de gravedad situado por encima de la superficie de cada uno de los cuerpos. Otros cuatro pequeños satélites, Nix, Hidra, Cerberus, Estigia, orbitan entorno a la

pareja Plutón-Caronte. Plutón está en resonancia orbital de 3:2 con Neptuno (el planeta orbita dos veces el Sol, mientras Neptuno lo hace tres).

Eris fue descubierto en enero de 2005 por un equipo del observatorio Palomar dirigido por Michael E. Brown. De dimensiones ligeramente mayores que la de Plutón, fue considerado el décimo planeta hasta la reclasificación de la UAI en 2006. Posee una pequeña luna bautizada con el nombre de Disnomia. Al igual que Plutón, forma parte del cinturón de Kuiper o de objetos transneptunianos. En este "segundo cinturón de asteroides" del Sistema Solar, existen más cuerpos clasificados como planetas enanos, tales como Haumea, Makemake, Quaoar y Sedna.

Reclasificar cuerpos en el sistema solar implica revisar todos los casos de posibles cambios. De esta manera Ceres, el cuerpo más grande (unos 1000 km de diámetro) de la región de asteroides entre Marte y Júpiter, descubierto en 1801, es ahora considerado "planeta enano". En la región de espacio en que se encuentra Ceres, otros cuerpos tales como Pallas y Vesta, son también candidatos a convertirse en planetas enanos.

Otros Cuerpos en el Sistema Solar

El medio interplanetario

Además de la luz, el Sol irradia un flujo continuo de partículas cargadas (plasma) llamado viento solar. Este flujo se disipa a una velocidad de 1,5 millones de km/h, creando así la heliosfera, una fina atmósfera que baña el Sistema Solar hasta aprox. 100 UA (marcado la heliopausa). La materia que constituye la heliosfera se llama medio interplanetario. El ciclo solar de 11 años, así como las frecuentes erupciones solares y eyeciones de masa coronal, perturban la heliosfera y crear un clima espacial. La rotación del campo magnético solar actúa sobre el medio interplanetario, creando la capa de heliosférica actual, que es la mayor estructura del Sistema Solar.

El campo magnético terrestre protege a la atmósfera del viento solar. La interacción entre el viento solar y el campo magnético terrestre provoca las auroras boreales. La heliosfera asegura una protección parcial del Sistema Solar de los rayos cósmicos, que es mayor en los planetas con un campo magnético.

El medio interplanetario tiene al menos dos regiones de polvo cósmico bajo la forma de disco. La primera, la nube de polvo zodiacal, está en el Sistema Solar interior y produce la luz zodiacal. Probablemente se formó a través de una colisión en el interior del cinturón de asteroides causado por las interacciones con los planetas. La segunda se extiende entre 10 y 40 UA y probablemente se formó durante colisiones similares en el Cinturón de Kuiper. Son los remanentes de la acreción planetaria. Comprenden diversas poblaciones de asteroides, cometas y objetos transneptunianos.

COMETAS

Los cometas son pequeños cuerpos del Sistema Solar, con diámetros del orden de kilómetros, generalmente compuestos de hielos volátiles. Tienen órbitas muy excéntricas, con el perihelio a veces en el Sistema Solar interior, mientras que el afelio está más allá de Plutón. Cuando un cometa entra en el Sistema Solar interior, su proximidad al Sol lleva a la sublimación e ionización de su superficie, creando una cola: una larga cola formada de gas y polvo.

Cometas de periodo corto (por ejemplo, el cometa Halley) completan su órbita en menos de 200 años y parece que se originan en el Cinturón de Kuiper. Cometas de periodo largo (por ejemplo, el cometa Hale-Bopp) tienen una periodicidad de varios miles de años y parecen originarse en la nube de Oort. Por último, hay algunos cometas que tienen una trayectoria hiperbólica y parecen provenir de fuera del Sistema Solar. Cometas viejos que han perdido la mayor parte de sus componentes volátiles se consideran hoy asteroides.

Los Centauris, situados entre las 9 y 30 UA, son cuerpos de hielo similar a los cometas, que orbitan entre Júpiter y Neptuno. El mayor centauro conocido, Chariklo, tiene un diámetro de entre 200 y 250 km. El primer centauro descubierto, Quirón, fue considerado en un principio un cometa, ya que desarrolló una cola como estos. Algunos astrónomos clasifican a los centauros como cuerpos del cinturón de Kuiper.



Fig. 18: Cometa

LOS ALMACENES DE CUERPOS MENORES EN EL SISTEMA SOLAR

Estos almacenes son regiones relativamente estables del Sistema Solar, donde los objetos pueden permanecer durante tiempos comparables a la edad del Sistema, hasta que alguna fuerza perturbe y cambie su órbita. Existen tres grandes almacenes en el SS:

1. El Cinturón Principal de Asteroides. De esta región provendrían otras poblaciones, como la de los asteroides que se acercan a la Tierra (conocidos como NEAS por sus siglas inglés). Los asteroides son principalmente pequeños cuerpos del Sistema Solar formados por rocas y, minerales metálicos no volátiles. El cinturón de asteroides ocupa una órbita situada entre Marte y Júpiter, a una distancia de 2,3 y hasta 3,3 UA del Sol. Podrían ser restos del Sistema Solar en formación, que no han logrado hacer un cuerpo celeste mayor, debido a las interferencias gravitatoria de Júpiter.

El tamaño de los asteroides varía entre varios cientos de kilómetros hasta microscópicas motas de polvo. Todos, excepto el más grande, Ceres, se consideran pequeños cuerpos, aunque algunos de ellos como Vesta y Hygeia podrían ser clasificados como planetas enanos, si se demuestra que alcanzan equilibrio hidrostático. El cinturón de asteroides contiene miles, incluso millones de cuerpos con un diámetro de más de un kilómetro. Sin embargo, la masa total del cinturón no es mayor que la milésima parte de la de la Tierra.

Ceres (2,77 UA) es el mayor cuerpo en el cinturón de asteroides y el único planeta enano (clasificado así en 2006). Con un diámetro de casi 1.000 km, es suficiente para su gravedad le confiera su forma esférica.

2. El Cinturón Transneptuniano. Es la región de donde provienen los cometas de corto período. El cinturón de Kuiper es un gran anillo formado por los desechos provenientes de los escombros de un gran anillo, similar a la del cinturón de asteroides, pero se compone principalmente de hielo. La primera parte del cinturón de Kuiper se extiende entre 30 y los 50 UA del Sol y se detiene en "el acantilado Kuiper", donde comienza su segunda parte hasta 100 UA. Esta región se cree que es la fuente de cometas de corto período. Se componen principalmente de los pequeños cuerpos, así como de algunos más grandes, como Quaoar, Varuna u Orcus, que pueden ser clasificados como planetas enanos. El cinturón de Kuiper podría dividirse mayormente en los objetos "clásicos" y los objetos en resonancia con Neptuno. Un ejemplo en este efecto serían los plutinis que completan dos órbitas mientras que Neptuno ha completado tres.

3. La Nube de Oort. Tiene una distribución esférica y está formada por los planetesimales helados barridos hacia afuera por planetas gigantes durante la formación del SS. Gracias a perturbaciones debidas al pasaje cercano de estrellas o de nubes moleculares gigantes, o a las mareas galácticas, las órbitas de algunos de estos objetos pueden cambiar desviándose hacia el interior del Sistema Solar, transformándose en cometas de largo periodo.

OTROS SISTEMAS EXOPLANETARIOS

En 1995 los astrónomos suizos Michael Mayor y Didier Queloz anunciaron la detección de un exoplaneta orbitando 51 Pegasi. Esta estrella y su planeta fueron bautizados como Helvetios y

Dimidio en 2015, tras una votación pública, impulsada por la IAU. Mayor y Qeloz fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 2019, por el descubrimiento de 51 Pegasi b.

El 10 de mayo de 2016 la colaboración de científicos que trabajan que puso en órbita al telescopio Kepler, destinado a la detección de exoplanetas de tipo terrestre, anunció la colección de exoplanetas más grande de la que se tenga noticias De un total de unos 5.000 candidatos, más de 3.200 han sido verificados, y 2.325 de estos fueron descubiertos por el telescopio Kepler.

El satélite de la NASA “Transiting Exoplanet Survey”, puesto en órbita en 2018, usa el mismo método que el telescopio Kepler para monitorear 200.000 estrellas brillantes cercanas y buscar planetas, especialmente del tamaño de la Tierra o mayores (las super Tierras).

En 2025, cerca de 6000 exo-mundos han sido confirmados y en varios de ellos se han detectado atmósferas en donde procesos fotoquímicos producen moléculas complejas. Algunas de esas moléculas se vinculan con lo que se denomina bio-firmas, tal el caso de K2-18 b, un exoplaneta supertierra que orbita una estrella de tipo M. Tiene una masa de 8,92 Tierras, tarda 32,9 días en completar una órbita alrededor de su estrella y se encuentra a 0,1429 UA de ella. Su descubrimiento se anunció en 2015 y en 2023, a partir de observaciones del Telescopio espacial James Webb, en el infrarrojo, se detectó sulfuro de dimetilo (Madhusudhan, 2023), molécula que en la Tierra es producida por el fitoplancton.

Los astrónomos se plantean preguntas tales como cuántas estrellas tienen planetas? Cuantos de esos sistemas exoplanetarios tienen planetas en la zona de habitabilidad, allí donde el agua puede estar en estado líquido, y de esos planetas ubicados a una distancia adecuada de su estrella, en cuántos se desarrolló la vida, esos interrogantes aún no tienen respuesta.

Bibliografía

- Collin, S, Stavinschi, M. (2023) *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi.
- Kovalevsky, J, (2022) *Modern Astrometry*, Springer Verlag.
- Madhusudhan, M. *et al* (2023) Carbon-bearing Molecules in a Possible Hycean Atmosphere. *ApJL* **956** L13. DOI 10.3847/2041-8213/acf577
- Masa, J. (2024) El Sistema Solar. Editorial Planeta Temática: Ciencia, Chile
- Masa, J. (2018) Marte: La próxima frontera. Editorial Planeta Temática: Ciencia, Chile.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.
- Valantinas, A., Mustard, J.F., Chevrier, V. *et al*. Detection of ferrihydrite in Martian red dust records ancient cold and wet conditions on Mars. *Nat Commun* **16**, 1712 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56970-z>