

EL SISTEMA SOLAR

1. MODELOS

A pesar de sus diferencias, los miembros del Sistema Solar forman probablemente una familia común; parece ser que se originaron al mismo tiempo.

Entre los primeros intentos de explicar el origen de este sistema está la hipótesis nebular del filósofo alemán Immanuel Kant y del astrónomo y matemático francés Pierre Simon de Laplace. De acuerdo con dicha teoría una nube de gas se fragmentó en anillos que se condensaron formando los planetas. Las dudas sobre la estabilidad de dichos anillos han llevado a algunos científicos a considerar algunas hipótesis de catástrofes como la de un encuentro violento entre el Sol y otra estrella. Estos encuentros son muy raros, y los gases calientes, desorganizados por las mareas se dispersarían en lugar de condensarse para formar los planetas.

Los antiguos griegos hicieron importantes aportaciones a la astronomía. La Odisea de Homero se refiere a constelaciones como la Osa Mayor, Orión y las Pléyades y describe cómo las estrellas pueden servir de guía en la navegación. El poema Los trabajos y los días de Hesíodo informa al campesino sobre las constelaciones que salen antes del amanecer en diferentes épocas del año para indicar el momento adecuado para arar, sembrar y recolectar.

Las aportaciones científicas se asocian con los nombres de los filósofos griegos Tales de Mileto y Pitágoras de Samos, pero no se conserva ninguno de sus escritos. La leyenda de que Tales predijo un eclipse total de Sol el 28 de mayo de 585 a.C., parece ser apócrifa. Hacia el año 450 a.C., los griegos comenzaron un fructífero estudio de los movimientos planetarios. Filolao (siglo V a.C.), discípulo de Pitágoras, creía que la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas giraban todos alrededor de un fuego central oculto por una 'contratierra' interpuesta. De acuerdo con su teoría, la revolución de la Tierra alrededor del fuego cada 24 horas explicaba los movimientos diarios del Sol y de las estrellas. Hacia 370 a.C., el astrónomo Eudoxo de Cnido explicaba los movimientos observados mediante la hipótesis de que una enorme esfera que transportaba las estrellas sobre su superficie interna se desplazaba alrededor de la Tierra, girando diariamente. Además, explicaba los movimientos solares, lunares y planetarios diciendo que dentro de la esfera de estrellas había otras muchas esferas transparentes interconectadas que giran de forma diferente.

El más original de los antiguos observadores de los cielos fue otro griego, Aristarco de Samos. Creía que los movimientos celestes se podían explicar mediante la hipótesis de que la Tierra gira sobre su eje una vez cada 24 horas y que junto con los demás planetas gira en torno al Sol. Esta explicación fue rechazada por la mayoría de los filósofos griegos que contemplaban a la Tierra como un globo inmóvil alrededor del cual giran los ligeros objetos celestes. Esta teoría, conocida como sistema geocéntrico, permaneció inalterada unos 2.000 años.

La historia de la astronomía dio un giro drástico en el siglo XVI como resultado de las aportaciones del astrónomo polaco Nicolás Copérnico. Dedicó la mayor parte de su vida a la astronomía y realizó un nuevo catálogo de estrellas a partir de observaciones personales. Debe gran parte de su fama a su obra *De revolutionibus orbium caelestium* (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes, 1543), donde analiza críticamente la teoría de Tolomeo de un Universo geocéntrico y muestra que los movimientos planetarios se pueden explicar atribuyendo una posición central al Sol más que a la Tierra.

No se prestó mucha atención al sistema de Copérnico, o sistema heliocéntrico, hasta que Galileo descubrió pruebas para defenderlo. Gran admirador secreto de la obra de Copérnico, Galileo vio su oportunidad de probar la teoría copernicana sobre el movimiento de la Tierra cuando se inventó el telescopio en Holanda. Construyó (1609) un pequeño telescopio de refracción, lo dirigió hacia el cielo y descubrió las fases de Venus,

lo que indicaba que este planeta gira alrededor del Sol. También descubrió cuatro lunas girando alrededor de Júpiter. Convencido de que al menos algunos cuerpos no giraban alrededor de la Tierra, comenzó a hablar y a escribir a favor del sistema de Copérnico. Sus intentos de difundir este sistema le llevaron ante un tribunal eclesiástico. Aunque fue obligado a renegar de sus creencias y de sus escritos, esta teoría no pudo ser suprimida.

La teoría de Copérnico establecía que la Tierra giraba sobre sí misma una vez al día, y que una vez al año daba una vuelta completa alrededor del Sol. Además afirmaba que la Tierra, en su movimiento rotatorio, se inclinaba sobre su eje (como un trompo). Sin embargo, aún mantenía algunos principios de la antigua cosmología, como la idea de las esferas dentro de las cuales se encontraban los planetas y la esfera exterior donde estaban inmóviles las estrellas. Por otra parte, esta teoría heliocéntrica tenía la ventaja de poder explicar los cambios diarios y anuales del Sol y las estrellas, así como el aparente movimiento retrógrado de Marte, Júpiter y Saturno, y la razón por la que Venus y Mercurio nunca se alejaban más allá de una distancia determinada del Sol. Esta teoría también sostenía que la esfera exterior de las estrellas fijas era estacionaria.

Una de las aportaciones del sistema de Copérnico era el nuevo orden de alineación de los planetas según sus periodos de rotación. A diferencia de la teoría de Tolomeo, Copérnico vio que cuanto mayor era el radio de la órbita de un planeta, más tiempo tardaba en dar una vuelta completa alrededor del Sol. Pero en el siglo XVI, la idea de que la Tierra se movía no era fácil de aceptar y, aunque parte de su teoría fue admitida, la base principal fue rechazada.

Entre 1543 y 1600 Copérnico contó con muy pocos seguidores. Fue objeto de numerosas críticas, en especial de la Iglesia, por negar que la Tierra fuera el centro del Universo. La mayoría de sus seguidores servían a la corte de reyes, príncipes y emperadores. Los más importantes fueron Galileo y el astrónomo alemán Johannes Kepler, que a menudo discutían sobre sus respectivas interpretaciones de la teoría de Copérnico. El astrónomo danés Tycho Brahe llegó, en 1588, a una posición intermedia, según la cual la Tierra permanecía estática y el resto de los planetas giraban alrededor del Sol, que a su vez giraba también alrededor de la Tierra.

Con posterioridad a la supresión de la teoría de Copérnico, tras el juicio eclesiástico a Galileo en 1633, que lo condenó por corroborar su teoría, algunos filósofos jesuitas la siguieron en secreto. Otros adoptaron el modelo geocéntrico y heliocéntrico de Brahe. En el siglo XVII, con el auge de las teorías de Isaac Newton sobre la fuerza de la gravedad, la mayoría de los pensadores en Gran Bretaña, Francia, Países Bajos y Dinamarca aceptaron a Copérnico. Los filósofos puros de otros países de Europa mantuvieron duras posturas contra él durante otro siglo más.

En la actualidad se conocen nueve planetas principales. Normalmente se dividen en dos grupos: los planetas interiores (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) y los planetas exteriores (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón). Los interiores son pequeños y se componen sobre todo de roca y hierro. Los exteriores (excepto Plutón) son mayores y se componen, principalmente, de hidrógeno, hielo y helio.

Mercurio es muy denso, en apariencia debido a su gran núcleo compuesto de hierro. Con una atmósfera tenue, Mercurio tiene una superficie marcada por impactos de asteroides. Venus tiene una atmósfera de dióxido de carbono (CO₂) 90 veces más densa que la de la Tierra; esto causa un efecto invernadero que hace que la atmósfera venusiana conserve mucho el calor. La temperatura de su superficie es la más alta de todos los planetas: unos 477 °C. La Tierra es el único planeta con agua líquida abundante y con vida. Existen sólidas pruebas de que Marte tuvo, en algún momento, agua en su superficie, pero ahora su atmósfera de dióxido de carbono es tan delgada que el planeta es seco y frío, con capas polares de dióxido de carbono sólido o nieve carbónica. Júpiter es el mayor de los planetas. Su atmósfera de hidrógeno y helio contiene nubes de color pastel y su inmensa magnetosfera, anillos y satélites, lo convierten en un sistema planetario en sí mismo. Saturno rivaliza con Júpiter, con una estructura de anillos más complicada y con mayor número de satélites, entre los que se encuentra Titán, con una densa atmósfera. Urano y Neptuno tienen poco hidrógeno en comparación con los dos gigantes; Urano, también con una serie de anillos a su alrededor, se distingue porque

gira a 98° sobre el plano de su órbita. Plutón parece similar a los satélites más grandes y helados de Júpiter y Saturno; está tan lejos del Sol y es tan frío que el metano se hiela en su superficie.

Las teorías actuales conectan la formación del Sistema Solar con la formación del Sol, ocurrida hace 4.700 millones de años. La fragmentación y el colapso gravitacional de una nube interestelar de gas y polvo, provocada quizá por las explosiones de una supernova cercana, puede haber conducido a la formación de una nebulosa solar primordial. El Sol se habría formado entonces en la región central, más densa. La temperatura es tan alta cerca del Sol que incluso los silicatos, relativamente densos, tienen dificultad para formarse allí. Este fenómeno puede explicar la presencia cercana al Sol de un planeta como Mercurio, que tiene una envoltura de silicatos pequeña y un núcleo de hierro denso mayor de lo usual. (Es más fácil para el polvo y vapor de hierro aglutinarse cerca de la región central de una nebulosa solar que para los silicatos más ligeros.) A grandes distancias del centro de la nebulosa solar, los gases se condensan en sólidos como los que se encuentran hoy en la parte externa de Júpiter. La evidencia de una posible explosión de supernova de formación previa aparece en forma de trazas de isótopos anómalos en las pequeñas inclusiones de algunos meteoritos. Esta asociación de la formación de planetas con la formación de estrellas sugiere que miles de millones de otras estrellas de nuestra galaxia también pueden tener planetas. La abundancia de estrellas múltiples y binarias, así como de grandes sistemas de satélites alrededor de Júpiter y Saturno, atestiguan la tendencia de la nube de gas a desintegrarse fragmentándose en sistemas de cuerpos múltiples.

2. FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

El Sistema Solar está formado por el Sol, nueve planetas y sus satélites, asteroides, cometas y meteoroides, y polvo y gas interplanetario. Las dimensiones de este sistema se especifican en términos de distancia media de la Tierra al Sol, denominada unidad astronómica (UA). Una UA corresponde a 150 millones de kilómetros. El planeta más distante conocido es Plutón, su órbita está a 39,44 UA del Sol. La frontera entre el Sistema Solar y el espacio interestelar llamada heliopausa se supone que se encuentra a 100 UA. Los cometas, sin embargo, son los más lejanos del Sol; sus órbitas son muy excéntricas, extendiéndose hasta 50.000 UA o más. El Sistema Solar es el único sistema planetario existente conocido, aunque en 1980 se encontraron algunas estrellas relativamente cercanas rodeadas por un envoltorio de material orbitante de un tamaño indeterminado o acompañadas por objetos que se suponen que son enanas marrones o enanas pardas. Muchos astrónomos creen probable la existencia de numerosos sistemas planetarios de algún tipo en el Universo.

3. COMENTARIO CRITICO SOBRE LAS POSIBILIDADES DE VIDA EN EL SISTEMA SOLAR.

MERCURIO

Mercurio es el planeta más cercano al Sol. Se encuentra a una distancia aproximada del Sol de 58 millones de km, tiene un diámetro de 4.875 km, su volumen y su masa son semejantes a los de la Tierra y su densidad media es aproximadamente igual a la de la Tierra. Mercurio orbita alrededor del Sol cada 88 días (año del planeta). Los estudios de radar del planeta muestran que gira sobre su eje una vez cada 58,7 días o cada dos terceras partes de su periodo orbital; por tanto, gira una vez y media sobre su eje durante cada periodo orbital. Dado que su superficie es abrupta, porosa y de roca oscura, Mercurio es un mal reflector de la luz solar.

Los estudios espectroscópicos de Mercurio nos muestran una tenue atmósfera que contiene sodio y potasio; en apariencia, sus átomos proceden de la corteza del planeta. Sus colisiones con otros planetas de nueva formación en los orígenes del Sistema Solar pudieron despojarle de los materiales más ligeros, lo que explica la relativamente alta densidad de Mercurio. La fuerza de gravedad de la superficie del planeta es más o menos una tercera parte de la de la Tierra.

La sonda espacial Mariner 10 sobrevoló Mercurio dos veces en 1974 y una en 1975. Las fotografías del planeta lo muestran muy parecido a la Luna, con una superficie llena de cráteres; sus temperaturas podían ser de 430 °C en el lado iluminado por el Sol y de -180 °C en el lado oscuro. La Mariner 10 detectó también un

campo magnético con una fuerza del 1% del de la Tierra. La superficie de Mercurio, a diferencia de la de la Luna, está atravesada por grandes fracturas quizá procedentes del periodo de contracción que experimentó en sus primeros tiempos, cuando el planeta se enfrió.

En este planeta la vida humana no podría existir simplemente porque la temperatura del planeta nos derretiría cuando hiciese sol y nos congelaría cuando llegase la sombra.

JÚPITER

Júpiter es el quinto planeta desde el Sol, y el mayor del Sistema Solar. Recibió el nombre del rey de los dioses de la mitología romana. Júpiter es 1.400 veces más voluminoso que la Tierra, pero su masa es sólo 318 veces la de nuestro planeta. La densidad media de Júpiter es como una cuarta parte de la densidad de la Tierra, lo que indica que este planeta gigante debe estar compuesto de gases más que de metales y rocas como la Tierra y otros planetas.

Da una vuelta alrededor del Sol cada 11,9 años a una distancia orbital media de 778 millones de kilómetros. Tarda 9,9 horas en dar una vuelta alrededor de su eje. Esta rápida rotación produce un engrosamiento ecuatorial que se aprecia cuando se mira el planeta a través de un telescopio. La rotación no es uniforme. Las bandas que se ven en Júpiter se deben a la presencia de fuertes corrientes atmosféricas que reflejan los diferentes periodos de rotación en las distintas latitudes. Estas bandas se aprecian más debido a los colores pastel de las nubes. Estos colores se ven también en la llamada Gran Mancha Roja, de forma oval y con variaciones de color desde rojo ladrillo hasta rosa. Los colores proceden de rastros de compuestos formados por la luz ultravioleta, las tormentas y el calor. Algunos de estos compuestos pueden ser similares a los de las moléculas orgánicas que se desarrollaron en la Tierra como preludio del origen de la vida.

La vida en este planeta sería muy difícil ya que está formado principalmente por gases y no por rocas ni metales como en la tierra, además sus tormentas son devastadoras.

MARTE

La idea de que podía haber, o incluso de que hay vida en Marte, tiene una larga tradición. En 1877, el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli reivindicó haber visto un sistema de canales a todo lo ancho del planeta. El astrónomo estadounidense Percival Lowell difundió entonces que las débiles líneas eran canales y las puso como prueba de que seres inteligentes se habían esforzado por construir un sistema de irrigación imprescindible en un planeta árido. Posteriores observaciones de naves espaciales han demostrado que no hay canales en Marte. Además, las zonas oscuras que una vez se creyeron oasis, no son verdes, como los efectos de contraste les habían hecho parecer a los observadores terrestres, y sus espectros no contienen vestigios de materiales orgánicos. Los cambios estacionales que experimenta el aspecto de estas zonas no se debe a ningún ciclo vegetativo, sino a los vientos estacionales de Marte que levantan arena y polvo. Es probable que el agua sólo se dé en forma de hielo encima o debajo de la superficie, o como rastros de vapor o cristales de hielo en la atmósfera. Sin embargo, la evidencia más fuerte contra la existencia de vida es la ligereza de la atmósfera y el hecho de que la superficie del planeta está expuesta, no sólo a dosis letales de radiación ultravioleta, sino también a los efectos químicos de sustancias muy oxidantes (como el peróxido de hidrógeno) producidas por fotoquímica.

Quizá el resultado más fundamental y de más largo alcance obtenido por los Viking es que el suelo no contiene material orgánico (no hay razón para suponer que los dos lugares en los que se posaron no son representativos de Marte). Aunque los meteoroides carbonáceos aportan pequeñas cantidades de moléculas orgánicas a la superficie de Marte, este material parece destruirse antes de tener la oportunidad de acumularse. Los resultados de los análisis del suelo en búsqueda de moléculas orgánicas llevados a cabo por los Viking, no proporcionan ninguna prueba de la existencia de vida. Los datos recogidos por la sonda Mars Pathfinder servirán probablemente de ayuda a los científicos que buscan signos de vida pasada en Marte, aunque la

misión no estaba diseñada para investigar esta cuestión.

Una pregunta más difícil es si ha existido vida alguna vez en Marte, dadas las incontestables pruebas de cambio climático y los indicios de una atmósfera anterior más cálida y más densa. Para responder a esta pregunta habría que recoger muestras del subsuelo y trasladarlas a la Tierra para un análisis detallado. La comunidad internacional está estudiando la posibilidad de realizar un viaje tripulado a Marte en el siglo XXI. Probablemente sería un proyecto internacional (NASA, ESA, Japón, Rusia).

LA TIERRA

Se puede considerar que la Tierra se divide en cinco partes: la primera, la atmósfera, es gaseosa; la segunda, la hidrosfera, es líquida; la tercera, cuarta y quinta, la litosfera, el manto y el núcleo son sólidas. La atmósfera es la cubierta gaseosa que rodea el cuerpo sólido del planeta. Aunque tiene un grosor de más de 1.100 km, aproximadamente la mitad de su masa se concentra en los 5,6 km más bajos. La litosfera, compuesta sobre todo por la fría, rígida y rocosa corteza terrestre, se extiende a profundidades de 100 km. La hidrosfera es la capa de agua que, en forma de océanos, cubre el 70,8% de la superficie de la Tierra. El manto y el núcleo son el pesado interior de la Tierra y constituyen la mayor parte de su masa. La hidrosfera se compone principalmente de océanos, pero en sentido estricto comprende todas las superficies acuáticas del mundo, como mares interiores, lagos, ríos y aguas subterráneas. La profundidad media de los océanos es de 3.794 m, más de cinco veces la altura media de los continentes. La masa de los océanos es de 1.350.000.000.000.000.000 ($1,35 \times 10^{18}$) toneladas, o el 1/4.400 de la masa total de la Tierra. Las rocas de la litosfera tienen una densidad media de 2,7 veces la del agua y se componen casi por completo de 11 elementos, que juntos forman el 99,5% de su masa. El más abundante es el oxígeno (46,60% del total), seguido por el silicio (27,72%), aluminio (8,13%), hierro (5,0%), calcio (3,63%), sodio (2,83%), potasio (2,59%), magnesio (2,09%) y titanio, hidrógeno y fósforo (totalizando menos del 1%). Además, aparecen otros 11 elementos en cantidades del 0,1 al 0,02%. Estos elementos, por orden de abundancia, son: carbón, manganeso, azufre, bario, cloro, cromo, flúor, circonio, níquel, estroncio y vanadio. Los elementos están presentes en la litosfera casi por completo en forma de compuestos más que en su estado libre. La litosfera comprende dos capas (la corteza y el manto superior) que se dividen en unas doce placas tectónicas rígidas (véase Tectónica de placas). La corteza misma se divide en dos partes. La corteza siálica o superior, de la que forman parte los continentes, está constituida por rocas cuya composición química media es similar a la del granito y cuya densidad relativa es de 2,7. La corteza simática o inferior, que forma la base de las cuencas oceánicas, está compuesta por rocas ígneas más oscuras y más pesadas como el gabro y el basalto, con una densidad relativa media aproximada de 3. La litosfera también incluye el manto superior. Las rocas a estas profundidades tienen una densidad de 3,3. El manto superior está separado de la corteza por una discontinuidad sísmica, la discontinuidad de Mohorovicic, y del manto inferior por una zona débil conocida como astenosfera. Las rocas plásticas y parcialmente fundidas de la astenosfera, de 100 km de grosor, permiten a los continentes trasladarse por la superficie terrestre y a los océanos abrirse y cerrarse. El denso y pesado interior de la Tierra se divide en una capa gruesa, el manto, que rodea un núcleo esférico más profundo. El manto se extiende desde la base de la corteza hasta una profundidad de unos 2.900 km. Excepto en la zona conocida como astenosfera, es sólido y su densidad, que aumenta con la profundidad, oscila de 3,3 a 6. El manto superior se compone de hierro y silicatos de magnesio como el olivino y la parte inferior de una mezcla de óxidos de magnesio, hierro y silicio. La investigación sismológica ha demostrado que el núcleo tiene una capa exterior de unos 2.225 km de grosor con una densidad relativa media de 10. Esta capa es probablemente rígida y los estudios demuestran que su superficie exterior tiene depresiones y picos, y estos últimos se forman donde surge la materia caliente. Por el contrario, el núcleo interior, cuyo radio es de unos 1.275 km, es sólido. Se cree que ambas capas del núcleo se componen en gran parte de hierro con un pequeño porcentaje de níquel y de otros elementos. Las temperaturas del núcleo interior pueden llegar a los 6.650 °C y se considera que su densidad media es de 13.

PLUTÓN

Noveno planeta del Sistema Solar; es el planeta más alejado del Sol que se conoce. Plutón fue descubierto a raíz de una búsqueda telescópica iniciada en 1905 por el astrónomo estadounidense Percival Lowell, quien supuso la existencia de un planeta situado más allá de Neptuno como el causante de ligeras perturbaciones en los movimientos de Urano. Personal del Observatorio Lowell continuó con la búsqueda que finalizó con éxito en 1930, cuando el astrónomo estadounidense Clyde William Tombaugh confirmó que Plutón se encontraba en una posición cercana a la prevista por Lowell. La masa del nuevo planeta, sin embargo, pareció insuficiente para explicar las perturbaciones de Urano y Neptuno, y la búsqueda de un posible décimo planeta continúa. Plutón da una vuelta alrededor del Sol en 247,7 años a una distancia media de 5.900 millones de kilómetros. Su órbita es tan excéntrica que en ciertos puntos de su recorrido Plutón se encuentra más cerca del Sol que Neptuno. No existe, sin embargo, ninguna posibilidad de colisión, ya que la órbita de Plutón se inclina en más de 17,2° con respecto al plano de la eclíptica y nunca cruza, en realidad, el recorrido de Neptuno. Plutón solamente puede ser visto a través de grandes telescopios, con los que se ha comprobado que es de color amarillento. Durante muchos años se ha sabido muy poco acerca de este planeta, pero en 1978 los astrónomos descubrieron una luna relativamente grande girando alrededor de Plutón a una distancia aproximada de 19.000 km, y la llamaron Caronte. Las órbitas de Plutón y Caronte han hecho que ópticamente estos cuerpos celestes se superpongan de forma repetida desde 1985 a 1990, lo que ha permitido a los astrónomos determinar sus dimensiones con bastante precisión. Plutón tiene un diámetro de 2.284 km y Caronte de 1.192 km, lo que les convierte en un sistema de dos planetas, más incluso que el de la Tierra y su luna. Se descubrió también que Plutón tiene una atmósfera tenue, probablemente de metano, que ejerce una presión sobre la superficie del planeta aproximadamente 100.000 veces más débil que la presión atmosférica de la Tierra al nivel del mar. Parece que la atmósfera se condensa y forma capas polares durante el largo invierno de Plutón. Con una densidad aproximada de dos veces la del agua, Plutón es, aparentemente, más rocoso que los otros planetas de la parte exterior del Sistema Solar. Esto puede ser el resultado del tipo de combinaciones químicas a baja temperatura y baja presión que tuvieron lugar durante la formación del planeta. Algunos astrónomos han sugerido que Plutón puede ser un antiguo satélite de Neptuno, violentamente lanzado a una órbita diferente durante los primeros días del Sistema Solar. Caronte sería entonces una acumulación de los materiales más ligeros resultantes de la colisión.

SATURNO

La densidad media de Saturno es una octava parte de la de la Tierra, debido a que el planeta está compuesto fundamentalmente de hidrógeno. El enorme peso de la atmósfera de Saturno hace que la presión atmosférica aumente con rapidez hacia el interior, donde el hidrógeno se hace líquido. Hacia el centro del planeta el hidrógeno líquido se condensa en hidrógeno metálico, que es un conductor eléctrico. Las corrientes eléctricas presentes en este hidrógeno metálico son las responsables del campo magnético del planeta. En el centro de Saturno se han consolidado, probablemente, elementos pesados formando un pequeño núcleo rocoso a una temperatura cercana a los 15.000 °C. Tanto Júpiter como Saturno siguen asentándose por la gravitación, siguiendo su original acreción de la nebulosa de gas y polvo de la que se formó el Sistema Solar hace más de 4.000 millones de años. Esta contracción genera calor, haciendo que Saturno lo irradie en el espacio en una proporción tres veces mayor que la que recibe del Sol. Los principales componentes de la atmósfera de Saturno son el hidrógeno (88% en masa) y el helio (11%); el resto comprende trazas de metano, amoníaco, cristales de amoníaco y otros gases, como etano, acetileno y fosfina. Las imágenes del Voyager mostraron remolinos y corrientes turbulentas de nubes que tenían lugar a gran profundidad en una niebla mucho más densa que la de Júpiter debido a la menor temperatura de Saturno. Las temperaturas de la parte superior de la nube de Saturno están cercanas a -176 °C, unos 27 °C más bajas que las de Júpiter en los mismos puntos. Los movimientos de las nubes tormentosas de Saturno muestran que el periodo de rotación de la atmósfera cerca del ecuador es de 10 horas y 11 minutos. Las emisiones de radio que se han detectado procedentes del cuerpo del planeta indican que el cuerpo de Saturno y su magnetosfera tienen un periodo de rotación de 10 horas, 39 minutos y 25 segundos. La diferencia aproximada de 28,5 minutos entre estos dos periodos indica que los vientos ecuatoriales de Saturno alcanzan velocidades de 1.700 km/h aproximadamente. En 1988, a partir del estudio de las fotografías del Voyager, los científicos determinaron un elemento atmosférico extraño alrededor del polo norte de Saturno. Lo que podría ser una configuración de onda estacionaria, reproducida seis veces

alrededor del planeta, hace que parezca que las bandas de nubes, a cierta distancia del polo, forman un hexágono enorme y permanente. El campo magnético de Saturno es mucho más débil que el de Júpiter, y su magnetosfera es como una tercera parte de la de Júpiter. La magnetosfera de Saturno consta de un conjunto de cinturones de radiación toroidales en los que están atrapados electrones y núcleos atómicos. Los cinturones se extienden unos 2 millones de kilómetros desde el centro de Saturno, e incluso más, en dirección contraria al Sol, aunque el tamaño de la magnetosfera varía dependiendo de la intensidad del viento solar (el flujo desde el Sol de las partículas cargadas). El viento solar y los satélites y anillos de Saturno suministran las partículas que están atrapadas en los cinturones de radiación. El periodo de rotación de 10 horas, 39 minutos y 25 segundos del interior de Saturno fue medido por el Voyager 1 mientras atravesaba la magnetosfera, que gira de forma sincrónica con el interior de Saturno. La magnetosfera interactúa con la ionosfera, la capa superior de la atmósfera de Saturno, causando emisiones aurorales de radiación ultravioleta. Rodeando la órbita de Titán, el mayor satélite de Saturno, y extendiéndose hasta la órbita de Rea, se encuentra una enorme nube toroidal de átomos de hidrógeno neutro. Un disco de plasma, compuesto de hidrógeno y posiblemente de iones oxígeno, se extiende desde fuera de la órbita de Tetis hasta casi la de Titán. El plasma gira en sincronía casi perfecta con el campo magnético de Saturno.

VENUS

Todo Venus está cubierto de nubes y tiene una atmósfera densa, lo que dificulta su estudio desde la Tierra; la mayor parte de los conocimientos que se tienen del planeta se han obtenido mediante la utilización de vehículos espaciales, en concreto aquéllos que han descendido a través de la atmósfera portando sondas. El primer vuelo que se acercó a su superficie fue el *Mariner 2*, lanzado por Estados Unidos en 1962, seguido por el *Mariner 5* en 1967 y el *Mariner 10* en 1974. La antigua Unión Soviética desarrolló varias sondas de entrada, combinadas con aparatos de vuelo de paso u orbitadores: *Venera 4* y *5* (1967), *6* (1969), *7* (1970), *8* (1972), *9* y *10* (1975), *11* y *12* (1978), *13* y *14* (1981), y *15* y *16* (1983); *Vega 1* y *2*, enviadas hacia el cometa Halley en 1984, también volaron hacia Venus y enviaron cápsulas de descenso. Varias de estas sondas llegaron con éxito a la superficie del planeta. Estados Unidos envió dos misiones *Pioneer Venus* en 1978. *Pioneer Venus 2* envió cuatro sondas a la superficie, al tiempo que la nave exploraba la atmósfera superior. *Pioneer Venus 1*, un orbitador, continúa midiendo la atmósfera superior. La sonda *Magallanes*, lanzada hacia Venus en 1989, comenzó a transmitir imágenes de radar del planeta en 1990. Han sido procesadas por ordenador o computadora hasta formar espectaculares figuras tridimensionales del terreno. La temperatura de la superficie de Venus es muy uniforme y alcanza unos 462 °C; la presión de la superficie es 96 veces la de la Tierra. La atmósfera está compuesta casi en su totalidad por dióxido de carbono (CO₂). La base de las nubes está a 50 km de la superficie y las partículas de estas nubes son sobre todo ácido sulfúrico concentrado. El planeta no tiene campo magnético perceptible. Que el 97% de la atmósfera de Venus sea CO₂ no es tan extraño como pudiera parecer; de hecho, la corteza terrestre contiene casi la misma cantidad en forma de tierra caliza. Cerca del 3% de la atmósfera venusiana es nitrógeno (N₂). Por contraste, el 78% de la atmósfera terrestre es nitrógeno. El agua y el vapor de agua son muy raros en Venus. Muchos científicos argumentan que Venus, al estar más cerca del Sol, está sujeto a un llamado efecto invernadero desbocado que provocó que se evaporaran algunos océanos en la atmósfera. Los átomos de hidrógeno de las moléculas de agua podían haberse perdido en el espacio y los átomos de oxígeno en la corteza. Otra posibilidad es que Venus tuviera en principio muy poca agua. El ácido sulfúrico de las nubes también tiene su correspondencia en la Tierra; forma nieblas muy finas en la estratosfera. Este ácido cae con la lluvia y reacciona con los materiales de la superficie; la denominada lluvia ácida daña determinadas partes del medio ambiente. En Venus, el ácido se evapora en la base de las nubes y sólo puede permanecer en la atmósfera. La parte superior de las nubes, visible desde la Tierra y desde el *Pioneer Venus 1*, se extiende como neblina 70 u 80 km por encima de la superficie del planeta. Las nubes contienen una impureza de color amarillo pálido que se detecta mejor con longitudes de onda cercanas al ultravioleta. Las variaciones en el contenido de dióxido de azufre de la atmósfera podrían indicar vulcanismo activo en el planeta. En la cima de las nubes es posible distinguir ciertos modelos de nube y rasgos climáticos que proporcionan información sobre el movimiento del viento en la atmósfera. Los vientos del nivel superior rodean al planeta a una velocidad de 360 km/h. Estos vientos recorren el planeta, soplando en casi todas las latitudes, desde el ecuador a los polos. El seguimiento del

movimiento de las sondas descendentes ha mostrado que, a pesar de la existencia de estos vientos de nivel superior de alta velocidad, mucho más de la mitad de la densísima atmósfera de Venus, próxima a la superficie del planeta, está estancada. Desde la superficie hasta los 10 km de altura, las velocidades del viento sólo son de 3 a 18 kilómetros por hora. La atmósfera superior y la ionosfera han sido estudiadas con gran detalle por *el Pioneer Venus 1* mientras las atravesaba una vez al día. En la Tierra, esta región es muy cálida; en Venus no, a pesar de estar más cerca del Sol. Resulta sorprendente que el lado nocturno de Venus sea muy frío (las temperaturas del lado diurno son de 40 °C y las del lado nocturno de -170 °C). Los científicos sospechan que los fuertes vientos soplan desde el lado diurno hacia el vacío casi total provocado por las bajas temperaturas del lado nocturno. Estos vientos arrastrarían gases ligeros, como hidrógeno y helio, que están concentrados en un 'engrosamiento' del lado nocturno. En la Tierra, la ionosfera está aislada del viento solar por la magnetosfera. Venus carece de campo magnético propio, pero el viento solar parece generar una magnetosfera inducida. Venus gira muy lentamente sobre su eje y la dirección es retrógrada (contraria a la de la Tierra). Curiosamente, cuando los dos planetas están más cerca, siempre mira hacia la Tierra la misma cara de Venus. En estas ocasiones, se puede observar esta cara y se pueden trazar mapas mediante radiotelescopios con base en la Tierra. En contraste con la enorme antena que necesitó el radar terrestre que traza los mapas de Venus, un modesto instrumento del *Pioneer Venus 1* pudo dirigir un reconocimiento casi global. Combinado con los datos de las sondas soviéticas y los del radar, el reconocimiento mostró que la superficie de Venus es, ante todo, una meseta plana interrumpida por dos zonas montañosas del tamaño de un continente conocidas como Ishtar Terra y Aphrodite Terra. Esta última ocupa la parte más lejana de Venus según se ve desde la Tierra cuando ambos planetas están más alejados. El radar más potente a bordo de la sonda espacial *Magallanes* ha descubierto volcanes muy activos, grandes corrientes de lava solidificada y una amplia serie de cráteres meteóricos. El mayor cráter de impacto que se ha observado mide casi 160 km de diámetro (el más pequeño, unos 5 km). El radar de la sonda podría resolver incluso cráteres más pequeños, si los hubiera. La densa atmósfera de Venus impide que meteoroides más pequeños alcancen la superficie del planeta. El reconocimiento global y otras sondas también han dejado pruebas de que, al menos en el pasado, hubo una gran actividad tectónica en Venus. Estas pruebas incluyen cordilleras, cañones, una depresión que se extiende 1.400 km a lo largo de la superficie y un gigantesco cono volcánico cuya base mide más de 700 km de ancho. Las sondas soviéticas enviaron fotografías de las áreas donde se posaron y también midieron la radiactividad natural de las rocas. La radiactividad recuerda a la del granito y sugiere que el material de Venus se diferencia químicamente por su actividad volcánica. Las rocas angulosas que se pueden ver en las imágenes soviéticas también sugieren la existencia de actividad geológica que contrarrestaría las fuerzas de erosión.

NEPTUNO

Es el cuarto planeta en cuanto a tamaño y el octavo en cuanto a distancia al Sol. La distancia media de Neptuno al Sol es de 4.500 millones de kilómetros y su diámetro lineal medio es de aproximadamente 49.400 km, o sea, cerca de 3,8 veces el de la Tierra. Su volumen es aproximadamente 72 veces, su masa 17 veces y su densidad media 0,31 la de la Tierra o 1,7 veces la del agua. El albedo del planeta es alto: refleja el 84% de la luz que recibe. El periodo de rotación es de cerca de 16 horas y el periodo sideral de revolución es de 164,79 años. La magnitud estelar media del planeta es de 7,8 y casi nunca es visible a simple vista, aunque se puede observar con un pequeño telescopio, apareciendo como un pequeño disco azul verdoso sin marcas definidas en su superficie. La temperatura de la superficie de Neptuno es de unos -218 °C, parecida a la de Urano, que está a más de 1.500 km más cerca del sol, por lo tanto, los científicos suponen que Neptuno debe tener alguna fuente interna de calor. La atmósfera se compone fundamentalmente de hidrógeno y helio, pero la presencia de más del 3% de metano da al planeta su sorprendente color azul. Se conocen ocho satélites que giran alrededor de Neptuno, dos de los cuales se pueden observar desde la Tierra. El mayor y más brillante es Tritón, descubierto en 1846, año en el que se observó Neptuno por vez primera. Tritón, con un diámetro de 2.705 km es poco menor que la luna terrestre. Su órbita tiene un movimiento retrógrado, esto es, opuesto a su dirección primaria de rotación, a diferencia de cualquier otro satélite importante del Sistema Solar. A pesar de su temperatura extremadamente fría, Tritón tiene una atmósfera de nitrógeno con algo de metano y una cierta neblina. También muestra una activa superficie de géiseres que arrojan una materia subterránea desconocida. Nereo, el segundo satélite, (descubierto en 1949), tiene un diámetro sólo de unos 320 km. La sonda planetaria

Voyager 2 descubrió otros seis satélites en 1989 (véase Astronáutica). Neptuno también está rodeado por cinco anillos. Su campo magnético está inclinado más de 50° respecto al eje de rotación. El descubrimiento de Neptuno fue uno de los éxitos de la astronomía matemática. En 1846, para explicar las alteraciones en la órbita de Urano, el astrónomo francés Urbain Le Verrier calculó la existencia y la posición de un planeta nuevo. El mismo año, el astrónomo alemán Johann Gottfried Galle descubrió el planeta a 1° de esa posición. La posición de Neptuno fue calculada, por otra parte, por el matemático británico John Couch Adams, pero los observadores británicos no actuaron con suficiente celeridad para anunciar el descubrimiento del planeta.

URANO

Séptimo planeta en cuanto a distancia al Sol, que gira fuera de la órbita de Saturno y dentro de la órbita de Neptuno (véase Sistema Solar). Es de sexta magnitud, por lo que es poco observable a simple vista. Urano fue descubierto accidentalmente en 1781 por el astrónomo británico William Herschel y originariamente se le llamó Georgium Sidus (Estrella de Jorge) en honor a su mecenas real, Jorge III. Más tarde, durante un tiempo se le llamó Herschel en honor a su descubridor. El nombre Urano, que propuso por vez primera el astrónomo alemán Johann Elert Bode, se comenzó a utilizar a finales del siglo XIX. Urano tiene un diámetro de 52.200 km y su distancia media al Sol es de 2.870 millones de km. Urano tarda 84 años en completar una órbita y 17 horas y 15 minutos en una rotación completa sobre su eje, que está inclinado 98° con relación al plano de la órbita del planeta alrededor del Sol. La atmósfera de Urano está compuesta fundamentalmente de hidrógeno y helio, con algo de metano. A través del telescopio, el planeta aparece como un disco verde azulado con un pálido contorno verde. En comparación con la Tierra, Urano tiene una masa 14,5 veces mayor, un volumen 67 veces mayor y una gravedad 1,17 veces mayor. No obstante, el campo magnético de Urano sólo es una décima parte más fuerte que el de la Tierra, con un eje inclinado 55° en relación con el eje de rotación. La densidad de Urano es aproximadamente 1,2 veces la del agua. En 1977, mientras se observaba la ocultación de una estrella detrás del planeta, el astrónomo estadounidense James L. Elliot descubrió la presencia de cinco anillos que rodeaban a Urano en el plano de su ecuador. Los llamó Alpha, Beta, Gamma, Delta y Epsilon (empezando por el anillo más interno). Forman un cinturón de 9.400 km de ancho, extendiéndose hasta una distancia de 51.300 km del centro del planeta. En enero de 1986, durante el viaje exploratorio del *Voyager 2* se descubrieron cuatro anillos más. Además de los anillos, Urano tiene 15 satélites (5 descubiertos por medio del telescopio y 10, por el *Voyager 2*); todos giran alrededor de su ecuador y se mueven en el mismo sentido en el que gira el planeta. Las dos lunas mayores, Oberon y Titania, las descubrió Herschel en 1787. Las dos siguientes, Umbriel y Ariel, fueron descubiertas por el astrónomo británico William Lassell en 1851. Miranda, el satélite más interior conocido antes del *Voyager*, fue descubierto en 1948 por el astrónomo estadounidense Gerard Pieter Kuiper. Un equipo de científicos, que trabajaba con el telescopio Hale en el Observatorio Monte Palomar, anunció el descubrimiento de dos nuevas lunas de Urano en noviembre de 1997. Hasta que la Unión Astronómica Internacional no certifique el hallazgo, los satélites no recibirán el nombre definitivo. Se trata de las dos lunas más distantes del planeta, con diámetros relativamente pequeños.





