Los cielos de los planetas y satélites del Sistema Solar

Julio Solís García
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

El presente trabajo muestra un recorrido por los planetas del Sistema Solar y algunos de los mayores satélites, analizando de una manera descriptiva el aspecto que podrían mostrar sus cielos y los paisajes desde su superficie, prescindiendo deliberadamente de tecnicismos y desarrollos científicos profundos, para prestar especial atención a la estética, a la apariencia, y al entorno medioambiental de cada uno de los astros objeto de estudio. Todo ello, acompañado con recreaciones artísticas libres, pero basadas en los datos que se conocen, que nos mostrarían el entorno paisajístico observable en cada cuerpo. Nuestro viaje comenzará en las cálidas cercanías del Sol, con Mercurio, para pasar seguidamente por Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, y algunos de los grandes satélites de los distintos planetas, como La Luna, Io, Titán, Tritón.... Terminará nuestro recorrido en los fríos confines del Sistema Solar, con Plutón y Caronte.

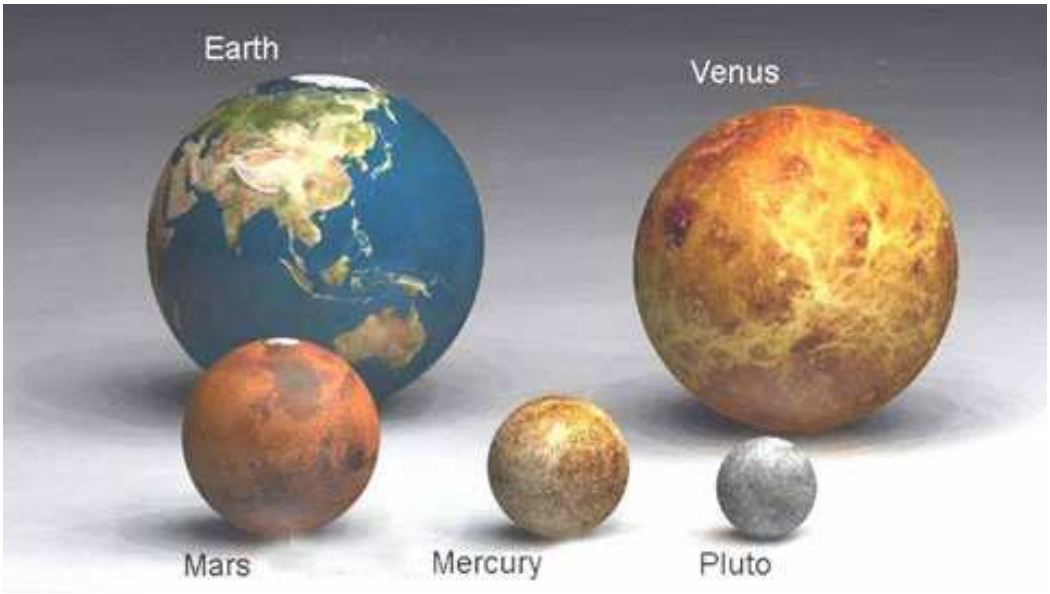

Figura 1.- Planetas terrestres (imagen de uso libre tomada de Internet).

Estamos tan acostumbrados al azul del cielo, a las nubes blancas, a nuestros cúmulos, cirros, nieblas, heladas, lluvia, nieve, viento, etc., que muchas veces nos olvidamos de que por encima de nuestras cabezas, recorriendo el cielo entre las estrellas, nos acompañan esos magníficos luceros, nuestros parientes próximos, los planetas y algunos de sus grandes satélites. Ellos tienen también sus propias atmósferas, su particular geografía, su luz, sus nubes y vientos, que forman sus maravillosos y exóticos paisajes tan distintos de los nuestros.

Vamos a curiosear entre nuestros vecinos cósmicos, iniciando la expedición desde las cálidas cercanías del Sol, con Mercurio, para adentrarnos poco a poco en los fríos y oscuros confines del Sistema Solar hasta llegar a Plutón....

Mercurio

Es un planeta pequeño, rocoso y denso (el más denso de los planetas, después de La Tierra), y también el más cercano al Sol, pues se sitúa a una distancia media de 58 millones de kilómetros del mismo. Mercurio carece de una verdadera atmósfera, aunque retiene parte del viento solar que le llega del próximo astro rey, viento que está compuesto principalmente por protones, partículas α y gases nobles. En concreto, los datos recogidos por la sonda Mariner 10 nos muestran una atmósfera constituida principalmente por helio, con trazas de neón, argón, sodio, potasio, oxígeno, CO_2 e hidrógeno. Asimismo, la corteza del planeta nutre a esta exigua capa gaseosa de elementos volátiles provenientes de la desintegración radiactiva de uranio y torio presentes en las rocas.

Figura 2.- Recreación artística de la superficie de Mercurio. Autor: Julio Solís.

En cualquier caso, esa tenue atmósfera se pierde y se repone continuamente debido a la baja gravedad existente en la superficie de Mercurio (una persona de 70 kilos, pesaría allí unos 22 kilos). Igualmente, tan liviana capa gaseosa resulta insuficiente para teñir el cielo de otro color que no sea el negro aterciopelado plagado de estrellas, planetas, nebulosas y galaxias, que incluso con el sol por encima del horizonte deben mostrar todo su esplendor. La corona solar, protuberancias y otros fenómenos solares mostrarán un espectáculo único, a falta de meteoros atmosféricos 'tradicionales', propios de otros planetas con atmósferas más consistentes.

Siguiendo técnicas de exploración radar, se ha puesto de manifiesto la posible presencia de agua en forma de hielo en los fondos de algunos cráteres en zonas polares, donde nunca alcanza la luz solar directa, de manera similar a lo descubierto en la Luna, lo que no deja de ser sorprendente. De existir estos depósitos, deben contener relativamente poca agua, en placas de hielo de poco espesor, agua que seguramente llegó al planeta desde núcleos de cometas que impactaron en su superficie.

Figura 3.- Recreación artística de un amanecer en Mercurio. Autor: Julio Solís.

Ese viento solar capturado por el planeta, que apenas si alcanza entidad suficiente como para denominarlo 'atmósfera', tiene una presión en superficie equivalente a la que existe en la atmósfera terrestre a unos 800 km de altitud, y por tanto no se producen fenómenos erosivos causados por el viento, que es inexistente. No obstante, aparte del bombardeo de micrometeoritos, y de los movimientos sísmicos desencadenados en parte por las tremendas fuerzas de marea ejercidas por el Sol, el mayor efecto erosivo lo tiene la extrema diferencia de temperaturas entre las zonas iluminadas por el Sol, donde pueden alcanzarse temperaturas superiores a los +400 ºC, y las zonas de sombra situadas a pocos centímetros o metros de distancia, donde se registran hasta 175 grados bajo cero. Esas bajas temperaturas se mantienen en toda la zona oscura del planeta durante sus largas noches, que duran más de dos meses.

Venus

Continuamos nuestro viaje hacia el exterior del Sistema Solar y dejamos atrás a Mercurio..., llegamos a Venus. Parece un planeta gemelo de la Tierra, por sus dimensiones (su radio es tan solo 285 km menor que el terrestre) y porque está rodeado de nubes, pero las apariencias engañan. Es un planeta hermoso cuando lo observamos a simple vista, con prismáticos o con telescopio. Después del Sol y la Luna es el objeto más brillante en nuestro cielo, lo que ha dado lugar en tiempos pasados a fantasías que describían a Venus, (que es, por otro lado, el planeta más cercano a nosotros, llegando a una distancia mínima de 38 millones de kilómetros, motivo por el que brilla tanto en el cielo, aparte de por su elevado albedo que le proporciona el permanente manto nuboso), como un paraíso con mucha agua, grandes y extensos bosques y un clima tropical, como pusieron de manifiesto en sus obras J.H.B. de Saint-Pierre o el premio Nobel S.A. Arrhenius, en las que manifestaban su creencia en que Venus era un lugar idílico y exótico, plagado de selvas y agua en abundancia. Con la llegada al planeta de las primeras sondas interplanetarias, la soviética Venera 1, y la norteamericana Mariner 2, se enterraron definitivamente todos aquellos bosques y selvas tropicales de ensueño.

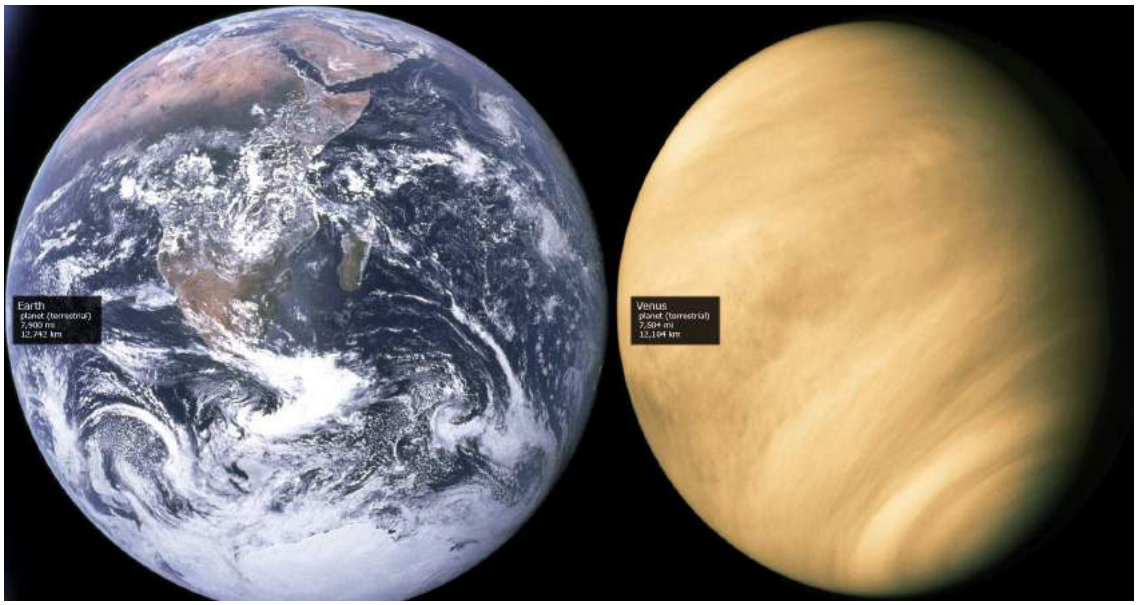

Figura 4.- Comparación de los tamaños de la Tierra (izquierda) y Venus (derecha).
Imagen de uso libre tomada de Internet.

En 1966, se envió el primer vehículo que pudo atravesar su densa atmósfera, y en 1970 se logró posar suavemente una sonda en el suelo de Venus (Venera 7), que pudo transmitir datos durante 23 minutos. Las posteriores sondas Venera 8, 9 y 10 fueron capaces de 'sobrevivir' durante un tiempo más dilatado a los caóticos ataques de los componentes atmosféricos y al intenso calor superficial, enviando, además, las primeras fotografías de la superficie de ese mundo. En los años siguientes lograron posarse otras seis naves Venera, hasta completar una serie de 16, la última de las cuales llegó al planeta en 1983. Posteriormente, se han lanzado mas sondas interplanetarias, como las misiones Vega 1 y 2, quienes antes de continuar su trayectoria hacia el cometa Halley liberaron dos globos sonda que durante tres días estuvieron mandando datos de la atmósfera. Alguno de los módulos de la serie soviética Venera, mientras hacían su entrada en la atmósfera, detectaron, entre otros componentes, CO_2 (96%), nitrógeno (3%), agua, gases sulfurosos (sulfuro de hidrógeno y sulfuro de carbonilo), y algunos gases nobles (argón, xenón, neón y helio).

La estructura nubosa de Venus es persistente, manteniendo al planeta siempre cubierto de nubes. Si fuéramos ascendiendo desde la superficie podríamos observar que la atmósfera es limpia y transparente hasta unos 30 km de altitud, aunque es necesario señalar que la presión y temperatura en superficie son tan altas, que el CO_2 adquiere un aspecto fluido y pastoso, con una elevada eficiencia en la transmisión de calor, favoreciendo precisamente la uniformidad de esa elevada temperatura por todo el planeta. Entre los 32 y los 48 km iría apareciendo una bruma de dióxido de azufre y azufre polimerizado responsable de la reflexión de la radiación infrarroja hacia el suelo, y que se convertirá en una verdadera capa nubosa a partir de los 48 km, con un espesor de cuatro o cinco kilómetros, compuesta por partículas cristalinas, sales de cloro y azufre, y por ácido sulfúrico. Por encima de esa capa nubosa aparecerían otras dos capas de nubes compuestas por una solución acuosa al 80% de ácido sulfúrico, y pequeñas cantidades de ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico, que irían perdiendo densidad y reduciendo el tamaño de las partículas con la altura, hasta sobrepasar los 67 km. Si seguimos subiendo nos encontramos finalmente con una capa brumosa de dióxido de azufre hasta los 90 km.

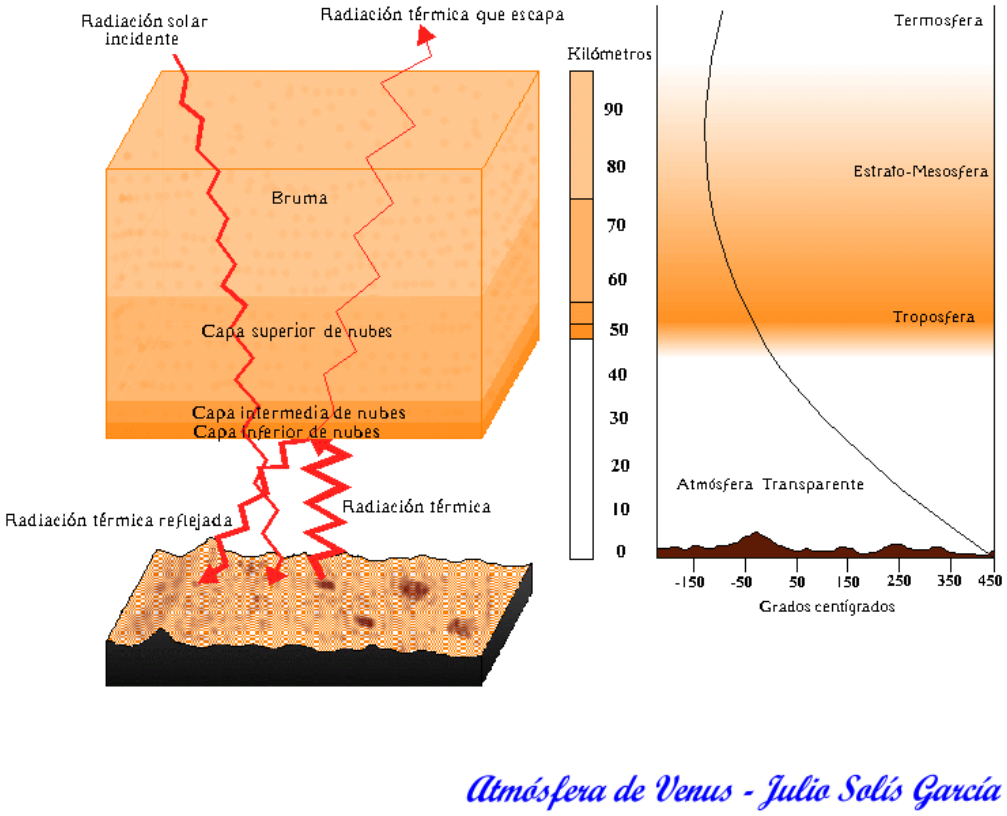

Figura 5.- Corte vertical de la atmósfera de Venus. Autor: Julio Solís

Su velocidad de rotación es muy lenta, tarda nada menos que 243 días en rotar sobre sí mismo, y además lo hace en sentido contrario, es decir, en el sentido de las agujas del reloj mirándolo desde el polo norte, de modo que el sol en Venus sale por el oeste y se pone por el este (si es que pudiera verse la salida y puesta de sol, porque en realidad ese fenómeno no es observable desde la superficie al estar su cielo permanentemente nublado en todo el planeta). Tampoco existen estaciones similares a las de La Tierra, dado que su eje de rotación es casi perpendicular al plano de su órbita, la excentricidad de su órbita es muy pequeña y la uniformidad climática por toda la superficie es dominante, debida al fuerte efecto invernadero y al permanente manto de nubes.

Las condiciones climáticas en la superficie de Venus son radicalmente opuestas a las nuestras, con una temperatura ambiente por encima de los +460 ºC casi constante por todo el planeta, da igual que nos situemos en los polos o cerca del ecuador, o que sea de día o de noche, y una presión atmosférica en superficie de 93 200 hPa (90 veces la nuestra, es decir, la que podríamos encontrar en los fondos marinos a una profundidad de un kilómetro), sequedad absoluta y presencia en la atmósfera de sustancias muy nocivas y corrosivas, como el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico, que darían lugar a verdaderos ríos de plomo, en el caso de que hubiera grandes cantidades de dicho metal en su superficie, corriendo en estado líquido sobre la superficie pedregosa. Todo ello sitúa a Venus en el primer lugar de la lista de planetas más cálidos del Sistema Solar, más aún que Mercurio.

La temperatura en el seno de las nubes oscila entre los +100 ºC en la base de la capa más baja y unos +10 ºC en la cima. En la parte superior de la capa nubosa se

originan partículas de ácido sulfúrico que se precipitan hacia las partes inferiores, donde el fuerte calor las descompone en dióxido de azufre y agua, provocando su evaporación y vuelta a las alturas, por lo que aunque exista una continua lluvia, ésta no llega nunca al suelo (tenemos una permanente virga de ácido sulfúrico en Venus).

Curiosamente, las nubes de Venus deben su opacidad al gran espesor que poseen, y no a su densidad, son más bien una especie de neblina que permite una visibilidad de un kilómetro aproximadamente dentro de las propias nubes. No obstante, la circulación vertical de las partículas que componen las nubes genera un estado de frecuentes fenómenos eléctricos similares a los terrestres, con truenos y relámpagos que deben ser constantes, aunque dada la altura de las nubes no parece probable que alcancen nunca el suelo, al modo de nuestros conocidos rayos.

Figura 6.- Recreación artística de paisaje de Venus. Autor: Julio Solís.

Los vientos en superficie son muy flojos o nulos, aunque pueden ejercer una fuerza considerable en objetos y obstáculos, debido a la enorme densidad del aire venusiano. Sin embargo la masa nubosa en su cima se mueve muy rápidamente, tanto que dan una vuelta al planeta en cuatro días (mientras el propio planeta tarda 243 días en girar sobre sí mismo). Este curioso fenómeno se conoce como ‘superrotación’, con vientos de más de 370 km/h, que arrastran las nubes de este a oeste. Entre el ecuador y las latitudes medias domina la mencionada superrotación con esos fuertes vientos zonales constantes, que van decreciendo globalmente dentro de las nubes, con la altura, hasta velocidades de 180 km/h. A partir de dichas latitudes medias, los vientos decrecen hasta hacerse nulos en los polos, donde se forma un inmenso vórtice. También se produce un movimiento meridional (norte-sur) en forma de célula de Hadley, que transporta el calor desde zonas ecuatoriales hacia las polares a unas velocidades muy débiles de unos 15 km/h. Todavía es una incógnita la verdadera causa de que un planeta que gira tan lento tenga vientos globales huracanados tan fuertes en la cima de su cubierta nubosa.

Las nubes son un factor determinante en el clima de Venus. La capa que envuelve al planeta deja pasar la mayor parte de la radiación solar, que calienta el suelo, pero es muy opaca a la radiación infrarroja, dejándola retenida entre el suelo y las nubes, provocando un recalentamiento de la superficie, caso extremo de efecto invernadero que debería ponernos en guardia respecto a lo que podría pasar en La Tierra en caso de aumentar descontroladamente la acumulación de gases como el CO_2.

Si pudiéramos llegar a la superficie de Venus, y aguantar el ambiente corrosivo y las altísimas temperatura y presión, veríamos el suelo con una apariencia de desierto seco y rocoso, inmerso en una luz amarillenta-anaranjada. Debido a la alta presión y densidad podríamos apreciar fenómenos ópticos como la refracción múltiple, que dan lugar a sucesivas imágenes de un mismo objeto. Tendríamos la sensación de estar viendo el paisaje desde el fondo de una piscina o desde el fondo del mar, sin olvidar que la luminosidad en la superficie de Venus es incluso menor que la de un día nublado y tormentoso en La Tierra. No se verían nunca ni el Sol ni el cielo estrellado. Y continuamos nuestro viaje… ¡próxima estación “La Tierra”!

La Tierra y La Luna

Llegamos al tercer planeta del Sistema Solar, en orden de distancias crecientes al Sol, que más bien es un planeta doble, debido al gran tamaño relativo de su único satélite, La Luna.

Figura 7.- La luna vista desde La Tierra.

Vamos a pasar por La Tierra sin detenernos en ella, dado que entrar con cierto detalle en su estudio y descripción quedaría fuera del objeto de este trabajo, centrado en las atmósferas de los otros planetas, y sus grandes satélites, del Sistema Solar. Sin

embargo, dedicaremos unas líneas a La Luna, cuya superficie queda expuesta completamente a las radiaciones solares y a los meteoritos, a consecuencia de la ausencia de atmósfera. Por otro lado, la inexistencia de corrientes de aire y de gases atmosféricos, hace que las oscilaciones de temperatura entre una zona soleada y otra en sombra sean muy acusadas (entre +95 ºC y -165 ºC). Por la misma razón, tampoco se producen crepúsculos, y el cielo permanece siempre negro, tanto de día como de noche, al igual que en Mercurio.

Otra característica propia del cielo lunar lo produce su rotación capturada (se denomina así a la rotación de un satélite cuyo periodo de rotación coincide con el de revolución, mostrando siempre la misma cara al planeta alrededor del cuál gira), provocando que en las zonas desde las que es observable La Tierra, ésta permanecerá siempre fija, con alguna pequeña oscilación, en el cielo del ese lugar. Magnífico espectáculo debe ser la contemplación de nuestro planeta desde la superficie de La Luna, con un tamaño aparente cuatro veces mayor que el que presenta La Luna en nuestro cielo, lo mismo que los eclipses, tanto de Sol como "de Tierra", que deben ofrecer unas imágenes únicas.

Marte

Seguimos camino hacia los planetas exteriores, el primero de los cuales, Marte, es bastante más amigable que Venus; ya no tendremos que soportar presiones aplastantes, temperaturas abrasadoras o una atmósfera corrosiva. Su tamaño es la mitad del de La Tierra, cuenta con una masa 10 veces menor y la fuerza de la gravedad en su superficie es el 38% de la nuestra. Gira alrededor del Sol en 687 días y le separan del mismo 70 millones de kilómetros más.

Figura 8.- Comparación de los tamaños de la Tierra (izquierda) y Marte (derecha).
Imagen de uso libre tomada de Internet. © NASA/JLP

Marte presenta estaciones, que duran el doble que en La Tierra, debido básicamente a la inclinación de su eje de rotación que es de 25º, también tiene casquetes polares y una atmósfera ligera. Otra similitud es la duración de sus días, con algo más de 24 horas de periodo de rotación. A pesar de todo, al carecer de vida (hasta donde somos capaces de saber, a día de hoy), y de otros elementos que puedan presentar cambios estacionales, salvo variaciones en las masas de hielo polar y el oscurecimiento de zonas de su superficie, esas estaciones no provocan demasiados cambios en el paisaje. La sensación que se podría tener sería parecida a la existente en el desierto de Arizona, pero con un clima ártico, 7 hPa de presión atmosférica en superficie, temperatura durante el día (casi siempre soleado) de unos -50 ºC de media, aunque en verano y en zonas ecuatoriales se pueden registrar hasta +20 ºC, que llega a descender hasta -80 ºC durante la noche, y una tenue capa de ozono insuficiente para detener la radiación solar ultravioleta.

La atmósfera de Marte está constituida principalmente por CO_2 (95,3%), nitrógeno (2,7%), argón (1,7%), cantidades menores de agua, CO y oxígeno molecular, y vestigios de gases nobles como el neón, kriptón y xenón. En función de la estación del año marciano, hora del día y latitud, varía la concentración de vapor de agua en la atmósfera, aunque nunca dan lugar a nubes de cierta consistencia como pudieran ser los cúmulos o estratocúmulos terrestres. La atmósfera más seca se ha detectado en las zonas polares durante el invierno, y la más húmeda también en zonas polares pero en verano. Las frecuentes tormentas de polvo reducen el contenido de vapor de agua atmosférico mientras tienen lugar.

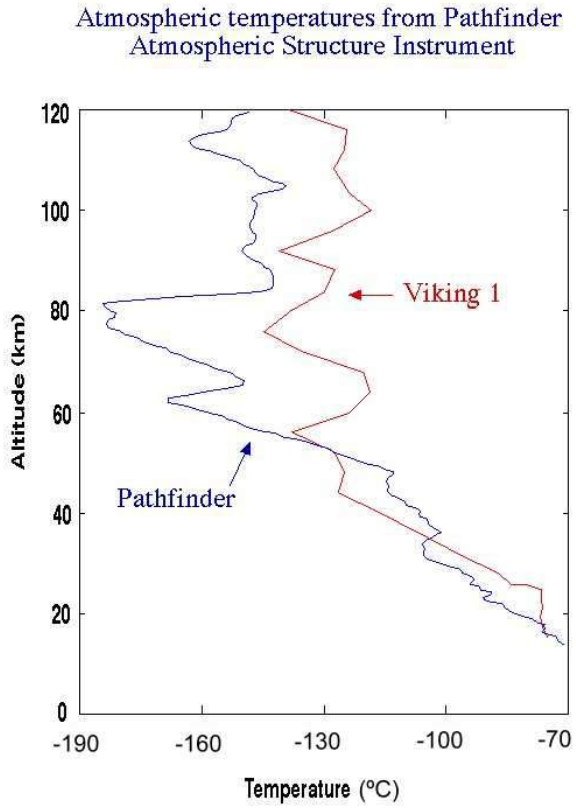

Figura 9.- Perfil térmico vertical de la atmósfera de Marte medido con la sonda espacial Viking 1 (en rojo) y con la Pathfinder (en azul). © NASA.

En las primeras etapas de su formación, Marte poseía una envoltura gaseosa mucho mayor, que fue paulatinamente desapareciendo, y con ella el agua líquida superficial. De ahí que Marte no tenga océanos, ni lagos, ni corrientes de agua, y esté helado (aunque se han encontrado indicios muy claros de que en un tiempo pasado hubo líquidos, seguramente agua, corriendo por su superficie en forma de torrentes, ríos o lagos). Por tanto, en semejanza con Venus y La Tierra, Marte tampoco posee una atmósfera primigenia, sino secundaria, o sea, compuesta por gases que fueron liberados por su caliente interior, por actividad volcánica. Los últimos datos ofrecidos por los vehículos enviados a la superficie marciana (Curiosity, Phoenix, Odyssey, etc.) confirman que en el subsuelo existen grandes depósitos de agua helada mezclada con tierra y rocas, sobre todo cerca del polo sur, que pudieran ser los restos de lo que fueron mares, lagos y ríos de hace miles de millones de años, cuando la atmósfera era más densa.

Contrariamente al proceso de calentamiento que ocurre en Venus, la tenue atmósfera de Marte no permite una acumulación de calor suficiente como para evitar el progresivo enfriamiento y formación de hielo en los polos (hielo seco, mayormente), estimándose en tan solo 5 ºC el aumento en la temperatura debido al efecto invernadero. La pequeña cantidad de oxígeno presente en la atmósfera imposibilita la formación de una verdadera capa de ozono, lo que permite la disociación del CO_2 en CO y oxígeno en toda la atmósfera. El agua se disocia en hidrógeno atómico y en radical hidroxilo debido a los rayos UV solares, productos muy reactivos que pueden catalizar la recombinación del CO y del oxígeno para volver a dar CO_2, lo que mantiene la proporción de este compuesto en valores tan altos y constantes. Un fenómeno peculiar, exclusivo de Marte, es el flujo de condensación del CO_2 desde el polo norte (que es calentado por los rayos solares, haciendo que el hielo se sublime), hacia el polo sur, donde se deposita en forma de hielo (se congela a -57 ºC). Las reacciones entre el hidrógeno atómico y el oxígeno molecular llegan a formar peróxido de hidrógeno, poderoso oxidante que juega un importante papel en la oxidación de los minerales de la superficie, dando a Marte ese tinte rojo tan característico.

Figura 10.- Recreación artística de la superficie de Marte. Autor: Julio Solís.

A pesar de la pequeña cantidad de vapor de agua en la atmósfera marciana, se alcanza la saturación con mucha facilidad, dando lugar a diversos tipos de nubes bastantes parecidas a las existentes en La Tierra. Las nubes de Marte son amarillentas, blanquecinas y azuladas, las primeras deben estar formadas por polvo superficial levantado por el viento, y siempre aparecen asociadas a las grandiosas tempestades de arena, tormentas de polvo tan habituales como únicas entre todos los cuerpos del Sistema Solar; las blancas se observan siempre en lugares próximos al "terminador" (línea que separa la zona iluminada de la oscura), es decir, al amanecer y al atardecer, dando la sensación de desaparecer con el calentamiento de la atmósfera en el transcurso del día. Las nubes azuladas siguen el mismo patrón de conducta que las blancas, que también se forman en las zonas polares. A pesar de la existencia de nubes, no llueve nunca, pues las mencionadas condiciones de presión y temperatura no lo hacen posible.

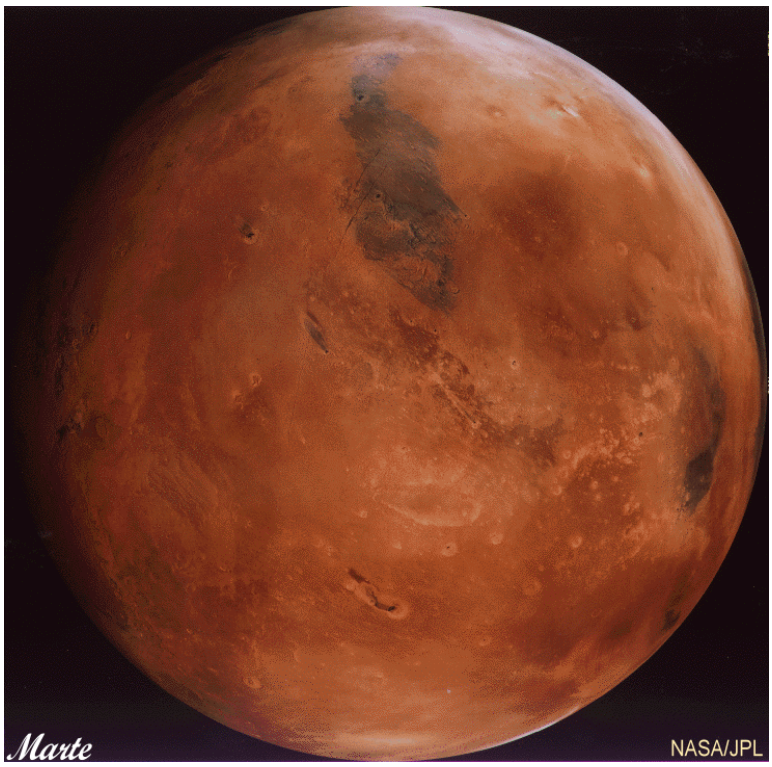

Figura 11.- El planeta Marte. © NASA/JPL.

Entre los distintos tipos de nubes se encuentran las nubes convectivas, que se forman por calentamiento de la superficie durante el día a una altitud de entre 5 y 8 km, versiones reducidas y menos consistentes de nuestros conocidos cúmulos, en forma de pompa, que se forman en las altiplanicies ecuatoriales a partir del mediodía marciano. Cuando existen fuertes vientos y encuentran un gran obstáculo en su camino (una elevada cadena montañosa, por ejemplo), al rebasarlo se produce un movimiento ondulatorio que da lugar a las llamadas nubes ondulatorias, de bastante parecido a los altocúmulos lenticulares que vemos en La Tierra, siempre que se den las condiciones de humedad y temperatura necesarias. Si se da un ascenso forzado por una gran pendiente de enorme extensión, el aire, en su elevación, se satura y forma nubes orográficas, que son nubes aisladas, delgadas y uniformes, con similar aspecto a los estratos terrestres, y que se encuentran en las proximidades de las elevadas cumbres (recordemos que Marte posee las montañas más altas de todo el Sistema Solar). Las nieblas matinales parecen estar en equilibrio con la capa de escarcha de agua que cubre la superficie del planeta en extensas regiones, que con el calentamiento de los primeros rayos del sol se evapora

(sublima), condensándose en el seno de la atmósfera y dando lugar a la niebla. Por la noche, cuando descienden las temperaturas de nuevo hasta valores de -120 ºC, aparece de nuevo la blanquecina escarcha sobre la superficie.

En las regiones polares, y en épocas invernales o de finales de otoño, donde pueden registrarse hasta -130 ºC, la temperatura de la atmósfera a grandes altitudes es suficientemente baja como para dar lugar a la formación de unas nubes blancas que pueden estar compuestas por cristales de hielo seco. Son nubes de dióxido de carbono, probablemente con aspecto parecido a los cirros terrestres, que desaparecen en primavera.

En Marte, los fenómenos erosivos están provocados por el viento y por las diferencias de temperaturas, tan notables a causa de una atmósfera tan liviana, y que han pulverizado las rocas cristalinas de la superficie, dando lugar a enormes campos de dunas y a una capa de polvillo que recubre la totalidad del planeta. Aparecen diferenciados dos regímenes de vientos, el de invierno en latitudes medias, en el que, como ocurre en La Tierra, se suceden vientos dominantes del oeste y corrientes en chorro a gran altura, y el del verano ecuatorial, sometido únicamente al lento suceder de las largas estaciones marcianas, cuyo “motor”, al igual que en La Tierra, es la variación diurna en la insolación, y por tanto del calor suministrado al suelo por el Sol. El efecto combinado del calor y la topografía local, es la clave de los vientos en las zonas ecuatoriales, en donde los vientos dominantes son análogos a las brisas de montaña de La Tierra.

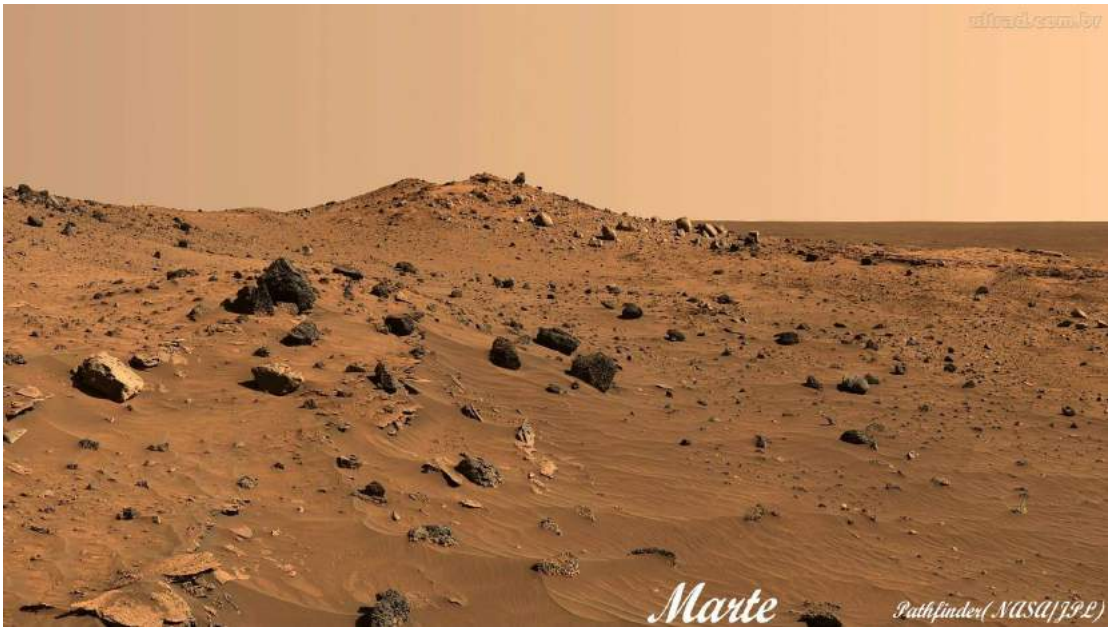

Figura 12.- Superficie marciana fotografiada por la sonda Mars Pathfinder. © NASA/JPL.

El ciclo diario de calentamiento de la superficie, conlleva una notable oscilación en el régimen de vientos (efecto de marea) en la atmósfera, mucho más intenso que en nuestro planeta. Cerca de la superficie, el viento suele soplar con una velocidad media aproximada de 40 km/h, viento más que apreciable. Aún así, a distancias mayores del suelo, entre 50 y 100 km, por ejemplo, los efectos de marea son mucho más intensos, sirviendo de “mezclador” eficaz de los componentes atmosféricos. A consecuencia de la baja presión en la superficie, o mejor dicho de la baja densidad de su atmósfera, levantar

partículas sólidas de polvo o arena del suelo precisa de vientos de más de 100 km/h; no obstante, una vez suspendidas en el aire pueden ya permanecer como tormentas o grandes tempestades de polvo durante largos periodos de tiempo, meses incluso, debido al efecto combinado de la baja gravedad en superficie (1/3 de la terrestre) y de su tenue atmósfera. En invierno, cerca de los polos, se producen fuertes vientos, con intensidad superior a 300 km/h, que suelen originar esas espesas tormentas de polvo locales que frecuentemente se esparcen por todo el planeta dando lugar a violentas tempestades globales que cubren a Marte de un opaco velo amarillo-rosáceo.

El paisaje típico de Marte nos muestra impresionantes cañones, elevados volcanes extinguidos, cráteres semejantes a los de La Luna y continuas tormentas de arena que nublarán su rojiza superficie muy pedregosa y escarchada (en Marte se encuentra el Monte Olimpo, la mayor elevación del Sistema Solar, con un diámetro de 600 kilómetros y una cima que se eleva 24 000 metros sobre su base). El cielo presenta un color asalmonado más o menos intenso dependiendo de la cantidad de polvo en suspensión, que deja ver el Sol (siempre que alguna nube o tormenta de polvo, no lo impidan) con un tamaño casi la mitad del que muestra desde La Tierra. El cielo de Marte debe mostrar un espectáculo nocturno extraordinario, pues su suave atmósfera permitirá contemplar el sistema Tierra-Luna, Venus y Mercurio con particular claridad y colorido, al igual que Júpiter con sus grandes satélites galileanos y Saturno con sus anillos. Fobos y Deimos, sus dos lunas se verán como dos estrellas muy brillantes desplazándose por el cielo marciano en sentido contrario la una respecto a la otra, debido a sus parámetros orbitales, que los hacen girar alrededor de Marte en sentidos opuestos. No podrían verse “redondas” como nosotros vemos a La Luna, en primer lugar debido a su pequeño tamaño y a su forma irregular (Fobos: 27 km x 22 km x 18 km) (Deimos: 15 km x 12 km x 10 km) que las asemeja a dos grandes “patatas” cósmicas.

Proseguimos nuestro viaje hacia las profundidades del Sistema Solar, cruzamos el cinturón de asteroides y empieza a dominar el fondo estrellado el Gigante que se quedó a un paso de ser una estrella, Júpiter…

Júpiter

Un poco más de masa y se hubiera convertido en el segundo sol del Sistema Solar, con su cohorte de satélites helados rebosantes de agua, que hubieran dado lugar a planetas con unas condiciones similares a las de La Tierra, como sería el caso de su luna Europa, de hecho Júpiter tiene una composición química muy similar a la de las estrellas. El más grande de entre los gigantes, con una órbita que le sitúa a 770 millones de km del Sol (cualquier mensaje u orden que pudiéramos enviar desde La Tierra a vehículos o sondas de exploración, sufrirían una demora mínima de 35 minutos). Su enorme tamaño de 143 000 km de diámetro permitiría alojar en su seno a más de mil trescientos planetas como La Tierra. Tiene un sistema de anillos, nada comparable a los majestuosos de Saturno, pero que le confieren un detalle de “elegancia” al rey del Sistema Solar, que cuenta además con un número de satélites superior a 65.

A pesar de su enorme tamaño no es un planeta “perezoso”, es un mundo muy agitado y dinámico, gira sobre sí mismo en algo menos de 10 horas, lo que le produce un achatamiento por los polos, siendo su radio ecuatorial un 7% mayor que el polar. Si nos zambulléramos en su atmósfera con la pretensión de posarnos en su superficie al

modo en que lo haríamos en los planetas terrestres (Mercurio, Venus, La Tierra y Marte), nuestro empeño sería vano, pues Júpiter no tiene una superficie sólida diferenciada.

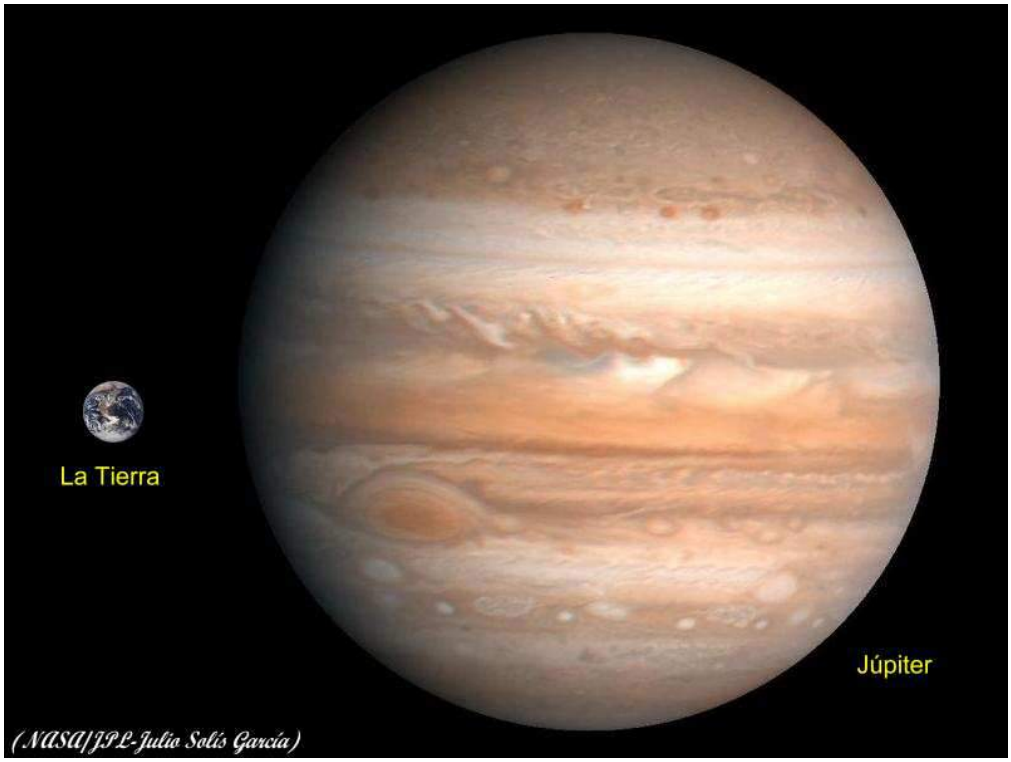

Figura 13.- Comparación de los tamaños de la Tierra (izquierda) y Júpiter (derecha).
Imagen de uso libre tomada de Internet. © NASA/JLP.

La magnetosfera joviana es la más grande y poderosa de entre todos los planetas del Sistema Solar, con un campo magnético 10 veces superior al terrestre y con una extensión de 7 millones de km en dirección al Sol y cientos de millones de km en dirección opuesta (hasta llegar casi a la órbita de Saturno), provocando magníficas y continuas auroras polares. Por debajo de la enorme y densa cubierta nubosa que envuelve al planeta de manera permanente, y que tiene una profundidad estimada de 1 000 km, encontraríamos un fluido líquido de hidrógeno y helio, con trazas de carbono, nitrógeno y azufre, sometido a una presión en aumento que alcanza 3 millones de atmósferas a una profundidad de 18 000 km, donde el hidrógeno adquiere propiedades metálicas al transformarse en una mezcla conductora de electricidad, con protones y electrones sueltos inundando el fluido. La temperatura y la presión siguen aumentando conforme nos acercamos al núcleo sólido y rocoso de Júpiter, compuesto por metales y silicatos, donde se alcanzan unos 30 000 ºC y millones de atmósferas de presión.

En la atmósfera joviana encontramos sobre todo hidrógeno (>87%) y helio (>12%), aunque existen compuestos, como los derivados del azufre y del fósforo, en mucha menor proporción, que otorgan el variado colorido de las colosales formaciones nubosas que rodean al planeta. Metano, amoníaco, agua, cianuro de hidrógeno, fosfinas, monóxido de carbono, etano, acetileno, hidrosulfuro de amonio, y otros muchos compuestos que se generan en presencia de la radiación ultravioleta, y de los relámpagos y descargas eléctricas en el seno de las nubes de metano.

Figura 14.- Recreación artística de las vistas que habría desde la parte alta de la atmósfera de Júpiter. En la imagen aparecen representados el sol y los satélites galileanos con sus tamaños aparentes vistos desde el gigante gaseoso. Autor: Julio Solís.

Nos encontramos con las cimas de las nubes en niveles de presión de 1 hPa, capa nubosa permanente que da lugar, en las profundidades de la densa atmósfera, a una espesa niebla de amoníaco y agua que cubre el pastoso océano global de hidrógeno molecular, sin olas ni mareas y con vientos en calma. Por encima de la capa superior de nubes, la atmósfera presenta un aspecto similar al terrestre, azulado, pero algo más oscuro debido a la menor luminosidad del Sol.

Como resulta difícil identificar algo a lo que pudiera llamarse ‘superficie’ en Júpiter, por debajo de su capa de nubes, podemos establecerla en aquel lugar de aspecto mortecino y penumbroso, en casi total oscuridad tan solo rasgada por frecuentes relámpagos, que no siendo claramente ni océano ni atmósfera, donde se registran 20 atmósferas de presión y +140 ºC de temperatura. A partir de esta referencia arbitraria, en sentido ascendente, tendríamos una troposfera que es donde se desarrollarían los fenómenos meteorológicos, y en su tropopausa (50 km por encima) alcanzaríamos temperaturas por debajo de -170 ºC y presiones inferiores a 0,1 atmósferas. En la estratosfera, con un espesor superior a los 250 km, la temperatura aumenta hasta -80 ºC, temperatura que se mantiene mas o menos constante en dicha capa. A partir de 10^{-6} atmósferas entramos en la termosfera donde la temperatura aumenta con la altura hasta alcanzar los 1 000 ºC.

A diferentes niveles de la atmósfera encontramos nubes de distintas coloraciones, las más frías y por tanto más altas son rojizas en su cima, tomando un color blanquecino o parduzco por las zonas medias, siendo las nubes más bajas de tonalidad azulada. Existen tres capas de nubes, la más alta contiene nubes de amoníaco cristalino, la intermedia compuesta por nubes de hidrosulfuro amónico, y la inferior caracterizada por nubes compuestas por cristales helados de agua. Por debajo de las

nubes mas altas tipo “cirros”, de amoníaco, deben encontrarse nubes convectivas que podrían dar lugar a chubascos (de amoníaco también).

Júpiter es un planeta que emite más energía de la que recibe del Sol, y por tanto, la energía liberada a nivel de la baja atmósfera parece ser la mayor causa de la agitación atmosférica; en cambio, la energía proveniente del Sol tiene un efecto menor en la dinámica atmosférica del gigante. El comportamiento de los gases atmosféricos más profundos se asemeja al de un líquido colocado en una cazuela puesta al fuego. El calor emanado de sus entrañas agita los gases generando un incesante movimiento ascendente/descendente, que mantiene al planeta siempre cubierto de nubes, en su mayoría de carácter convectivo.

La configuración nubosa de Júpiter presenta las características bandas paralelas al ecuador, debido sobre todo a la rápida rotación del astro (gira en la mitad de tiempo que La Tierra), alternándose en colores claros y oscuros, a las que se denominó desde los tiempos de las primeras observaciones telescópicas, “zonas” y “cinturones” (o “bandas”). Las zonas son provocadas por una fuerte ascendencia de gas, y sus nubes son de tipo cumuliforme, de amoníaco y color blanco, alcanzando las mayores alturas y temperaturas muy bajas, con vientos del oeste de hasta 500 km/h. En los cinturones, los movimientos son descendentes, y sus ocres nubes de hidrosulfuro amónico son más oscuras, menos densas y alcanzan menor desarrollo vertical, con vientos de menor intensidad que en las bandas nubosas adyacentes (‘zonas’), y que en este caso soplarían en dirección contraria (serían vientos del este). A latitudes por encima de los 55º, la disposición nubosa pierde su carácter zonal y se vuelve totalmente desordenada, rompiéndose en irregulares movimientos de torbellino.

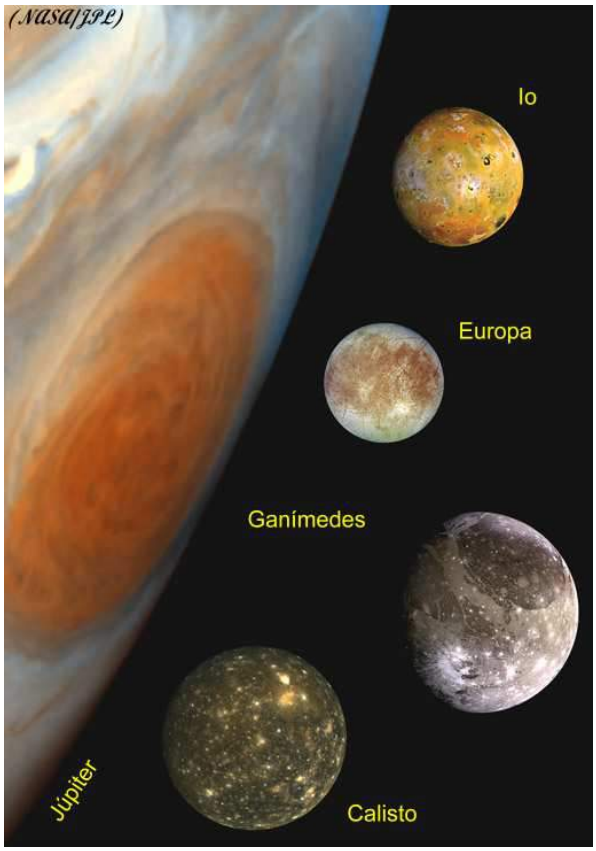

Figura 15.- Tamaño comparativo de la GMR (Gran Mancha Roja) con los satélites galileanos. Autor: Julio Solís.

Uno de los fenómenos meteorológicos más llamativos es la Gran Mancha Roja (GMR), que es un gigantesco anticiclón (es un óvalo de 12 000 km x 30 000 km) situado en latitudes tropicales del hemisferio sur que gira sobre si mismo en unos 5 días, y tiene unos vientos periféricos huracanados de más de 400 km/h,. También se observan vórtices que en su mayoría son blanquecinos y de carácter anticiclónico, estimándose que son formaciones de poca profundidad que no superan unos pocos cientos de kilómetros. Las estructuras atmosféricas descritas, bandas, zonas, vórtices, etc... son muy persistentes en el tiempo, dándose el caso por ejemplo de que la GMR se mantiene en su aspecto actual desde hace por lo menos 300 años.

Io, Europa, Ganímedes y Calisto

Estos cuatro satélites de Júpiter, los mayores, denominados galileanos en honor a su descubridor Galileo Galilei, que pudo observarlos hace 400 años, no tienen una verdadera atmósfera, pero dado su gran tamaño y sus características físicas y geológicas, merecen unas líneas. Io se mueve dentro de la magnetosfera del gigante Júpiter, y está sometido a unas fuerzas de marea tan intensas que le convierten en el astro del Sistema Solar con mayor actividad volcánica y sísmica, con cientos de volcanes activos a causa del intenso calor interno generado. En su superficie, donde no quedan rastros de cráteres de impacto, debido sobre todo a las continuas erupciones volcánicas que dan lugar a numerosos lagos de azufre y a ríos de compuestos de azufre y silicatos, la temperatura superficial media es baja, del orden de –145 ºC, aunque los materiales expulsados en los volcanes presentan temperaturas de más de +400 ºC. En Io no se han detectado cantidades apreciables de agua, y el dióxido de azufre proveniente de las erupciones volcánicas es el componente principal de su tenue atmósfera.

Figura 16.- Tamaños comparativos de la Luna, la Tierra y Marte con los satélites galileanos. Autor: Julio Solís.

Europa posee vestigios de oxígeno gaseoso en su superficie, resultado de la descomposición del vapor de agua por la radiación solar, que continuamente se van perdiendo debido a la escasa fuerza gravitatoria, y se va reponiendo a expensas de la sublimación del hielo superficial. Esta luna tiene una superficie muy lisa, con un océano de agua de más de 100 km de profundidad que la rodea completamente, y que en la superficie se manifiesta como una gran costra de hielo de unos 20 km de espesor, que presenta grandes fracturas debidas a las fuerzas de marea generadas por Júpiter, que provocan también el calor suficiente como para permitir la existencia del vasto océano de agua líquida existente debajo de dicha cubierta de hielo. La temperatura en superficie oscila entre los -160 ºC en la zona soleada y por debajo de -200 ºC en los polos y zonas no expuestas al sol.

Ganímedes es el mayor satélite del Sistema Solar, dejando pequeño incluso a Mercurio, pero tampoco tiene atmósfera, tan solo una tenue envoltura gaseosa de oxígeno de un origen similar al de su "hermana" Europa, resultado de la incidencia de la radiación solar sobre el hielo superficial. Presenta, en cambio, un paisaje superficial muy distinto, con cráteres y cordilleras más semejantes a las lunares, aunque parece muy probable también que contenga bajo el manto cantidades importantes de agua líquida. Su temperatura superficial es muy parecida a la de Europa.

Figura 17.- Recreación artística de una vista de Júpiter desde la superficie de Ganímedes.
Autor: Julio Solís.

Calisto tiene un tamaño casi idéntico al del planeta Mercurio, y también presenta muchísimos cráteres de impacto. No tiene actividad geológica ni calor interno ocasionado por fuerzas de marea, como los tres satélites mencionados anteriormente. Con temperaturas superficiales del mismo orden (entre -190 ºC y -120 ºC según sea zona iluminada u oscura, polar o ecuatorial), tiene una atmósfera extremadamente fina de dióxido de carbono y oxígeno molecular, y se estima que debe tener también unas cantidades importantes de agua en el subsuelo.

Saturno

Otro gigante, solamente un poco menor que Júpiter, aunque si contamos su majestuoso sistema de anillos dejaría pequeño al rey de los planetas del Sistema Solar; sistema de anillos compuesto por ocho grupos de anillos diferenciados, situados en el plano ecuatorial del planeta, con un espesor aproximado de 1 km, y que se extienden desde 6 500 km por encima de las nubes hasta casi los 480 000 km. Situado a 1 425 millones de km del Sol, que se ve con un tamaño nueve veces menor que desde nuestro planeta, tiene unas características únicas, gran achatamiento polar debido a su rápida rotación (de poco más de 10 horas), espectacular sistema de brillantes anillos, formados por trozos de hielo y rocas orbitando al planeta a 50 000 km/h, una densidad tan baja que le haría flotar en un barreño con agua lo suficientemente grande, y más de 60 satélites catalogados, entre los que se encuentra uno de gran tamaño y con una atmósfera importante (Titán).

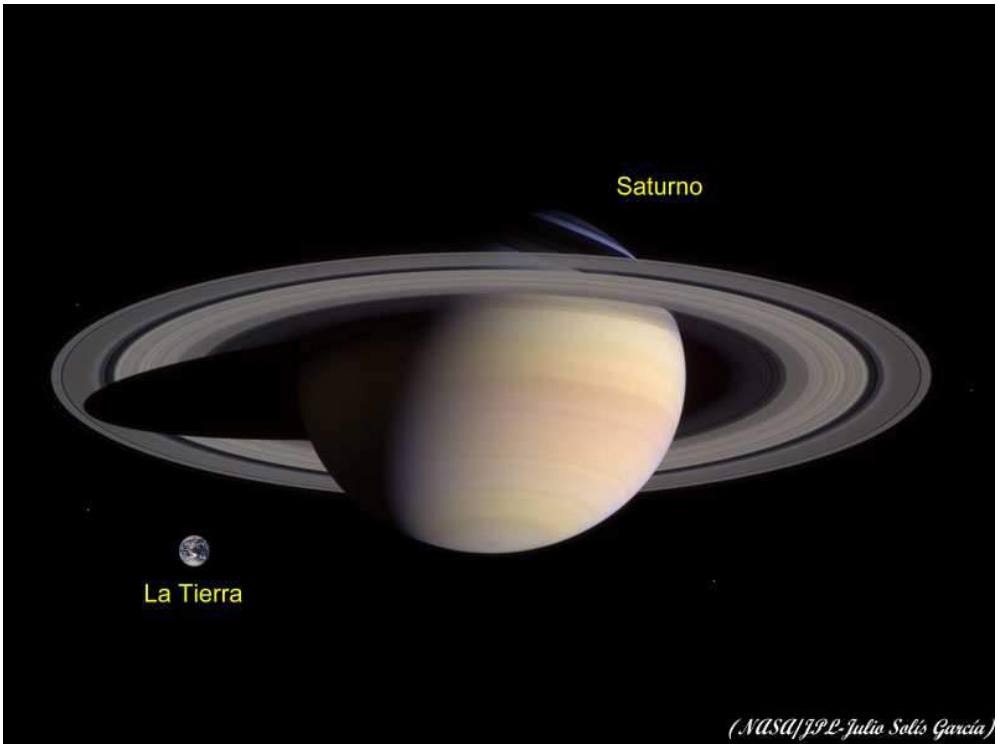

Figura 18.- Comparación de los tamaños de la Tierra y Saturno.
Autor: Julio Solís. © NASA/JPL.

Saturno está compuesto por hidrógeno (90%), helio (5%), y pequeñas cantidades de metano, vapor de agua, amoníaco, etano, propano, fosfinas, monóxido de carbono, y acetileno, concentrados en su densa y extensa envoltura gaseosa. Tiene un núcleo sólido rodeado por una inmensa capa de hidrógeno líquido metálico sobre la que se extiende a su vez la atmósfera de hidrógeno y helio, que alcanza unos 30 000 km, de espesor, y que presenta una estructura en bandas paralelas al ecuador semejantes a las de Júpiter pero menos marcadas y turbulentas, con velocidades del viento en las cimas de las nubes de hasta 1 500 km/h, del oeste, y sin que se aprecien grandes vórtices o remolinos.

El planeta se contrae lentamente generando un calor interno que, al igual que en el caso de Júpiter, es el motor principal de su dinámica atmosférica. Sus nubes, de

amoníaco, hidrosulfuro de amonio, o agua, dependiendo del nivel de presión, presentan unos colores tono 'pastel' amarillento, que quedan semiocultas por una importante capa neblinosa uniforme de cristales de amoníaco, generada en la parte más alta de la atmósfera por fenómenos fotoquímicos. Se repiten los patrones observados en Júpiter respecto a la disposición nubosa en bandas paralelas al ecuador, con zonas (ascendencia) y bandas (subsidencia) debido al poderoso efecto Coriolis, hasta latitudes de ±60º, dominando los torbellinos irregulares conforme nos acercamos a los polos.

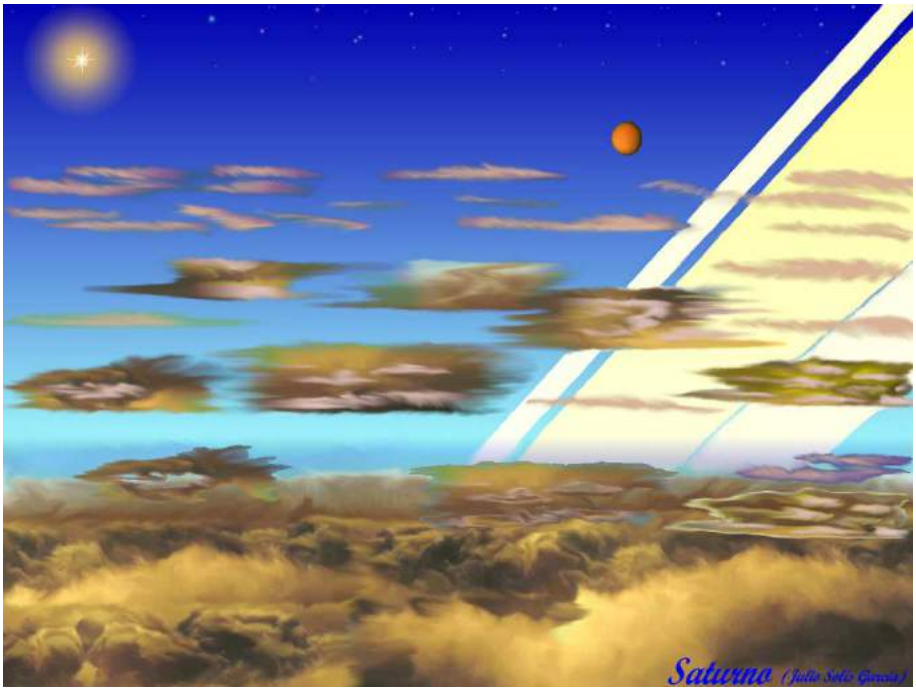

Figura 19.- Recreación artística de una vista desde la parte alta de la atmósfera de Saturno. Autor: Julio Solís.

Tampoco encontraremos en Saturno una superficie sólida claramente diferenciada bajo las nubes. Los registros de las últimas sondas ofrecen temperaturas de -130 ºC a unos niveles de presión similares a los de la superficie de La Tierra, disminuyendo a razón de 0,85 ºC por km, en sentido ascendente, hasta alcanzar -193 ºC a niveles de presión de 0,07 atmósferas. Por encima del manto de nubes se encuentra una ionosfera de hidrógeno ionizado, y una magnetosfera que aunque es tres veces menor que la de Júpiter supera en mucho a la terrestre, dando lugar a vistosas e intensas auroras polares. También se han encontrado en Saturno estructuras turbulentas a modo de grandes huracanes, sin el tamaño, espectacularidad, o persistencia en el tiempo, de la GMR de Júpiter, pero que parecen tener un origen similar; son de color blanquecino, y suelen tener una vida media de pocos meses. Todo indica que son fenómenos convectivos de grandes dimensiones que atraviesan la capa brumosa superior, seguramente con nubes similares a nuestros conocidos cumulonimbos pero a una escala gigantesca.

Titán y Encélado

Antes de entrar en materia con Titán, mencionaremos brevemente algunos detalles de Encélado, pequeño satélite helado, que aunque no es el único satélite de Saturno con agua helada en su superficie, sí presenta actividad geológica, debida

seguramente al calor generado en su interior como consecuencia de las tensiones gravitatorias con Saturno, y resonancias orbitales con algunos de los satélites próximos como Dione. Dicho calor interno parece provocar fenómenos similares a géiseres de agua, u otros relacionados con el criovulcanismo. Este satélite presenta una temperatura superficial de -193 ºC, y tiene el albedo más alto en el Sistema Solar. Se ha detectado una tenue atmósfera de vapor de agua con pequeñas cantidades de nitrógeno, dióxido de carbono y metano.

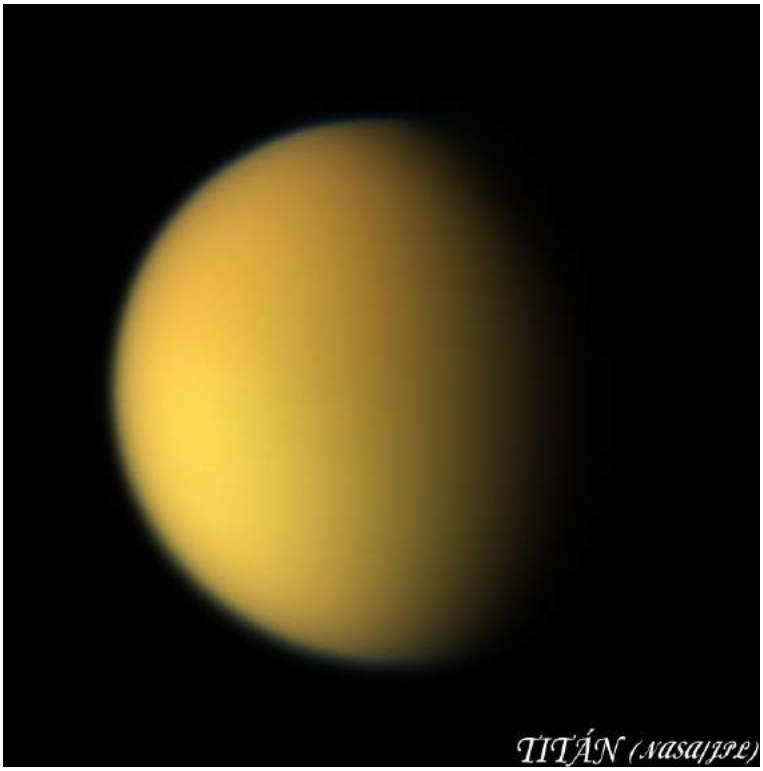

Figura 20.- Titán. © NASA/JPL.

Titán es grande, tiene un tamaño intermedio entre Marte y Mercurio, y es el mayor de la numerosa cohorte de satélites de Saturno, seguramente la más numerosa de todo el Sistema Solar junto con la de Júpiter, y sobre todo el único con una atmósfera densa y homologable a la terrestre. El 14 de enero de 2005, la sonda Huygens logró posarse en la superficie de este gran satélite, tras separarse de la nave Cassini, ofreciendo imágenes y datos de la superficie y de la atmósfera, que nos han permitido conocer mucho mejor las características globales de este apasionante y helado mundo.

La atmósfera de Titán está compuesta de nitrógeno (94%) y otros compuestos (5%), mayormente hidrocarburos como el metano, y en menor medida etano, acetileno, metilacetileno, diacetileno, cianoacetileno, propano, CO_2, CO, cianógeno, cianuro de hidrógeno, helio y compuestos químicos complejos, resultado de la fuerte actividad fotoquímica en la atmósfera superior. Particularmente interesante resulta la presencia de cianuro de hidrógeno, nitrilo precursor de las purinas, constituyentes de los ácidos nucleicos presentes en las células vivas.

Titán es el único lugar del Sistema Solar, junto con La Tierra, donde se producen precipitaciones que dan lugar a ríos y lagos, aunque aquí los fenómenos meteorológicos no tienen su base en el agua, sino en el metano líquido, que es el componente principal de las nubes tormentosas de gran desarrollo vertical (hasta 35 km) que descargan

importantes cantidades de precipitación. También existen nubes tipo cirros en la estratosfera de Titán, a una altitud de entre 50 y 100 km, compuestas por cristales de hidrocarburos. Temperatura ambiente media de -180 ºC, vapores brumosos próximos a ríos y lagos, o tras la lluvia; la superficie anaranjada y fría es arcillosa y blanda, con rocas dispersas y bloques de hielo, en la que puede haber actividad volcánica con erupciones de agua mezclada con amoníaco, soportando una presión atmosférica de 1 600 hPa. Se han detectado vientos dominantes del oeste, que en superficie tienen velocidades de entre 50 y 100 km/h, llegando hasta 200 km/h en zonas altas de la atmósfera. Entre la niebla anaranjada y espesa en la alta atmósfera, y la lejanía al Sol, la luminosidad en un día cualquiera en Titán puede asemejarse a la crepuscular terrestre.

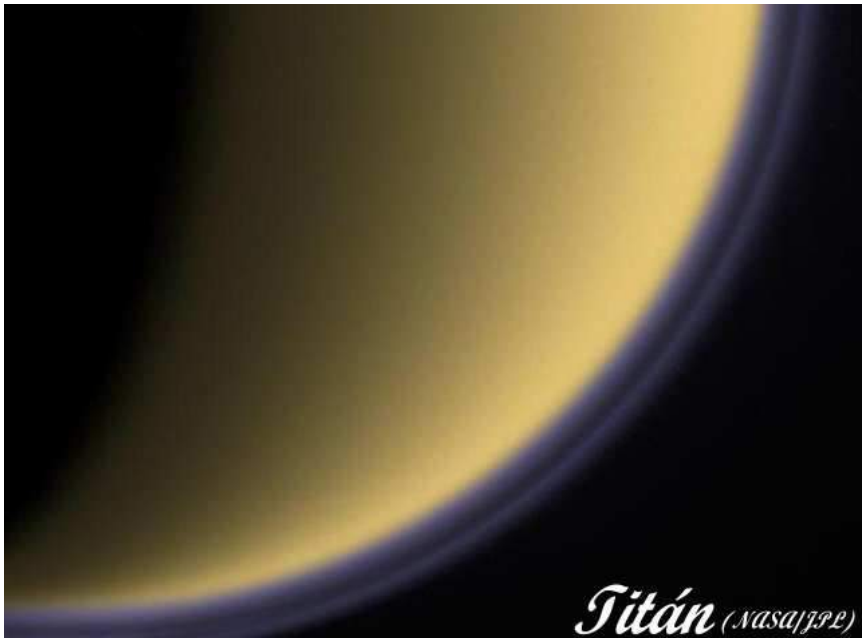

Figura 21.- Detalle de la atmósfera de Titán. © NASA/JPL.

Figura 22 Recreación artística de una vista desde la superficie de Titán.
Autor: Julio Solís.

La baja densidad media (< 2 gr/cm^3) hace pensar que está compuesto por una mezcla de hielo y roca, con un manto arcilloso y posiblemente con un océano de agua con amoníaco disuelto y diversos hidrocarburos, a una profundidad de unos 100 km. Tiene una rotación capturada, con un periodo de 16 días, lo que pone en evidencia una situación atmosférica equivalente a la del planeta Venus en lo referido a la superrotación de su atmósfera, régimen dinámico cuyo origen sigue siendo una incógnita en ambos casos.

Urano

Tiene una permanente cubierta nubosa, aunque quizá sería más apropiado decir que realmente, al igual que Júpiter, Saturno y Neptuno, es un planeta gaseoso con un núcleo sólido y sin una superficie sólida diferenciada. Con un aspecto verde azulado uniforme en cuya superficie es difícil distinguir manchas o formaciones de cualquier tipo, es verdaderamente un planeta muy curioso este gigante. que tiene también anillos (nada parecidos a los espectaculares de Saturno), magnetosfera y un número importante de satélites (27), aunque ninguno tiene características destacables, y también experimenta un achatamiento por los polos debido a la rápida velocidad de rotación (lo hace en 17 horas) que además es retrógrada. Tarda 84 años en dar una vuelta completa alrededor del Sol, que destaca en su cielo (por encima de las nubes, claro) como una gran estrella brillante, perdida a 3 000 millones de km (su luz tarda 2 horas y media en llegar) y 400 veces menos luminoso que visto desde La Tierra; pero lo más llamativo es la gran inclinación de su eje de rotación (98º), que le convierte en un planeta que va 'rodando' sobre su órbita con sus polos apuntando al Sol alternativamente durante 20 años cada uno, en cada vuelta alrededor del Sol, y tomando el aspecto de una diana visto desde el interior del Sistema Solar con los anillos como si fueran círculos alrededor del disco planetario.

Figura 23.- Comparación de los tamaños de la Tierra (izquierda) y Urano (derecha).
Autor: Julio Solís. © NASA/JPL.

Es el segundo planeta menos denso, después de Saturno, con un núcleo rocoso y un manto de hielos de agua, amoníaco y metano, aunque es importante señalar que este manto 'helado' no está compuesto de hielo en sentido convencional, sino que es un fluido sometido a enorme presión, caliente y denso con una conductividad elevada, y se parecería más a un océano espeso. Por encima tiene una atmósfera de hidrógeno molecular (83%), helio (15%), metano (2%), amoníaco (0,01%) y otros elementos en menor cantidad (etano, acetileno, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno…) En esta atmósfera, la más fría del Sistema Solar (-224 ºC) encontramos varias capas nubosas de cristales de metano en zonas de mayor altitud, y de agua en zonas más bajas, con vientos que pueden llegar hasta los 1 000 km/h. No disponemos de datos observacionales a lo largo de un año completo uraniano, pero se da por hecho que existen cambios estacionales apreciables en su atmósfera.

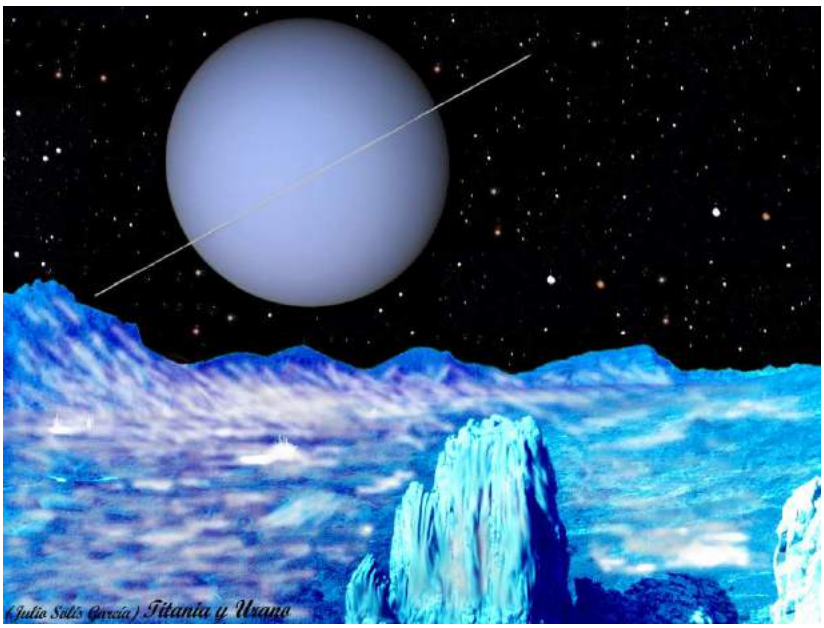

Figura 24.- Recreación artística de una vista de Urano desde la superficie de Titania.
Autor: Julio Solís.

Figura 25- Recreación artística de una vista la parte alta de la atmósfera de Urano.
Autor: Julio Solís.

Los sensores de la sonda espacial Voyager 2, que ha analizado la atmósfera desde las cercanías del planeta, la han escudriñado hasta una profundidad de 300 km por debajo de lo que se ha dado en llamar arbitrariamente 'superficie', o sea, el nivel de presión en su atmósfera de 1 bar, donde midió presiones de 100 000 hPa a una temperatura de +50 ºC. Dicho análisis ha determinado la presencia de una troposfera desde los -300 km hasta los +50 km (tomando como referencia el nivel mencionado de 1 bar), donde la temperatura disminuye con la altitud hasta los -224 ºC en la tropopausa. Esta capa es la más dinámica de la atmósfera, sometida probablemente a cambios estacionales y con presencia de nubes de agua en los niveles inferiores, y según ascendemos podríamos encontrar nubes de hidrosulfuro amónico, de amoníaco, sulfuro de hidrógeno, y en la zona más superior, nubes de metano. Por encima de la troposfera tenemos la estratosfera, donde la temperatura aumenta con la altitud hasta valores de +500 ºC a 4 000 km por encima de la 'superficie'. En las zonas más bajas de la estratosfera se condensa una mezcla de hidrocarburos (metano, acetileno y etano) en forma de niebla o bruma que seguramente es la causante del aspecto liso que se aprecia desde el exterior. La capa más exterior es la termosfera/corona que se extiende hasta los 50 000 km, manteniendo de manera uniforme la temperatura alcanzada en la estratopausa.

Neptuno

Algo más pequeño que Urano pero muy parecido en aspecto y composición, también tiene anillos y un menor número de satélites (13), aunque entre ellos destaca Tritón, algo más pequeño que nuestra Luna, pero mayor que cualquiera de los de Urano. Tarda nada menos que 165 años en recorrer su órbita alrededor del Sol, y 16 horas en rotar sobre sí mismo.

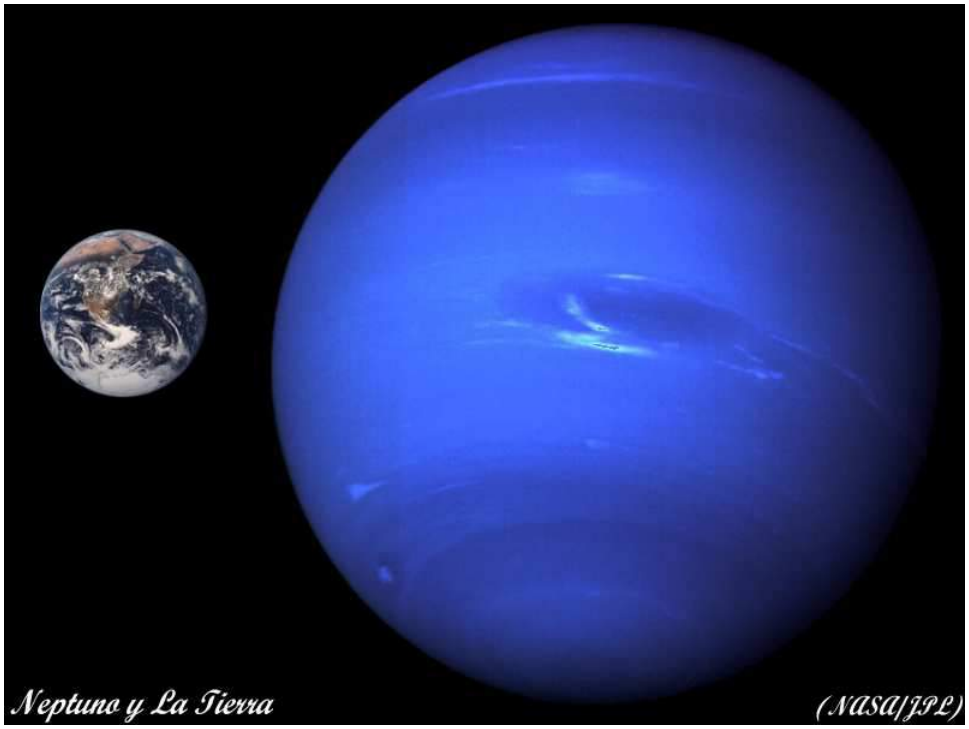

Figura 26.- Comparación de los tamaños de la Tierra (izquierda) y Neptuno (derecha). Autor: Julio Solís. © NASA/JPL.

Su estructura interna es similar a la de Urano, con un núcleo sólido rocoso envuelto por una especie de mar de agua y amoníaco, o mejor dicho un fluido de gran conductividad eléctrica, y sometido a grandes presiones, y temperaturas de varios miles de grados, y una atmósfera externa con nubes de hidrógeno, helio y metano. También se ha detectado un campo magnético que al igual que el de Urano está muy inclinado respecto a su eje de rotación.

Figura 27- Recreación artística de una vista la parte alta de la atmósfera de Neptuno. Autor: Julio Solís.

Como está tan lejos del Sol (4 500 millones de km), recibe muy poco calor del astro rey, por lo que se dan temperaturas en su 'superficie' inferiores a los -200 ºC, a pesar de lo cual el planeta genera calor interno a expensas de una lenta contracción, de manera similar a Júpiter y Saturno, lo que le sirve de motor para su dinámica atmosférica, dando lugar a manchas, remolinos, y estructuras nubosas muy activas, dispuestas también en bandas paralelas al ecuador que recuerdan más a los dos planetas gigantes citados que a Urano. La atmósfera de Neptuno está compuesta por hidrógeno (84%), helio (12%), metano (2%), amoníaco (0,01%), y cantidades menores de etano y acetileno, y muestra un color azulado más intenso que el de Urano. La disociación del metano atmosférico, causada por la radiación solar, da lugar a una finísima bruma de hidrocarburos en las capas altas. Cuando la nave Voyager 2 llegó a Neptuno en agosto de 1989, descubrió una gran mancha oscura, similar a la GMR de Júpiter, con un tamaño de 12 000 km x 8 000 km, un gigantesco huracán que presenta formaciones nubosas tipo cirros de color blanquecino en sus bordes, donde se producen vientos de hasta 2 000 km/h, que le convierten en el planeta con los mayores registros de velocidad del viento. Se catalogaron varios remolinos ovalados con estructura similar, pero más pequeños, mostrando las cimas de enormes nubes de carácter convectivo, detectando igualmente capas de cirros de metano de color blanco unos 50 km por encima de las capas nubosas inferiores. Estas nubes tipo cirros son descompuestas mediante procesos fotoquímicos que generan hidrocarburos, mas pesados que el metano. Con todo, la atmósfera de Neptuno tiene mayor transparencia que la de Júpiter y Saturno.

Tritón

Es el satélite más grande, y el único con forma esférica, de Neptuno, y con un tamaño algo más pequeño que el de La Luna. Parece tener su origen, al igual que Plutón, en el cinturón de Kuiper, que es un disco de varios miles de millones de km de ancho, situado en el borde del Sistema Solar, formado por multitud de cuerpos rocosos helados, algunos de los cuales superan los 1000 km de diámetro. Seguramente fue capturado por Neptuno, adoptando una órbita retrógrada muy inclinada, y que junto con la propia inclinación del eje de rotación, provocan cambios estacionales en su superficie y en su liviana atmósfera.

Figura 28- Composición artística de Tritón (en primer término) y Neptuno.
Autor: Julio Solís.

Es el más frío de todo el Sistema Solar, con temperaturas superficiales de -235 ºC, geológicamente activo, con criovulcanismo que da lugar a géiseres en los casquetes polares que expulsan nieve de nitrógeno. Su estructura interna es la de un núcleo sólido de roca y metales, cubierto por un manto de hielo y una corteza de nitrógeno en estado sólido con presencia de hielo seco (CO_2), agua y metano, sobre la que se ha podido detectar una leve atmósfera de nitrógeno y trazas de metano, con una presión en superficie de 14 microbares. La sonda Voyager 2 detectó una fina capa de nubes de hielos de nitrógeno en las cercanías del polo sur, y una niebla de origen fotoquímico compuesta por hidrocarburos, como en Titán, hasta una altitud de 30 km que le confieren un apagado tono rosa-amarillento, y también puso de manifiesto la existencia de volcanes helados de los que emanaban nitrógeno líquido, polvo y metano, que alcanzaban alturas de hasta 8 km sobre la superficie.

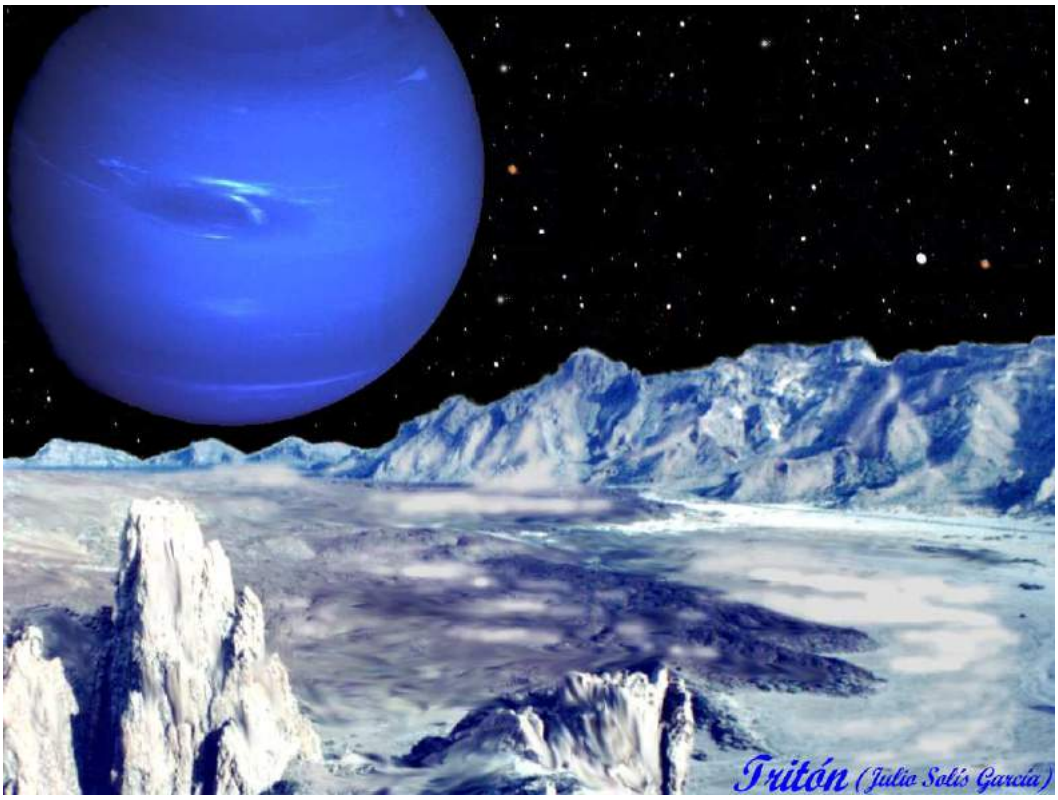

Figura 29- Recreación artística de Neptuno visto desde la superficie de Tritón. Autor: Julio Solís.

Plutón

Terminamos nuestro recorrido, que comenzamos con el cálido Mercurio y el infernal Venus, para terminar en el remoto y gélido Plutón, en la frontera del Sistema Solar con el frío espacio interestelar (nos quedaría atravesar el cinturón de Kuiper, y posteriormente la nube de Oort, que se considera el límite del Sistema Solar, y que es una nube esférica de rocas, hielo, núcleos de cometa y asteroides, situados a un año-luz del Sol, a una cuarta parte del camino que nos separa de la estrella más cercana, α centauri, pero eso escapa a los propósitos de este trabajo). Tiene una órbita muy excéntrica e inclinada, lo que hace que en ocasiones quede más cerca del Sol que Neptuno, alejándose posteriormente hasta los 7 300 millones de km. En el año 2006 se le despojó de su 'título' de planeta para pasar a denominarse 'planeta enano'. Similar a Tritón, el gran satélite de Neptuno, tiene una composición parecida, formando con el mayor de sus satélites, Caronte, un sistema doble que gira alrededor del baricentro del sistema, situado en algún punto entre los dos astros, girando a su alrededor 'mirándose' el uno al otro como si estuvieran hipnotizados, en un período de 6 días (rotación capturada).

Plutón tiene una atmósfera extremadamente tenue, compuesta por nitrógeno (90%), metano (10%) y algo de monóxido de carbono, cuyo único efecto es la alternancia entre la sublimación y la congelación sobre la superficie, según el planeta se acerca o se aleja del Sol a lo largo de los 248 años que tarda en completar su órbita, variando significativamente el albedo del astro y aclarando o intensificando su tonalidad ocre. Su temperatura superficial oscila entre los -215 ºC y los -235 ºC

Figura 30- Recreación artística de Plutón visto desde la superficie de Caronte. Autor: Julio Solís.

Bibliografía y consultas

- Cielos Exóticos (Ed. Equipo Sirius) – Solís García, Julio /Arranz G., P.
- Viaje Extraordinario. Guía turística del Sistema Solar (Ed. Planeta) – Millar, Ron & Hartmann, William K.
- Planetas del Sistema Solar (Ed. Mir) – M. Marov
- Atmósferas y Cielos Planetarios (Tribuna de Astronomía nº 80/81) – Solís García, Julio y Arranz G., P.
- NASA (http://www.jpl.nasa.gov/)
- ESA (http://www.esa.int/ESA)
- http://www.astromia.com/