

Planetas en el Universo

(Planets in the Universe)

Sánchez Lavega, Agustín

Univ. del País Vasco

E.T.S. Ingenieros

Dpto. Física Aplicada I

Alda. Urquijo, s/n.

48013 Bilbao

Presentamos de forma comparativa las características generales y las propiedades fundamentales de nuestro Sistema Solar, así como las teorías en curso sobre el origen de los planetas y satélites. Los recientes descubrimientos de planetas extrasolares en otras estrellas y las especulaciones sobre la vida en el Universo, son asimismo objeto de análisis en este artículo.

Palabras Clave: Sistema Solar. Planetas. Satélites. Cometas.

Gure eguzki-sistemaren oinarriko ezaugarriak eta propietate orokorrak modu konparatiboan aurkezten ditugu, eta, honetaz gain, planeten eta sateliteen jatorriari buruzko teoria berrienak ere. Azken aldian beste izarretan aurkitu berri diren planeta extrasolarrak eta Unibertso biziari buruzko espekulazioak ere aztertzen dira artikulu honetan.

Giltz-Hitzak: Eguzki-Sistema. Planetak. Sateliteak. Kometak.

Nous présentons d'une manière comparative les principales caractéristiques et les propriétés fondamentales de notre Système Solaire, ainsi que les théories sur l'origine des planètes et satellites. Les récentes découvertes des planètes extrasolaires dans d'autres étoiles et les spéculations sur la vie dans l'Univers sont aussi analysées dans ce travail.

Mots Clés: Système Solaire. Planètes. Satellites. Comètes.

Una de las preguntas fundamentales, aún sin respuesta, del ser humano es el saber si nos encontramos solos en el Universo. O más básica aún, es el conocer si la vida, tal y como la entendemos en la Tierra, ha sido capaz de aparecer, desarrollarse y proliferar en otros rincones del Cosmos. Lo cierto es que la única prueba fehaciente de la existencia de vida es la que conocemos en nuestro planeta. El reciente anuncio de la posible detección de los restos de una vida primigenia en un remoto pasado en el planeta Marte, está aún sumido en el debate científico y sobre todo en la duda, quedando pendiente de un estudio a fondo de las variadas regiones existentes en este planeta mediante la exploración con vehículos espaciales.

Lo cierto en cualquier caso, es que para que la vida pueda aparecer, se necesita de algún tipo de astros que puedan sustentarla. En el siglo XVIII uno de los astrónomos más afortunados, el británico William Herschel, descubridor del planeta Urano, pensaba que sobre la superficie del Sol existían florecientes formas de vida. Desconoció por aquel entonces la temperatura solar. Las estrellas, con sus altas temperaturas superficiales de entre 2.000 y 30.000 grados producidas por los procesos de fusión termonuclear que tienen lugar en su interior, es evidente que no pueden albergarla. Sin embargo su presencia será necesaria para dar una temperatura adecuada y calor a su entorno, de forma que la vida pueda emerger.

Los astros más apropiados para ello son los planetas y sus satélites. Hasta comienzos de la década de los años noventa, los únicos planetas conocidos eran los de nuestro Sistema Solar. Sin embargo los avances en las técnicas de observación astronómica, han permitido a lo largo de estos últimos tres años, detectar la presencia de planetas orbitando alrededor de otras estrellas diferentes del Sol. Esta detección es hasta la fecha en cualquier caso indirecta, es decir no se ha registrado al planeta en imágenes tomadas con el telescopio, de manera que su presencia se infiere por su influencia sobre algún aspecto observable de la estrella central entorno a la cual órbita. Comenzaré describiendo primero de forma comparativa nuestro conocimiento actual del Sistema Solar, así como las teorías sobre su origen, para pasar después a describir las características y peculiaridades de los llamados planetas extrasolares, para finalizar con una discusión sobre la búsqueda de vida en nuestro Sistema Solar.

NUESTRO SISTEMA SOLAR: UNA VISIÓN COMPARATIVA

Los planetas del Sistema Solar se dividen en dos grandes grupos según su constitución física que se corresponde bien con su distancia media al Sol. Por una parte se encuentran los *planetas terrestres o telúricos*: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte, mientras que por otra se encuentran los *planetas gigantes*: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Más allá, se encuentra el más lejano de todos, Plutón, un astro pequeño más próximo por sus características a los satélites más grandes de los planetas gigantes que al resto de los planetas.

Los planetas telúricos tienen radios entre los 2.439 kms de Mercurio y los 6.378 kms de la Tierra, densidades medias entre 4 y 5.5 gr/cm³, y se encuentran ubicados en las proximidades del Sol a distancias medias entre los 58 y 228 millones de kms del Sol. Su rasgo distintivo es la presencia de un suelo y de una atmósfera gaseosa no muy densa y por lo tanto penetrable por las naves espaciales que pueden posarse sobre la superficie del mismo. Más pequeños, pero físicamente cercanos a estos se encuentra la Luna, y los satélites principales de los planetas gigantes lo, Europa, Ganímedes y Callisto de Júpiter, Titán de Saturno, Tritón de Neptuno, así como el propio Plutón con su pequeño satélite Caronte. Sus radios oscilan entre los aproximadamente 1.100 kms de Plutón y los 2.600 de Titán, pero sin embargo sus densidades medias son mucho más bajas entre 1.8 y 3.0 gr/cm³ (excepto la Luna e lo que tienen densidades más altas de unos 3.5 gr/cm³). La baja densidad de aquellos se

debe a que están formados por una mezcla de rocas y hielos, algo posible sólo a grandes distancias del Sol. Puede decirse que todos poseen una atmósfera si bien muy diferente en cada uno de ellos en cuanto a sus características físicas y composición química.

Los planetas gigantes por contra son, como su propio nombre indica, mucho más grandes y masivos que los telúricos. Por distancia y características físicas pueden agruparse de dos en dos. Júpiter y Saturno son los mayores con radios de 71.400 kms y 60.300 kms se encuentran a 778 y 1426 millones de kms del Sol, respectivamente. Urano y Neptuno tienen radios de unos 25.000 kms y se encuentran a 2870 y 4500 millones de kms del Sol. Sus densidades medias son mucho más bajas (entre 0.7 gr/cm³ para Saturno y 1.6 gr/cm³ Neptuno), que las de los telúricos. Significa esto que los gigantes están constituidos básicamente por elementos ligeros, fundamentalmente hidrógeno (aproximadamente en un 90%) y helio (aproximadamente un 11%) más materiales rocosos. En Júpiter y Saturno el hidrógeno y el helio se encuentran en las capas exteriores primero en forma gaseosa, más en profundidad en forma de fluido molecular, y aún más abajo, debido a las altas presiones y temperaturas, en forma metálica. En el centro de esos planetas se encuentra un núcleo rocoso, de características probablemente semejantes a las de los planetas telúricos. Urano y Neptuno tienen también un núcleo rocoso pero el fluido que les rodea está compuesto de "hielos" (mezclas de metano, amoníaco y agua) rodeado a su vez una atmósfera básicamente de hidrógeno. Una característica peculiar de los gigantes es la presencia de una fuente de calor interna cuyo origen se encuentra básicamente en el calor acumulado por el planeta durante su formación y que ahora libera lentamente. Dicha fuente juega probablemente un papel fundamental en la generación de los movimientos atmosféricos que se observan en esos planetas.

Los otros elementos que conforman el Sistema Solar son los siguientes: Los *satélites menores de los planetas*, en órbita alrededor de aquellos, de los que se conocen actualmente unos 60 (también se conoce algún satélite de asteroide); los *asteroides* que son astros rocosos ubicados fundamentalmente entre las órbitas de Marte y Júpiter, de los que se encuentran catalogados unos 4.000, el más mayor de los cuales, Ceres, tiene un tamaño aproximado de unos 1.000 kms; *los cometas*, astros de núcleo pequeño (alguna decena de kms) y volátil que desarrollan grandes colas de gas y polvo cuando se aproximan al Sol, y que se encuentran ubicados a gran distancia (unos 7.5 billones de kms); los cuerpos menores (*meteoritos*), los *anillos planetarios*, formados por miríadas de pequeñas partículas sólidas y heladas, y los *micrometeoritos* y el polvo interestelar que son la causa de la luz zodiacal. Recientemente se ha descubierto una nueva familia de astros de características físicas entre las de los asteroides y los cometas, ubicados más allá de la órbita de Neptuno, y que se conoce como *cinturón de Kuiper*. Todos estos cuerpos menores no son otra cosa que los restos de la formación de nuestro Sistema Solar, que no consiguieron agregarse durante la formación de los planetas mayores.

ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

Una de las cuestiones más importantes de la Astronomía es conocer como se formaron el Sol y los planetas, ya que se trata del paso fundamental para esclarecer la presencia de vida en otros lugares del Universo. El fundamento conceptual de la formación del Sistema Solar fue establecido por Emmanuel Kant (1755) y Pierre Simon de Laplace (1796) quienes señalaron que éste se originó a partir de una nube de gases achatada y en rotación, denominada *nebulosa solar*.

Nuestro sistema solar se formó hace unos 4.560 millones de años (edad encontrada en los meteoritos más antiguos), tras el colapso de una nube densa de gas y de polvo del

medio interestelar, y de la subsiguiente caída de materia hacia su centro debida a la fuerza de la gravedad. Así nació la *protoestrella* de la que se formó el Sol. De acuerdo con la ley de conservación del momento angular, la rotación inicial de ésta masa produjo la formación del disco achatado a partir del cual se formaron los planetas. La acción no sólo de la gravedad, sino probablemente de los campos magnéticos y de las fuerzas de fricción viscosas dentro de la nebulosa, condujeron a la redistribución de masa y de momento angular en la nebulosa solar (el Sol contiene el 99.9% de la masa del sistema solar pero tan sólo el 2% de su momento angular). Se han propuesto dos teorías diferentes para explicar la formación de los planetas. La primera se basa en las inestabilidades gravitatorias que se produjeron en la parte gaseosa del disco y que dieron lugar a su fragmentación y a la rápida formación a partir de los grumos más grandes de los planetas gigantes. Esta hipótesis está siendo abandonada ya que los estudios detallados de la inestabilidad gravitatoria parecen requerir, para que esta se produzca, masas mucho mayores que la de nuestro sistema solar. La segunda es la hipótesis de los *planetesimales*, según la cual los planetas terrestres y los núcleos de los planetas gigantes se formaron por acumulación (colisión y adherencia) de los pequeños granos de polvo de la nebulosa, y la subsiguiente agregación de otros mayores debido a la gravedad. Así se generaron embriones de planetas (cuerpos sólidos de aproximadamente 1 km) denominados planetesimales sobre los que fueron creciendo los planetas. Los restos quedaron esparcidos por todo el sistema solar, cayendo paulatinamente sobre los planetas durante los siguientes 2.000 millones de años, y causando abundantes cráteres sobre las superficies planetarias.

La estructura que actualmente observamos del sistema solar, responde a la acción posterior de otros mecanismos. Parece antes de nada evidente, que los planetas gigantes y fríos sólo podrían existir en las lejanías del Sol, en donde las bajas temperaturas impedirían la pérdida de sus masivas pero ligeras atmósferas formadas básicamente por hidrógeno y helio. Algo parecido podría decirse de los satélites de esos planetas y de Plutón, formados en alto porcentaje por hielos, y que sólo se encuentran más allá de la órbita de Júpiter. El origen de los satélites parece ser consustancial al de los propios planetas (se originaron en un proceso réplica, pero a escala local, del sugerido por la hipótesis nebular). Algunos de los astros que presentan anomalías orbitales (muy altas inclinaciones del eje de rotación respecto del plano de la órbita, o movimientos retrógrados, es decir en sentido inverso al de las agujas del reloj) pudieran corresponder a cuerpos formados en otras partes del sistema solar y luego capturados en un paso cercano junto al planeta (éste parece ser por ejemplo el caso de los satélites de Marte, de los exteriores de Júpiter, y de Tritón, satélite de Neptuno). Los encuentros y colisiones entre los cuerpos del sistema solar, pudieron originar también algunos otros satélites (la Luna se formó probablemente tras una colisión con la Tierra), y causar algunas anomalías que se observan en los planetas, como por ejemplo la alta inclinación del eje de rotación de Urano (unos 97° con respecto a la eclíptica). Es probable que el cinturón de asteroides sea asimismo el resto de un planeta fragmentado que existió entre Marte y Júpiter. Por su parte, los anillos planetarios pudieran corresponder también a los restos de satélites destruidos en colisiones, o bien ser el resultado de la ruptura gravitatoria por fuerzas de marea de satélites que se aproximaron demasiado al planeta, penetrando dentro del llamado límite de Roche, en cuyo interior la fuerza gravitatoria entre los extremos opuestos del satélite vence a las fuerzas de cohesión interna del cuerpo, produciendo su ruptura.

PLANETAS EXTRASOLARES

La presencia de planetas extrasolares es previsible sin más que considerar las condiciones habituales en las que nacen las estrellas. Estas tienen su origen en las nubes de

polvo y gas que pululan por el medio interestelar en las galaxias. Tras la fase de contracción gravitatoria que da lugar al nacimiento de la estrella, queda a su alrededor una envoltura de gas y polvo la cual, debido a la rotación, queda confinada en un extenso disco ubicado en su plano ecuatorial. Las condensaciones locales de materia que emergen en su interior producidas por inestabilidades gravitacionales, constituyen los embriones a partir de los cuales se generarán los planetas. En 1984 se obtuvo la primera imagen directa de una estrella, la β Pictoris, que mostraba claramente la presencia de un disco circumestelar protoplanetario. La estrella β Pictoris con una masa de apenas una vez y media la del Sol, nos muestra como pudo ser nuestro propio Sistema Solar cuando tenía como máximo unos 100 ó 200 millones de años. Gracias a las observaciones realizadas en las longitudes de onda del infrarrojo, se ha descubierto que muchas estrellas jóvenes poseen envolturas de gas y polvo que están formando o formaran discos semejantes al de β Pictoris del que nacerán los planetas.

Curiosamente, el primer grupo de planetas extrasolares detectado lo ha sido en los restos de una estrella que murió tras una violenta explosión como Supernova. En 1992 las observaciones en ondas de radio del Púlsar PSR B1257+12 (un pulsar es una estrella de neutrones, núcleo de la estrella que explotó como Supernova) mostraron irregularidades en su rapidísima rotación de 6.2 milisegundos. La mejor explicación de este fenómeno invoca a las perturbaciones gravitatorias que deben de producir sobre el pulsar al menos cuatro planetas en órbita a su alrededor. Al menos otros dos púlsares, entre ellos uno binario, parecen poseer planetas. Aún no es claro si los planetas estaban ahí cuando se produjo la explosión de Supernova o bien si se formaron posteriormente aunque entonces habría que explicar como sobrevivieron a la deflagración.

La teoría de nacimiento estelar sugiere la presencia de abundantes planetas en las estrellas más normales y no en objetos tan exóticos. Su observación, lo mismo que sucede con la de los discos *protoplanetarios* es altamente dificultosa debido al inmenso brillo de la estrella frente al planeta tal y como se observa en las longitudes de onda del visible, y a su escasa separación angular vista desde la Tierra. Por ejemplo el brillo del Sol es unos 1.000 millones de veces el del planeta Júpiter. Sin embargo este valor se reduce a unas 10.000 veces para las longitudes de onda del infrarrojo, por lo que quizás sea bajo este tipo de radiación que puedan obtenerse imágenes las primeras imágenes en un futuro no muy lejano de un planeta extrasolar.

Así pues las técnicas indirectas son las únicas que nos permiten hoy en día buscar planetas extrasolares. La más comúnmente utilizada se basa en el efecto Doppler que se produce en las líneas del espectro que provienen de la atmósfera de la estrella central. En presencia de planetas, y dependiendo de su masa y de su distancia, la estrella efectúa un movimiento de rotación orbital alrededor del centro de masas común de esos cuerpos. Esto hace que en intervalos regulares de tiempo, las líneas de su espectro se desplacen hacia el azul y el rojo, y viceversa de forma oscilante, a medida que la estrella se acerca y aleja de la Tierra. Midiendo ese desplazamiento es posible calcular la velocidad radial (hacia el observador) que tiene la estrella durante el ciclo orbital. Conocida su masa por medio de su espectro y calculando la inclinación de su plano orbital respecto del observador terrestre mediante otras técnicas (lo cual no es siempre posible), se puede inferir la masa y características orbitales del planeta o planetas que giran a su alrededor. Otra técnica potencialmente exitosa para la detección de planetas extrasolares consiste en medir con altísima precisión el movimiento de la estrella por el espacio. Si las observaciones son muy cuidadosas, el movimiento de la estrella alrededor del centro de masas del sistema puede detectarse directamente como un movimiento elíptico proyectado en el fondo del cielo. A partir de aquí se puede de nuevo obtener la masa y características del planeta. Finalmente, en aque-

llos casos peculiares en los que la estrella y el planeta se encuentren alineados con el observador terrestre, el tránsito de un planeta con un tamaño suficientemente importante por delante del disco estelar produciría eclipses, dando lugar a variaciones cíclicas en el brillo de la estrella que podrían permitir su detección y caracterización.

La técnica Doppler ha sido con todo y hasta la fecha la más exitosa. Con ella se han descubierto durante 1995 (fecha del descubrimiento del primer caso) y 1996 unas ocho estrellas parecidas al Sol con planetas. Las masas de estos oscilan entre las 0.5 y 10 veces la masa de Júpiter. Lo más desconcertante ha sido el encontrar en cinco de estos casos, planetas que están mucho más cerca de su estrella que lo que se encuentra Mercurio del Sol. Por ejemplo las estrellas 51-Pegasi (primer descubrimiento) y Tau Bootis poseen planetas con masas entre 0.5 y 4 la de Júpiter a tan sólo la décima parte de la distancia de Mercurio al Sol. Esto representa un desafío a la teoría standard de la formación de planetas. Si fuesen análogos a nuestros vecinos del Sistema Solar, esos planetas tan masivos deberían de ser poco densos y por lo tanto muy grandes, algo extraño a la teoría pues ese tipo de planetas sólo podrían formarse en las regiones más exteriores y frías del sistema planetario.

La dificultad de medir la inclinación orbital del sistema añade una alta incertidumbre al cálculo de la masa de esos cuerpos. Algunos de los más masivos pudieran incluso no ser ni planetas, y pertenecer al grupo de las llamadas *enanas marrones*, objetos de transición entre planeta y estrella, con masas mayores que la de Júpiter pero menores que unas 0.08 veces la masa del Sol. Con masas inferiores a ese valor, el astro no puede iniciar las reacciones de fusión termonuclear, y brilla gracias a la energía térmica obtenida a expensas de una lenta contracción gravitatoria. Sabemos que tales astros existen pues se han descubierto al menos tres enanas marrones en los últimos dos años. Es importante, por lo tanto, diferenciar en la búsqueda de planetas extrasolares, tales enanas marrones de los cuerpos propiamente planetarios más masivos, de tipo Júpiter.

EN BUSCA DE LA VIDA EN EL UNIVERSO

Evidentemente no basta con que existan planetas para asegurar la presencia de vida. La aparición y evolución de la vida requiere de otras condiciones en el planeta: presencia de un campo magnético que lo proteja del bombardeo de partículas cargadas provenientes de la estrella central y de una atmósfera de composición química favorable que lo proteja de las radiaciones más energéticas (rayos X, ultravioleta) a la vez que amortigüe los bruscos cambios de temperatura. El planeta debe además de encontrarse a la distancia apropiada de la estrella central de forma que sus temperaturas medias sean adecuadas y estables (entre unos límites de -100 a $+100^{\circ}\text{C}$ aproximadamente). Sus movimientos orbitales (inclinación del eje de rotación, excentricidad orbital) deben de ser estables a largo plazo, lo que requiere de la presencia de una luna orbitando en torno al planeta, y probablemente de la presencia de planetas gigantes en ese sistema planetario. Los fenómenos catastrofistas (vulcanismo intenso, impacto continuado de cuerpos menores tipo asteroides) deben de ser muy escasos a lo largo de la historia del planeta.

También la estrella central deberá de poseer algunas características especiales. El tiempo de vida de las estrellas depende de su masa, de forma que cuanto más masiva sea menos tiempo vivirá. Por ejemplo, con una masa solar, la estrella vivirá unos 10.000 millones de años, pero si tiene 10 veces la masa del Sol tan solo vivirá 10 millones de años. Dado que el desarrollo de la vida requiere de un tiempo mínimo para emerger tras la formación del planeta (en la Tierra surgió unos 700 millones de años después de su formación hace ahora

4.550 millones de años), la estrella deberá tener una masa cercana a la que posee nuestro Sol. Además no deberá de poseer una actividad magnética intensa con el fin de evitar un excesivo flujo de partículas energéticas sobre el planeta. Los sistemas estelares binarios, con dos o incluso aquellos con más estrellas, tampoco serían lugares cómodos para la aparición de la vida pues a buen seguro originarían fuertes cambios térmicos sobre el planeta.

En nuestro sistema solar la presencia de vida organizada, a no ser de forma muy primitiva, parece más que improbable. Como indiqué al comienzo, sólo Marte pudiera albergar alguna esperanza, pero más que de vida actual, de fósiles de vida primigenia. Por su tamaño, distancia al Sol, presencia de atmósfera y actividad meteorológica, Marte fue durante muchos años el foco de atención en la búsqueda de vida para los astrónomos. Desde finales del siglo XIX y hasta bien entrado nuestro siglo actual, astrónomos como el italiano Giovanni Schiaparelli y el norteamericano Percival Lowell creyeron adivinar la presencia de canales (conducciones artificiales de agua) en el planeta que transportaban agua desde los polos a las regiones templadas y ecuatoriales. La observación telescópica detallada y en particular la exploración con vehículos espaciales durante las décadas de los años 60 y 70 mostró sin embargo que esto no eran más que ilusiones ópticas y que Marte en realidad no es en la actualidad nada más que un mundo estéril y frío. Parece sin embargo que en un pasado remoto Marte tuvo una atmósfera mucho más densa, que pudiera haber permitido temperaturas superficiales altas y el fluir de agua líquida por su superficie, lo que quizás pudo favorecer el desarrollo de formas de vida ahora extintas. Ninguna esperanza de vida podemos albergar sobre Venus, el otro planeta semejante a la Tierra, pues su densa atmósfera de dióxido de carbono (90 veces la presión de la de la superficie terrestre) propicia temperaturas de hasta 450°C. Además sus nubes de ácido sulfúrico concentrado no ayudan precisamente a la vida.

Alguna esperanza sobre la vida extraterrestre se ha abierto con los descubrimientos que viene efectuando la nave Galileo en la luna Europa de Júpiter. Este mundo posee una superficie fracturada y agrietada que pudiera estar originada por la presencia de un océano subsuperficial de unos 100 kms de espesor de agua líquida. De ser así, quizás allí pudiera haber florecido una vida acuática.

Finalmente quisiera comentar el caso de Titán, el satélite más grande de Saturno, cuya atmósfera de nitrógeno e hidrocarburos recuerda a la que debía de tener la Tierra en sus orígenes, en lo que se llaman condiciones prebióticas. Dadas las temperaturas y presiones que reinan en aquel astro, es posible incluso que Titán posea lagos formados por mezclas de hidrocarburos (acetileno y metano fundamentalmente). Estos hipotéticos lagos permanecen sin embargo inaccesibles a la observación remota desde Tierra ya que el satélite se encuentra completamente cubierto por una espesa capa de nubes y nieblas. Las peculiaridades de este mundo quedarán en cualquier caso desveladas si la sonda Huygens dentro de la misión Cassini a Saturno, efectúa exitosamente su aterrizaje y lleva adelante su misión científica en el año 2004.

En cualquier caso vemos que la vida en nuestro entorno no es algo habitual ni fácil de encontrar. Unos astros son muy fríos, otros muy calientes, ... De entre todos los cuerpos del Sistema Solar sólo hay uno, en el que hasta la fecha, ha sido capaz de aparecer y desarrollarse la vida. Parece que nuestra misión cósmica debería de ser el de preservarla en todas sus formas.