

## LA ECLOSIÓN DE LOS PLANETAS EXTRASOLARES

DR. D. RAFAEL BACHILLER GARCÍA

*Académico correspondiente de la Real Academia de Doctores de España  
Astrónomo y director del Observatorio Astronómico Nacional (IGN)*

*Llegará un tiempo en el que los hombres podrán afinar  
su mirada y llegarán a ver planetas como nuestra Tierra.*

SIR CHRISTOPHER WREN (1632-1723), matemático, astrónomo y arquitecto.

*A veces creo que hay vida en otros planetas, y a veces creo que no.  
En cualquiera de los dos casos la conclusión es asombrosa.*

CARL SAGAN (1934-1996), astrónomo.

### RESUMEN

Cientos de planetas están siendo descubiertos en torno a estrellas de características muy diversas, lo que constituye una de las mayores revoluciones de la astronomía contemporánea. Esta apasionante serie de hallazgos comenzó en 1995, cuando los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz anunciaron la detección de 51 Pegasi b, un exoplaneta que orbita en torno a una estrella de tipo solar a 50 años luz de la Tierra.

Se conocen hoy más de 400 planetas extrasolares contenidos en unos 300 sistemas planetarios. Es cierto que todos estos planetas son significativamente más masivos que la Tierra, pero la instrumentación que está siendo específicamente diseñada para la búsqueda de planetas de tipo terrestre, debería conducir en breve a la detección de otras *Tierras*. Estudiando la composición de sus atmósferas, dentro de unas pocas décadas se podrán obtener indicios que nos señalen la posible presencia de vida en esos mundos.

Este artículo describe el estado actual de nuestro conocimiento sobre los planetas extrasolares y considera el significado y trascendencia de tales descubrimientos.

### ABSTRACT

Hundreds of planets are being discovered around stars of many different types, constituting one of the major revolutions of contemporary astronomy. This fascinating series of findings started in 1995, when the astronomers Michel Mayor and Didier Queloz proclaimed the detection of 51 Pegasi b, an exoplanet orbiting around a solar-type star at a distance of 50 light years from Earth.

More than 400 extrasolar planets are known today to be contained in about 300 planetary systems. Certainly all these planets are significantly more massive than the Earth, however the instrumentation which is being specifically designed for the search of earth-like planets should lead to the detection of other *earths* in the next future. By studying the composition of their atmospheres, we could obtain, in only a few decades, hints showing the possible presence of life in those worlds.

This article reports on the present status of our knowledge on extrasolar planets and considers the meaning and importance of such discoveries.

## 1. Introducción. ¿Qué es un planeta extrasolar?

En astronomía se utiliza el término «planeta extrasolar» (o simplemente «exoplaneta») para designar a cuerpos similares a los ocho planetas del sistema solar pero que se encuentran orbitando en torno a estrellas diferentes del Sol.

La Unión Astronómica Internacional todavía no ha proporcionado la definición precisa de «planeta extrasolar» (tan sólo existe una definición de «planeta» que es aplicable exclusivamente a los ocho grandes cuerpos planetarios del sistema solar). Sin embargo, habitualmente se sobreentiende que un planeta extrasolar es un objeto que orbita en torno a una estrella y que posee una masa inferior a la masa límite que es precisa para desencadenar la fusión termonuclear del Deuterio, esto es unas 13 veces la masa de Júpiter (para metalicidad solar). El límite inferior de masa para que un cuerpo sea considerado planeta es el mismo que se aplica en el sistema solar (en torno a la centésima de la masa de la Tierra).

Los cuerpos subestelares con masa mayor que 13 veces la de Júpiter son denominados «enanas marrones». Los objetos que no están orbitando en torno a ninguna estrella (objetos «flotando libremente»), y que no alcanzan la masa límite de 13 veces la de Júpiter, suelen denominarse «sub-enanas marrones» o «planetas huérfanos», según se encuentren inmersos en un cúmulo estelar, o vagando libremente por el espacio interestelar. El estudio de tales objetos de masa planetaria está en sus inicios y su origen no está bien determinado. De confirmarse su existencia, habría que estudiar si tales «planetas huérfanos» tienen las mismas características que los planetas estándar que orbitan en torno a estrellas. Y es que un planeta huérfano pudo quizás formarse a partir de una pequeña nube interestelar que no llegó a formar una estrella, mediante un mecanismo diferente del que forman las estrellas y los discos circunestelares polvorientos que acaban produciendo un sistema planetario de los habituales. Aunque quizás podría tratarse de planetas normales que se formaron en torno a una estrella pero que fueron eyectados de sus órbitas por algún fenómeno a determinar. No se dispone de ninguna estimación del número aproximado de tales objetos en nuestra Galaxia, lo que podría dar una idea de su importancia y trascendencia. En este artículo no volveremos, por tanto, a referirnos a tales «planetas huérfanos» de los que se conoce tan poco.

Durante mucho tiempo, los astrónomos habían especulado con la existencia de exoplanetas orbitando en torno a estrellas diferentes de nuestro Sol, pero incluso las cuestiones más elementales permanecían desconocidas. Por ejemplo, de la inmensa variedad de estrellas existente en nuestra Galaxia ¿Cuál es el tipo de estrellas que pueden estar acompañadas de planetas? Inicialmente se supuso que las estrellas de tipo solar eran los mejores candidatos para comenzar la búsqueda y, de hecho, cuando la instrumentación astronómica

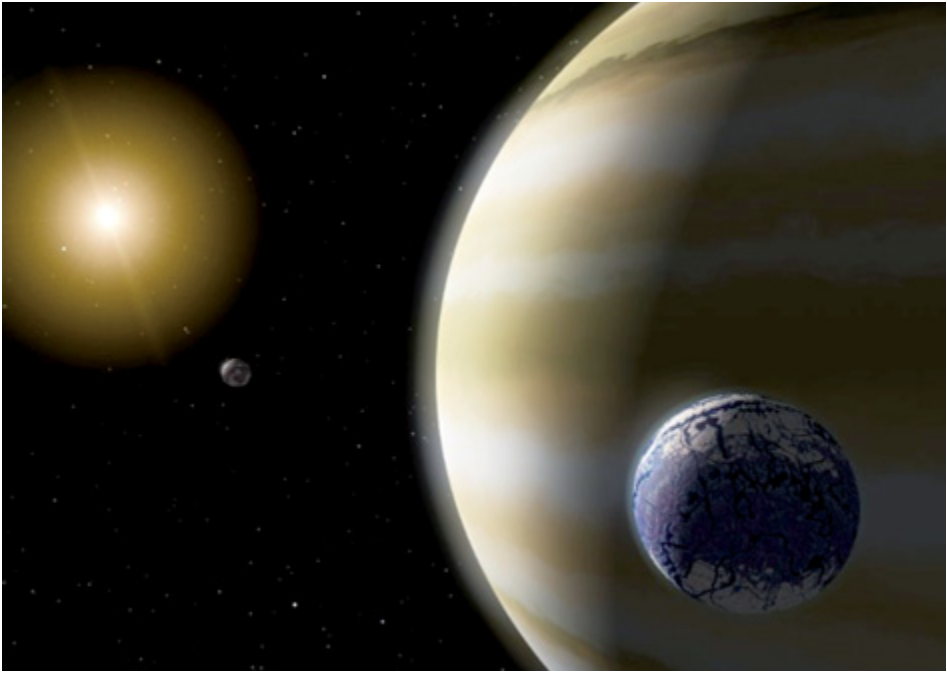


Figura 1. *Imagen artística de un sistema planetario extrasolar* / NASA, IPAC, R. Hurt.

fue suficientemente sensible para realizar este tipo de observaciones, se comenzó por observar estrellas similares a nuestro Sol.

Como veremos, uno de los resultados más sorprendentes de estas investigaciones es que estrellas de una gran variedad (grandes o pequeñas, calientes o frías, jóvenes o viejas) parecen estar acompañadas por un cortejo más o menos numeroso de planetas. Naturalmente, la detección de tales planetas extrasolares tiene consecuencias inmediatas sobre nuestras concepciones acerca de la posible existencia de vida fuera de la Tierra.

## **2. Interés de los planetas extrasolares. ¿Estamos solos en el universo?**

¿Hay vida en otros mundos? Durante siglos el hombre se ha realizado este tipo de preguntas y ha tratado de responderlas mediante la observación del sistema solar, pues aquí se encontraban los únicos planetas y satélites al alcance de sus telescopios. Pero hasta ahora todos los esfuerzos por encontrar vida en otros mundos han resultado infructuosos y el único ejemplo de vida que conocemos sigue siendo el que se da en nuestro planeta.

Cuando se considera la posibilidad de existencia de vida en otros cuerpos del sistema solar diferentes de la Tierra solemos referirnos a la *zona de habitabilidad* del entorno solar (esto es, la región que tiene la temperatura y el flujo de radiación adecuados para que se desarrolle la vida). Esta zona no es más que una pequeña franja circular en torno a la órbita de la Tierra, y todos los planetas y los satélites, salvo Marte (que se encuentra en la frontera exterior) y naturalmente la Luna, se encuentran fuera de esta zona habitable.

Aunque la Luna esté en la zona de habitabilidad, su carencia de atmósfera hace que la vida allí sea extremadamente improbable. El examen de las muestras obtenidas en la superficie de nuestro satélite (tanto in situ como en los laboratorios terrestres) no deja mucha esperanza de encontrar algún tipo de vida en este cuerpo tan inerte. De forma que, fuera de la Tierra, las posibilidades de encontrar vida en los otros cuerpos del sistema solar se reducen, aparte de algunas notables excepciones, a Marte.

Marte es muy similar en muchos aspectos a nuestro planeta, a menudo se dice que es como su hermano pequeño. Tiene agua y energía volcánica y, aunque está ubicado en una zona considerablemente más fría, su subsuelo es relativamente prometedor. Pero ninguno de los intentos realizados hasta la fecha para detectar allí vida ha tenido éxito. En concreto, la gran controversia originada por el examen del meteorito de origen marciano ALH 84001 (una diogenita de unos 2 kg. de peso encontrada en la Antártida en la que se detectaron estructuras con morfología de aspecto bacteriano) nunca fue resuelta de manera satisfactoria, entre otras razones porque la posible contaminación con material terrestre no puede ser excluida. No obstante, si no en la actualidad, cabe la posibilidad de que en fases más tempranas de la evolución del sistema solar, cuando su temperatura era más elevada, Marte pudo quizás albergar algún tipo de vida. No cabe ninguna duda de que merece la pena tanto estudiar detenidamente las decenas de meteoritos marcianos que se encuentran en la Tierra como seguir explorando en detalle la superficie y el subsuelo del planeta rojo.

En cuanto a los otros cuerpos del sistema solar, tan sólo algunos satélites de Júpiter y Saturno ofrecen alguna vaga esperanza de que puedan albergar algún tipo de vida. Europa, uno de los mayores satélites de Júpiter tiene un interés especial pues su superficie completamente lisa y helada parece cubrir grandes océanos líquidos que podrían encontrarse a temperaturas superiores. Titán, el mayor satélite de Saturno, tiene una espesa atmósfera con alta concentración de nitrógeno que parece similar, en algunos aspectos, a la de la Tierra primitiva. Sobre su superficie hay grandes lagos de metano líquido que fueron fotografiados in situ por la sonda Cassini-Huygens en el año 2005. Finalmente, recordemos a Encelado, un pequeño satélite de Saturno de apenas 500 kilómetros de diámetro que tiene un aspecto general muy parecido a Europa y que, además, presenta claros síntomas de poseer una intensa actividad geológica. Muy recientemente se han aportado pruebas convincentes de la presencia de agua en este pequeño mundo. De su superficie emanan chorros similares a grandes géiseres que podrían estar originados en mares subterráneos.

En resumen, la esperanza de encontrar vida en nuestro sistema solar no es nula, pero es relativamente limitada. Resulta sumamente interesante estudiar otros cuerpos, y para ello es preciso ir más allá de nuestro sistema solar. Al fin y al cabo, el nuestro es un sistema planetario en una estrella de los varios cientos de miles de millones que conforman nuestra Galaxia. Y si nuestro Sol está acompañado por sus planetas, cabe esperar que al menos una buena fracción del enorme número de estrellas de la Vía Láctea también lleve asociado un sistema planetario más o menos similar al nuestro.

### **3. Los primeros planetas extrasolares**

En 1995, utilizando un pequeño telescopio de 1,9 metros del Observatorio de Haute Provence (Francia), los astrónomos Michel Mayor y Didier Queloz detectaron los prime-

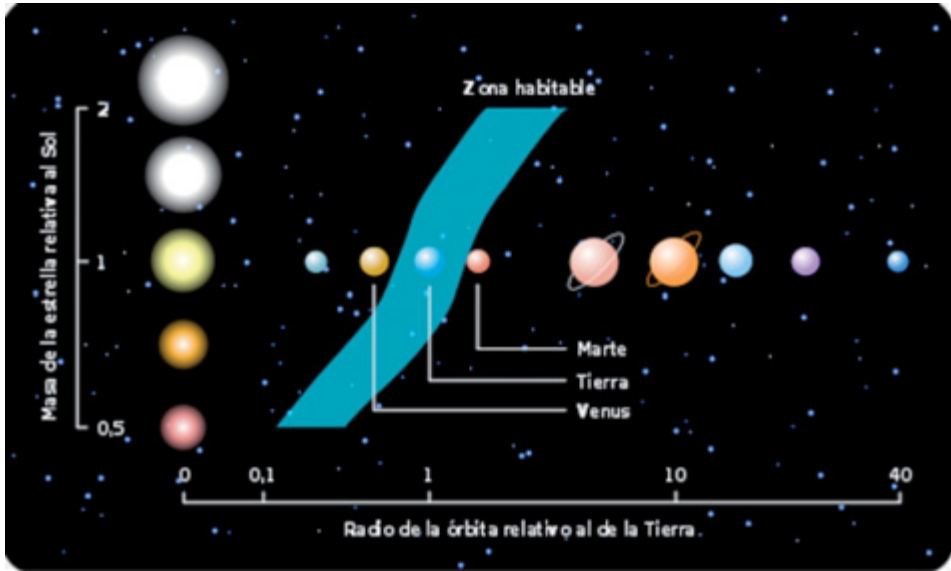


Figura 2. La zona de habitabilidad en torno a estrellas de diferentes masas y luminosidades. En la línea central se representa el sistema solar. Las estrellas menos masivas que el Sol tienen la zona habitable más próxima a ellas y las más masivas la tienen más alejada.

ros indicios claros de la presencia de un planeta orbitando en torno a una estrella: 51 Pegasi. Se trata de una estrella de tipo solar situada a 50 años luz de distancia en la constelación de Pegaso.

De manera similar a Mayor y Queloz, los norteamericanos Geoffrey Marcy y Paul Butler llevaban varios años buscando indicios de planetas extrasolares. Poco tiempo después de que la detección del nuevo planeta, denominado 51 Pegasi b, se hiciese pública, Marcy y Butler la confirmaron mediante observaciones realizadas en el Observatorio de Lick (cerca de San José, California). Siguió otras varias observaciones que mostraron que el planeta tenía una masa de al menos la mitad de la de nuestro Júpiter y que orbitaba muy cerca de su estrella, por lo que la temperatura en su superficie debía estar por encima de los 1000 grados Celsius.

Conviene destacar que en 1992, tres años antes del descubrimiento en el óptico de 51 Pegasi b, utilizando el gran radiotelescopio de Arecibo, Wolszczan y Frail (1992) habían detectado dos planetas en torno al pulsar PSR B1257+12, a casi 1000 años luz de la Tierra. Estos planetas, que fueron puestos de manifiesto mediante la observación de anomalías en el periodo de pulsación de la estrella central de neutrones, tienen masas que son unas 4 veces superiores a la terrestre. Sin embargo no es seguro que los planetas que se encuentran orbitando en torno a pulsares tengan las mismas características de los que orbitan en torno a estrellas de la secuencia principal. Los de los pulsares pueden ser los residuos de planetas gigantes gaseosos que no han sido completamente destruidos cuando la estrella masiva central llegó al final de su vida generando una Supernova y dando lugar a la también residual estrella de neutrones. O, alternativamente, quizás tales planetas podrían haber resultado en una «segunda ola» de formación planetaria cuando tuvo lugar la Supernova.

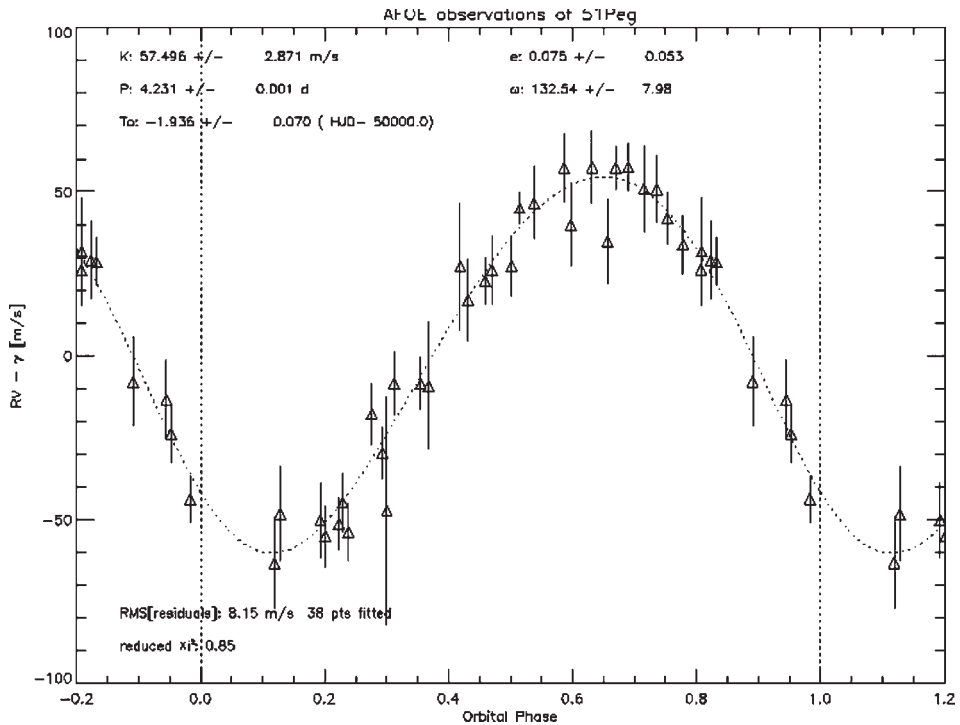


Figura 3. Variaciones en la velocidad radial de la estrella 51 Pegasi que permitieron a Mayor y Queloz la detección del primer exoplaneta 51 Pegasi b | Mayor y Queloz (1995).

#### 4. Interludio: Belerofonte y la nomenclatura de los exoplanetas

51 Pegasi b es conocido a veces con el nombre de Belerofonte, el jinete del caballo Pegaso. El Profesor José Antonio Jáuregui, miembro de la Real Academia de Doctores de España hasta el momento de su prematura y desafortunada muerte en el año 2005, utilizó la historia de este héroe mitológico para ilustrar lo que él denomina la «minusvalía de los plusválidos». En su documentado trabajo «La vida es juego», nos cuenta el profesor Jáuregui:

«Belerofonte era un apuesto galán, joven, sensible e inteligente. La joven y atractiva esposa de su amigo y anfitrión, tras una cena amigable con él y con su marido, fue a su cama a «ofrecerle sus favores». Belerofonte la rechazó por no traicionar a su amigo y anfitrión. Esta mujer desechada le acusó ante su marido de haber intentado violarla.»

A causa de este incidente, Belerofonte se vio abocado a enfrentarse con la Quimera, un terrible monstruo. Pero he aquí que los dioses, no pudiendo soportar la injusticia a la que el héroe se veía sometido, decidieron prestarle el caballo Pegaso y, con su ayuda, Belerofonte acabó con la Quimera.

Embragado por el éxito, Belerofonte intentaría, aún no siendo dios, subir al Olimpo. Pero entonces los dioses enviaron un tábano que picó a Pegaso. La picadura encabritó al

caballo que tiró al suelo al jinete provocando su ceguera y Belerofonte acabó sus días pidiendo limosna. Así pues, aunque nuestro héroe contaba inicialmente con la ayuda de los dioses, sus deseos de endiosamiento le condujeron a la ruina. Concluye el Dr. Jáuregui «Aquí podemos detectar la minusvalía de los plusválidos. Nada hay tan penoso como el Belerofonte que se endiosa».

La picadura del tábano también motivó que el caballo alado Pegaso volase al firmamento donde quedó convertido en una magnífica constelación. Y es ahí donde los astrónomos terrestres localizarían su primer exoplaneta.

Aunque la denominación «Belerofonte» para el primer exoplaneta, 51 Pegasi b, personalmente me despierta mucha simpatía, la Unión Astronómica Internacional recomienda no utilizar aún nombres propios para la designación de los exoplanetas, pues los considera poco prácticos. El método utilizado para la nomenclatura consiste en servirse del nombre de la estrella (51 Pegasi) seguido por las letras minúsculas b, c, d, etc., para designar a los planetas que se vayan descubriendo sucesivamente en su entorno. En el momento de redactar estas líneas, el record de número de planetas extrasolares lo ostenta la estrella denominada 55 Cancri (en la constelación de Cáncer) con 5 exoplanetas. Así pues, actualmente el único exoplaneta con una «f» en su denominación es 55 Cancri f.



Figura 4. *Belerofonte cabalgando sobre Pegaso y acabando con la Quimera. Medallón central de un mosaico romano en Autun (Saône et Loire, Francia) | Félix Potuit.*



## 5. Técnicas de detección

La observación de un planeta extrasolar es una tarea extremadamente complicada, pues en esencia se trata de ver un pequeño cuerpo oscuro en la inmediata proximidad de un intensísimo foco luminoso (la estrella central). Es como tratar de ver una mota de polvo que, arrastrada por el viento, pasa en la noche por delante del faro iluminado de una motocicleta distante.

Las técnicas utilizadas para la detección de planetas extrasolares están fundamentadas en las pequeñas alteraciones que el planeta ocasiona en su estrella. En efecto, en un sistema estrella-planeta, tanto el planeta como la estrella orbitan en torno al centro de masas de ambos. Es decir, que la estrella se mueve ligeramente en torno a ese centro de masas que, en el caso habitual en el que el planeta sea mucho menos masivo que la estrella, estará situado muy cerca de la estrella. La estrella adquiere pues una velocidad no nula, y su posición varía ligeramente con el tiempo.

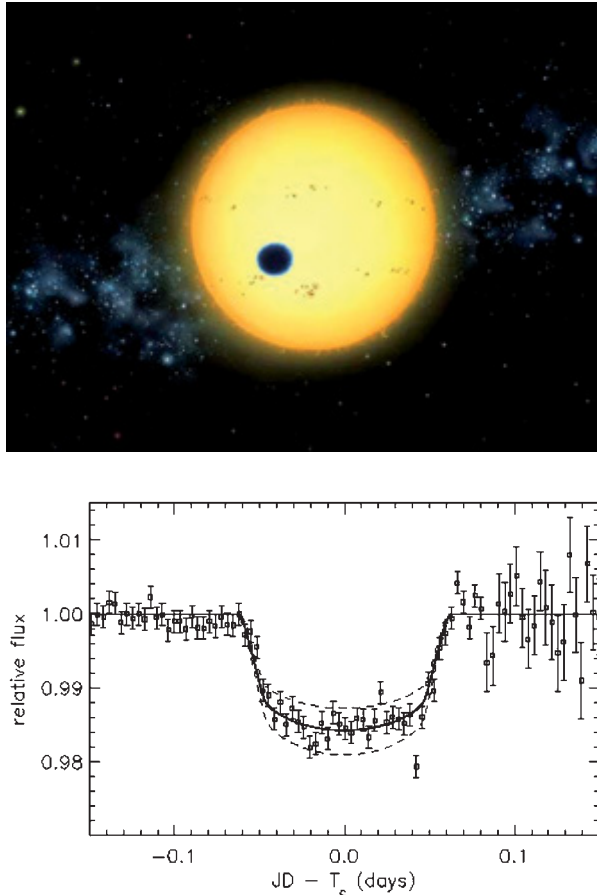


Figura 5. *HD209458 b* fue el primer exoplaneta detectado por la técnica de los «tránsitos». Cuando el planeta pasa por delante de la estrella se produce una disminución en el flujo luminoso detectado | STARE & D. Charbonneau et al. (2000).



La técnica inicial de detección, denominada de la «velocidad radial» consiste en la medida precisa de la componente de la velocidad de la estrella a lo largo de la línea de observación. Según el planeta orbita en torno a su estrella causa sobre ésta unas pequeñísimas variaciones en su velocidad radial (de acercamiento y alejamiento a la Tierra) que pueden ser identificadas en sus líneas espectrales gracias al efecto Doppler. Ésta fue la técnica empleada para la primera detección de 51 Pegasi b y sigue siendo la más productiva.

La técnica de los «tránsitos» consiste en estudiar las variaciones en luminosidad total producidas por los mini-eclipses que se ocasionan cuando el planeta pasa por la línea de mirada que va desde nuestro telescopio a la estrella.

Otra técnica utilizada en la identificación de exoplanetas es la «astrométrica», que consiste en la medida de alta precisión de la posición estelar y de sus pequeñas variaciones (debidas a que la estrella se mueve en torno al centro de masas del sistema).

Finalmente es interesante señalar que el efecto de lente gravitatoria, predicho por la teoría de la relatividad general de Einstein, puede ser utilizado para detectar un planeta cuando se encuentra bien alineado tanto con su estrella como con una estrella más lejana en la misma línea de mirada. En esa disposición el conjunto estrella-planeta actúa como una lente respecto de la segunda estrella que se encuentre situada detrás del sistema planetario.

Como vemos todas estas técnicas siguen caminos más o menos sinuosos y no consiguen detectar el planeta de manera directa, sino tan sólo mediante los efectos causados sobre características de su estrella central (pequeños cambios en su velocidad, posición o brillo). Estas perturbaciones son más acusadas según el planeta es mayor y según su órbita es más cercana a la estrella. Por lo tanto, en términos generales, estas técnicas favorecen la detección de planetas muy masivos y que orbitan muy cerca de sus estrellas.

## **6. Hitos en la búsqueda de planetas**

La detección del planeta 51 Pegasi b inauguró una rápida carrera a la caza de más y más planetas. En los últimos años se han ido multiplicando y refinando las técnicas de medida, adaptando la instrumentación a este tipo de observaciones, haciendo que tal caza sea cada vez más certera y fructífera.

Gracias a los telescopios progresivamente más potentes y al desarrollo de instrumentación específica de detección de planetas, durante los 15 primeros años transcurridos desde la detección de 51 Pegasi b se han detectado sistemas planetarios en torno a más de 300 estrellas. En el momento de escribir estas líneas (febrero de 2010), el número total de planetas extrasolares descubiertos asciende a 429.

51 Pegasi b tiene una masa que es, como mínimo, la mitad de la de Júpiter (es decir unas 150 veces la masa de la Tierra), pero está mucho más cerca de su estrella que Mercurio del Sol. Su periodo orbital es tan sólo de unos 4 días terrestres y, al estar tan cerca de su estrella, la temperatura superficial de este planeta debe estar por encima de los 1000 C, de forma que es muy posible que su diámetro (debido al sobrecalentamiento de su atmósfera) sea mayor que el de nuestro Júpiter. Todo planeta del tipo de 51 Pegasi b (con masa comparable a la de nuestro Júpiter y orbitando a corta distancia de su estrella) se denomina «Júpiter caliente».

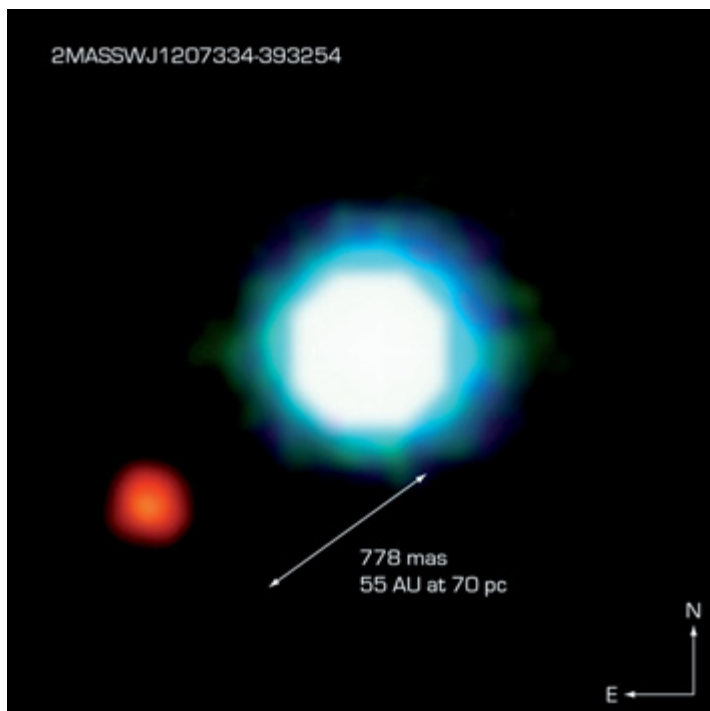


Figura 6. *La primera detección de un planeta mediante imagen directa se logró en la estrella enana marrón 2M1207 | ESO.*

Destaquemos algunos hitos importantes en la carrera de hallazgos de exoplanetas. Por ejemplo, en 1996 se descubrió en la estrella (de tipo G1V) 47 Ursae Majoris un planeta masivo pero con un radio orbital de 2,1 unidades astronómicas (UA)<sup>1</sup>. Éste fue el primer planeta de tipo Júpiter con largo periodo (del orden de unos tres años terrestres) descubierto en una estrella enana de la Secuencia Principal, es decir similar a nuestro Sol (que es del tipo G2V) en muchos aspectos.

En 1999 se confirmó la detección de tres planetas de tipo Júpiter en Úpsilon Andromedae, haciendo de este sistema el primero múltiple reconocido.

También en 1999 asistimos a la detección del primer exoplaneta mediante la técnica de los tránsitos, fue HD 209458 b, que había sido descubierto previamente por el método de la velocidad radial (Charbonneau et al. 2000). Dos años después, el telescopio espacial Hubble detectaría la atmósfera de este planeta mediante espectroscopía.

En el año 2000 se descubrió el planeta extrasolar más cercano de los conocidos. Se encuentra a tan sólo 10 años luz de la Tierra, su nombre es Epsilon Eridani b y es tan sólo una vez y media más masivo que Júpiter. La existencia de tal planeta fue confirmada mediante medidas astrométricas realizadas por el telescopio espacial Hubble en el año 2006.

---

<sup>1</sup> Una Unidad Astronómica (UA) es la distancia media de la Tierra al Sol, esto es 149,6 millones de kilómetros (unos 8 minutos-luz).

En 2003, el telescopio espacial Hubble confirmó la presencia de un planeta en el sistema binario PSR B 1620-26 compuesto de un púlsar y una enana blanca, es decir estrellas muy evolucionadas (o mejor deberíamos decir «residuos de estrellas») que tienen una edad estimada del orden de 12.700 millones de años (la edad del universo es de 13.700 millones de años). Estas medidas sugieren, pues, que los planetas pueden sobrevivir larguísimos periodos de tiempo.

En abril de 2005, el Observatorio del Hemisferio Austral (ESO) anunció la detección de un planeta mediante imagen directa con el Very Large Telescope (VLT): 2M1207b (ver también Chauvin et al. 2004), un objeto 5 veces más masivo que Júpiter situado a unos 55 años luz de la Tierra.

A partir de 2005 se anunciaron las detecciones de varios planetas con masas mucho menores que los anteriores y cada vez más similares a la masa de la Tierra. De entre estos exoplanetas, conocidos como «super-Tierras» cabe destacar a Gliese 876 d y OGLE-2005-BLG-390L b, con masas estimadas de 7 y 5 veces la terrestre, respectivamente. En 2009, el telescopio espacial europeo COROT detectó la super-Tierra menos masiva de las conocidas, se trata del planeta COROT-7 b que tiene una masa de tan sólo 1,7 veces la masa de la Tierra.

En 2008, mediante espectroscopía, se detectó una molécula orgánica (metano) en la atmósfera de HD189733 b. En enero de 2010 se publicó el primer espectro directo de un planeta (HR 8799 c) orbitando en torno a una estrella de tipo solar. Este espectro también posee claros indicios de la presencia de metano en la atmósfera planetaria.

El 19 de octubre de 2009, Michel Mayor anunció la detección de 32 planetas desde el observatorio europeo de La Silla (Chile) utilizando la técnica de la velocidad radial, lo que constituyó un record per se. Este logro nos anticipó de manera espectacular que el número de descubrimientos seguiría aumentando de manera continuada.

Por otra parte, en el momento de escribir estas líneas (febrero de 2010) ya se han detectado, mediante imagen directa, 11 planetas que forman parte de 9 sistemas planetarios diferentes, y cabe esperar que los grandes telescopios ópticos, con espejos de entre 8 y 10 metros, multipliquen este tipo de detecciones en el futuro próximo. Las imágenes directas, seguidas de espectroscopía, son observaciones absolutamente cruciales pues la combinación de ambas técnicas constituye la baza más prometedora para lograr la caracterización detallada de las atmósferas de planetas extrasolares.

## **7. Estadística**

Todas las estadísticas referentes a los planetas extrasolares están afectadas por los fuertes efectos de selección en las muestras de estrellas observadas. Por ejemplo, las estrellas seleccionadas inicialmente para la búsqueda han sido las similares a nuestro Sol (estrellas de los tipos espectrales F, G y K). Y, como hemos visto, las técnicas actuales favorecen la detección de planetas de tipo «Júpiter caliente». Se estima, a partir de estas observaciones, que al menos 2 ó 3 de cada cien estrellas están acompañadas por un planeta gigante con periodo orbital del orden de 100 años o menos.

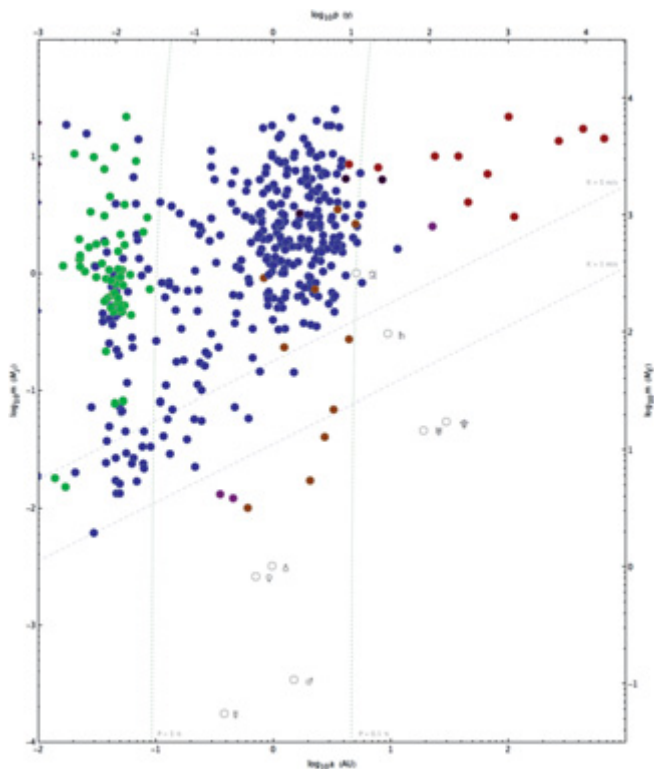


Figura 7. Representación del radio de la órbita frente a la masa para los 429 exoplanetas descubiertos hasta la fecha. Los colores indican el método de detección (azul: velocidad radial, verde: tránsitos, rojo: imagen directa). Para orientación también están representados los planetas del sistema solar (símbolos grises).

Las extrapolaciones a partir de estos datos están sometidas a grandes incertidumbres. Los planetas gigantes de largo periodo y los menos masivos parecen más abundantes que los de tipo «Júpiter caliente», lo que lleva a pensar que quizás la mitad de las estrellas de tipo solar puedan estar rodeadas de sistemas planetarios.

En estrellas radicalmente diferentes del Sol (por ejemplo enanas rojas o gigantes de tipo O) los planetas parecen menos abundantes, pero las observaciones disponibles aún no permiten realizar estadísticas fiables. No obstante, es destacable que algunos planetas hayan sido detectados en torno a estrellas de tipos muy dispares incluyendo enanas rojas (ej. Gliese 876 de tipo M4V), enanas marrones (ej. 2M1207 de tipo M8), grandes estrellas de tipo A (ej. Fomalhaut, alfa Piscis Austrini, de tipo A3V), gigantes anaranjadas y pulsantes (ej. Edasich, Iota Draconis, de tipo K2III) y estrellas de neutrones o púlsares (ej. PSR B1620-26). Estas detecciones son una clara indicación de la amplia ubicuidad de los planetas extrasolares.

Todas las estrellas en las que se han detectado planetas tienen metalicidades (esto es abundancias de elementos pesados, entre ellos el Hierro) relativamente elevadas, lo que indica que la evolución química de la Galaxia produce un incremento paulatino en la formación de planetas.

Sin duda debido a los efectos observacionales que favorecen la detección de planetas muy masivos, en el momento de redactar estas líneas sólo 25 de los 429 exoplanetas conocidos poseen masas inferiores a diez veces la masa de la Tierra. Pero cuando se tiene en cuenta la dificultad extrema de detectar estos exoplanetas poco masivos, la mera detección de estos 25 sugiere que los planetas de tipo terrestre deben ser muy comunes.

### 8. A la búsqueda de otras *Tierras*

El siguiente reto que se plantea es, pues, la detección de planetas que sean de tipo terrestre, pequeños planetas rocosos en los que se den las condiciones idóneas para el desarrollo de vida. En el año 2009 la NASA lanzó el telescopio espacial Kepler con la misión específica de explorar muy detalladamente una pequeña región de la Vía Láctea y examinar millares de estrellas con el fin de detectar y caracterizar planetas de tipo terrestre e incluso menores. Siguiendo razonamientos estadísticos, se espera que Kepler llegue a localizar más de un centenar de tales tierras.

Hay varios proyectos desarrollándose para continuar observando planetas desde el espacio. La NASA tiene previsto el Terrestrial Planet Finder y la ESA el Darwin, ambos observatorios están siendo diseñados para incluir varios telescopios que realizarán observaciones de interferometría, de esta manera se espera poder obtener buenas imágenes de

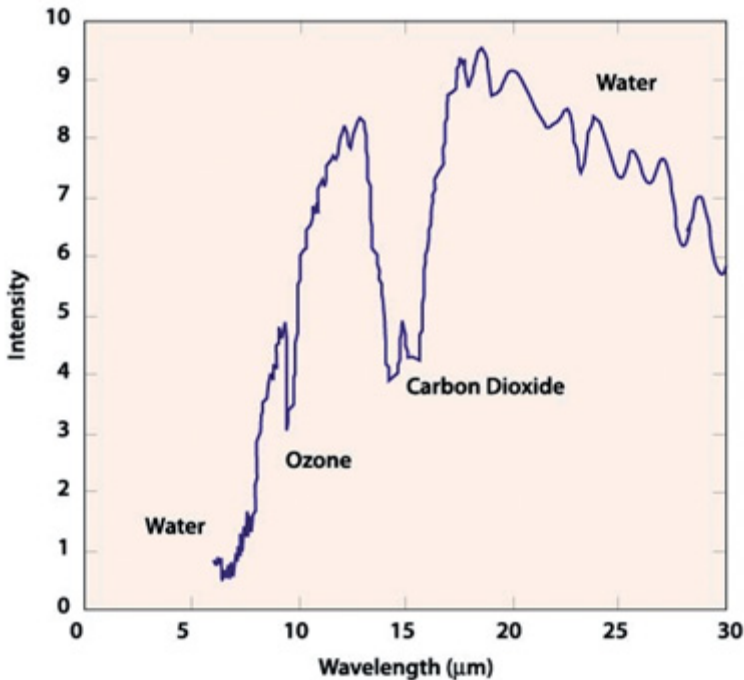


Figura 8. Simulación del espectro infrarrojo de absorción tal y como podría ser observado hacia un planeta similar a la Tierra. La luz estelar es absorbida por las capas superficiales del planeta que pueden dejar la marca del agua (indicador de la presencia de océanos), del dióxido de carbono (indicador de la atmósfera) y del ozono que confirmaría grandes cantidades de oxígeno (que podría haber sido producido por la existencia de vida) | NASA.

los sistemas planetarios más cercanos a la Tierra. Sin embargo, ninguno de estos dos observatorios será puesto en órbita antes del año 2016.

Como hemos mencionado más arriba, además de la imagen directa, los estudios espectroscópicos de los planetas de tipo terrestre también revisten un gran interés. Tales estudios pueden permitir la detección de agua, ozono, dióxido de carbono y de otros compuestos relacionados con la vida en las atmósferas planetarias. La posible detección de cantidades substanciales de tales gases en uno de estos planetas sería un indicio firme de que contiene vida.

## 9. Conclusión y consideraciones finales

La detección de tantos planetas extrasolares estimula enormemente nuestra imaginación y, como siempre que se realiza un descubrimiento nuevo, nos plantea un gran número de enigmas e interrogantes. De entre todas las preguntas que se suscitan, la que sigue revistiendo un mayor interés es la referente a la posibilidad de vida en otros mundos.

En primer lugar subrayemos que varios de los planetas detectados se encuentran en las zonas de habitabilidad de sus estrellas, lo que sugiere que podrían albergar vida del tipo de la terrestre.

Por otra parte, aunque la mayor parte de los exoplanetas conocidos son planetas gigantes más parecidos a Júpiter y Saturno que a nuestra Tierra, nada sabemos de los satélites que podrían orbitar en torno a tales exoplanetas. Siguiendo un paralelismo a nuestro sistema solar, algunas de tales lunas podrían ser similares a Titán, Europa o Encelado, o incluso más «habitables», es decir podrían ser lugares idóneos para albergar vida de tipo terrestre.

Finalmente, señalemos que el estudio de los organismos extremófilos en nuestro planeta nos indica que los límites de las condiciones precisas para la vida pueden ser más amplios que lo que pensábamos hasta la fecha. En efecto, la vida microbiana presenta una grandísima capacidad de adaptación a medios ambientes muy diversos que incluyen tanto los extremadamente calientes como los muy fríos, o los extremadamente secos, o los desprovistos de agua, o los sometidos a presiones enormes (en el fondo de los océanos). Las arqueobacterias que habitan en las aguas de altísima acidez del río Tinto ofrecen un ejemplo próximo de los amplios márgenes en los que puede prosperar la vida. Difícilmente podían imaginarse estos extremos de la vida hace tan sólo unos años y, de manera análoga, cabe especular que puedan darse otros modelos biológicos en ambientes extraterrestres.

Aunque muy incompletas, las estadísticas disponibles nos indican que en la Vía Láctea podría haber 100.000 millones de estrellas acompañadas por planetas y, como hemos visto, existe una alta probabilidad de que muchos de estos planetas se encuentren en zonas habitables y de que, tanto éstos como otros situados en regiones más inhóspitas, posean satélites con condiciones adecuadas para albergar algún tipo de vida. Además en muchos de estos mundos la vida podría adoptar formas significativamente diferentes de la que nos resulta familiar en la Tierra.

Pero ciñéndonos a lo que conocemos, cabe esperar que la vida más abundante en el universo sea la microbiana. Parece plausible que, tan sólo en nuestra Galaxia, haya millones de planetas con algún tipo de vida rudimentaria. Aunque la probabilidad de que la evolución de la vida a formas complejas fuese pequeña, cabría esperar que haya cientos o miles de civilizaciones en la Vía Láctea.

¿Estamos solos en el universo? Gracias a las nuevas técnicas de observación, tanto desde la Tierra como desde el espacio, las próximas décadas ofrecerán al hombre una relación progresivamente más estrecha con el cosmos. La detección de planetas extrasolares no ha sido más que la primera de una apasionante e impredecible serie de aventuras.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bachiller, R. 2009. *Astronomía. De Galileo a los telescopios espaciales*. Ed. Lunweg, Madrid.
- Bertout, C. 2008. *Naissance et évolution des systèmes planétaires*. Ed. Flammarion (Champs), Paris.
- Boss, A. 1998. *Looking for Earths. The Race to Find New Solar Systems*. John Wiley and Sons. Eds., New York.
- Charbonneau, D., et al. 2000, *Astrophys. J.* 529, L45.
- Charbonneau, D., Brown, T., Burrows, A., Laughlin, G. 2006. *When Extrasolar Planets Transit Their Parent Stars. Protostars and Planets V*. University of Arizona Press., Tucson.
- Chauvin et al. 2004, *Astron. and Astrophys.* 425, L29.
- Jáuregui, J. A. 2003. *La vida es juego*. Ed. Belacqui, Barcelona..
- Lamb, D. 2001 *The Search for Extraterrestrial Intelligence: A Philosophical Inquiry*. Routledge Eds., London.
- Mayor, M. and Frey, P.Y. 2001. *Les nouveaux mondes du cosmos*. Editions du Seuil, Paris.
- Mayor, M., and Queloz, D. 1995. *Nature* 378, 355.
- Schneider, J. 2010. *Interactive Extra-solar Planets Catalog. The Extrasolar Planets Encyclopedia*. <http://exoplanet.eu/catalog.php>.
- Wolszczan, A., Frail, D.A. 1992. *Nature* 355, 145.