

# Planetas Extrasolares

Por *Angel Ferrer*

Coordinador sección planetaria.

**H**ay un pregunta que se repite desde hace muchos siglos. El ser humano, ¿está solo en el universo? O ¿hay más civilizaciones?. La pregunta sigue sin responder pero al menos sabemos que nuestro sistema solar no es el único. En muchas estrellas próximas a nosotros se han detectado planetas girando en torno a ellas. Los métodos de detección son indirectos pues es casi imposible con los medios actuales, detectar la luz reflejada en un planeta tan próximo a una estrella. Se basan en métodos astrométricos, fotométricos y sobre todo basados en el efecto Doppler. En la actualidad hay detectados 33 planetas extrasolares o también llamados exoplanetas.

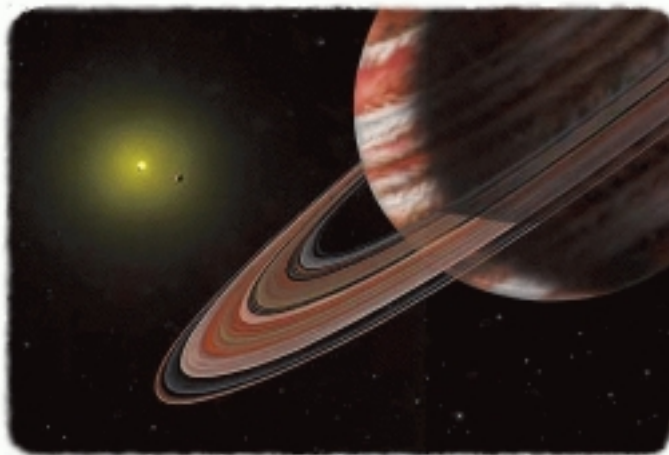
astrónomos han descubierto 33 sistemas solares y la cuenta sigue sin parar. Cada nuevo artículo que aparece sobre el tema cuenta con mas planetas extrasolares. (Fig. 1)

Hemos pasado de la creencia geocéntrica, en la que la Tierra era el centro del universo, a la certeza que estamos girando alrededor de una vulgar estrella, en una vulgar galaxia, de un vulgar cúmulo galáctico. Y quizá solo seamos una vulgar civilización de las muchas que existan. Al paso que lleva los descubrimientos quizá podamos captar emisiones que otros mundos en pocas décadas. Y quien sabe si algún marciano de un lejano planeta se divierte captando nuestras emisiones y se emocione con el programa "Tómbola". Bueno pero volvamos a los hechos científicos.

Fig. 1

hechos científicos.

Cuando admiramos en una oscura noche la cantidad de estrellas que existen y pensamos en los millones de galaxias con cientos de miles de estrellas cada una, ¿no os da pena pensar que estamos solos en el universo?. O lo que es lo mismo, ¿todo el universo es para nosotros?. ¿No habrá mas culturas que la nuestra?. ¿Seremos unos bichos tan raros que solo nos hemos podido desarrollar en nuestro sistema solar?. O por el contrario ¿será un fenómeno bastante normal el que existan sistemas solares parecidos al nuestro?. Hasta hace 5 años la pregunta no tenía una respuesta. En 5 años, los



Es muy difícil, con los medios que tenemos actualmente, la detección directa de un planeta extrasolar. Los planetas por definición no emiten luz propia y solo reflejan la luz de la estrella próxima. La diferen-

cia de brillo podría ser de 20 a 25 magnitudes. Pero no solo es eso, sino que estaría a unos pocos segundos de arco de su estrella. Sería como buscar una minúscula luciérnaga al lado de un potente faro. En la actualidad se está intentando con la llamada interferometría nula. Dos grandes telescopios

enfocando a la misma estrella, con CCD's impresionantes. La imagen de la estrella de uno de ellos sustrae la registrada en el otro. Con esto se pretende eliminar la luz de la estrella y resaltar pequeñas fuentes próximas. En agosto de 1998 Phil Hinz utilizando esta técnica y los Telescopios de Múltiples Espejos consiguen detectar un halo de polvo entorno a Betelgeuse. Ya veremos si lo consiguen.

Los exoplanetas se detectan fundamentalmente con métodos indirectos. Se basan en las modificaciones que originan en la estrella principal, como son cambios de su trayectoria (método astrométrico), cambio en la velocidad de su movimiento propio (espectroscopía Doppler), o en la luminosidad (método fotométrico) con eclipses o tránsitos o incluso incrementos por el efecto de lente gravitacional.

Nos remontamos a 1916 cuando E. E. Barnard publica un artículo en *The Astronomical Journal*, alertando a los astrónomos de una estrella con un movimiento propio muy elevado. La estrella, llamada de Barnard desde entonces, se mueve a razón de 10,3 segundos de arco por año. Las estrellas no están fijas. Lo que sucede es que los movimientos son tan pequeños que no los podemos apreciar en un corto periodo de tiempo. Sabemos que, por ejemplo, Arturo se ha movido casi 1 grado desde que la situaron los Griegos. Las estrellas de la Osa Mayor forman un cúmulo que se mueve en la misma dirección excepto 2 de ellas y dentro de pocos millones de años será una constelación irreconocible por nosotros. Dentro de 1 millón de años, una pequeña estrella, Gliese, se situará a solo 1 año luz de nosotros, etc. La estrella de Barnard está situada a 6 años luz de nosotros, (muy cerca) pero dentro de 11.000 años estará a sólo 3,8 años luz. En 200 años recorre una distancia aparente de 30 minutos, o sea un diámetro lunar. Hay incluso prestigiosos astrónomos que han comunicado el descubrimiento de una nueva supernova y era en

realidad esta movediza estrella. A lo largo de los años se han realizado numerosas medidas y fotografías, apreciando que no tiene un movimiento perfectamente rectilíneo. Tiene un bamboleo de un lado a otro. Sabiendo la distancia y la perturbación en el movimiento, basadas en fotografías desde 1938 hasta 1962 Van de Kamp, determinó que tiene un cuerpo con masa de 1,6 veces la de Júpiter dando una vuelta cada 24 años. También sugiere que la órbita de "su" planeta es bastante alargada. En Marzo de 1969, basándose en tomas de 1916-1919 y 1938 a 1967 modificó sus parámetros y propuso una órbita muy alargada cada 25 años y una masa de 1,7 MJ (Masas Jovianas). En agosto del mismo año rectificó, anunciando que no era un planeta sino dos los que perturbaban la trayectoria de la estrella. Las órbitas son prácticamente circulares con periodos de 26 y 12 años y una masa de 1,1 y 0,8 MJ cada uno. En 1975 vuelve a rectificar y considera como más apropiados una masa de 0,4 y 1,0 para cada planeta, orbitando en 22 y 11,5 años respectivamente. Y como era un gran sabio rectificó de nuevo en 1982 y acepta como mejores parámetros la presencia de dos planetas de 0,7 y 0,5 MJ orbitando cada 12 y 20 años respectivamente. (hay autores que discuten la presencia de estos planetas).

Con esto hemos comentado el primer método para la detección de los planetas. Es el método *astrométrico*, basado en el movimiento propio de la estrella, utilizando las estrellas vecinas como puntos de referencia. Si un cuerpo gira alrededor de otro, lo hace sobre el centro de gravedad del sistema. Si lo viéramos desde un punto perpendicular a su órbita, veríamos como la estrella hace pequeños círculos, mientras que si lo viéramos desde el mismo plano, apreciaríamos pequeñas oscilaciones a uno u otro lado. Como hemos visto con la estrella de Barnard, no es nada fácil y las medidas deben ser muy delicadas. Fig 2.

Hay una medida muy utilizada en astronomía que es el llamado parsec, abreviatura de “paralaje 1 segundo”, que es la distancia a la que la unidad astronómica subtende un ángulo

de un segundo de arco. Equivale a 3.2616 años luz o 206 265 unidades astronómicas. Es lo mismo que decir que si estamos a 3.26 años luz la Tierra si situaría a 1 segundo del Sol como máximo. Júpiter esta situado a 5 UA y Saturno a 10 UA (son valores aproximados). Conviene saber unos pocos parámetros: la masa de Júpiter es de 320 veces la Tierra y Saturno de 95 veces. Nuestro querido y caluroso Sol tiene una masa de 333.000 veces la nuestra y aproximadamente 1000 veces la de Júpiter, con un diámetro de 1.391.20 Km. que es aproximadamente una centésima de unidad astronómica.

Podemos irnos hipotéticamente a una estrella situada a 32 años luz. Desde ahí la Tierra se situaría a 0.1 segundo, Júpiter a 0.5 seg. y Saturno a 1 seg. de arco del Sol. Como hemos comentado todos los planetas y el propio Sol gira en torno al centro de masas del sistema solar (baricentro). Casi toda la masa está en el Sol, y por tanto el baricentro está muy próximo a él. En el siguiente esquema vemos la trayectoria que sigue el Sol. La curva es compleja y esta determinada prácticamente por Júpiter y en menor medida por Saturno. El resto de cuerpos del sistema solar influye muy poco. Como vemos el movimiento del Sol,

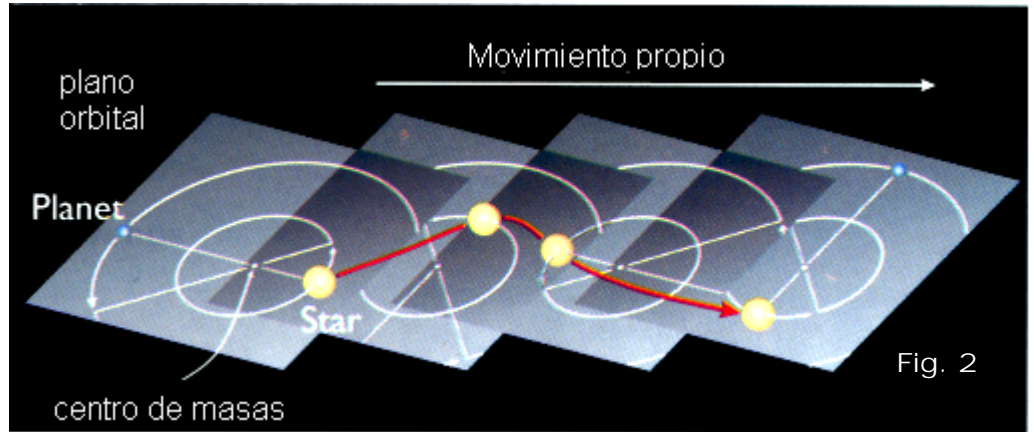


Fig. 2

apenas llega a un diámetro del mismo. Si estuviéramos en esa hipotética estrella veríamos oscilaciones de escasamente 1 milésima de segundo cada 12 años. Con los métodos actuales es imposible detectar la presencia de un planeta de la masa de Júpiter a 5 UA de la estrella principal. Fig 3.

El segundo método de detección de exoplanetas es el llamado *espectroscopía Doppler* o también llamado *espectroscopía de la velocidad radial*. El efecto Doppler es bien conocido en física. Un objeto está irradiando en una determinada longitud de onda. Si se aleja, la longitud de onda aumenta y veremos su espectro como desplazado al rojo. (Fig 4 en la siguiente página). Si el objeto en cuestión se aproxima a nosotros, la longitud de onda disminuye y parece desplazarse hacia el azul. Los planetas producen un minúsculo tironcito gravitatorio de la estrella (debido a su escasa masa), que hace que unas veces acelere su velocidad hacia nosotros y otras veces se aleje. En el siguiente esquema se aprecia mas claramente. Fig 5 en la página siguiente. La gran dificultad es la mínima variación de corrimiento del espectro que produce. La técnica está influenciada por numerosos parámetros y cualquier variación es superior a la provocada

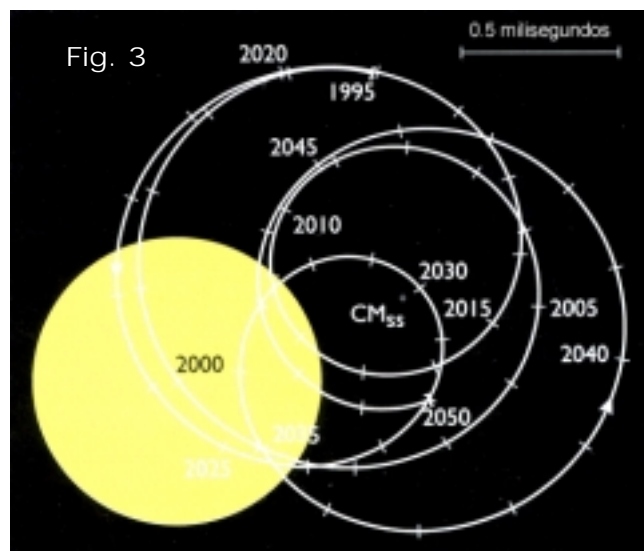
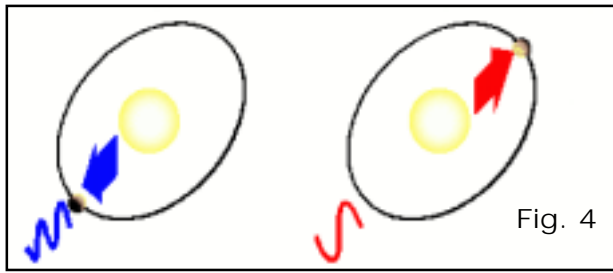
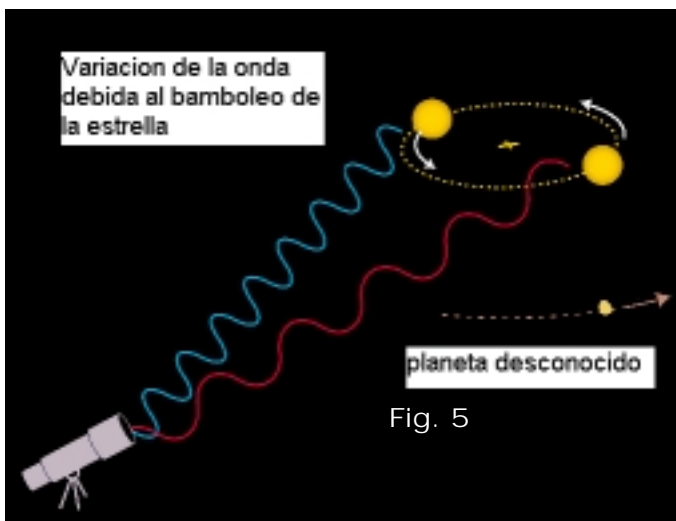


Fig. 3

vezes se aleje. En el siguiente esquema se aprecia mas claramente. Fig 5 en la página siguiente. La gran dificultad es la mínima variación de corrimiento del espectro que produce. La técnica está influenciada por numerosos parámetros y cualquier variación es superior a la provocada



por el exoplaneta. Solo en los últimos años, con espectroscopios ultrasensibles se han podido detectar estas pequeñas variaciones. La mayoría de los exoplanetas descubiertos se deben a este método. Ver Fig 6.

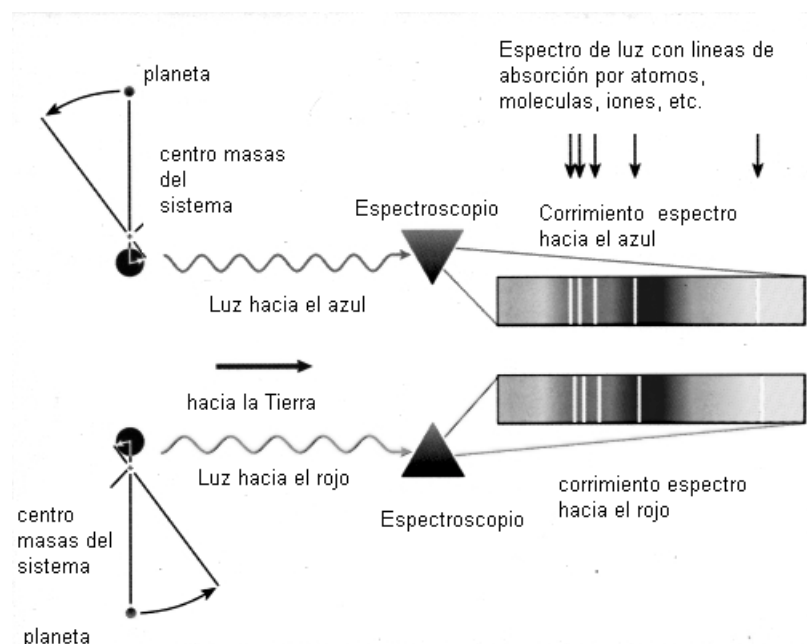


El Sol se mueve por el espacio a una velocidad de aproximadamente 13.000 m/s. La Tierra lo hace a unos 30.000 m/s en su órbita alrededor del Sol. El bamboleo del Sol por la influencia de sus planetas es de aproximadamente 12.5 m/s. Por lo que requiere una precisión de unos 3 m/s. El cambio de la longitud de onda de la luz emitida por la estrella es inferior a una parte en 100 millones. Hasta hace unos años la precisión de la medida del efecto Doppler estaba situada en unos 500 m/s. El problema es que cambios muy, muy pequeños en las condiciones del espectrómetro como la temperatura, la presión, la iluminación de las ópticas, produce cambios mucho mayores que los del supuesto planeta.

En 1991, Alex Wolszczan descubrió el primer sistema planetario extrasolar. Se utilizó la gigantesca antena de 300 m del radiotelescopio de Arecibo. Se encontró en torno al pulsar PSR 1257+12 un trío de pequeños planetas. Los pulsar son estrellas de neutrones con un giro rapidísimo, producidas tras la explosión de una supernova. Las determinaciones ultraprecisas, con relojes atómicos, del periodo de giro pudo determinar que presentaba una oscilación compatible con tres pequeños planetas. Es un lugar tan inhóspito y tan raro que no sabemos si los planetas son habituales tras la explosión de supernova o bien ya estaban antes.

En 1995 Michel Mayor y Didier Quelz descubren con esta técnica de espectroscopia Doppler, el primer planeta extrasolar orbitando una estrella normal como es 51 Pegasi. Posteriormente Butler y Marcy hay descubierto un montón de nuevos exoplanetas. Fig 7.

El estudio detallado del cambio de velocidad de la estrella, efecto Doppler, nos aporta muchos más datos. El periodo orbital del planeta es el mismo que el periodo del bamboleo de la estrella. Conociendo el periodo orbital podemos deducir el semieje mayor de su órbita (aplicando la tercera ley de Kepler). Si la velocidad varía siguiendo un onda



perfectamente sinusoidal, podemos colegir que la órbita es circular. Por el contrario si la curva no es regular, su órbita será más o menos excéntrica. Con ello podemos saber el periodo, el semieje mayor y la excentricidad de la órbita. Dado que las estrellas analizadas están relativamente cerca y conocemos bien su brillo y espectro, podemos calcular la masa de la estrella y de ahí el del planeta que le acompaña. Fig 8 y 9.

En algunos casos se adapta mejor a las observaciones, la presencia de dos o más exoplanetas.

Pero nos queda una incertidumbre no resuelta. No podemos determinar el ángulo de visión que tenemos de la órbita. No sabemos si está poco o muy inclinada con nuestra visual. Esto influye en los cambios de la velocidad. La determinación de la masa del planeta es por tanto aproximada. La real sería la masa mínima que explica el bamboleo multiplicada por el seno del ángulo visual ( que nos es desconocido). De promedio será el doble de esta masa mínima calculada.

Los siguiente métodos de detección de exoplanetas son los fotométricos. Se basan en el registro de la magnitud de la estrella con la intención de detectar un eclipse.

Cuando se produzca un eclipse o bien un tránsito del planeta en la superficie estelar se producirá una

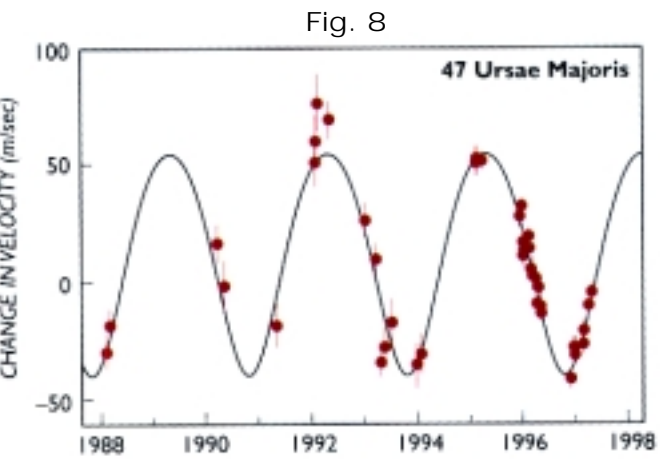
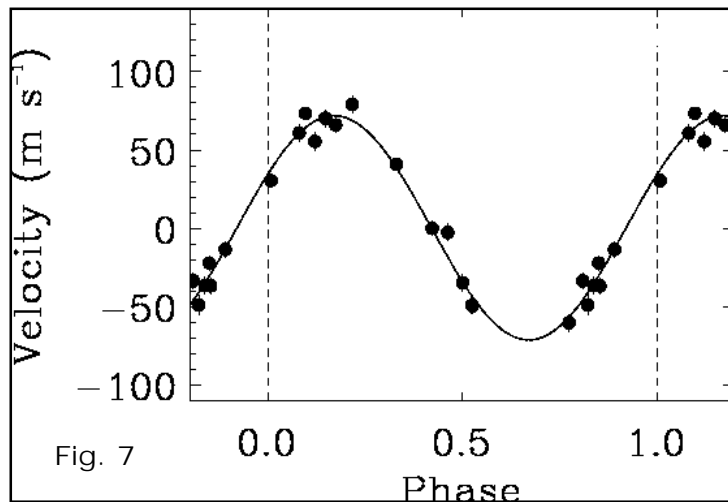
pequeña caída en la luminosidad. Si nos vamos a nuestra hipotética estrella a 32 años luz, tendríamos que durante unas pocas horas cada 12 años se produciría una disminución de la luz del 1%. Y cada 30 años se produciría un eclipse mas largo pero de

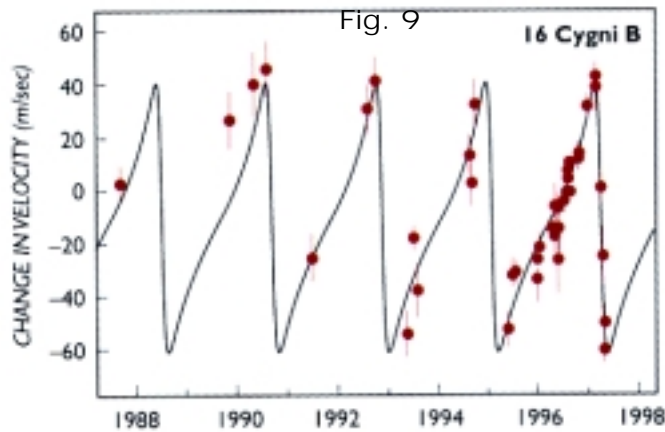
menor intensidad correspondiente a nuestro Saturno. Claro está, siempre que la estrella esté en el mismo plano orbital que los planetas. Esto que parece imposible no lo es tanto si tenemos en cuenta que los planetas detectados hasta ahora suelen ser mucho mayores

que Júpiter y sobre todo están muy próximo a su estrella. Los periodos orbitales son de pocos días. Esta proeza se hizo realidad al registrar la luminosidad de HD 20 945. Se trata de una estrella situada en la constelación de Pegaso a 153 años luz del sistema solar. La estrella es similar en brillo, color y edad a nuestro Sol. El 5 de Noviembre de 1999, Marcy, Butler y Vogt descubrieron un posible exoplaneta que al contrario de los 18 descubiertos por ellos anteriormente parecía situarse en la línea de

visión. Se pusieron en contacto con Greg Henry para que realizara el seguimiento fotométrico de la estrella desde el observatorio de Fairborn en Arizona. El día 17 de Noviembre detectó un descenso de brillo del 1,7%. Lo que confirmó la presencia de un

exoplaneta. Se calcula que tiene una masa de sólo 0,63 MJ y su radio un 60% mayor que “nuestro”





Júpiter. Es la primera vez que se tiene la confirmación directa de un exoplaneta.

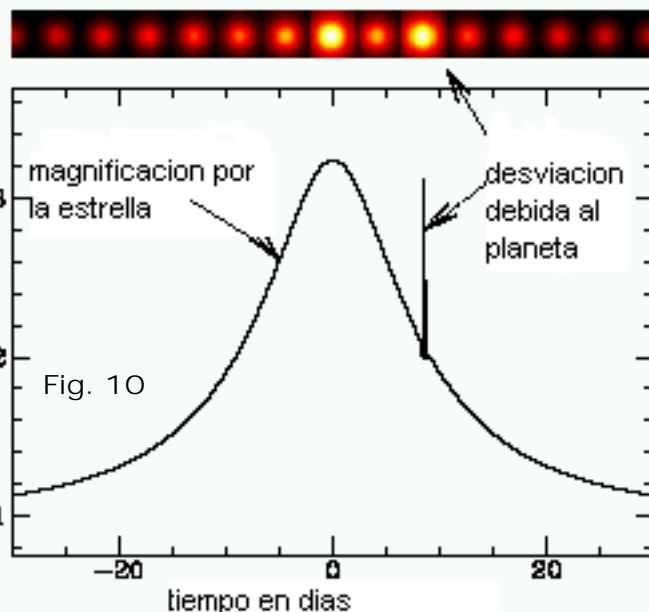
El método fotométrico puede detectar los exoplanetas por el conocido fenómeno de “lente gravitacional”. Esta basado en la teoría de la relatividad general. La masa desvía la trayectoria de la luz. Este sistema se ha empleado en la detección de MACHOS que son hipotéticos cuerpos del halo galáctico, también para detectar agujeros negros fugitivos de pocas masa solares, y son muy espectaculares las imágenes de lejanísimas galaxias deformadas en forma de arcos por otras mas próximas. En el caso de un exoplaneta si pasa por delante de la estrella puede producirse un aumento brusco de la luminosidad. No se detecta el planeta pero si sus efectos. También tiene que darse la circunstancia que estén alineados. Fig 10.

Por supuesto todos los métodos descritos han sido aplicados a las estrellas más próximas y aun así con grandes dificultades técnicas dadas las escasas variaciones que producen. La detección por la velocidad radial del efecto doppler ha sido sometida a duras críticas. Autores como Gray mantienen que son pequeñas oscilaciones de la atmósfera de la estrella la que produce los cambios de la velocidad radial. La réplica es que no se produce modificación en el brillo de la estrella. Por otra parte la onda de la variación

de velocidad es sinusoidal y se explica más fácilmente por un planeta en órbita circular.

A la hora de escribir el artículo se habían detectado 33 exoplanetas. Pero la progresión de descubrimientos es muy grande. En la siguiente figura vemos un resumen de los principales exoplanetas con su distancia y masa aproximada. Fig 11.

Del examen de los datos se puede deducir algunas conclusiones. La más importante es que existen los planetas extrasolares. Los datos indican que hay muchos con masa superior a Júpiter, y muy próximo a la estrella madre. Pero esa conclusión debe ser errónea. Fig 12. Los medios actuales no permiten la detección de un planeta pequeño y distante y por tanto los que descubrimos son grandes y próximos a la estrella. Ese hallazgo plantea muchos interrogantes nuevos. Si los grandes planetas son gaseosos, no sabemos como han podido retener una atmósfera tan importante estando tan cerca, y por tanto tan caliente, de una estrella. Si por el contrario tienen un núcleo sólido muy grande, nos altera nuestros esquemas de formación de planetas. Otra explicación es la de suponer que se han formado mucho más lejos de la estrella y que por inestabilidades con otros planetas han acabado en una órbita tan próxima. Los cuerpos de nuestro sistema solar tienen un cierto



comportamiento caótico. Las órbitas que parecen tan estables no lo son. Bastaría con pequeñísimos cambios para que a largo plazo se modificara mucho su órbita o la de otros planetas. Un milímetro que se alejara Marte de su órbita, podría hacer que Plutón saliera disparado del sistema solar. Si es cierto este comportamiento de las órbitas, podría haber miles de millones de planetas, incluso gigantescos, vagando oscura y silenciosamente por los confines siderales (¡¡¡ que miedo !!!).

Necesitamos conocer muchos mas exoplanetas para hacernos una idea de cómo se forman los sistemas solares y si hay muchos en condiciones de tener vida inteligente. Hay multitud de proyectos con este objetivo. Unos se basan en la medición ultra precisa de posición y luminosidad de las estrellas de los cúmulos abiertos. Es fácil en una toma realizar estas medidas y cualquier variación se podía interpretar como presencia de exoplanetas. Otros se basan en mejorar la técnica de detección. Utilizando los dos telescopios de Keck o el European Southern Observatory's Very Large Telescope (VLT), de 8 a 10 metros pueden ser capaces de detectar la posición de las estrellas con una precisión de 10 a 100 veces las actuales. Con esta precisión podríamos ver el bamboleo provocado por un planeta de la masa de Saturno o Neptuno. Proyecto mas ambicioso es el SIM (Space Interferometry Mission) que al evitar la atmósfera terrestre será capaz de detectar planetas tan pequeños como de 10 masas terrestres con periodo orbital de hasta cinco años. En los próximos años seguro que se observarán nuevos sistemas solares que nos ayudarán a descubrir cómo se formó el nuestro.

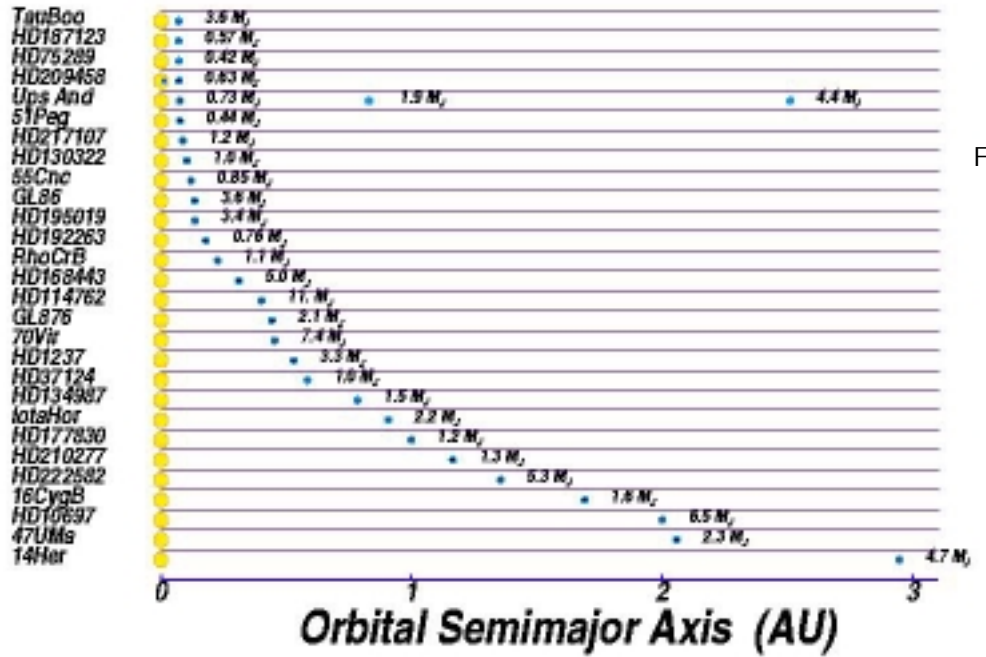
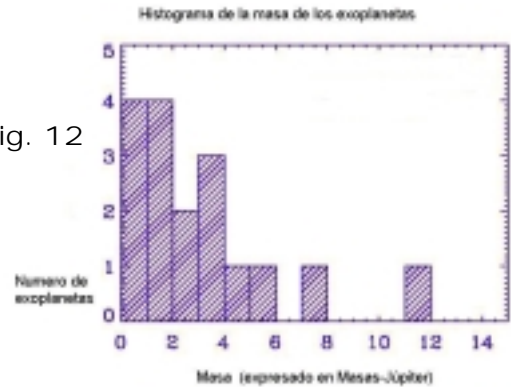


Fig. 1

Fig. 12



P. D : Dedicada a Josep Julia Gomez. De todas formas hay que decir que el auténtico descubrimiento aún no se ha realizado. Sabemos que hay muchos planetas girando alrededor de estrellas. Casi con toda seguridad que también existan muchos asteroides en torno a ellas. Si hacemos una extrapolación con nuestro sistema solar y pensamos que hay 10 planetas y más de 30.000 asteroides, no quiero ni pensar la ingente labor que le queda a nuestro coordinador de la sección de asteroides, Josep Julia. Quiero felicitarle por su primer asteroide nuevo y desearle que le sigan muchos más. Cuando acabes con los del sistema solar, pues ya sabes, a buscar asteroides extrasolares o exoasteroides. Enhorabuena y que descubras muchos más.