

En busca del Planeta Perdido...



Dr. Santiago Pérez-Hoyos
Grupo de Ciencias Planetarias
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea



Grupo de Ciencias Planetarias
Zientzia Planetarioen Taldea

El Centro del Universo

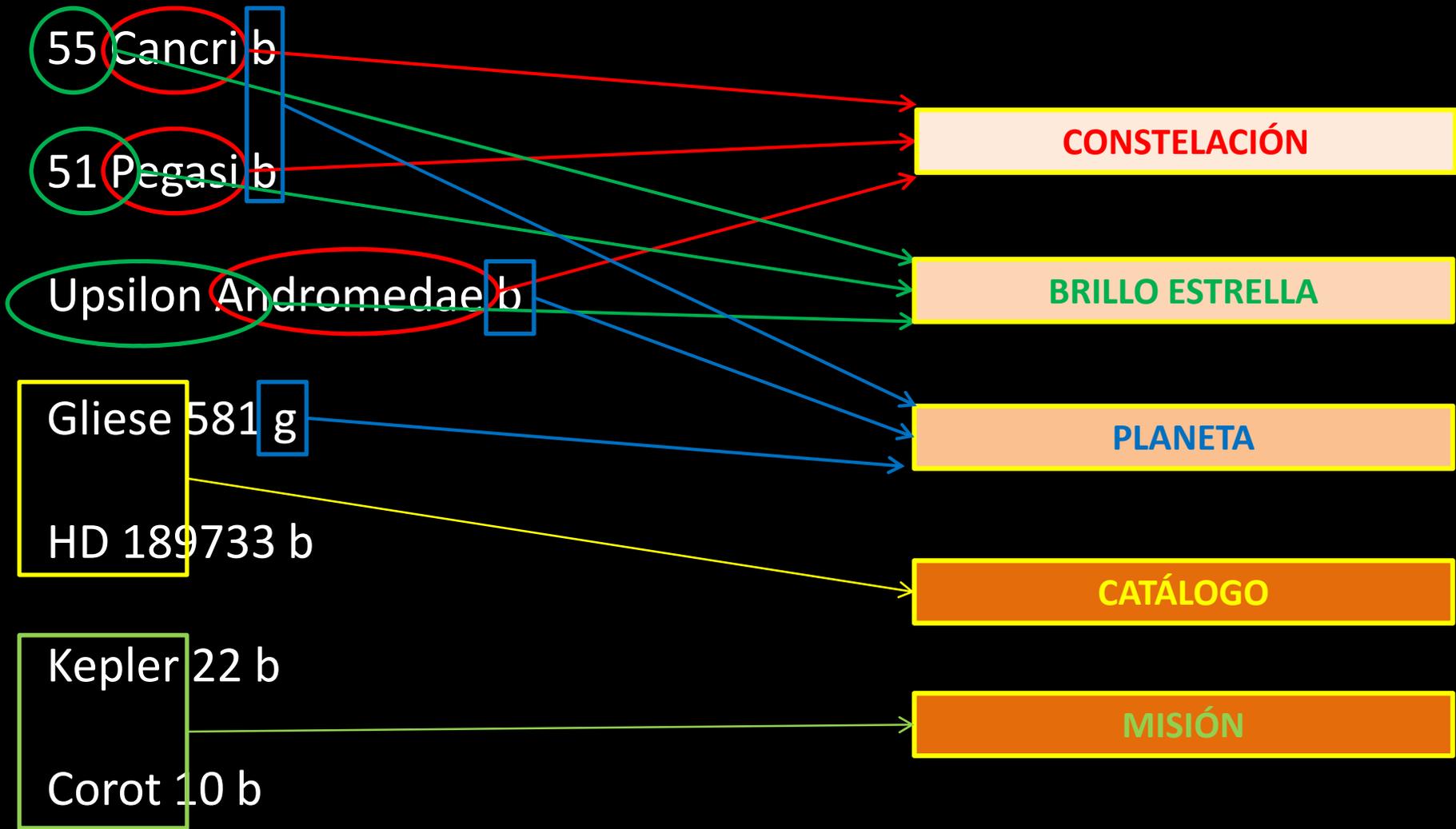
- Hace apenas 500 años, el ser humano consideraba nuestro planeta el Centro del Universo.
- Todos los astros, incluidos el Sol, giraban alrededor de la Tierra en órbitas circulares perfectas.
- Las estrellas fijas colgaban de una esfera inmensa que circundaba el Universo.
- Las evidencias observacionales tumbaron esta teoría en el siglo XVI.
- Toda ilusión de ser una parte importante del Universo desapareció con la Cosmología del siglo XX.



¿REALMENTE HEMOS COMPLETADO ESTA REVOLUCIÓN COPERNICANA?

A día de hoy, la Astronomía se encuentra inmersa en la búsqueda de planetas parecidos al nuestro, donde seres similares (o nosotros mismos) pudieran vivir o haber vivido. Hasta ahora, la búsqueda no ha tenido éxito.

El complicado nombre de las estrellas...



La historia de los planetas

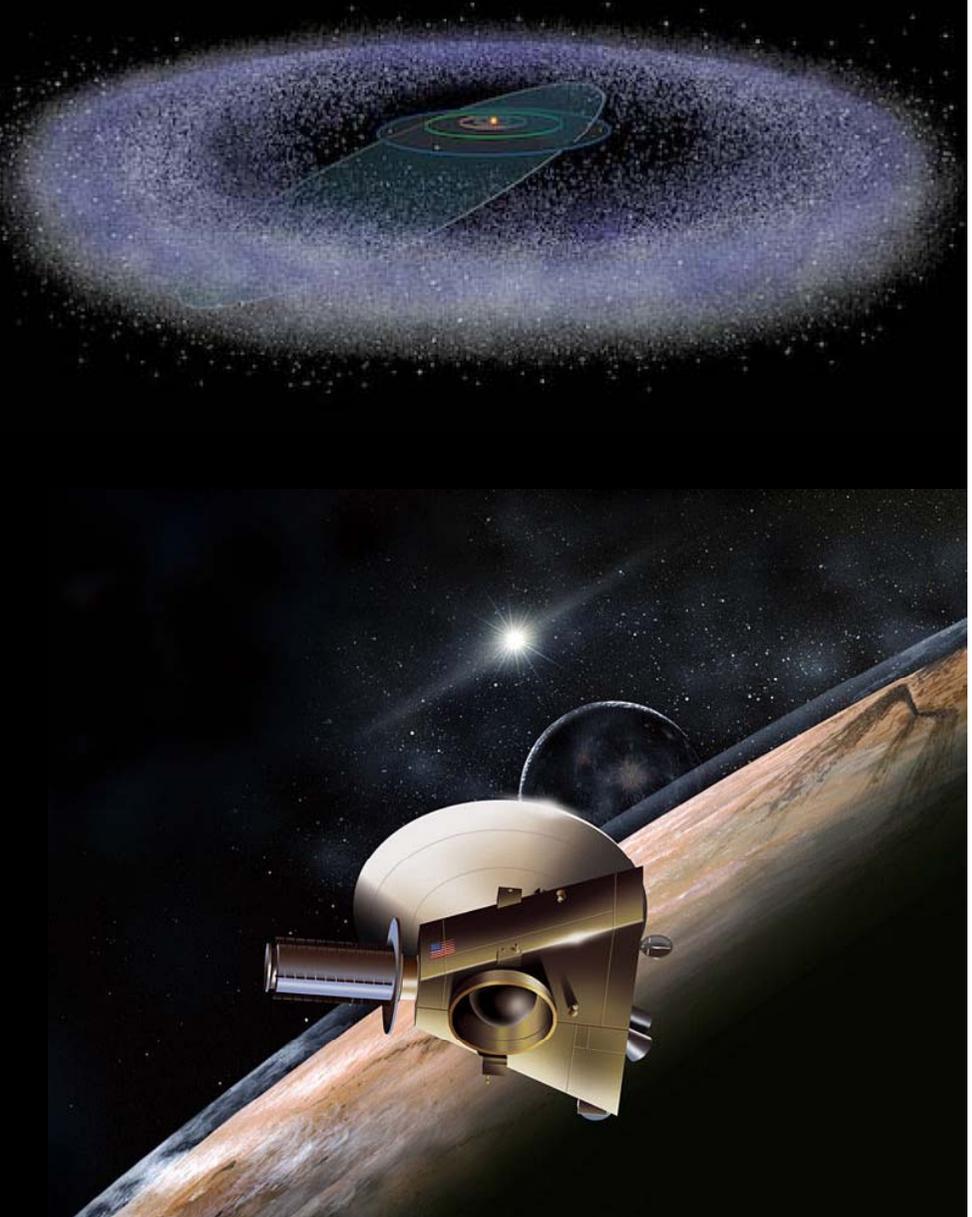
- Planeta es una palabra de origen griego que significa errante.
- Esta denominación se debe a su movimiento en el cielo, muy diferente al de las estrellas.
- De hecho, fue gracias a ese movimiento que Kepler pudo establecer sus leyes del movimiento planetario, posteriormente explicadas por Newton.



- Desde la antigüedad se conoce la existencia de Mercurio, Marte, Venus, Júpiter y Saturno.
- Urano y Neptuno fueron descubiertos en el siglo XVIII y XIX, junto con los primeros grandes cuerpos del cinturón de asteroides (Ceres y Vesta). Plutón hubo de esperar al siglo XX,

Perdidos en Plutón

- La estructura del Sistema Solar se había ido complicando a lo largo del siglo XX, con la demostración de la existencia de numerosos asteroides y cometas en la región exterior.
- Entre todos estos descubrimientos, aparecieron cuerpos tan grandes o más que Plutón, más allá de la órbita de Neptuno.
- En esta situación, en 2006 la IAU decidió limitar el grado de planeta a aquellos cuerpos que despejan su órbita de objetos de tamaño similar.
- Plutón pasó en aquel momento a la categoría de planeta enano, junto con algunos grandes asteroides.



¿Qué es un planeta?

1. Astro que no es capaz de mantener **reacciones termonucleares** en su interior, por lo tanto de menor masa y temperatura que una estrella.

2. Objeto que **orbita** directamente en torno a su estrella o bien permanece solitario, ajeno a un sistema estelar.

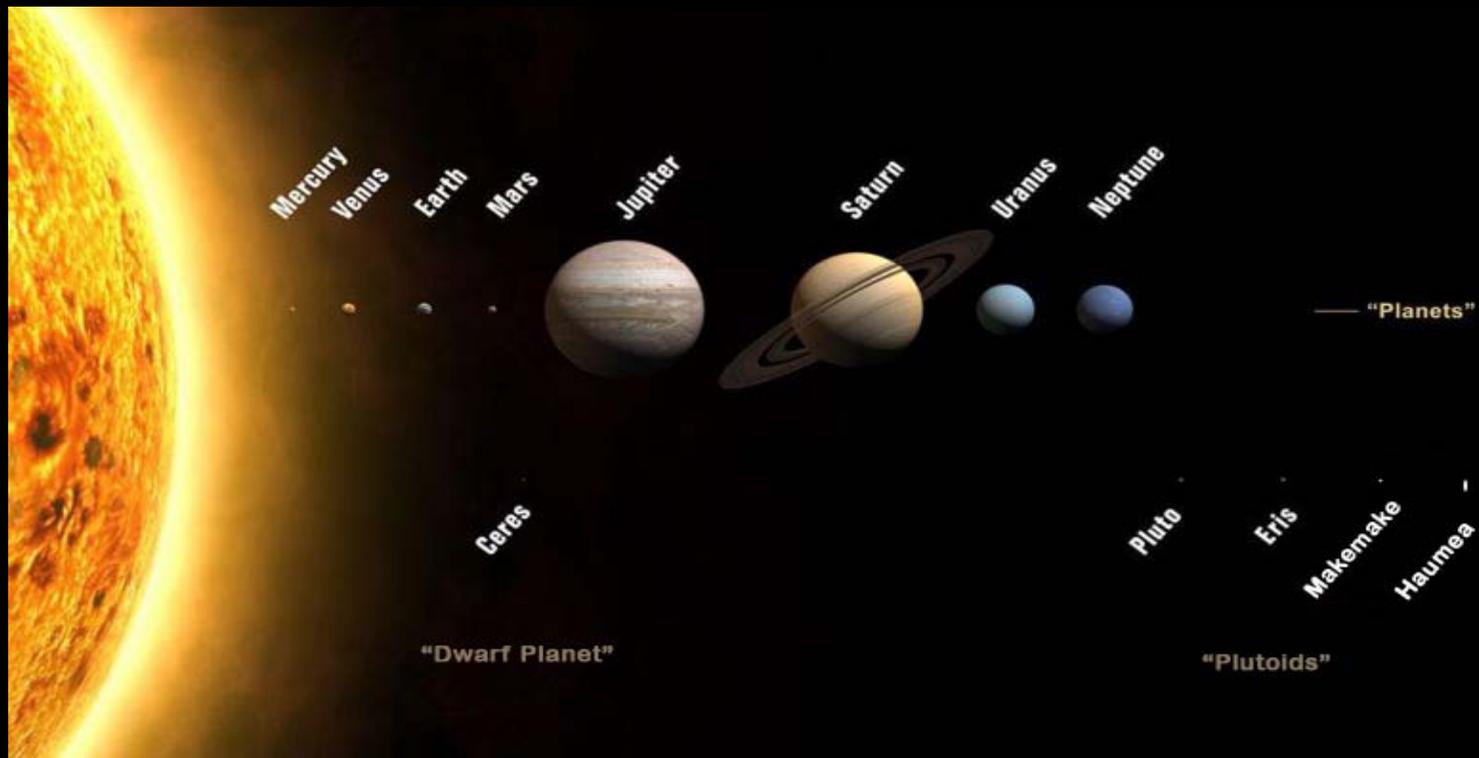
3. Objeto de **forma esférica**, por lo tanto con masa suficiente para alcanzar el equilibrio hidrostático.

4. Objeto que ha **limpiado** de forma significativa su órbita, impidiendo la existencia de objetos similares en su entorno.



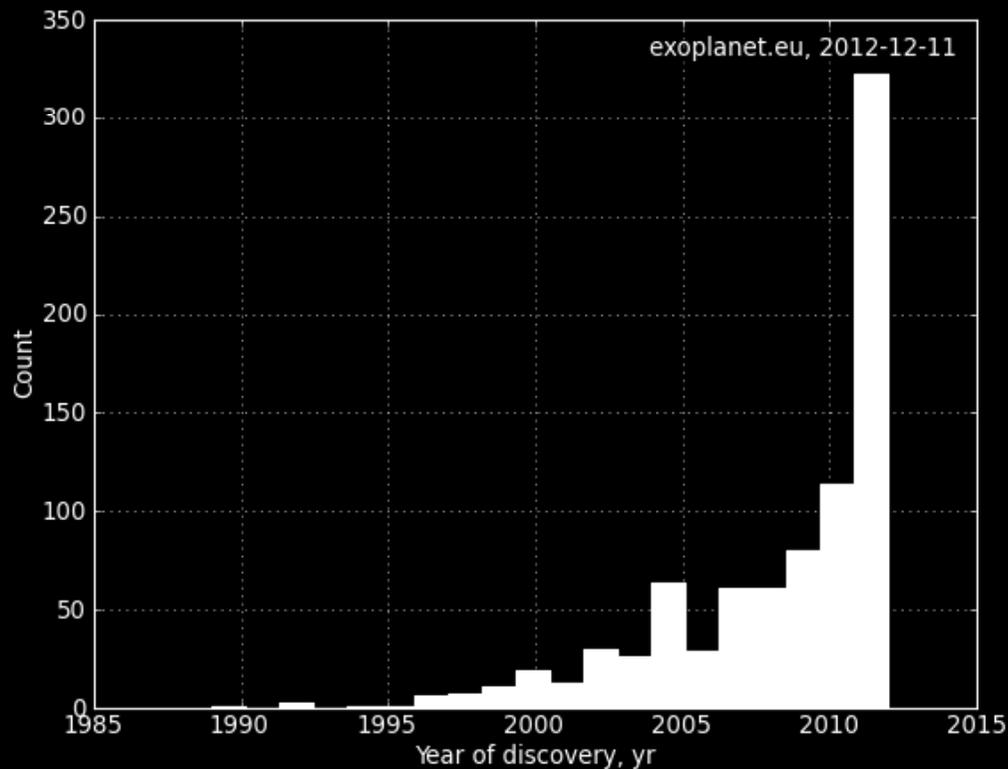
¿Una familia atípica?

- En el Sistema Solar los cuerpos más densos se sitúan en la parte interior.
- Más allá de la línea del hielo se sitúan los cuerpos helados.
- En la segunda mitad del siglo XX se concluyó que todos los sistemas planetarios debían ser muy similares al nuestro y que se formarían por principios también similares.



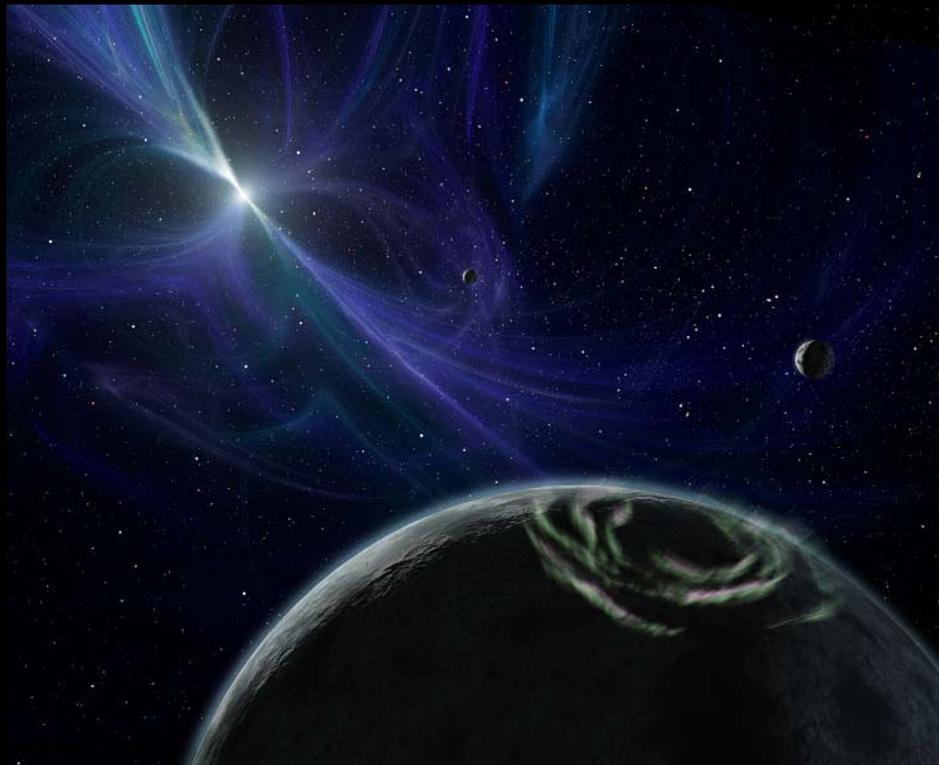
Planetas por todas partes

- Diciembre de 2012: 672 sistemas planetarios, 853 planetas, 126 sistemas múltiples.
- Aproximadamente la tercera parte de estos planetas ha sido descubierta en 2012.



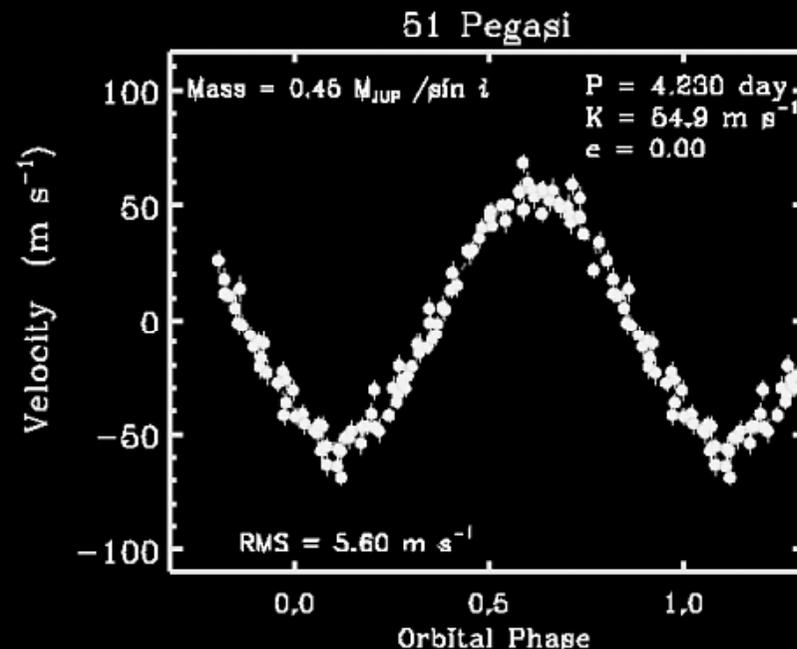
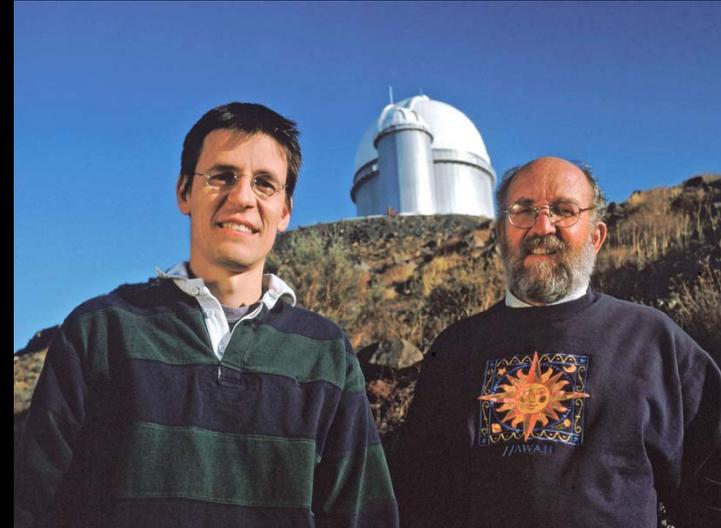
Planetas extravagantes

- Aunque posiblemente se descubrió el primer planeta en 1988, la primera confirmación vino en 1992 con el descubrimiento de varios planetas en torno a un púlsar. Actualmente se conocen varios sistemas de este tipo.
- Un púlsar es el cadáver de una estrella particularmente masiva, un lugar muy inhóspito del Universo.



Los primeros resultados

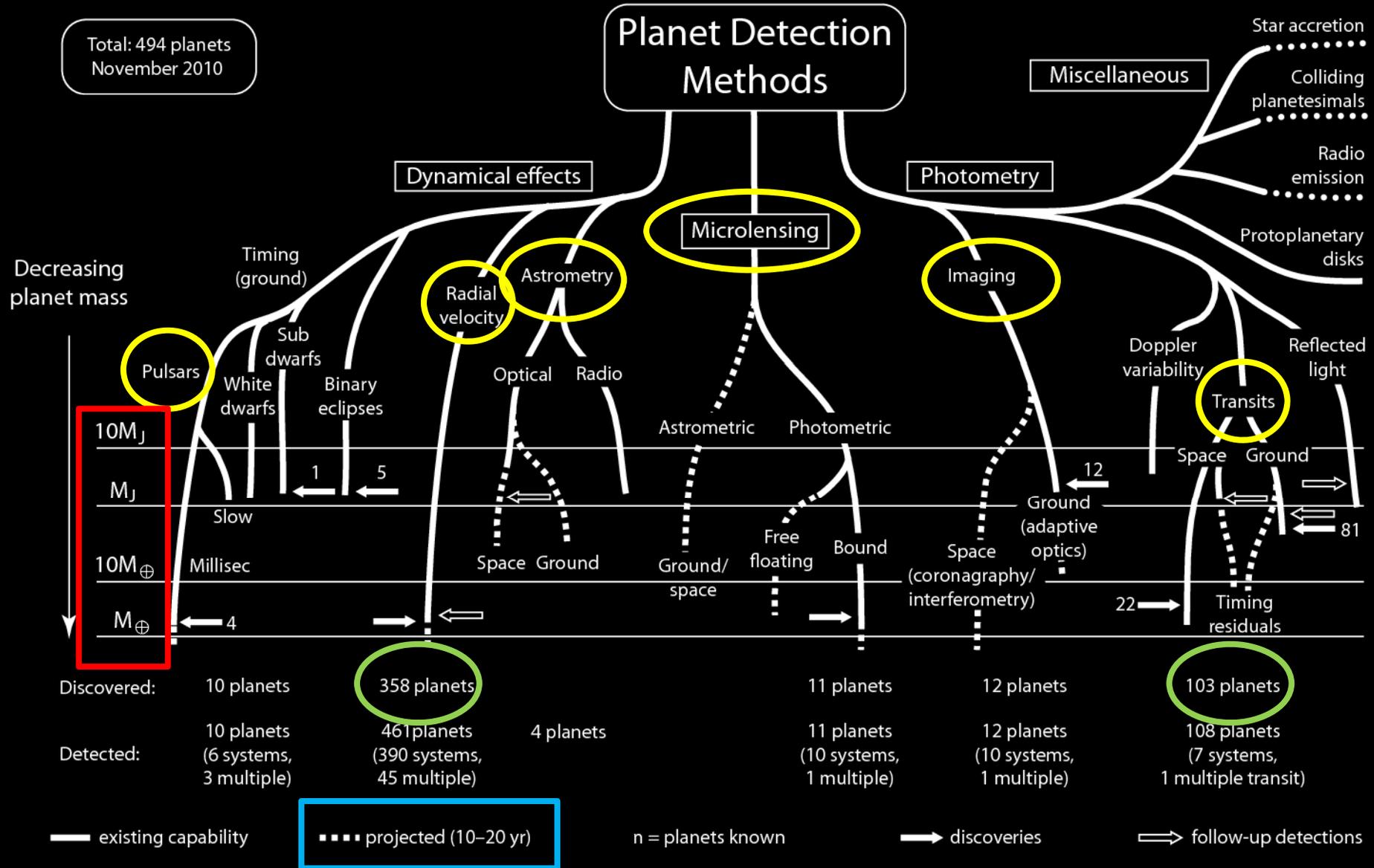
- El 6 de Octubre de 1995, los astrónomos suizos Michael Mayor y Didier Queloz anuncian el descubrimiento de un planeta orbitando en torno a una estrella normal.
- El planeta recibió el nombre de 51 Pegasi b
- Para descubrirlo utilizaron el método de las velocidades radiales, uno de los que veremos a lo largo de esta charla.
- Este fue el verdadero punto de salida para el descubrimiento de nuevos mundos en nuestro entorno galáctico.
- Sólo las estrellas más cercanas son accesibles para este tipo de estudios.



Buscando nuevos candidatos

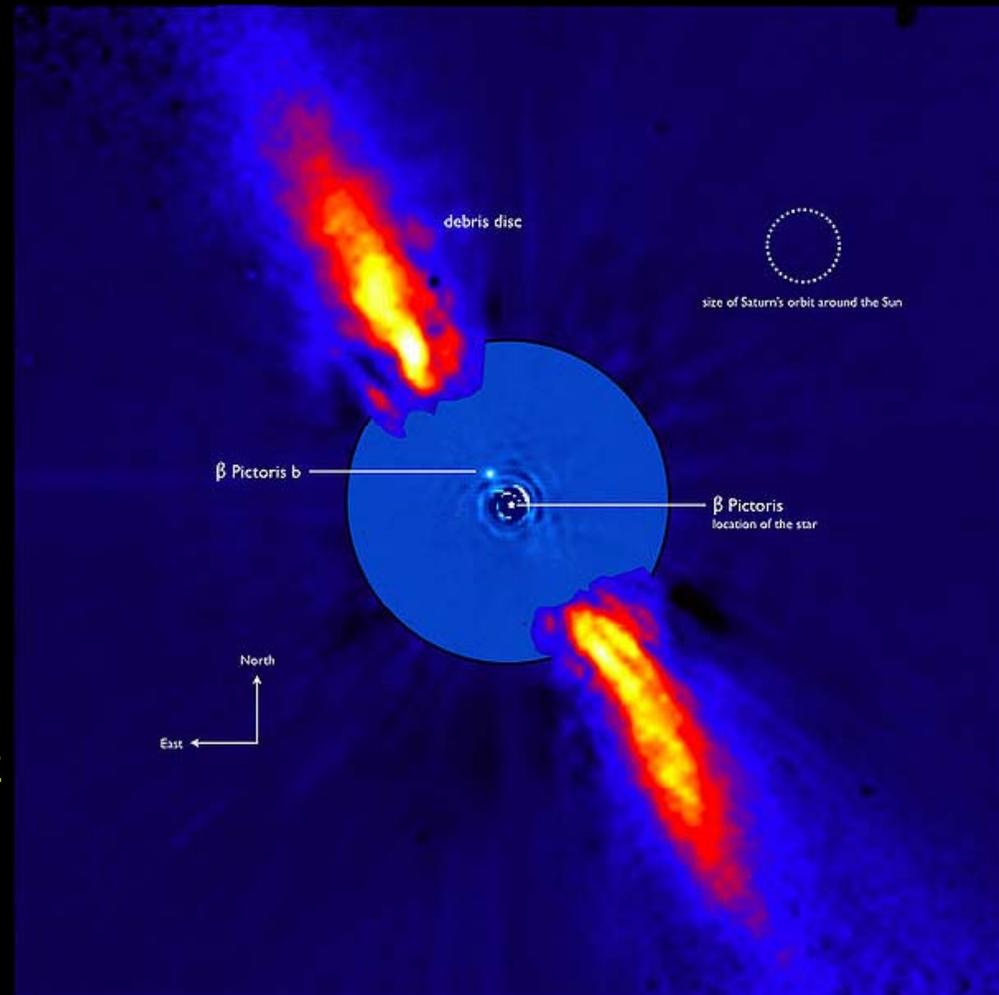
Total: 494 planets
November 2010

Planet Detection Methods



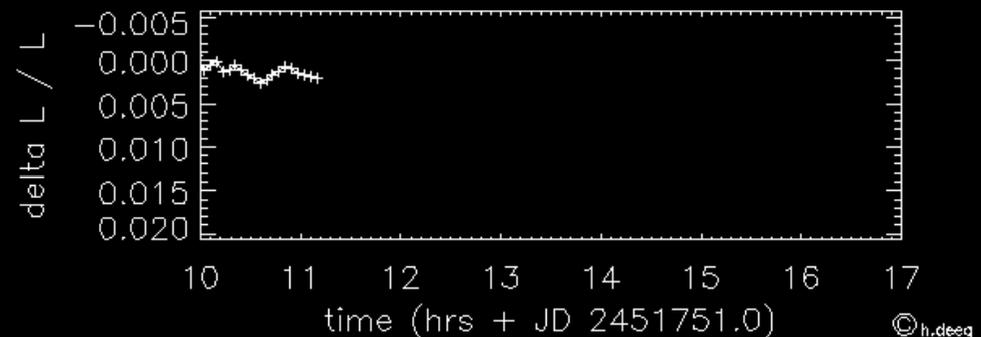
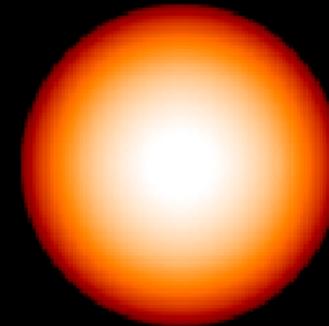
Guía para fotógrafos planetarios

- Las estrellas son miles de veces más brillantes que los planetas.
- Los planetas también emiten luz: radiación infrarroja debido a la temperatura a la que se encuentran.
- Si queremos ser capaces de ver un planeta debemos seleccionar aquellos muy calientes junto a estrellas frías, para que sean más fáciles de detectar.
- Además, se suelen utilizar coronógrafos para enmascarar la luz de la estrella.
- No es un buen método de búsqueda.

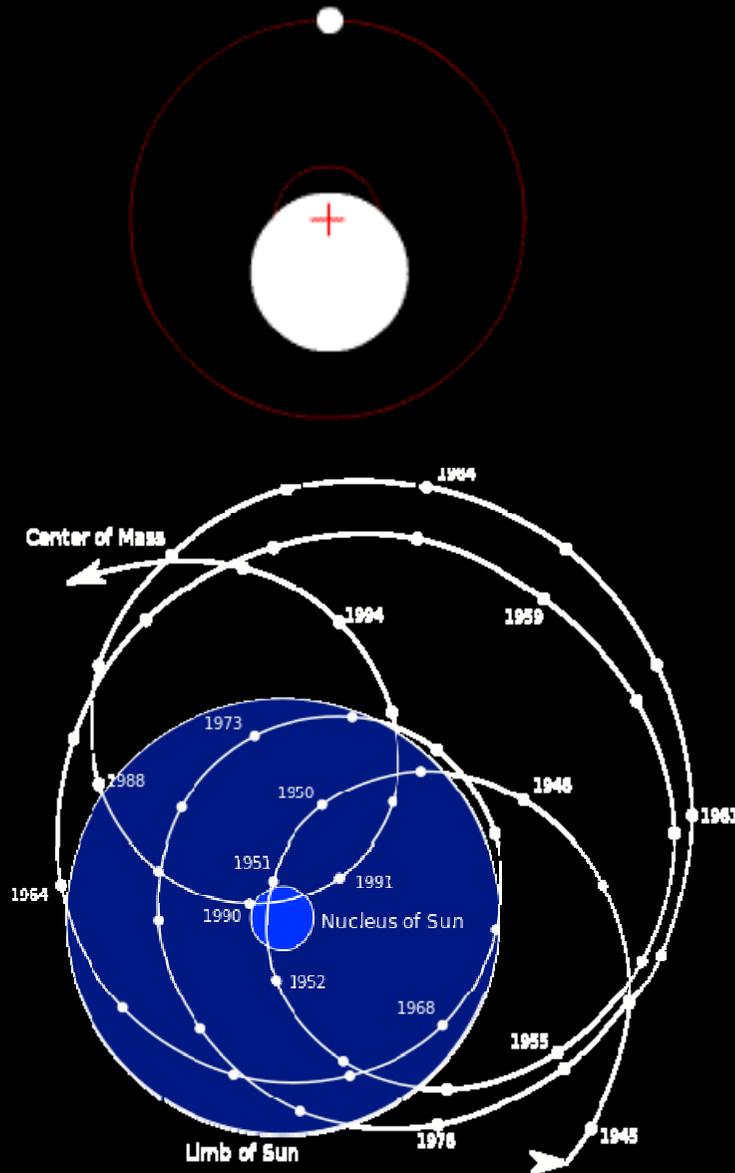


Eclipses galácticos

- Si tenemos suerte, podemos ver el sistema planetario de canto, lo que permite presenciar los eclipses.
- Durante el tránsito del planeta sobre el disco de la estrella, el brillo percibido disminuye. Sin embargo, este cambio es minúsculo, a menudo menor del 1%.
- Este método es una de las principales fuentes de detecciones y confirmaciones.
- Permite además, en teoría, medir propiedades de la atmósfera del planeta.
- Establece importantes sesgos observacionales.



Movimientos en el cielo



➤ Este primer método de detección de planetas extrasolares es conceptualmente válido, pero ha proporcionado pocos resultados hasta la fecha.

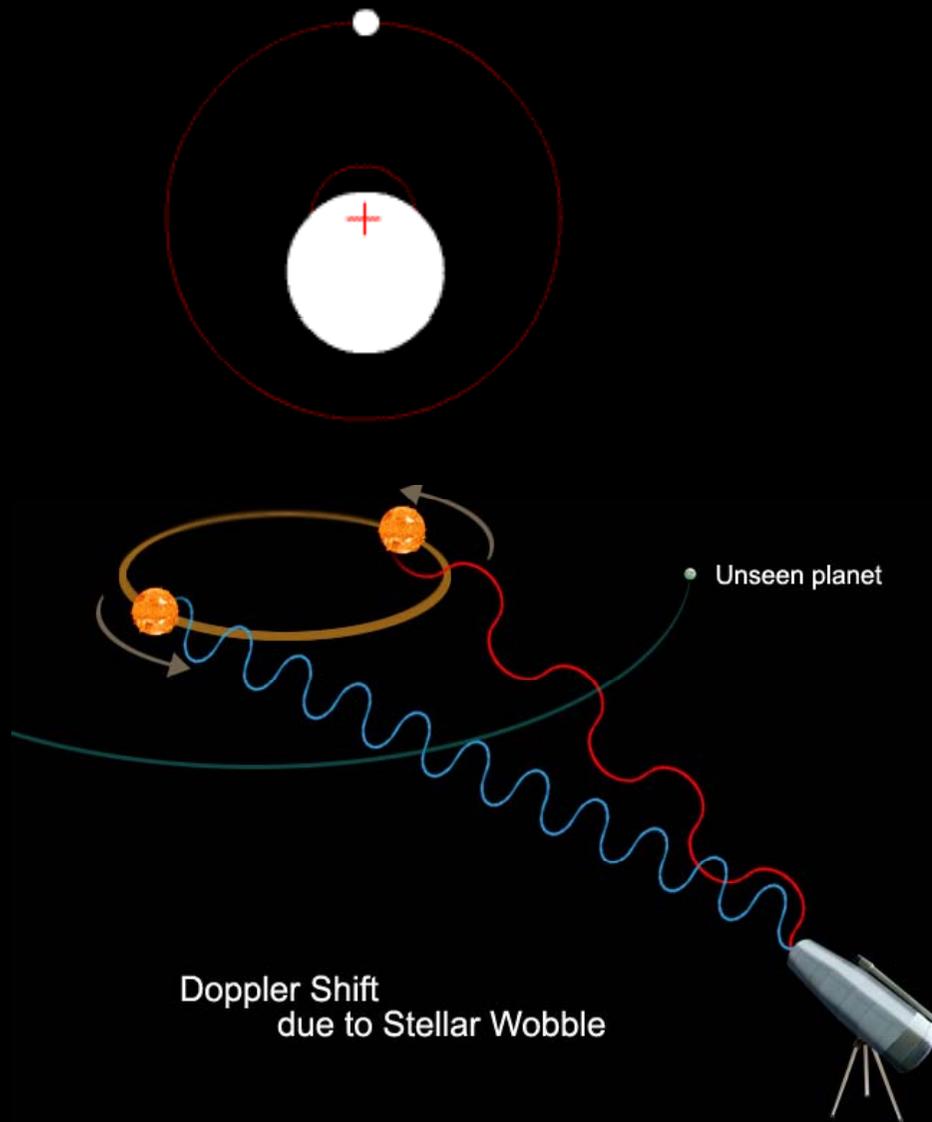
➤ Incluso la presencia de un objeto de pequeño tamaño como un planeta cambia levemente la posición del centro del Sistema.

➤ De hecho, la estrella también gira alrededor de este centro (o baricentro), bamboleándose en torno a esa posición.

➤ Desgraciadamente, este punto está normalmente muy cerca del centro de la estrella por lo que el movimiento puede ser imperceptible.

➤ Sin embargo, esta idea servirá para alguno de los siguientes métodos.

Efecto Doppler



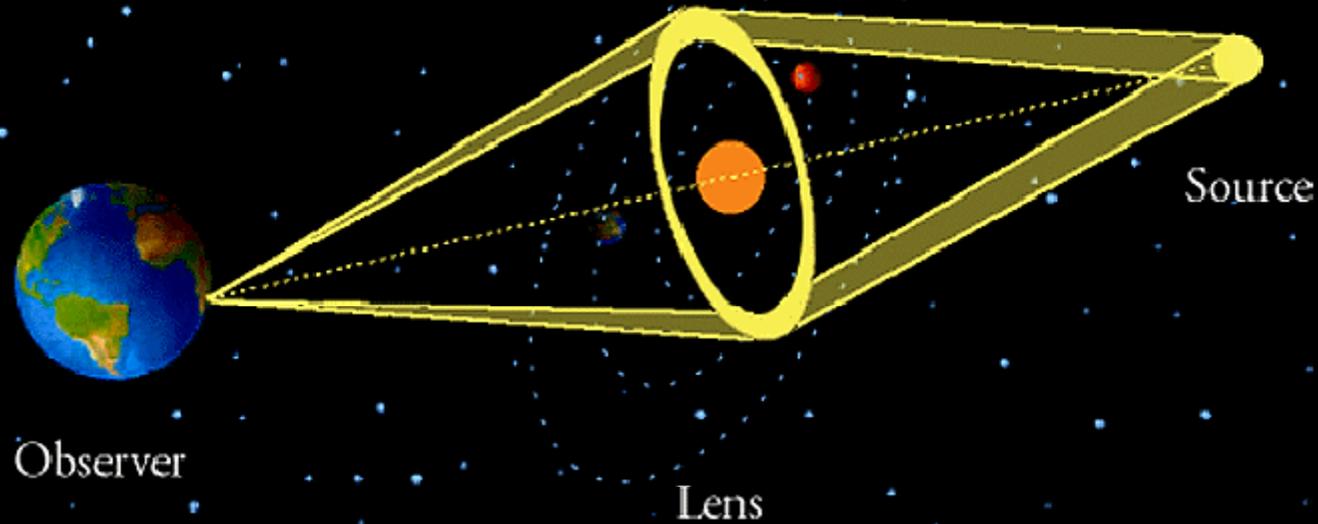
➤ Recuperemos nuestra idea inicial sobre el movimiento de las estrellas alrededor del baricentro del sistema.

➤ Aunque este movimiento no sea detectable, puede producir un pequeño efecto sobre la luz emitida por la estrella.

➤ Afortunadamente, somos más hábiles midiendo estos pequeños cambios de color y por tanto podemos detectar muchos exoplanetas con esta técnica.

➤ De nuevo, seremos más propensos a detectar planetas grandes en la cercanía de las estrellas.

Una lente imposible



- Existen otros métodos de detección de planetas extrasolares, como el de las microlentes gravitacionales, basados en las curiosas propiedades del Universo.
- La luz se ve afectada por la gravedad, lo que en ocasiones nos permite detectar la presencia de algunos objetos, como demostró el proyecto OGLE.

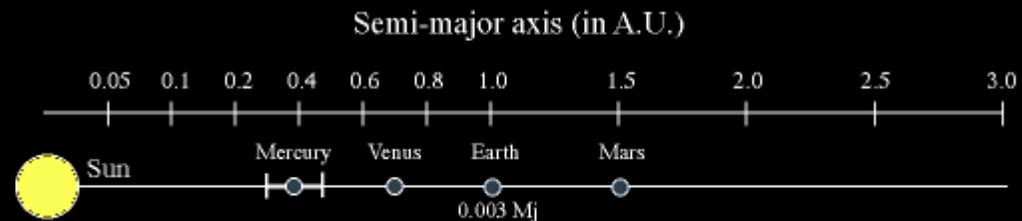
¿Una foto de familia?

➤ ¿Qué sucede si comparamos nuestro Sistema Solar con los otros sistemas planetarios que hemos encontrado?

➤ Casi todos los planetas descubiertos son muy grandes, gaseosos y están muy cerca de su estrella.

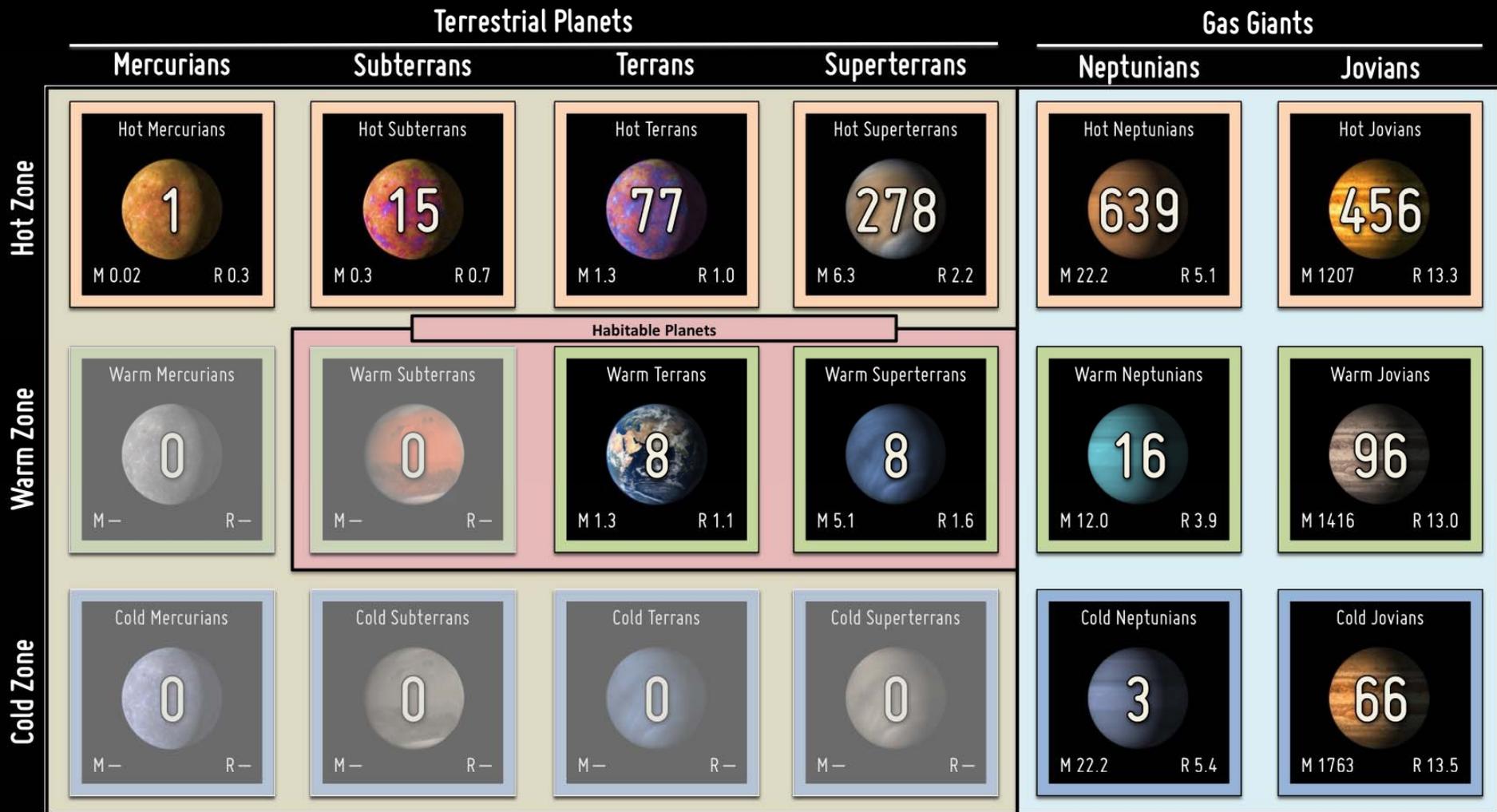
➤ ¿Se debe esto a nuestros métodos de búsqueda? ¿O es una característica general de los sistemas planetarios?
¿Somos nosotros los raros?

➤ Este descubrimiento obligó a redefinir nuestros modelos de formación de sistemas planetarios.

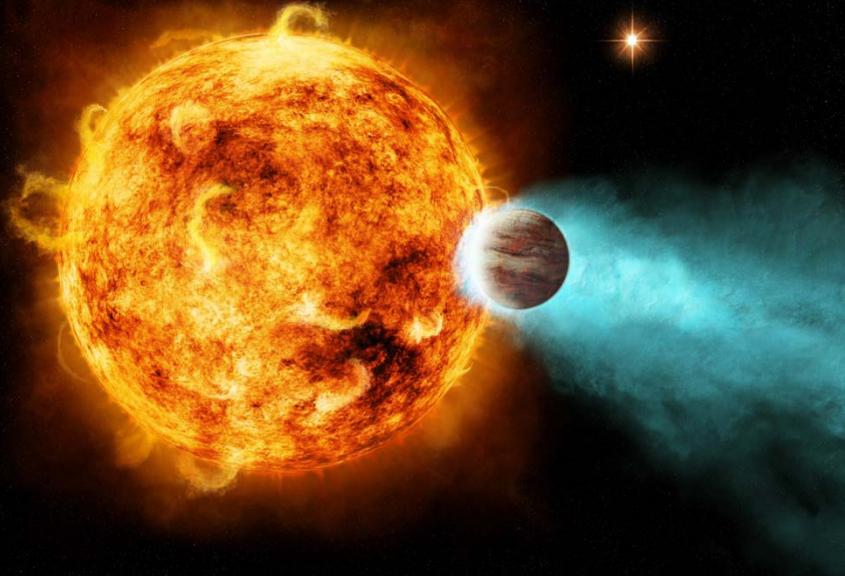
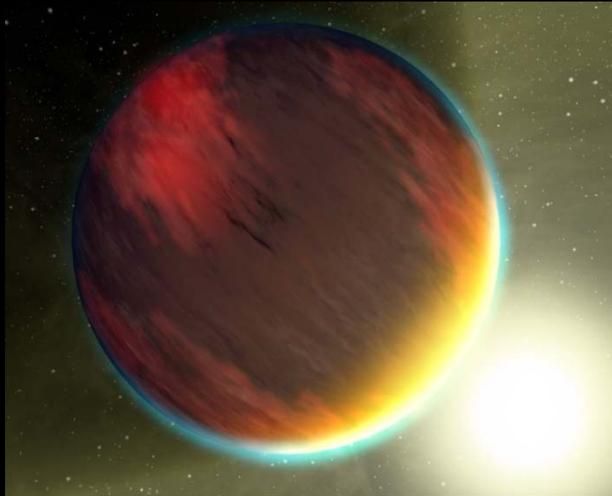


El zoológico planetario

The Habitable Exoplanets Catalog: Periodic Table of Exoplanets



Júpiter caliente



- Es el tipo de planeta más habitual que hemos encontrado hasta la fecha.
- No se diferencian demasiado de nuestro planeta Júpiter, pero sus temperaturas son mucho más elevadas.
- La distancia que les separa de su estrella es menor que la distancia del Sol a Venus y, normalmente, cercana a la distancia de la órbita de Mercurio.
- Al estar tan próximos a sus estrellas, sus atmósferas pueden sufrir intensos procesos de evaporación, lo que nos ha permitido conocer la composición de algunas de ellas.

Waterworld



➤ Urano y Neptuno son gigantes helados, con una gran cantidad de hielos, especialmente de agua.

➤ ¿Qué ocurriría si acercáramos un planeta similar a la estrella tanto que ese hielo se derritiera?

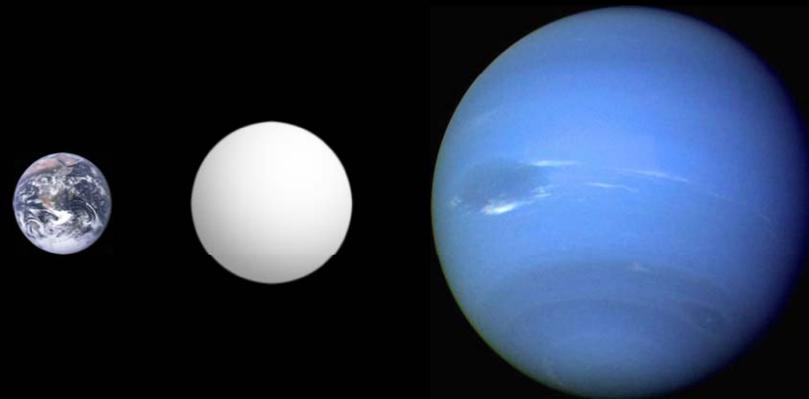
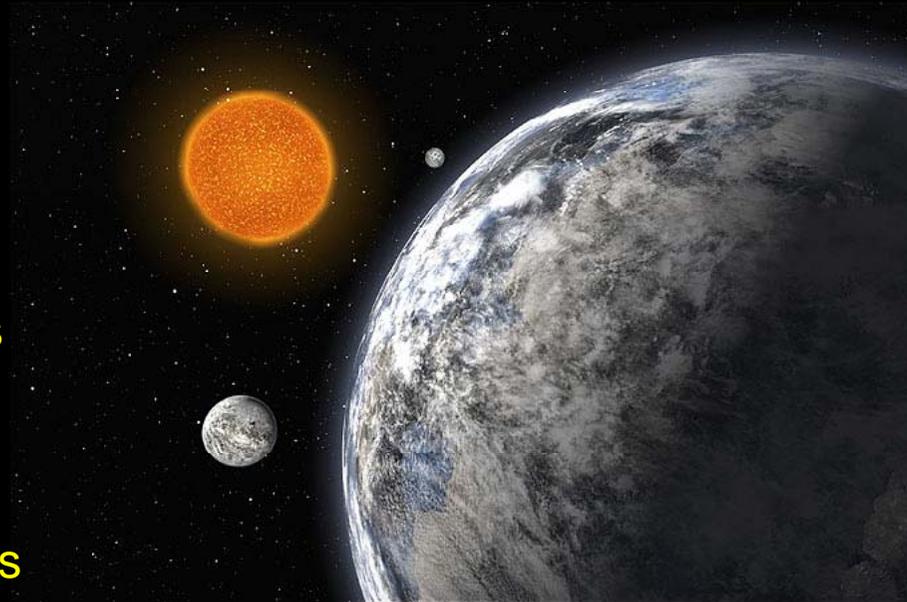
➤ Formaríamos lo que se conoce como Planetas Océano, cuya superficie estaría completamente cubierta por agua líquida.

➤ De momento, sólo podemos suponer su existencia en base a nuestras estimaciones de densidad pero posiblemente se han descubierto varios de estos planetas.

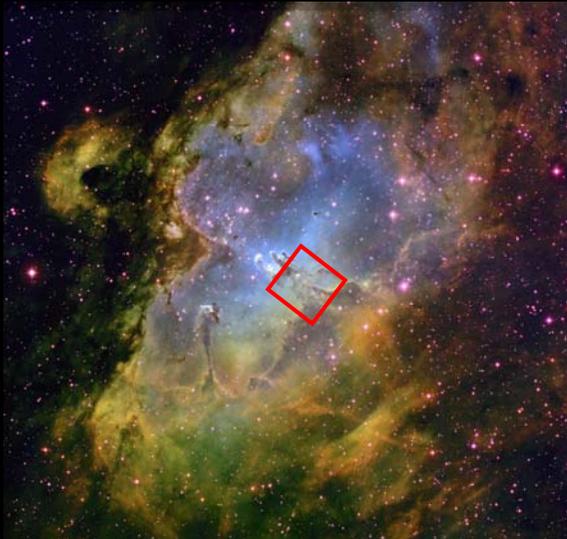
UNIVERSAL PICTURES AND LAWRENCE GORDON PRESENT A GORDON COMPANY / DAVIS ENTERTAINMENT COMPANY / LICHT / MUELLER FILM CORP. PRODUCTION A KEVIN REYNOLDS FILM
KEVIN COSTNER "WATERWORLD" DENNIS HOPPER JEANNE TRIppLEHORN TINA MAJORINO MICHAEL JETER MRS. JAMES NEWTON HOWARD DESIGNER JOHN BLOOMFIELD
LINE PRODUCER GENE LEVY FILM EDITOR PETER BOYLE PRODUCTION DESIGNER DENNIS GASSNER DIRECTOR OF PHOTOGRAPHY DEAN SEMLER A.C.S. EXECUTIVE PRODUCERS JEFFREY MUELLER ANDREW LICHT AND ILONA HERZBERG WRITER PETER RADER AND
UNIVERSAL PICTURES PG-13 PARENTS STRONGLY CAUTIONED SOME MATERIAL MAY BE INAPPROPRIATE FOR CHILDREN UNDER 13 YEARS OF AGE
PRODUCED BY CHARLES GORDON JOHN DAVIS KEVIN COSTNER DIRECTED BY KEVIN REYNOLDS A UNIVERSAL RELEASE ORIGINAL SOUNDTRACK ON
© 1995 UNIVERSAL CITY STUDIOS, INC. ALL RIGHTS RESERVED

Super Tierra

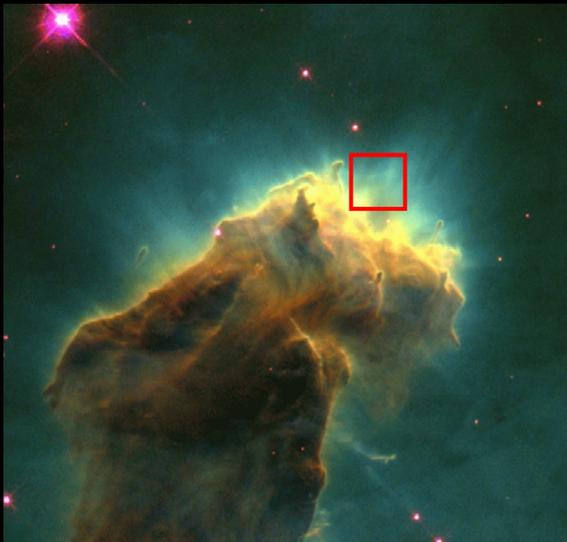
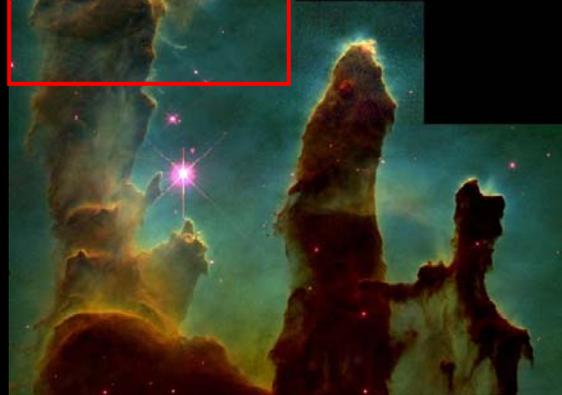
- Algunos de los planetas que empiezan a aparecer en nuestra búsqueda son las llamadas Super-Tierras.
- Estos serían planetas rocosos más grandes que la Tierra pero menores que Urano o Neptuno.
- El límite de masa rondaría 15 veces la masa de la Tierra.
- No está claro que fueran planetas habitables porque su elevada masa incrementaría también la gravedad en superficie, posiblemente volviéndolo incompatible con la vida tal y como la conocemos.



¿De dónde vienen los planetas?



Nebulosa del águila
(M16)



tamaño de nuestro
Sistema Solar

➤ Los planetas se forman siempre junto con las estrellas, a partir de las enormes nubes de hidrógeno molecular que hay en la Galaxia.

➤ Estas nubes pueden estar enriquecidas en elementos pesados debido a la presencia de estrellas anteriores.

Un disco para formarlos...



Protoplanetary Disks in the Orion Nebula HST • WFPC2

NASA, J. Bally (University of Colorado), H. Throop (SWRI),
and C.R. O'Dell (Vanderbilt University) • STScI-PRC01-13

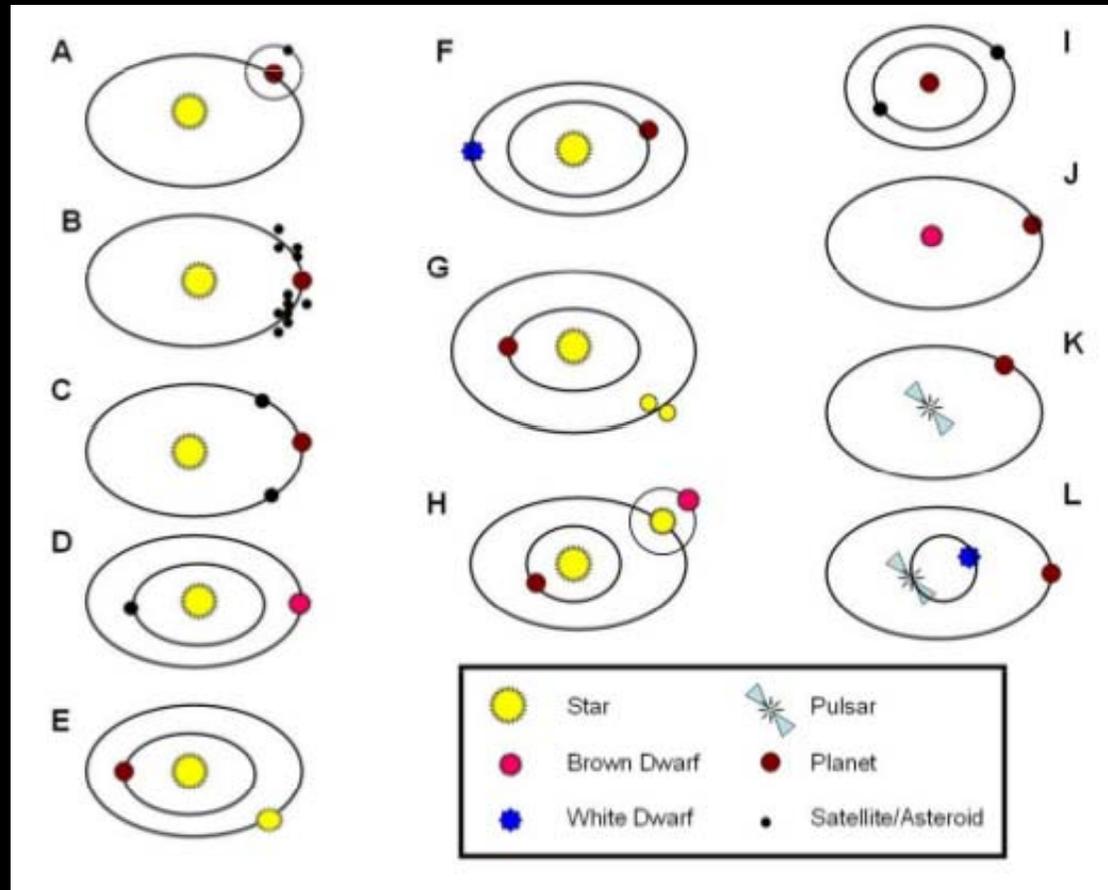
➤ La idea fundamental de la formación de los sistemas planetarios la propusieron ya los filósofos Kant y Descartes.

➤ Estas ideas conducían necesariamente a sistemas planetarios muy similares al nuestro.

➤ Ahora, sin embargo, gracias a nuestras observaciones sabemos que los sistemas son más complejos y deben incluir migraciones y resonancias en las órbitas planetarias.

Planetodiversidad

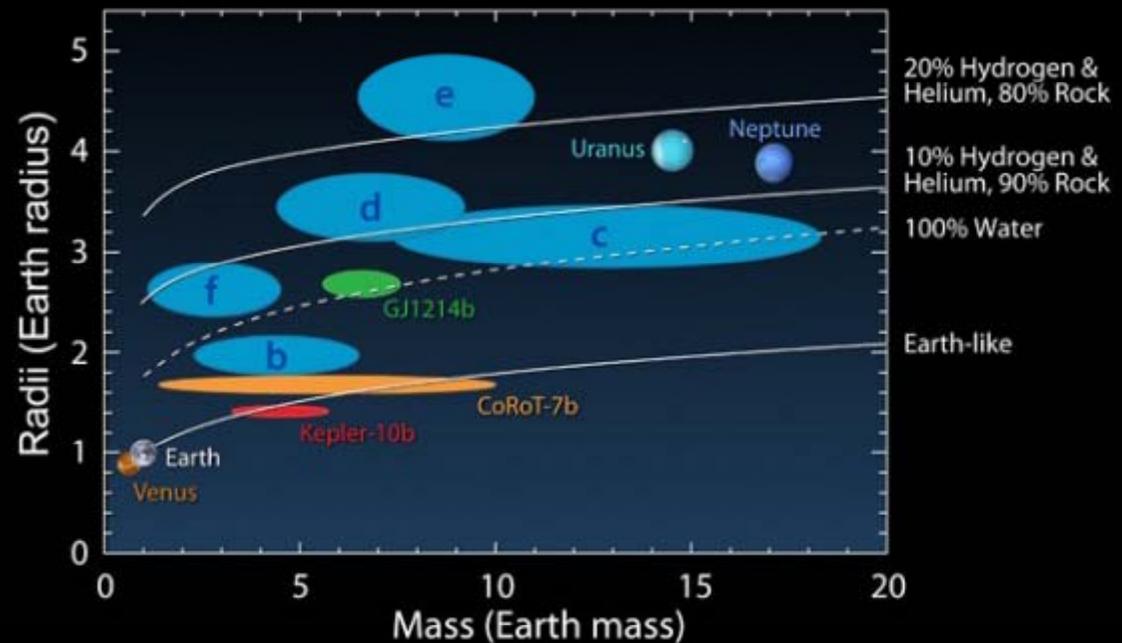
- No sólo los tipos de planetas son muy diferentes, la variedad de órbitas y configuraciones es mucho mayor de lo que nunca habíamos imaginado.
- Lo difícil hasta la fecha es encontrar un sistema planetario que se parezca al nuestro.
- ¿Pertenece a un sistema planetario especial? ¿No hemos sabido encontrar nuestros gemelos? ¿Sirven nuestras herramientas para esta tarea?



Sistemas múltiples

- Muchos sistemas planetarios son múltiples, con varios planetas orbitando en torno a la misma estrella.
- Resulta muy difícil separar la presencia de los distintos planetas por la mayoría de las técnicas que hemos visto.
- Un buen ejemplo es Kepler 11, con 6 planetas orbitando en torno a la estrella.
- Todos ellos se encuentran más cerca que Venus del Sol.

Composition of Kepler-11 Planets



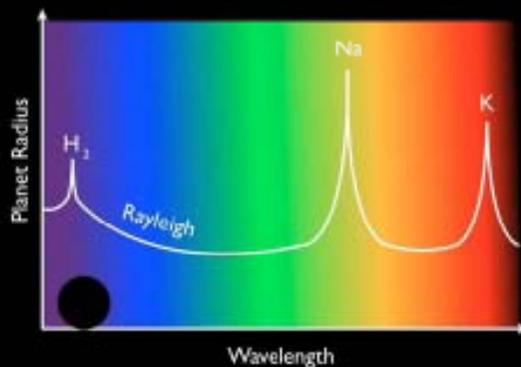
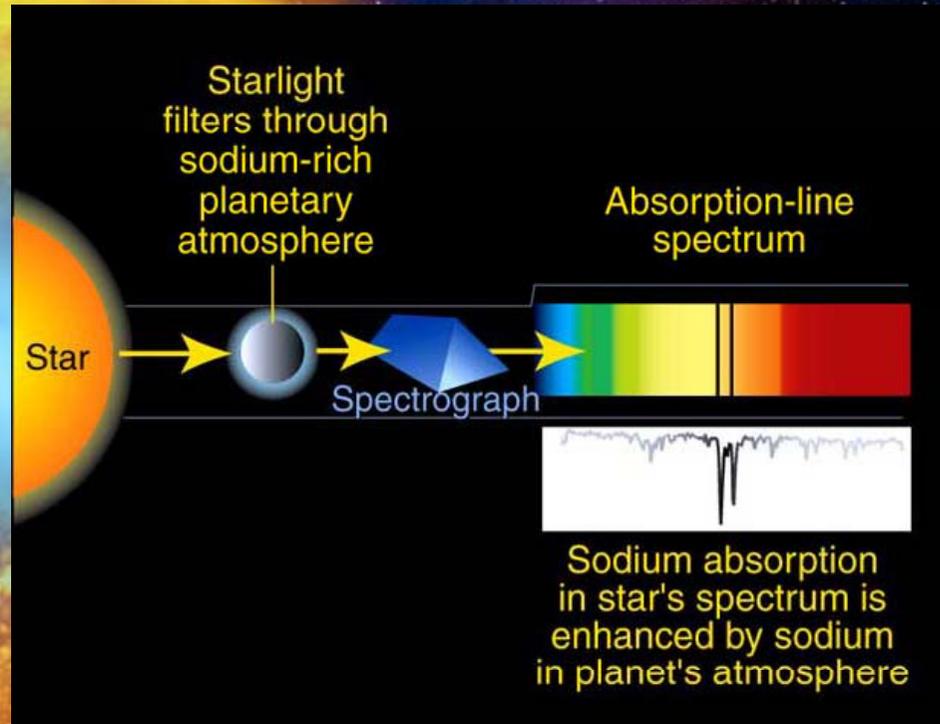
Un planeta, varias estrellas

- Lo contrario también puede suceder: un planeta orbitando en torno a varias (dos) estrellas.
- Sin embargo, para preservar la estabilidad de las órbitas, es difícil que el planeta realice órbitas complicadas en torno a ambas.
- Kepler 16b ha recibido también el nombre no oficial de Tatoine.



¿A qué huelen las nubes?

- Analizando con extraordinario cuidado los colores de la estrella durante los tránsitos podemos averiguar la composición de la atmósfera del planeta.
- Sabemos que hay exoplanetas con magnesio, sodio o nubes de polvo.
- Algún día este método servirá para encontrar un planeta habitado.



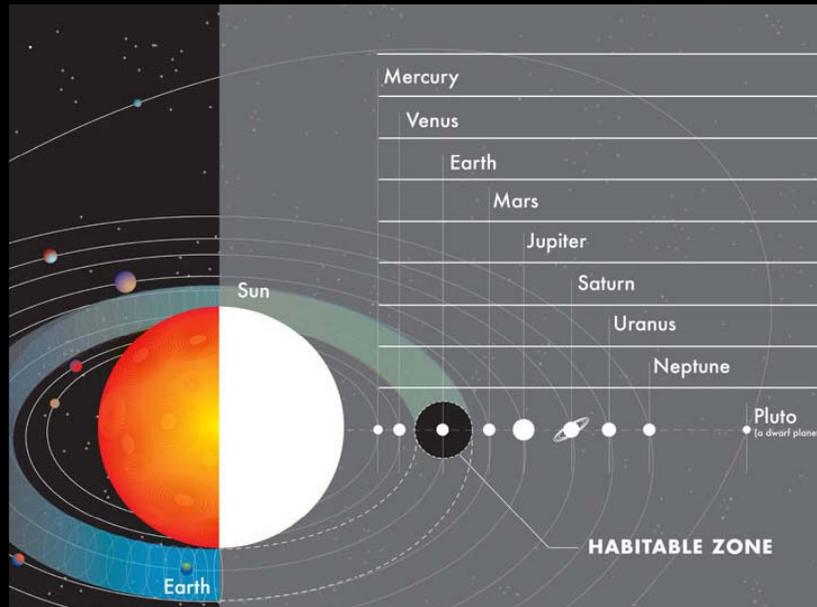
HD 209458b



HD 189733b

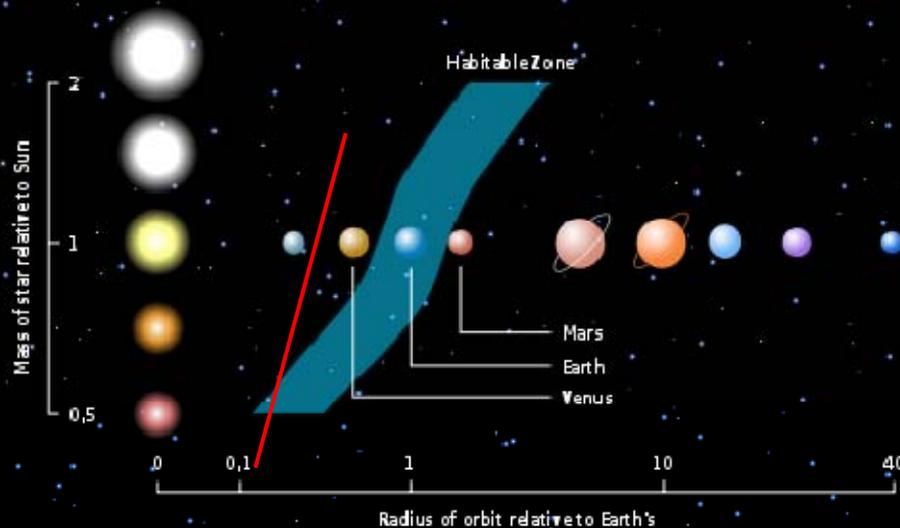


Zona de Habitabilidad



➤ La Tierra ocupa un lugar privilegiado dentro del Sistema Solar: ni demasiado frío (como Marte), ni demasiado cálido (como Venus).

➤ En la órbita de nuestro planeta es posible encontrar en superficie las condiciones de presión y temperatura para que el agua esté en su punto triple, donde coexiste en sus tres fases sólida, líquida y gaseosa.

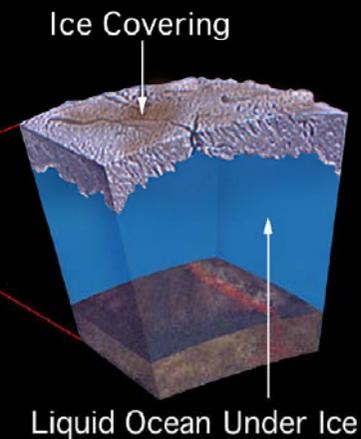
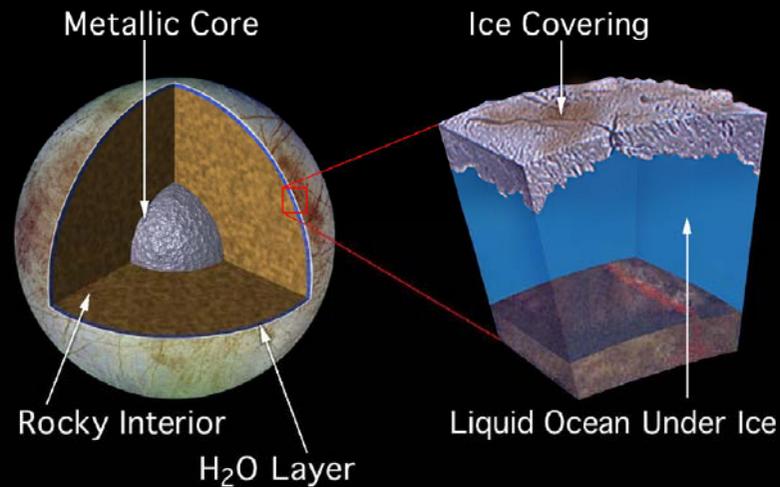
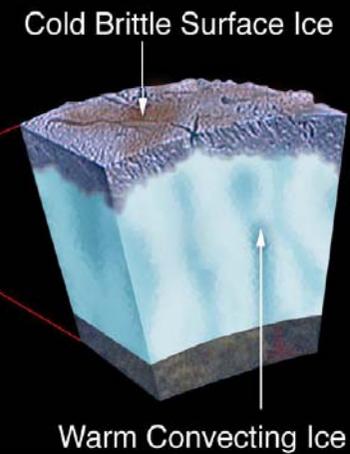
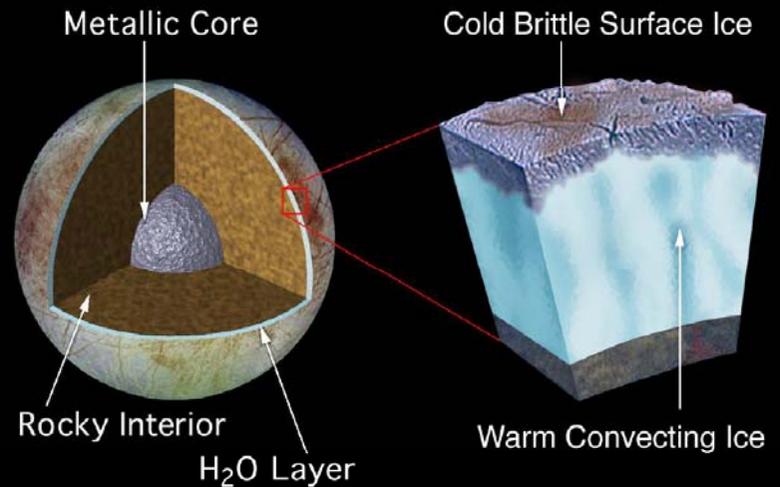
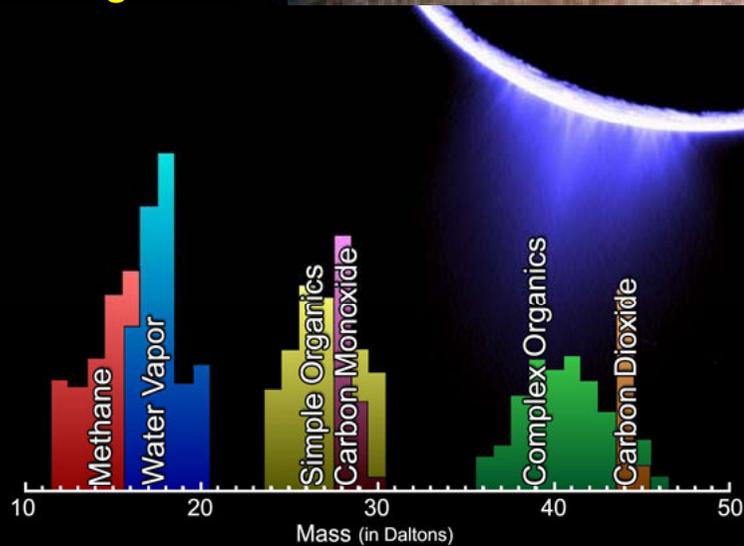


➤ Dependiendo de la masa (temperatura) de la estrella, la región donde esto es posible está más cerca o lejos de ella.

➤ También deben tenerse en cuenta las fuerzas de marea cuando te aproximas demasiado a la estrella.

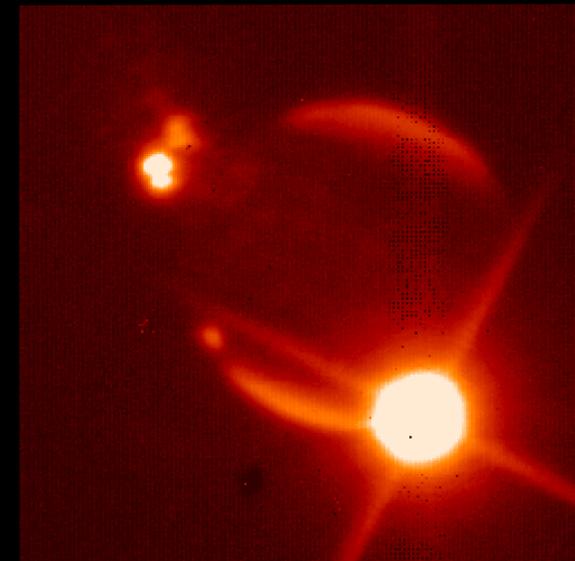
Lunas para la vida

- La vida no requiere necesariamente de un planeta para su desarrollo.
- Algunos de los cuerpos con más posibilidades de albergar vida en nuestro Sistema Solar son los satélites Europa, Encélado o Titán.
- Algunos de estos objetos pueden albergar océanos en su interior.

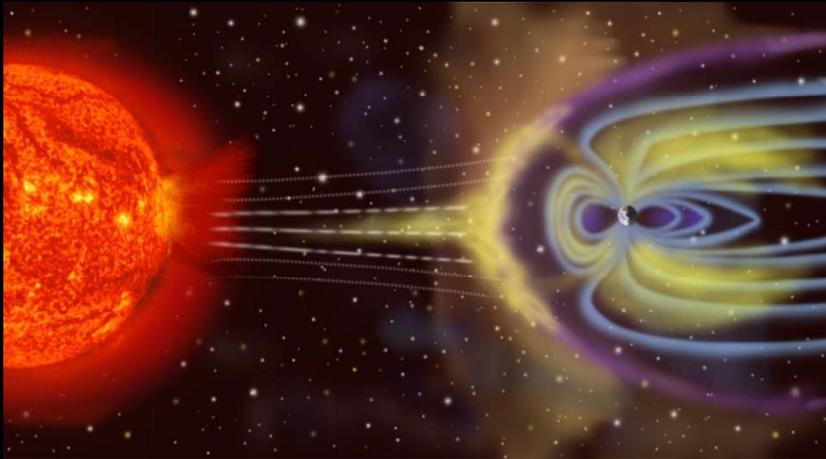


¿Cómo se cocina una Tierra?

- Hay muchas causas que han convertido a la Tierra en lo que es.
- Una de ellas es la presencia de la Luna, uno de los satélites más masivos en relación a su planeta en el Sistema Solar.
- Otra causa es la disposición de los planetas gigantes, en particular de Júpiter, que hacen que la tasa de impactos en nuestro planeta se encuentre en unos niveles aceptables.



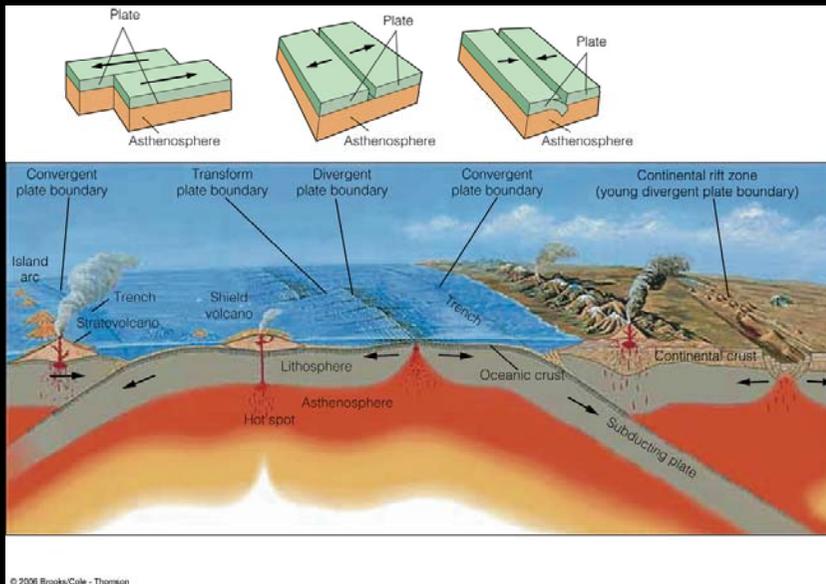
La Tierra que se defiende



➤ La Tierra tiene además el tamaño adecuado para retener el calor suficiente de las épocas que se formó.

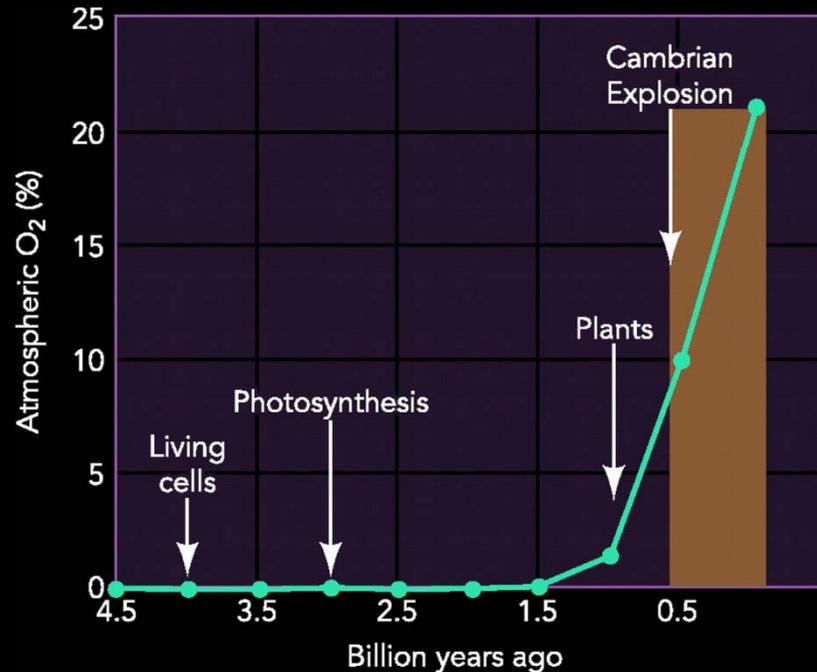
➤ Esto, a su vez, le permite disponer de un núcleo líquido que sostiene un campo magnético.

➤ El campo magnético es una defensa natural contra las tormentas solares, protegiendo a los organismos de este tipo de eventos.



➤ Además, la Tierra mantiene una tectónica de placas lo suficientemente activa como para ayudar en la regulación del dióxido de carbono, funcionando como un auténtico termostato.

Vida para la vida



- Si observáramos la Tierra desde el espacio, lo primero que nos llamaría la atención es la presencia de una cantidad significativa de oxígeno (la quinta parte) en la atmósfera.
- Este elemento es un producto biológico que incluso puso a la vida en peligro de desaparecer. Sin embargo, el oxígeno emitido por las formas biológicas es a su vez la fuente del ozono, que situado en la atmósfera superior nos protege de radiaciones nocivas, como los rayos ultravioleta.

Ventanas al Universo



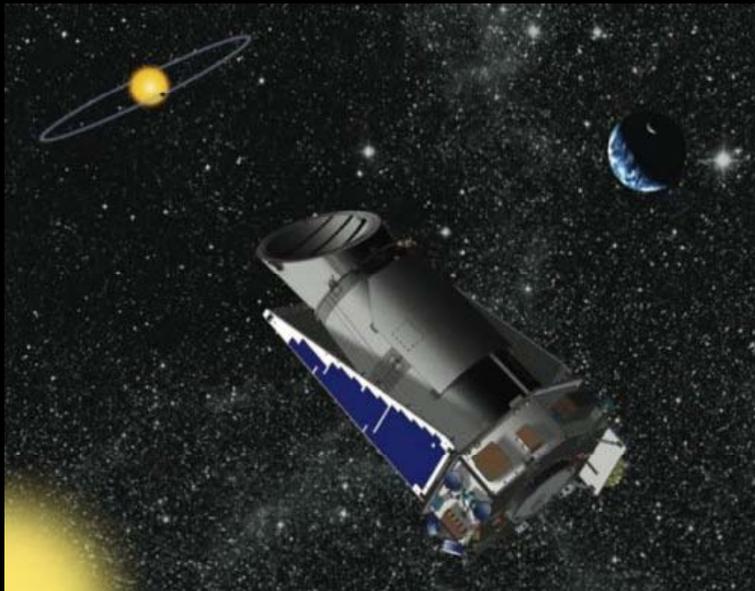
➤ Ha habido múltiples misiones tanto desde el espacio como desde Tierra destinadas a la búsqueda de planetas extrasolares.

➤ Por ejemplo, la misión franco-europea COROT fue lanzada al espacio a finales de 2006 y desde 2007 ha descubierto más de 20 planetas por el método de los tránsitos.

➤ Sin embargo, nada es comparable al éxito de la misión Kepler, de NASA.

➤ Kepler tiene más de 13 millones de estrellas entre sus objetivos. De momento, ya dispone de 2300 candidatos y cientos de confirmaciones. Es capaz de detectar planetas como la Tierra en estrellas cercanas.

➤ En los próximos años llegará Darwin.

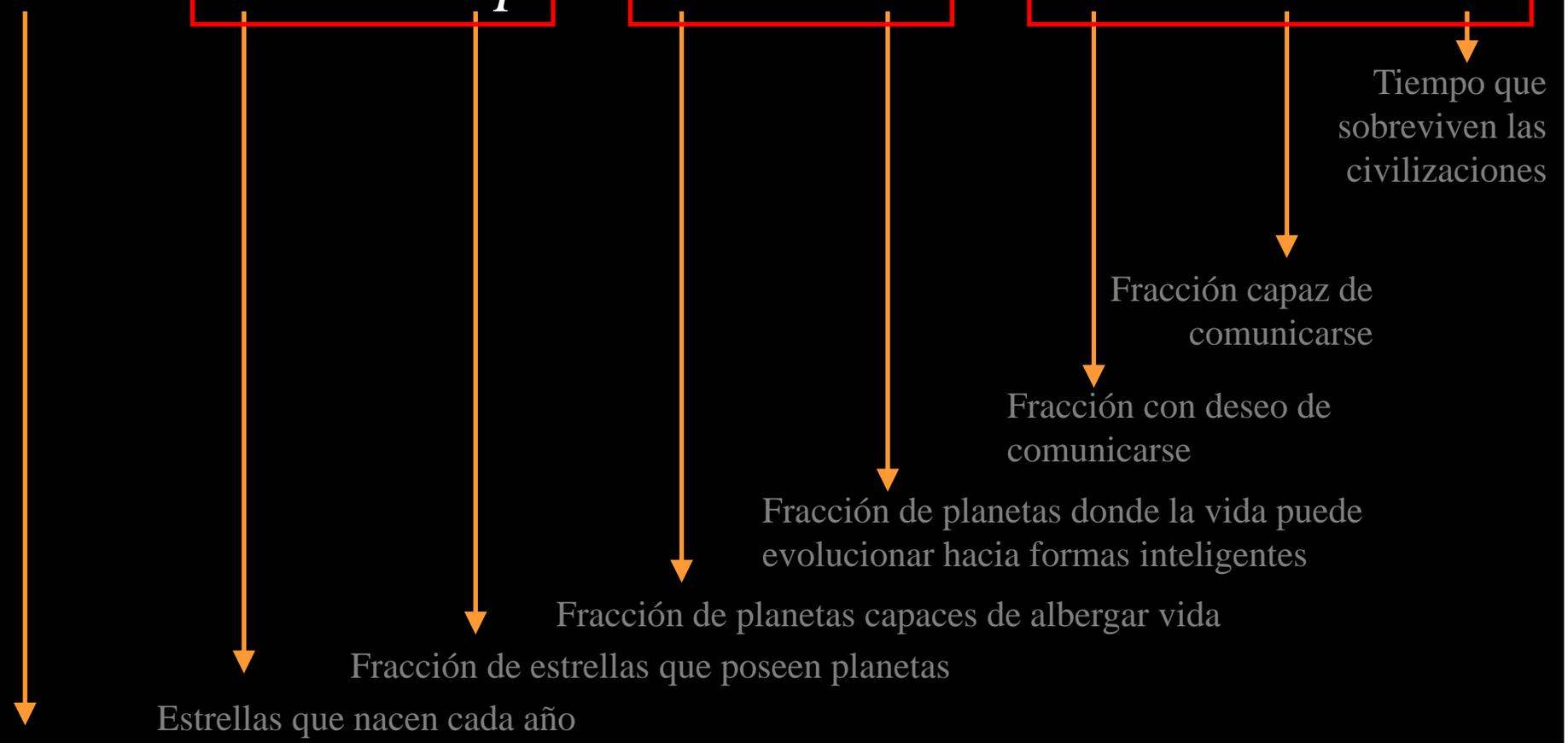


La ecuación de Drake

1 – 3 / año x 1/3 ~ 1 /año

Especulación + sociología

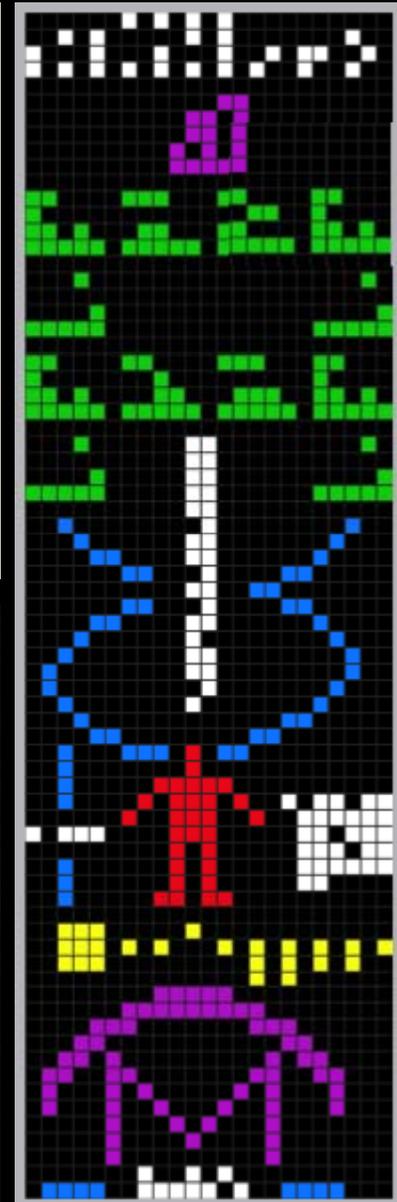
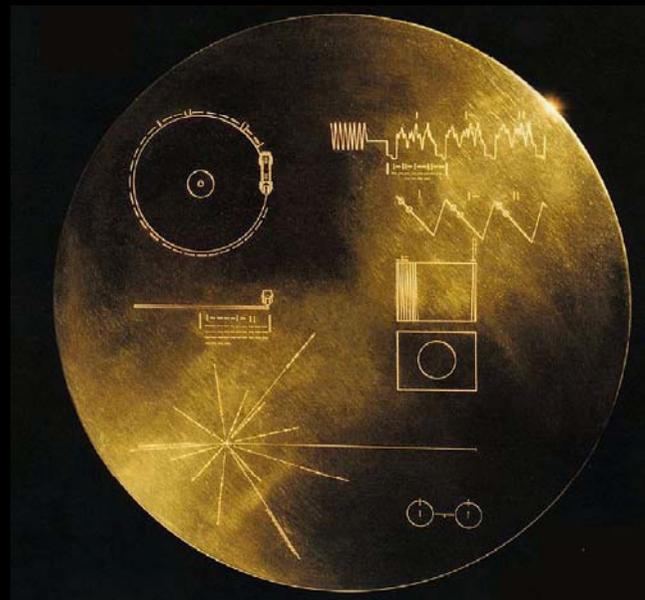
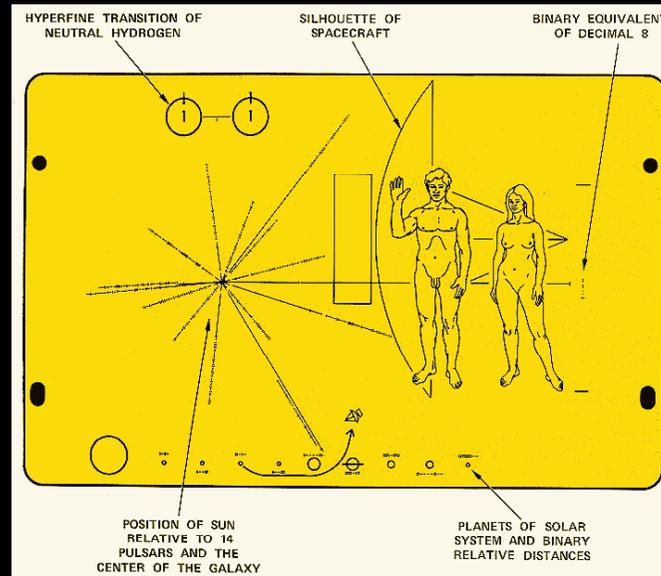
$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$



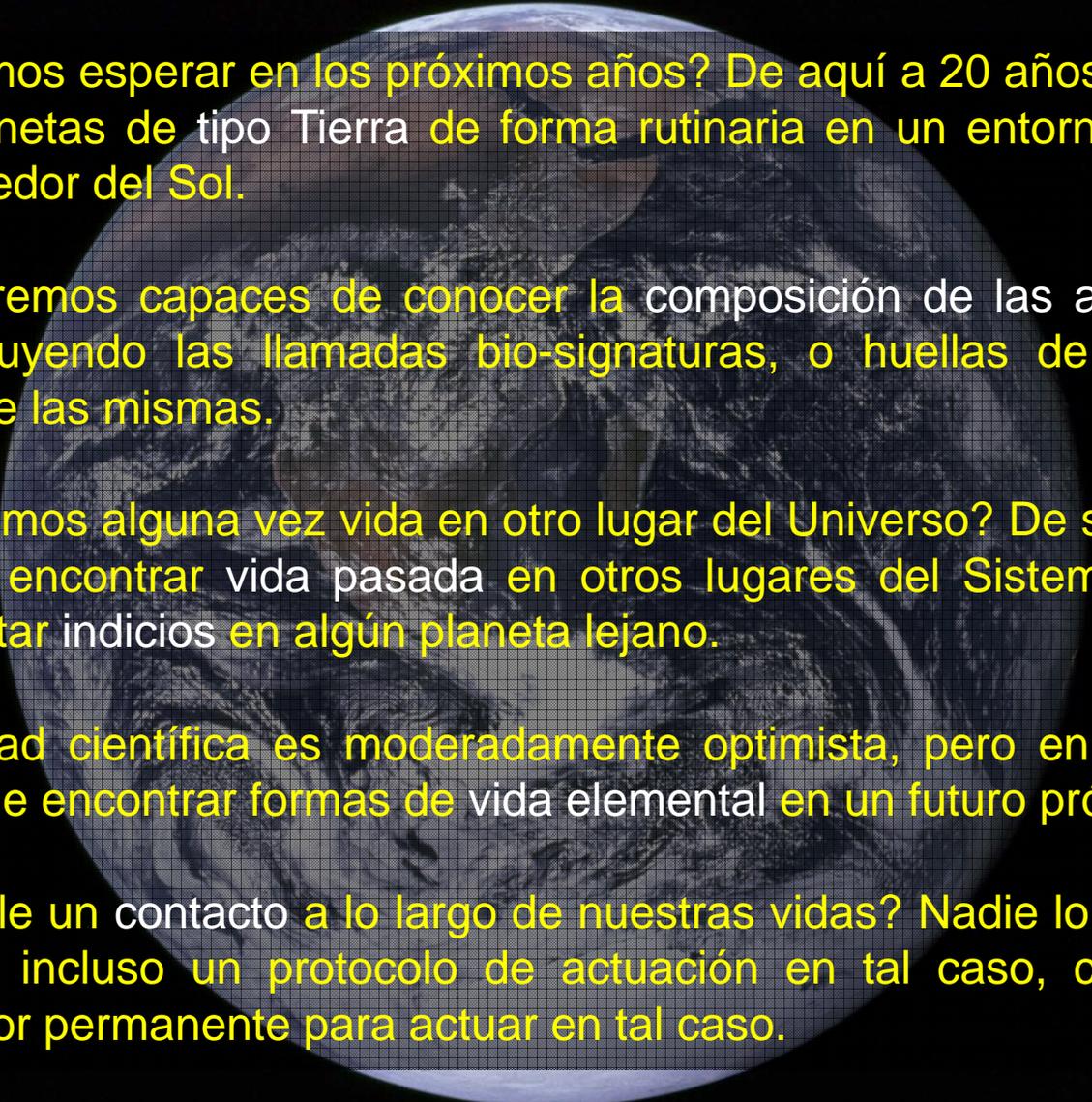
Número de civilizaciones inteligentes capaces de comunicarse en la Galaxia

Mensajes a las estrellas

- A comienzos de los 70, las sondas Pioneer 10 y 11 se equiparon con una placa. Algunos años después, además de un disco parecido, las sondas Voyager incluyeron el llamado disco de oro con los Sonidos de la Tierra.
- A día de hoy, las sondas Pioneer 10 y 11 y las Voyager 1 y 2 son los objetos más lejanos fabricados por el hombre, en las fronteras del Sistema Solar.
- En 1974 se emitió un mensaje desde Arecibo y de 1999 a 2003 se realizaron diversas llamadas cósmicas.
- En 2008 se envió el mensaje **AMFE** con dirección a Gliese 581, el planeta extrasolar más prometedor hasta la fecha.



¿Quién hablará en nombre de la Tierra?

- 
- ¿Qué podemos esperar en los próximos años? De aquí a 20 años detectaremos, si los hay, planetas de tipo Tierra de forma rutinaria en un entorno de unos 150 años-luz alrededor del Sol.
 - También seremos capaces de conocer la composición de las atmósferas más cercanas, incluyendo las llamadas bio-signaturas, o huellas de la vida en la composición de las mismas.
 - ¿Encontraremos alguna vez vida en otro lugar del Universo? De suceder, parece más probable encontrar vida pasada en otros lugares del Sistema Solar (como Marte) o detectar indicios en algún planeta lejano.
 - La comunidad científica es moderadamente optimista, pero en general no se espera más que encontrar formas de vida elemental en un futuro próximo.
 - ¿Será posible un contacto a lo largo de nuestras vidas? Nadie lo sabe. Lo cierto es que existe incluso un protocolo de actuación en tal caso, con un consejo científico asesor permanente para actuar en tal caso.

