

Semana Europea de la Ciencia y la Tecnología 2004
Isla de La Palma

LA BÚSQUEDA DE LA VIDA EN EL UNIVERSO DESDE LA PALMA

JAVIER MÉNDEZ ALVAREZ
GRUPO DE TELESCOPIOS ISAAC NEWTON



14 Noviembre 2004

¿Hay alguien ahí?

- Antes de comenzar la búsqueda debemos plantearnos sus principios teóricos
- En 1961 Frank Drake propone una simple ecuación para conocer si hay otras civilizaciones en el universo

La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaces de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$



R_s es la tasa actual de formación estelar en nuestra galaxia (20 estrellas por año a partir de observaciones de M16 con el Hubble Space Telescope)



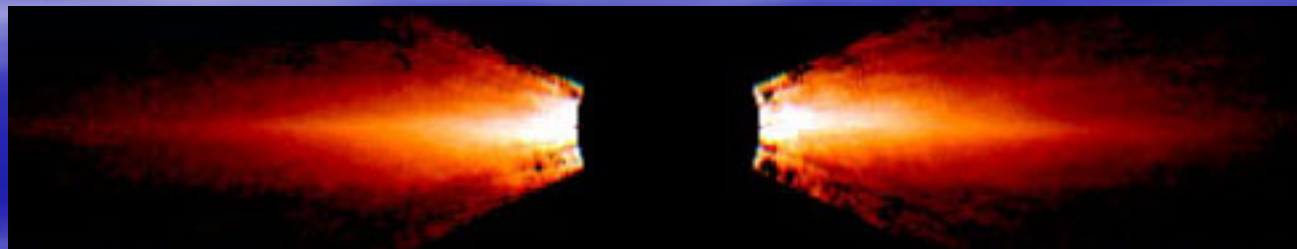
La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

f_s es la fracción de estrellas que podrían desarrollar sistemas planetarios con buenas condiciones (10%), es decir, pueden tener *Zonas Continuamente Habitables*. Estas estrellas son:

- Estrellas de tipo solar, es decir, ni frías ni masivas. Tipos espectrales F, G, K
- Estrellas no variables
- Estrellas con suficiente metalicidad

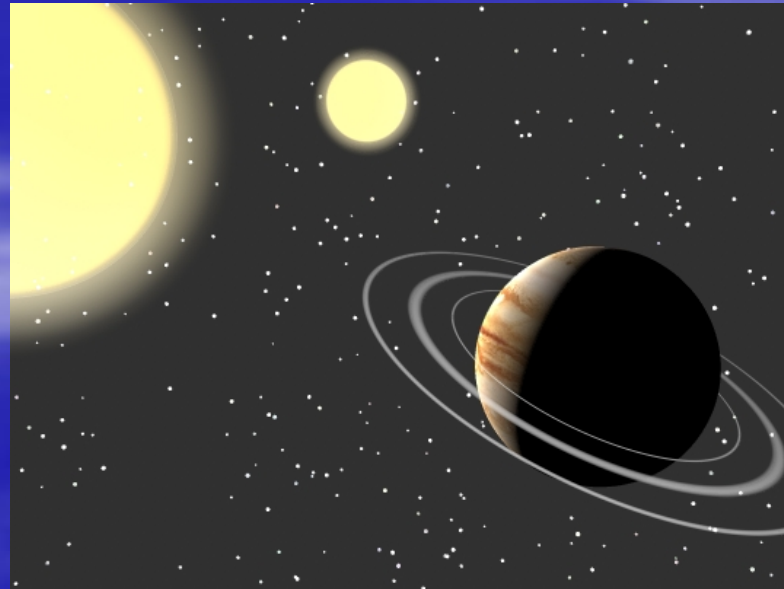


La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

f_p es la fracción de estrellas “buenas” que de hecho tienen sistemas planetarios (5% aproximadamente)



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$



n es la fracción de estrellas “buenas” con planetas como la Tierra situados en la *Zona Continuamente Habitable*



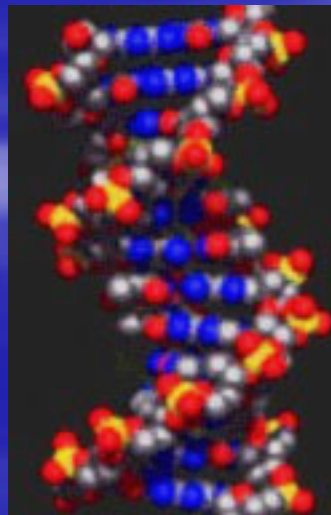
La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$



f_e es la fracción de planetas de tipo terrestre donde se origina la vida como la conocemos: Oxígeno+Carbono+Luz (fotones)+Agua=vida



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

f_i es la fracción de formas de vida que evoluciona hacia algún tipo de inteligencia avanzada



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

f_c es la fracción de civilizaciones que han aprendido a comunicarse con nosotros



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

L es la fracción de civilizaciones que han aprendido a comunicarse con nosotros que no se extinguen antes de hacerlo



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

- Si N es distinto de cero podemos iniciar la búsqueda
- Los primeros cálculos efectuados en los años 60 dan siempre un valor no nulo para N y... **¡se inicia la búsqueda!**
- La búsqueda puede ser de dos tipos: activa o pasiva

La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

- La búsqueda **pasiva** consiste en escuchar una hipotética señal enviada por la exocivilización hacia nosotros con nuestros actuales medios de escucha en el radio y en el óptico (ventanas atmosféricas)
- La búsqueda **activa** consiste en enviar señales de nuestra vida (mensajes en sondas espaciales, emisiones en el óptico y en radio enviadas al espacio) y en buscar observacionalmente vida en otros lugares.

La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

Nos vamos a centrar en la búsqueda activa y observacional de otras formas de vida. Pero...

¿Hacia dónde miramos?
¿Dónde están?



La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$

La clave está en la ecuación de Drake:

Los cinco primeros términos son observables (si la vida es como en la Tierra)

Los cuatro últimos provienen de nuestro conocimiento de cómo evoluciona la vida una vez que aparece: astrobiología

La Ecuación de Drake

N es el número de civilizaciones inteligentes capaz de comunicarse en nuestra galaxia:

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$


¿Dónde nos encontramos ahora?

Conocemos la tasa de formación estelar en nuestra galaxia y el porcentaje de estrellas “buenas” de tipo solar

Nos encontramos en la era del descubrimiento, caracterización y estudio de la formación de sistemas exoplanetarios

Métodos de Observación

Sabemos que debemos mirar hacia las estrellas de tipo solar, no variables y con abundancia de elementos pesados (carbono, oxígeno, etc.). Pero... ¿Cómo miramos? ¿Cómo se puede detectar un planeta fuera de nuestro sistema solar?

Los astrónomos han elaborado una serie de métodos que combinan los medios técnicos actuales con una serie de efectos “observables”



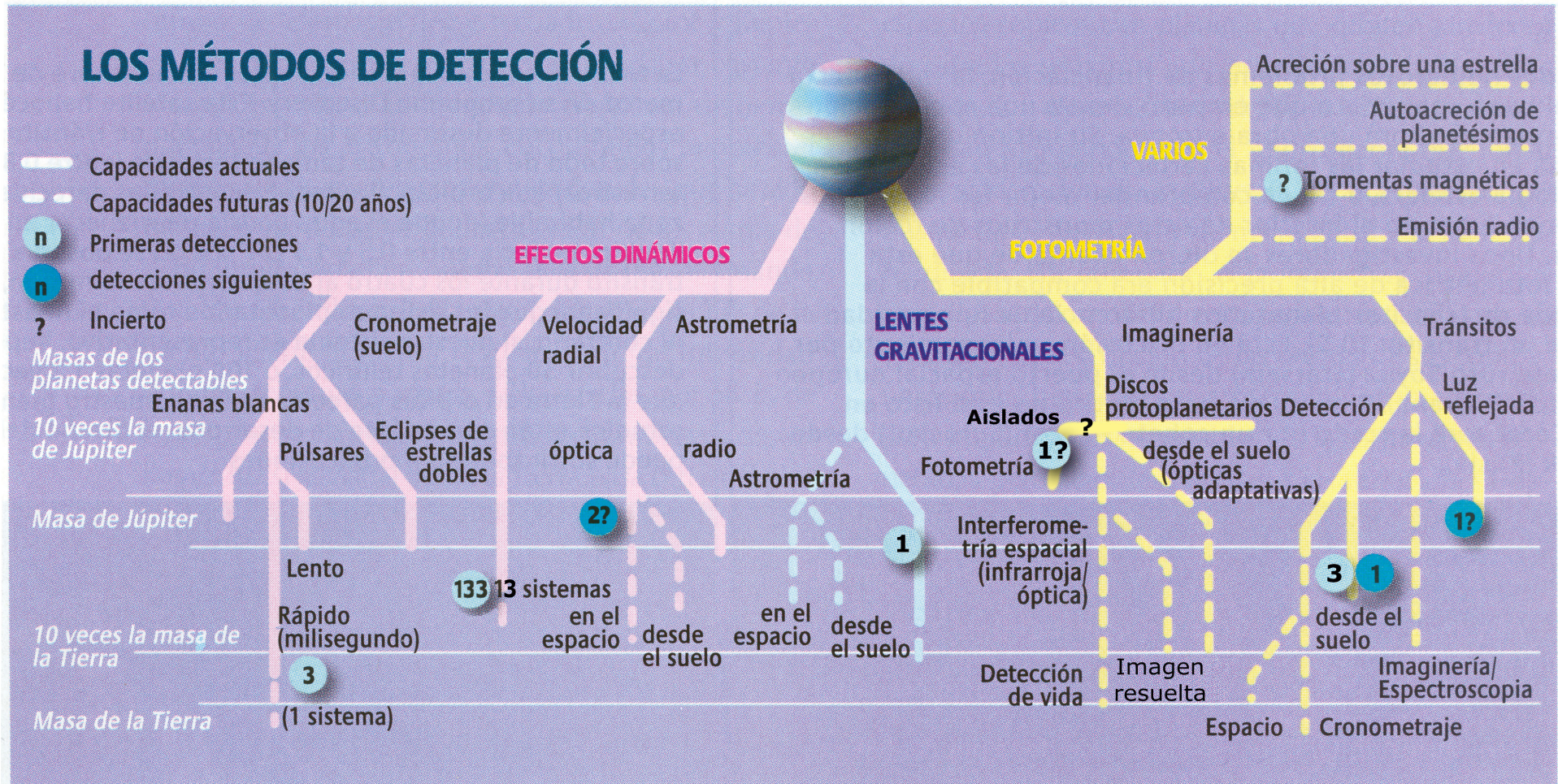
Métodos de Observación

Los efectos observables se clasifican en:

- Efectos **dinámicos** sobre la estrella
- Efectos **fotométricos** sobre la luz de la estrella
Los efectos fotométricos a su vez pueden ser **directos** o **indirectos** dependiendo de si es posible observar también la señal del planeta o no
- Efectos de **microlente gravitatoria** (sobre la luz de una estrella situada detrás)

Cada uno de estos efectos pueden observarse con diferentes **métodos de observación** que a su vez presentan sus propios **límites de detección**

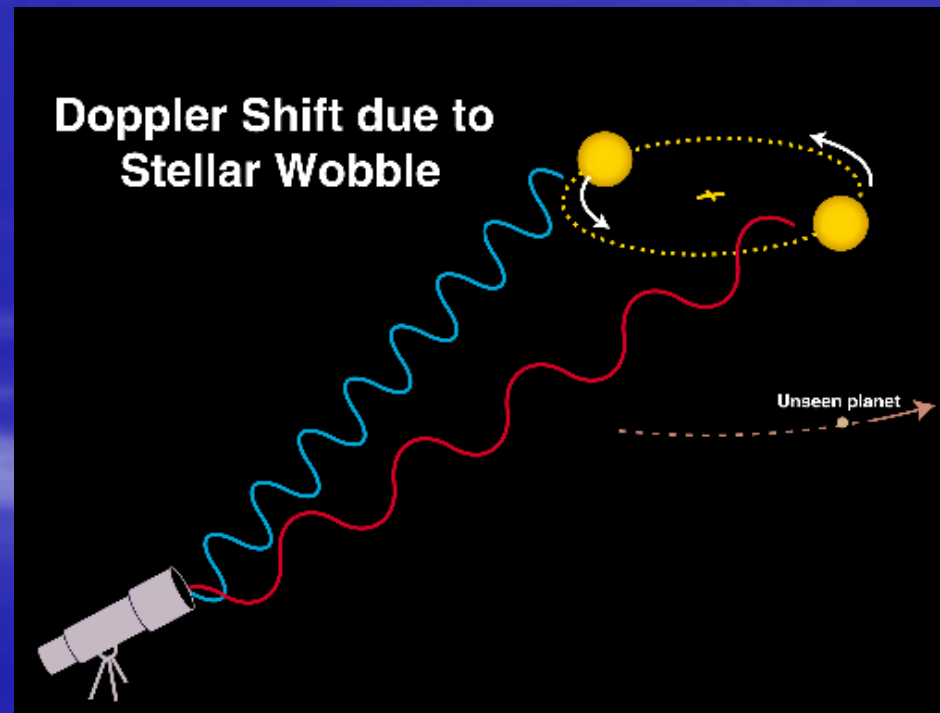
Métodos de Observación



Métodos de Observación

Medida de la Velocidad Radial

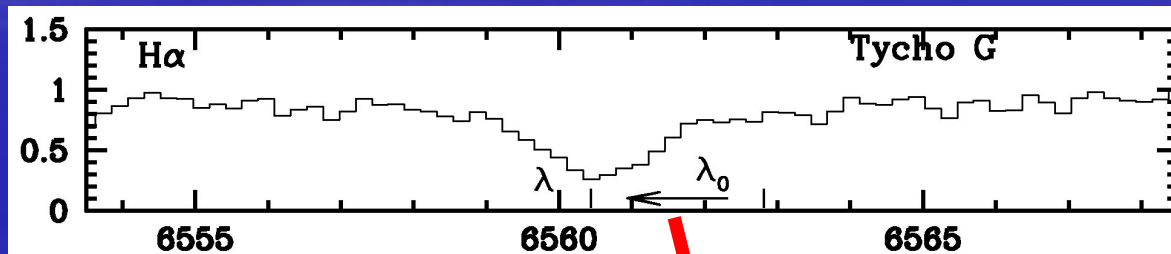
Estrella y planeta orbitan alrededor del centro de masas del sistema. Cuando la estrella se acerca hacia nosotros comprime su luz (se azula). Cuando se aleja, estira su luz (se enrojece).



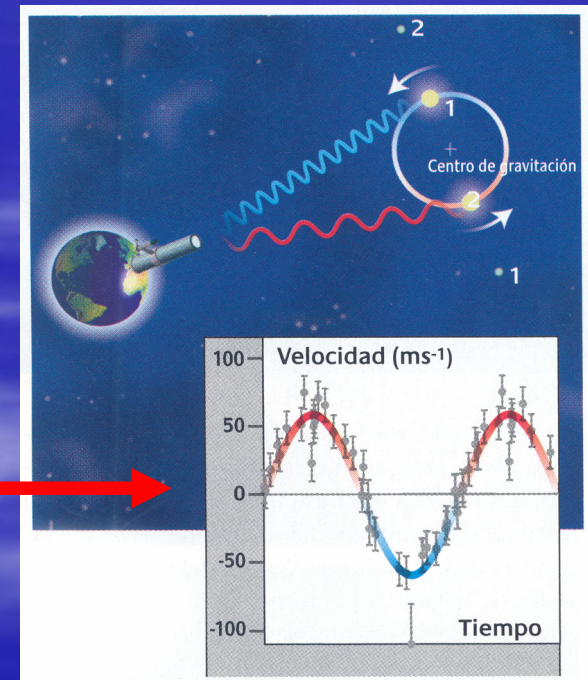
Métodos de Observación

Medida de la Velocidad Radial

Midiendo su desplazamiento en longitud de onda sabremos su velocidad en la dirección de la línea de visión



$$V_r = \frac{c(\lambda - \lambda_0)}{\lambda}$$



Métodos de Observación

Medida de la Velocidad Radial

Limitaciones:

- Técnica: los espectrógrafos actuales no miden por debajo de 3 metros por segundo
- De la propia estrella: las oscilaciones estelares del orden de los metros por segundo introducen ruido en las mediciones
- Los cálculos no permiten determinar la masa del exoplaneta directamente, sólo una masa mínima: $M \times \sin i$

Sin embargo, es la técnica más prolífica: 133 planetas de los cuales 13 son múltiples sistemas planetarios

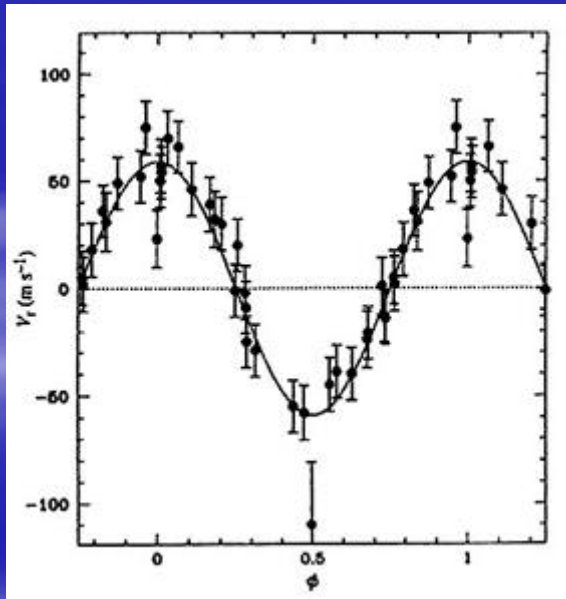
Métodos de Observación

Medida de la Velocidad Radial

51 Peg b. Primer exoplaneta descubierto por el método radial (1995).

- Período orbital: 4,23 días
- Masa=0.45 masas de Júpiter

En la actualidad se han descubierto planetas entre 18 masas de Neptuno (artículo mes que viene) y 13 masas de Júpiter (el límite teórico). La mayoría son “Júpiteres calientes”

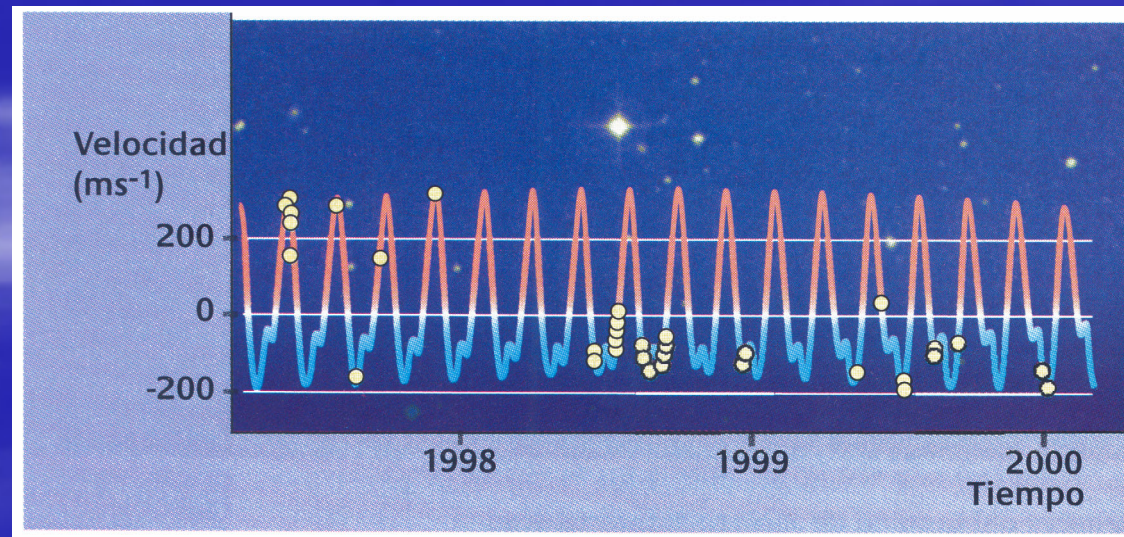


*Observatoire de
Haute-Provence*

Métodos de Observación

Medida de la Velocidad Radial

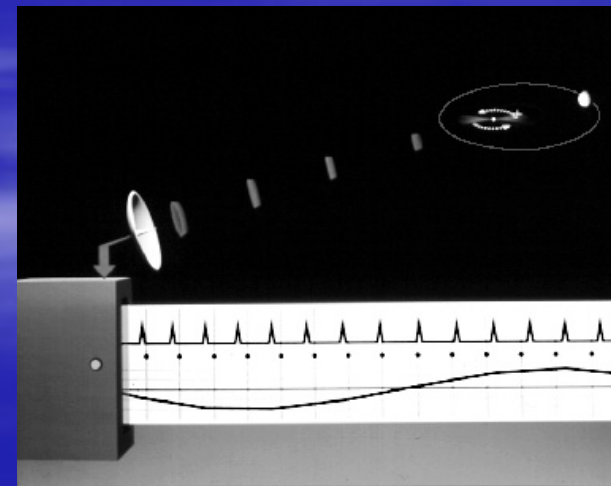
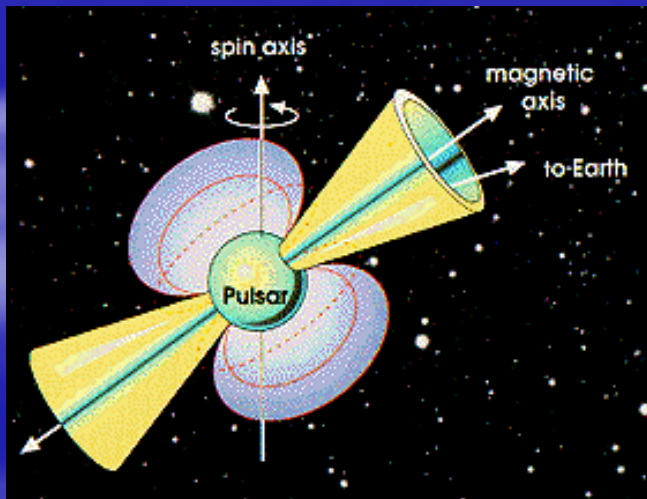
La estrella Gliese 876 se encuentra a 15,3 años luz de nosotros. Gliese 876 es una estrella de masa igual al tercio de la del Sol. Su curva de velocidad radial indica que está acompañada de por lo menos dos planeta cuyas órbitas están en resonancia. La más próxima a la estrella es al menos 1,89 veces más masiva que Júpiter y efectúa su revolución en 61 días. La otra, de masa al menos igual a 0,56 veces la de Júpiter, orbita en poco más de 30 días.



Métodos de Observación

Cronometraje de púlsares

- Los púlsares son estrellas de neutrones con sus ejes de rotación y magnético desacoplados que giran rápidamente
- Los pulsos en radio llegan a la Tierra con la precisión de un reloj atómico cuando el eje magnético nos apunta
- Un retraso o adelanto en la llegada de los pulsos indica que la estrella se mueve por la presencia de otro objeto en órbita. Podrían detectarse pulsos con precisión de microsegundos... ¡el tamaño de un asteroide!



Métodos de Observación

Cronometraje de púlsares

En 1991 se descubre en el púlsar PSR B1257+12 el primer planeta extrasolar

Más tarde se descubren otros dos más. Dos de los planetas son como la Tierra y el tercero como la Luna.

Los tres planetas orbitarían por dentro de la órbita de Mercurio y sus períodos son 25, 66 y 98 días.

Sin embargo, el púlsar los bombardea con radiación mortal. Los púlsares son malas estrellas...



*Telescopio de Arecibo,
Puerto Rico*



Métodos de Observación

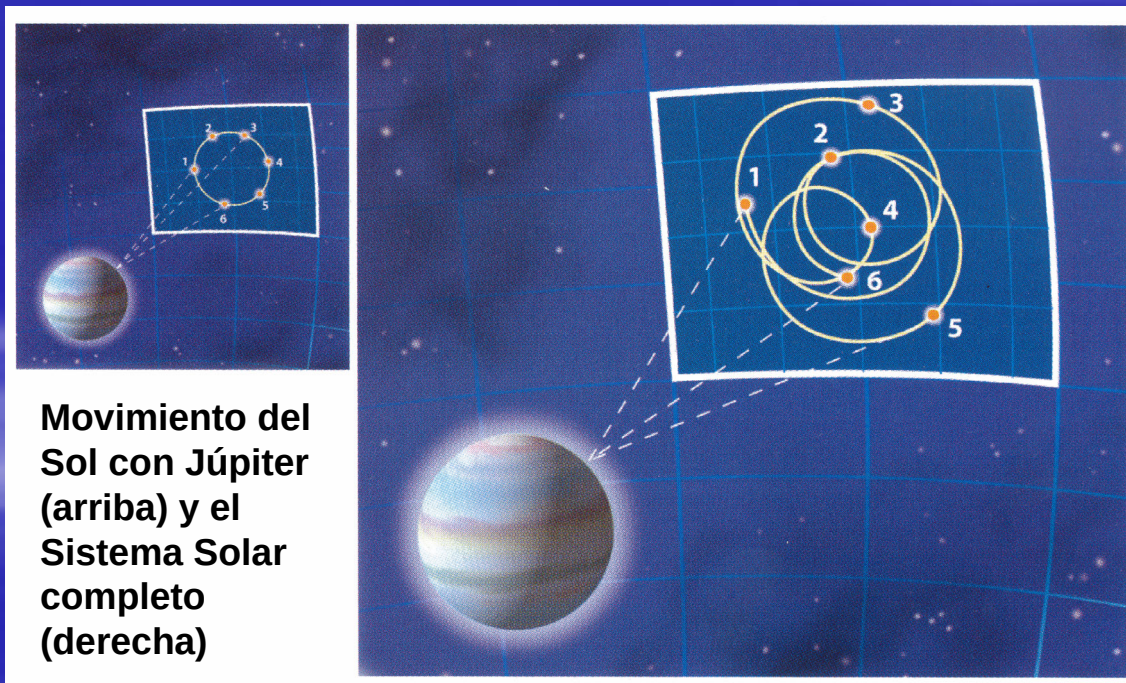
Cronometraje de púlsares



Métodos de Observación

Astrometría

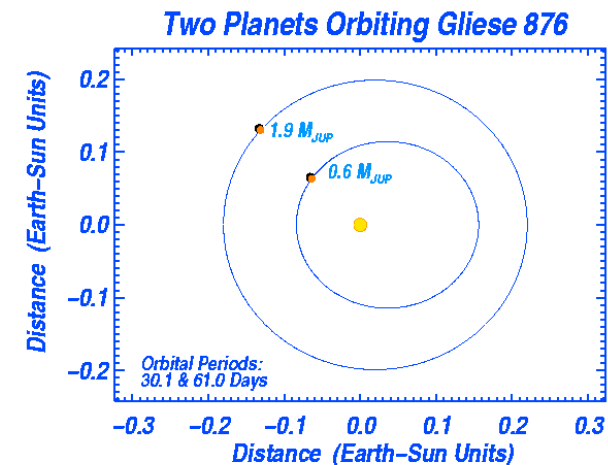
- Se observa en el plano del cielo la oscilación que induce el exoplaneta sobre el movimiento de la estrella
- Se puede obtener la masa del exoplaneta directamente
- Necesita de gran resolución espacial y una gran cantidad de tiempo



Métodos de Observación

Astrometría

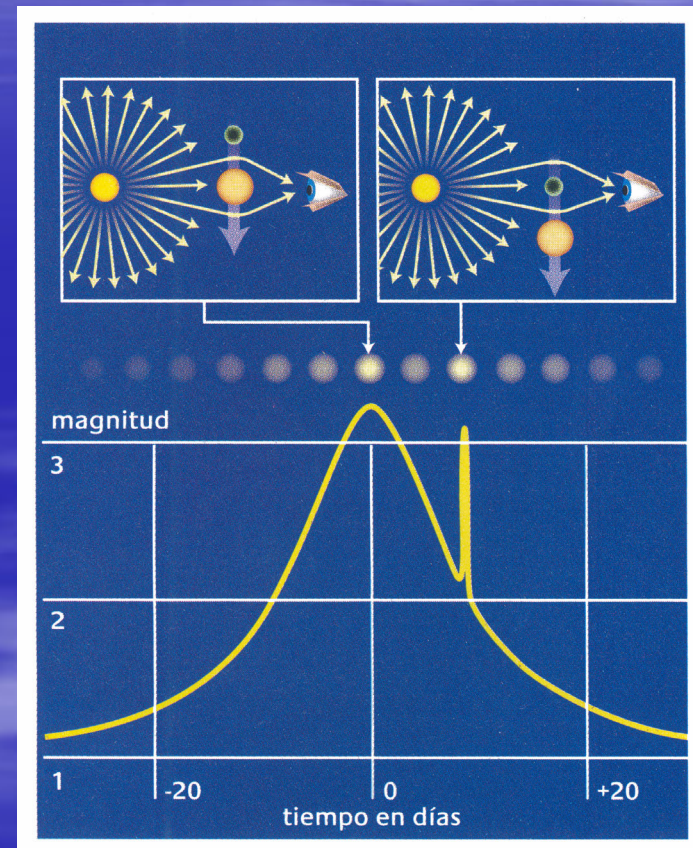
- En las navidades de 2002 se da a conocer la primera detección astrométrica de dos planetas, ambos en la cercana estrella Gliese 876 (4.7 parsecs o unos 15.3 años luz)
- Las órbitas de los exoplanetas están en resonancia y tienen períodos 61 y 30 días



Métodos de Observación

Micro lente Gravitatoria

- Cuando una estrella pasa por delante de otra, puede actuar como lente incrementando el brillo de la estrella de fondo
- Si la estrella-lente posee un planeta, el planeta a su vez actúa como microlente, incrementando aún más el brillo de la estrella de fondo
- Necesita el seguimiento de muchas estrellas y fotometría de precisión. Para un planeta de tipo terrestre el evento sólo dura unas horas.



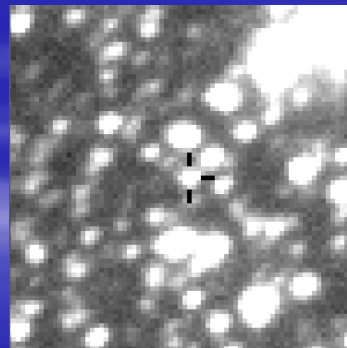
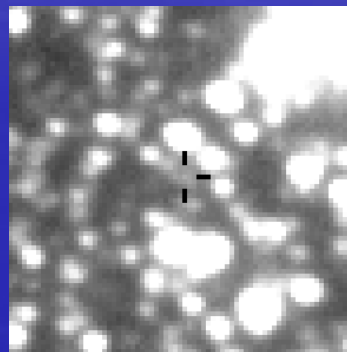
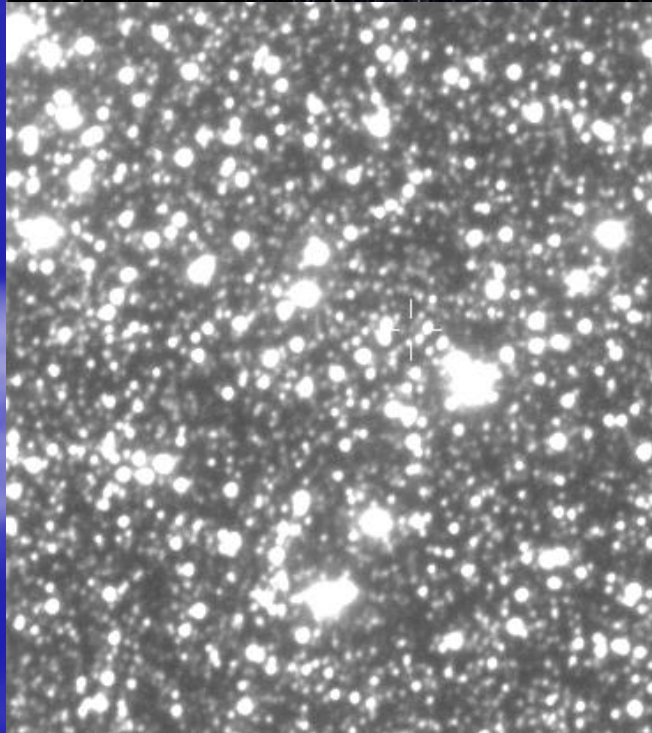
Métodos de Observación

Micro lente Gravitatoria

En abril de 2004 se produce la primera detección de un exoplaneta por el método de la microlente gravitatoria. El evento dura 7 días. El exoplaneta tiene 1.5 masas de Júpiter y orbita a 3 UA de su estrella



Hacia el
bulbo
galáctico



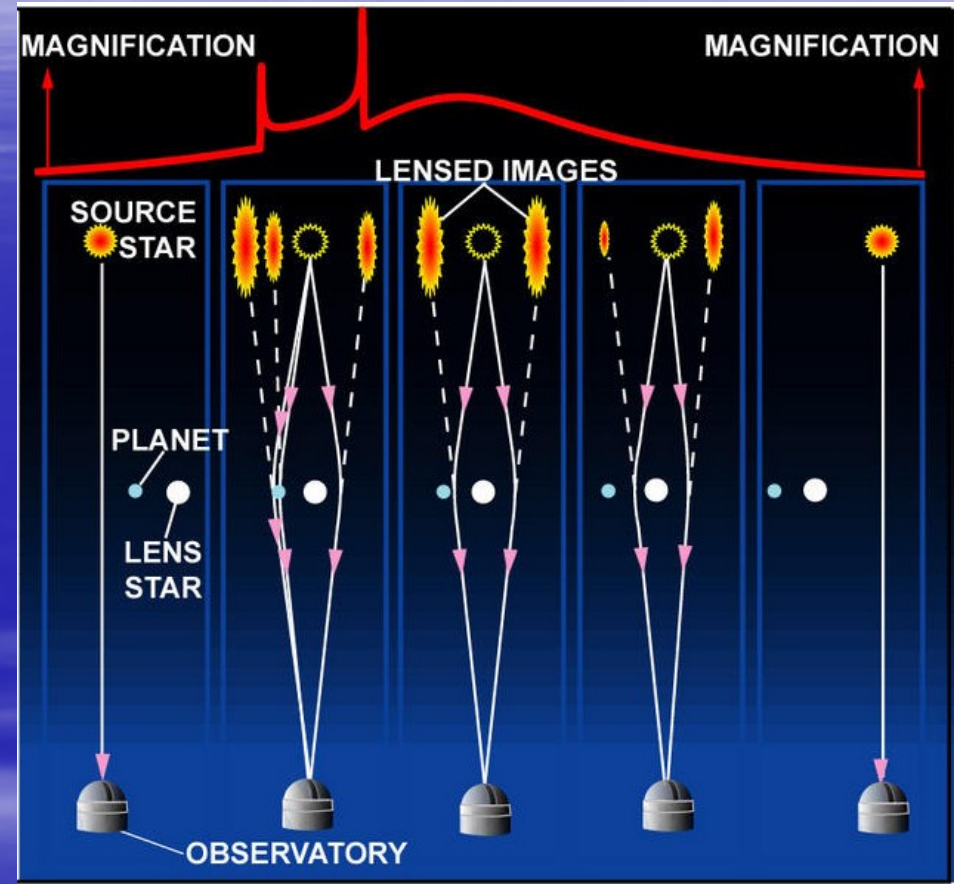
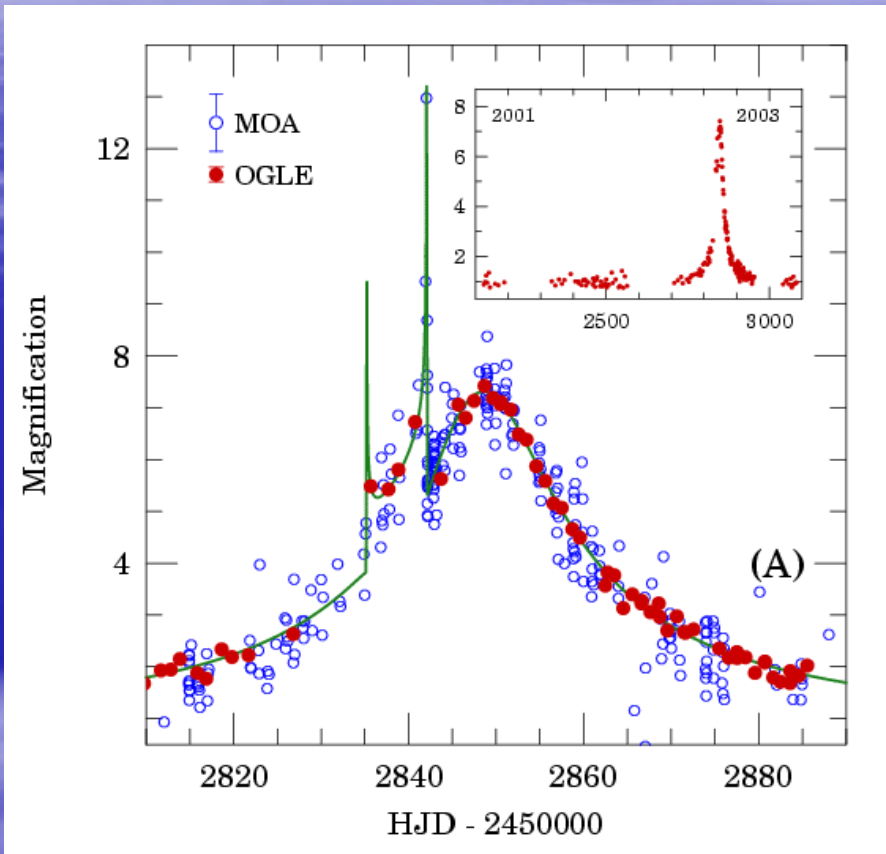
Telescopio de Varsovia de 1.3 metros en el observatorio de Las Campanas, Chile



Telescopio de 0.6 metros en el Observatorio Mt John, Nueva Zelanda

Métodos de Observación

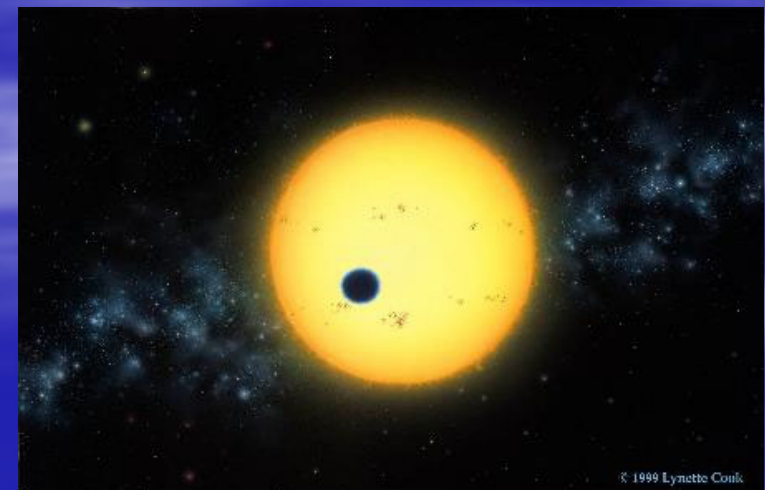
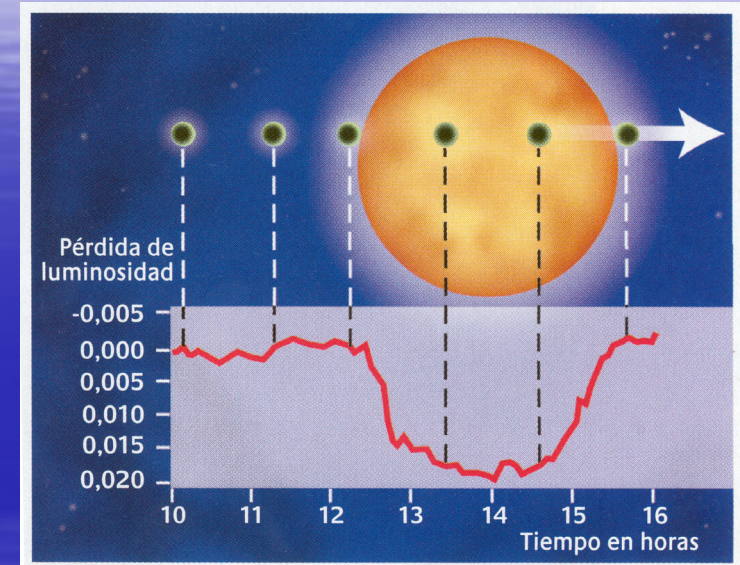
Micro lente Gravitatoria



Métodos de Observación

Tránsitos

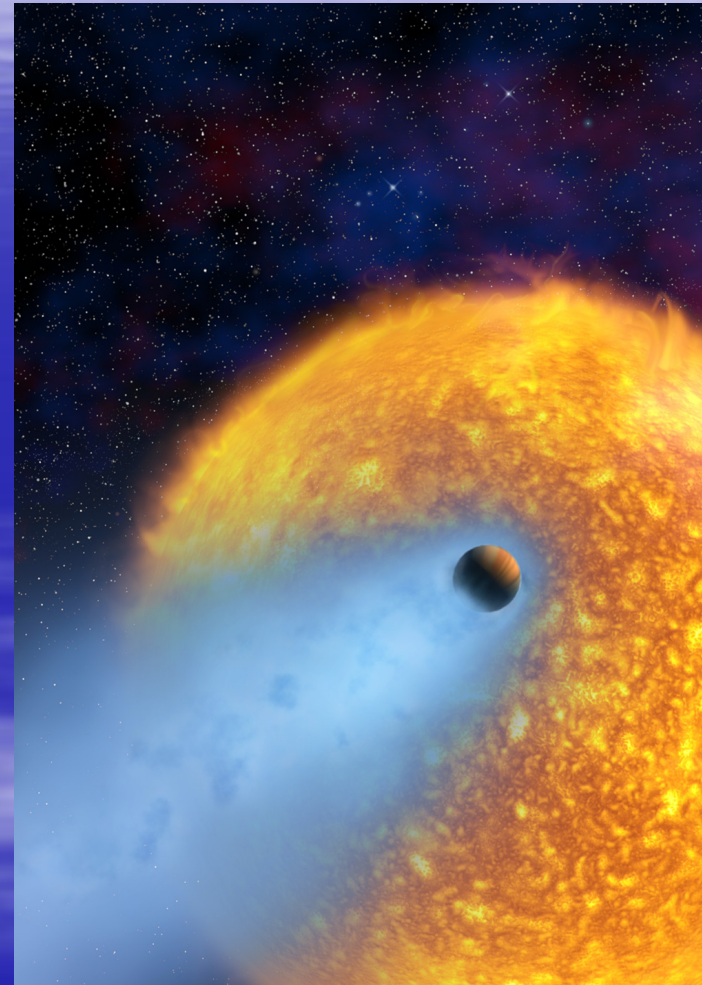
- Si la inclinación del sistema exoplanetario es de 90 grados entonces un hipotético exoplaneta podría eclipsar a su estrella provocando un descenso de brillo
- Facilidad para confirmar por método radial. Misma estrategia de observación que el método de las microlentes gravitatorias
- Grandes posibilidades debido a los adelantos técnicos en detectores, telescopios robotizados y procesamiento de datos
- Difícil llegar al dominio de los exoplanetas de tipo terrestre con telescopios en la Tierra



Métodos de Observación

Tránsitos

- El primer tránsito detectado es HD209458b “Osiris” en 2000, previamente descubierto por el método radial. Osiris tiene 0,65 masas de Júpiter y es gaseoso
- En 2002 se detecta sodio en la atmósfera de Osiris
- En 2003 se detecta que la atmósfera se está evaporando y que contiene hidrógeno
- En 2004 se detecta carbono y oxígeno



Métodos de Observación

Tránsitos

- En 2003 se descubre el primer exoplaneta por el método del tránsito a partir del evento OGLE-TR-56 (telescopio de Varsovia)
- Tiene 0.9 masas solares y orbita a tan sólo 0.023 UA de su estrella. Su temperatura es ¡¡ 1600 C !! El más caliente hasta la fecha.
- En 2004 se detectan dos más de características similares



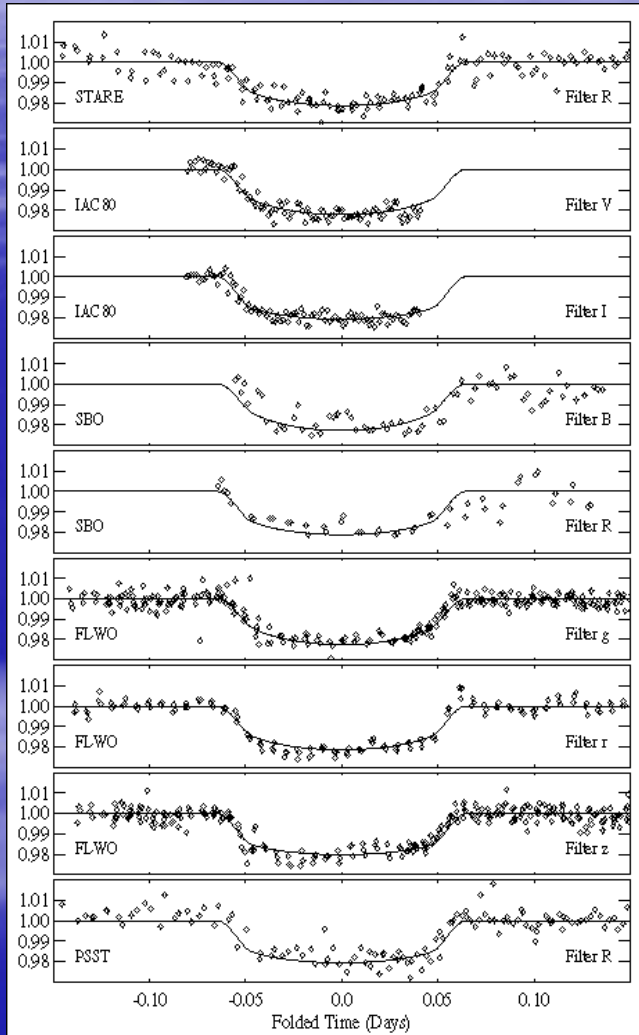
The Economist, 9 de enero de 2003

Métodos de Observación

Tránsitos

En agosto de 2004 el telescopio STARE del Observatorio del Teide, Tenerife, descubre otro más, TrES-1. Es el primer exoplaneta descubierto en Canarias.

Su masa es 0.75 masas de Júpiter y se encuentra a 500 años luz.



Telescopio STARE de 10 cm

La búsqueda desde La Palma

EXPORT (EXoPlanetary Observational Research Team)

En 1998 EXPORT obtiene un programa de tiempo internacional en los telescopios de Canarias. Sus objetivos: el estudio de la formación y evolución de los sistemas planetarios, evaporación de atmósferas en los tránsitos de Tau Boo y 51 Peg y búsqueda de exoplanetas por los métodos del tránsito en cúmulos estelares abiertos con el telescopio Jacobus Kapteyn, y por microlente gravitatoria en coordinación con MACHO en Chile



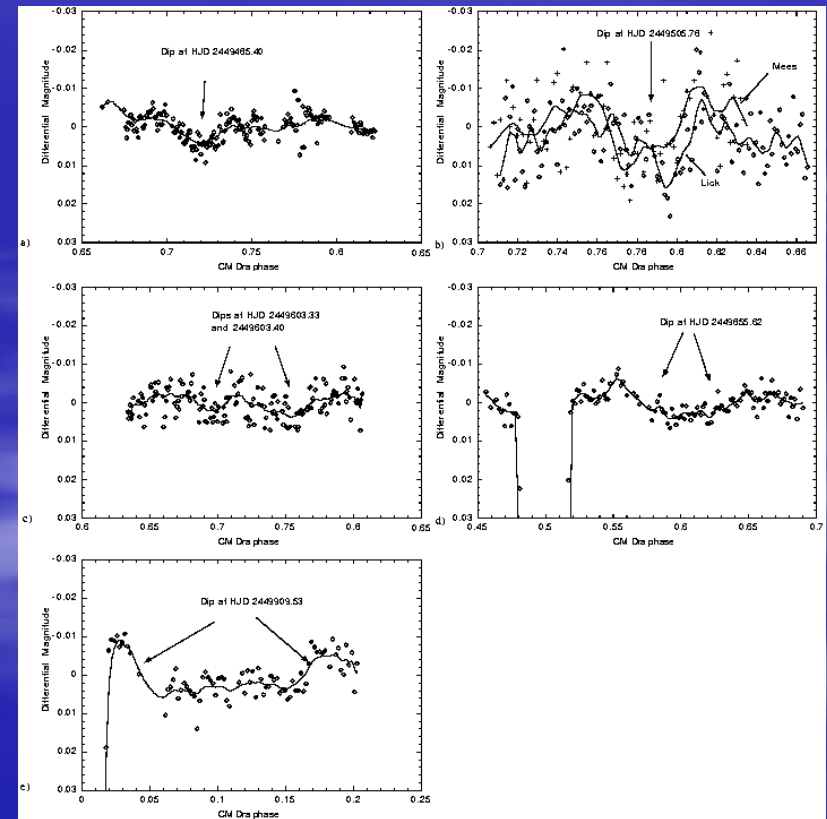
La búsqueda desde La Palma

TEP (Transits of Extrasolar Planets)

En 1998 se utilizan los telescopios Jacobus Kapteyn e Isaac Newton para obtener 17.176 mediciones fotométricas de CM Dra en coordinación con otros telescopios en el mundo en busca de tránsitos. Ninguno es confirmado



Telescopio Isaac Newton y algunos candidatos a tránsitos

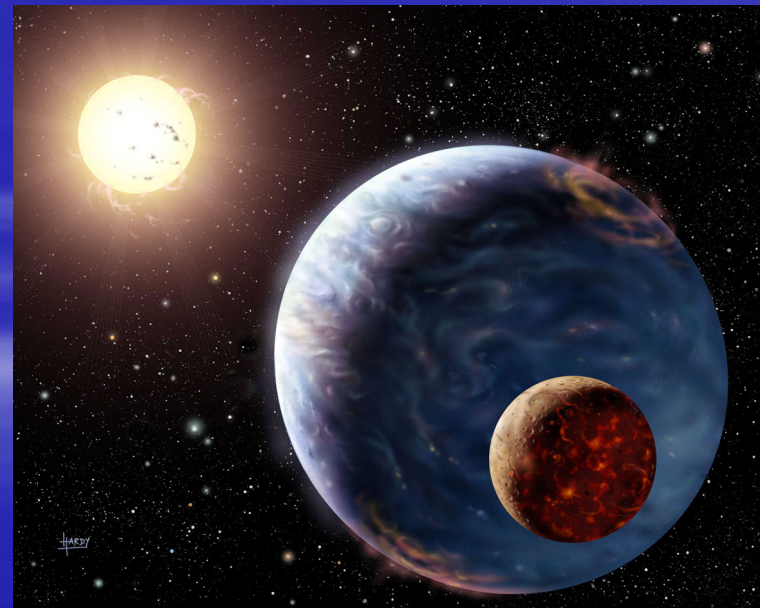
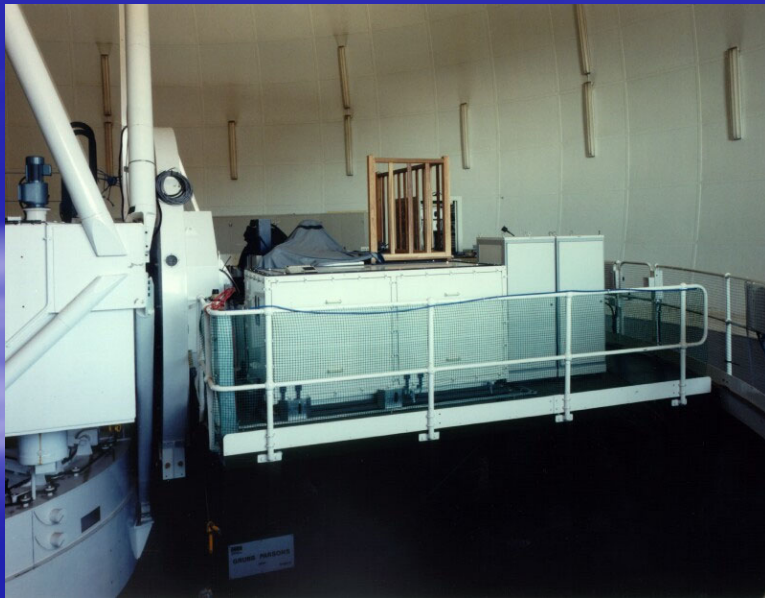


La búsqueda desde La Palma

Luz Reflejada en un Planeta Extrasolar

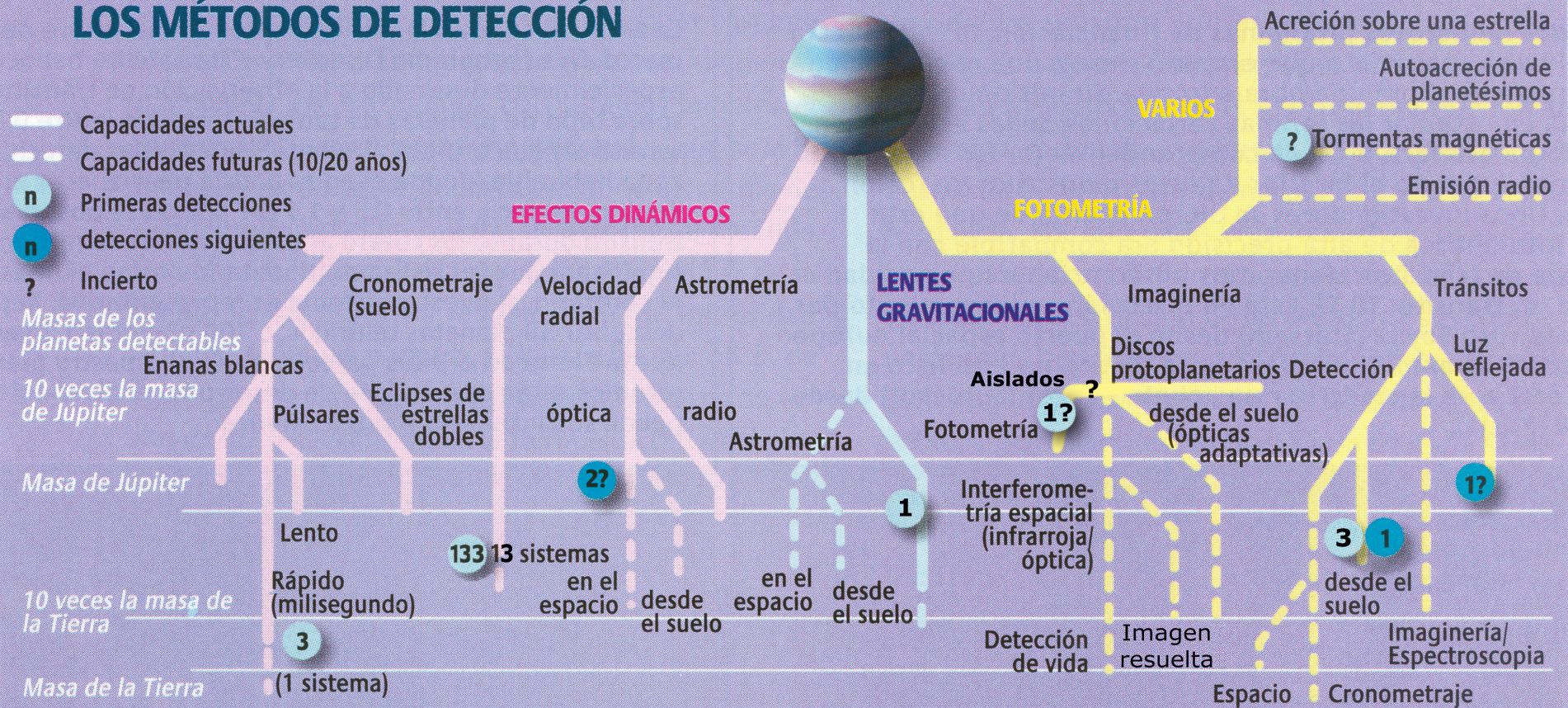
En 1999 se publica en *Nature* la posible (¡¡y primera!!) detección directa de un planeta extrasolar por el método espectroscópico de luz reflejada. Se bautiza al planeta con el nombre de “Milenio”.

Se utiliza el espectrógrafo echelle de alta resolución UES del telescopio William Herschel. Un año después se descubre que el presunto reflejo era un efecto instrumental...



Métodos de Observación

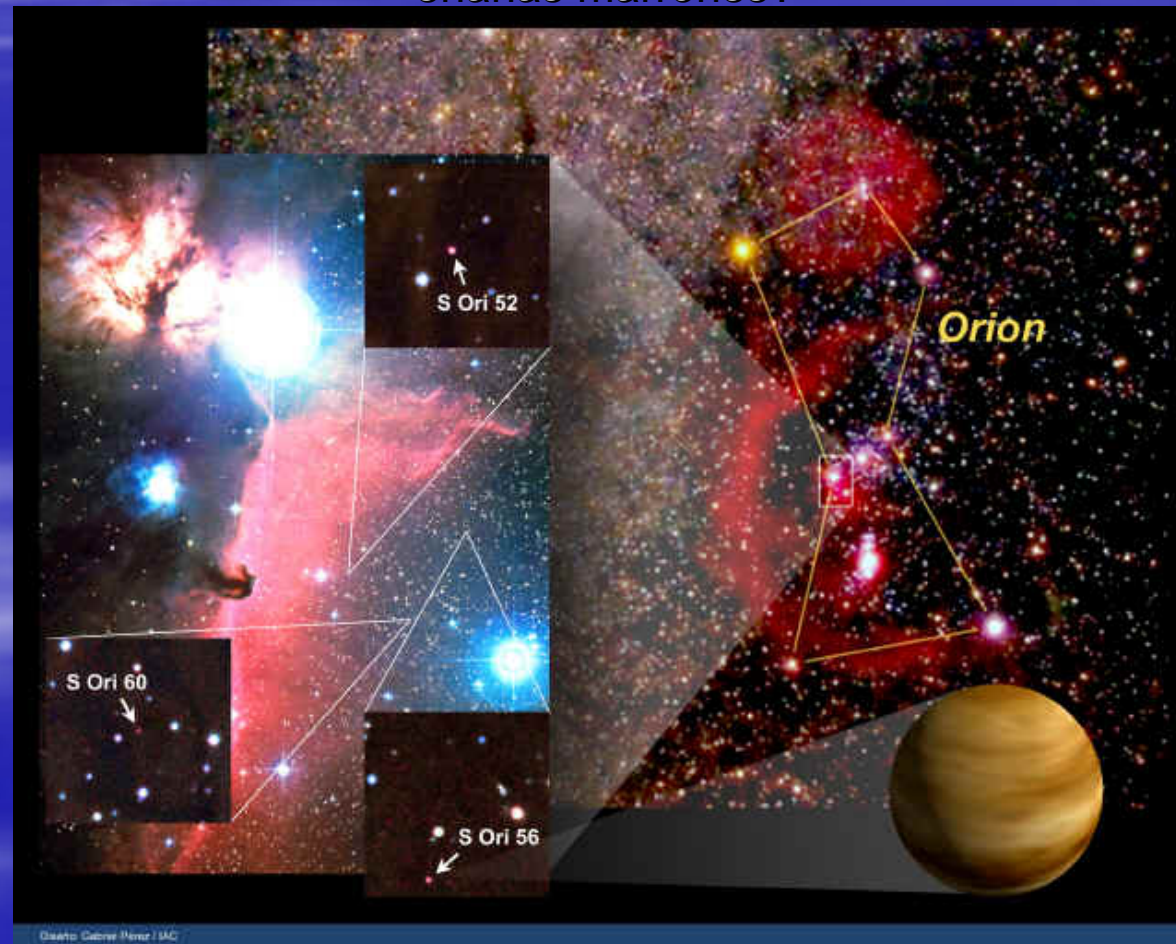
LOS MÉTODOS DE DETECCIÓN



La búsqueda desde La Palma

Imagen directa de planetas aislados

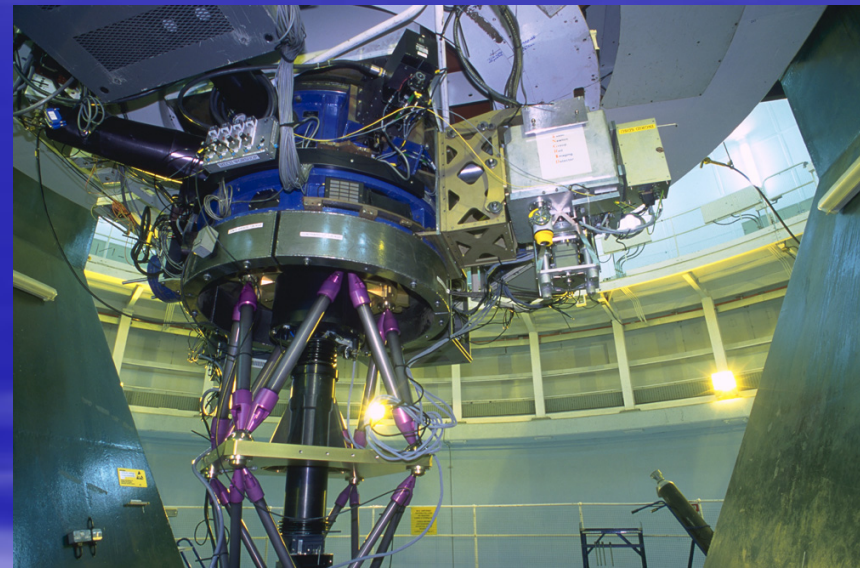
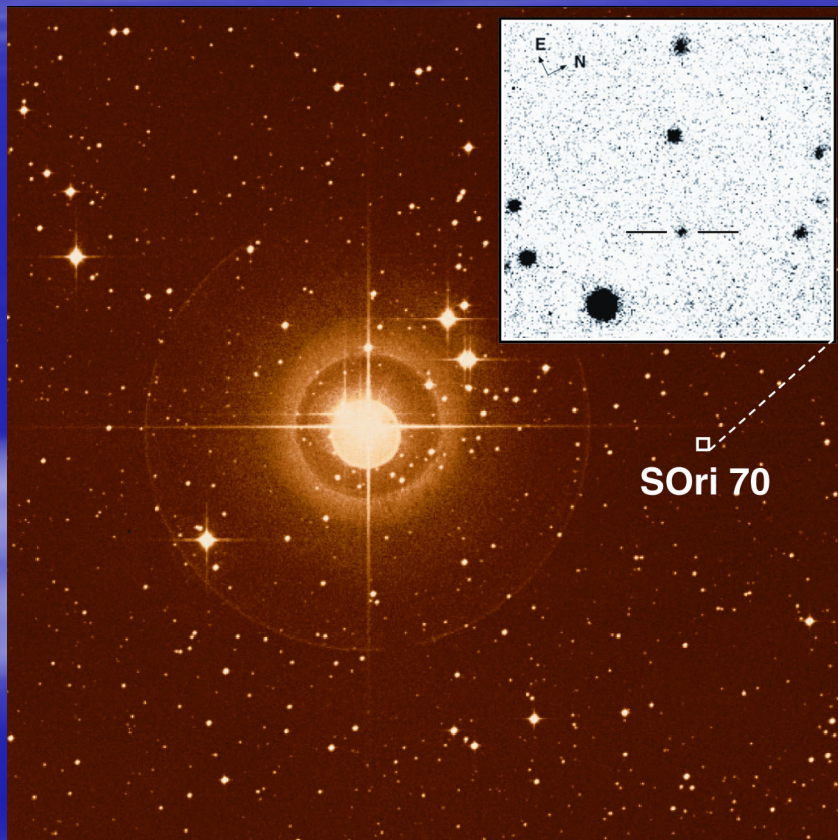
En octubre de 2000 se da a conocer en *Science* el descubrimiento de tres planetas aislados con masas entre 5 y 15 masas de Júpiter a partir de observaciones con el telescopio Isaac Newton en el cúmulo de σ Orionis. Desafío a la teoría de formación de planetas. ¿Planetas o enanas marrones?



La búsqueda desde La Palma

Imagen directa de planetas aislados

En 2002 se anuncia el descubrimiento de un exoplaneta aislado, S Ori 70, con una masa entre 5.5 y 1.5 masas de Júpiter, situado a 440 parsecs y con una temperatura de 800 C.
¿Formado aisladamente o en un sistema planetario y posteriormente expulsado?

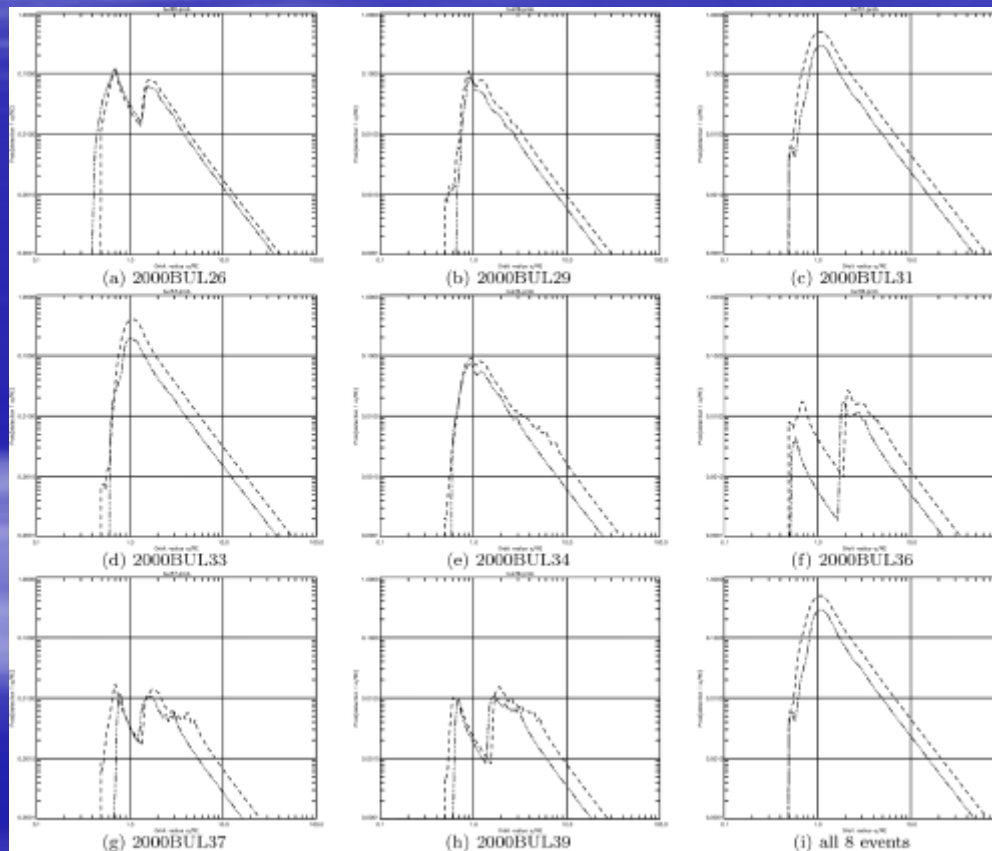


S Ori 70 y cámara infrarroja INGRID del telescopio William Herschel

La búsqueda desde La Palma

Búsqueda por microlente gravitatoria

En 2000 se utiliza el telescopio Jacobus Kapteyn para buscar eventos de microlente gravitatoria hacia el bulbo galáctico en coordinación con el proyecto OGLE. No se registra ningún evento relevante.



*Algunos de los
eventos observados
por el telescopio
Jacobus Kapteyn*

La búsqueda desde La Palma

SARG Exo Planets Search

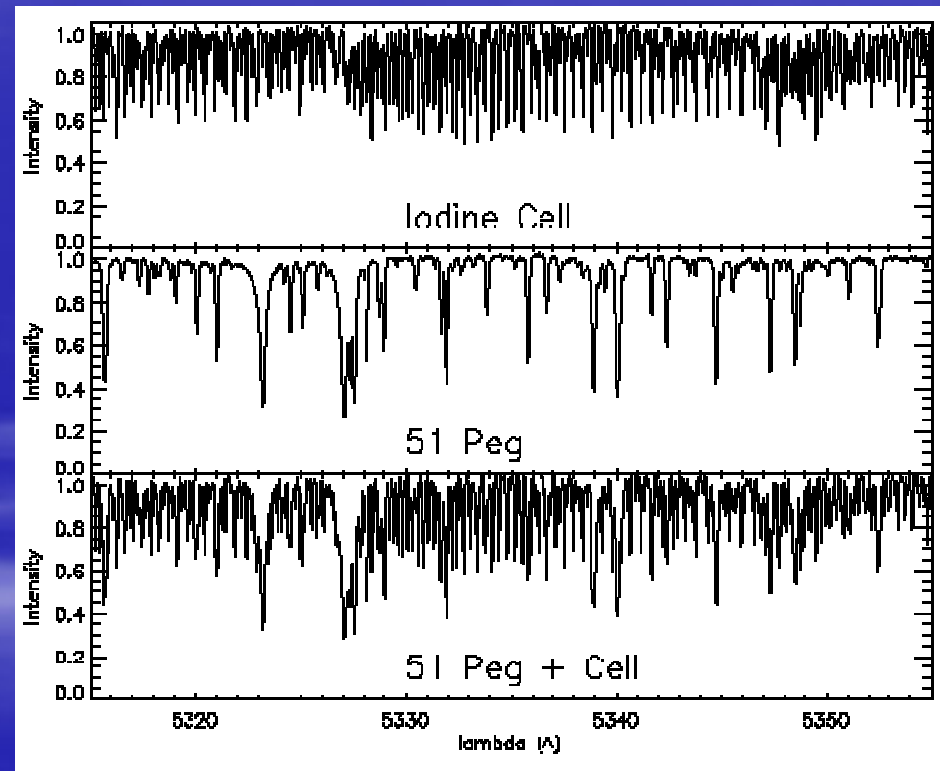
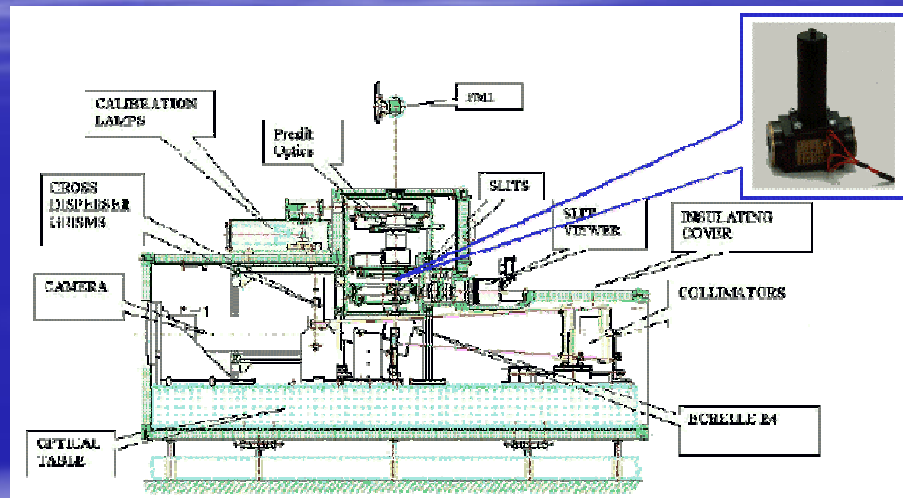
En 2003 se inicia la búsqueda de exoplanetas en sistemas estelares binarios por el método de la velocidad radial utilizando el espectrógrafo echelle SARG del Telescopio Nacional Galileo de Italia. Se anuncia el primer descubrimiento pero tan sólo hace unos meses se confirma que fue una falsa alarma



La búsqueda desde La Palma

SARG Exo Planets Search

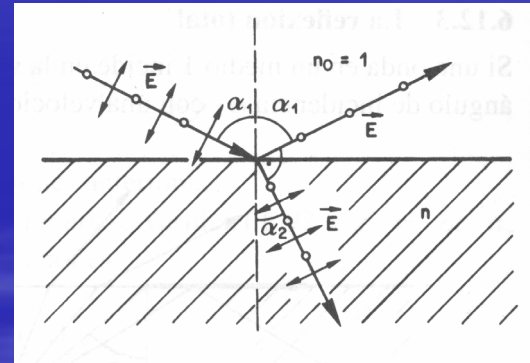
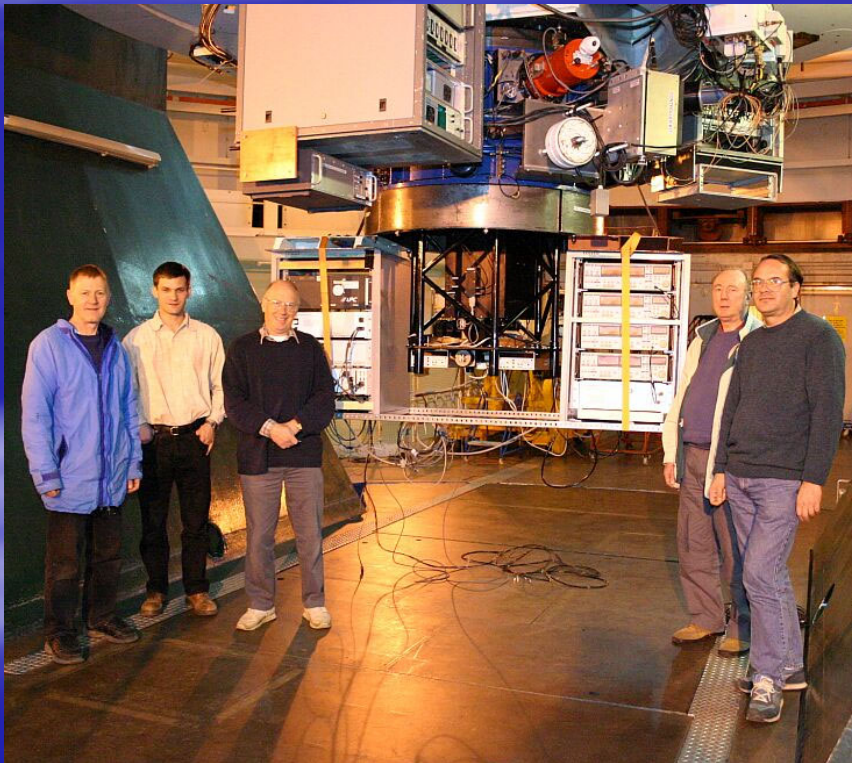
Para dotar al espectrógrafo de una resolución de 8 metros por segundo se utiliza una célula de absorción de yodo sublimado



La búsqueda desde La Palma

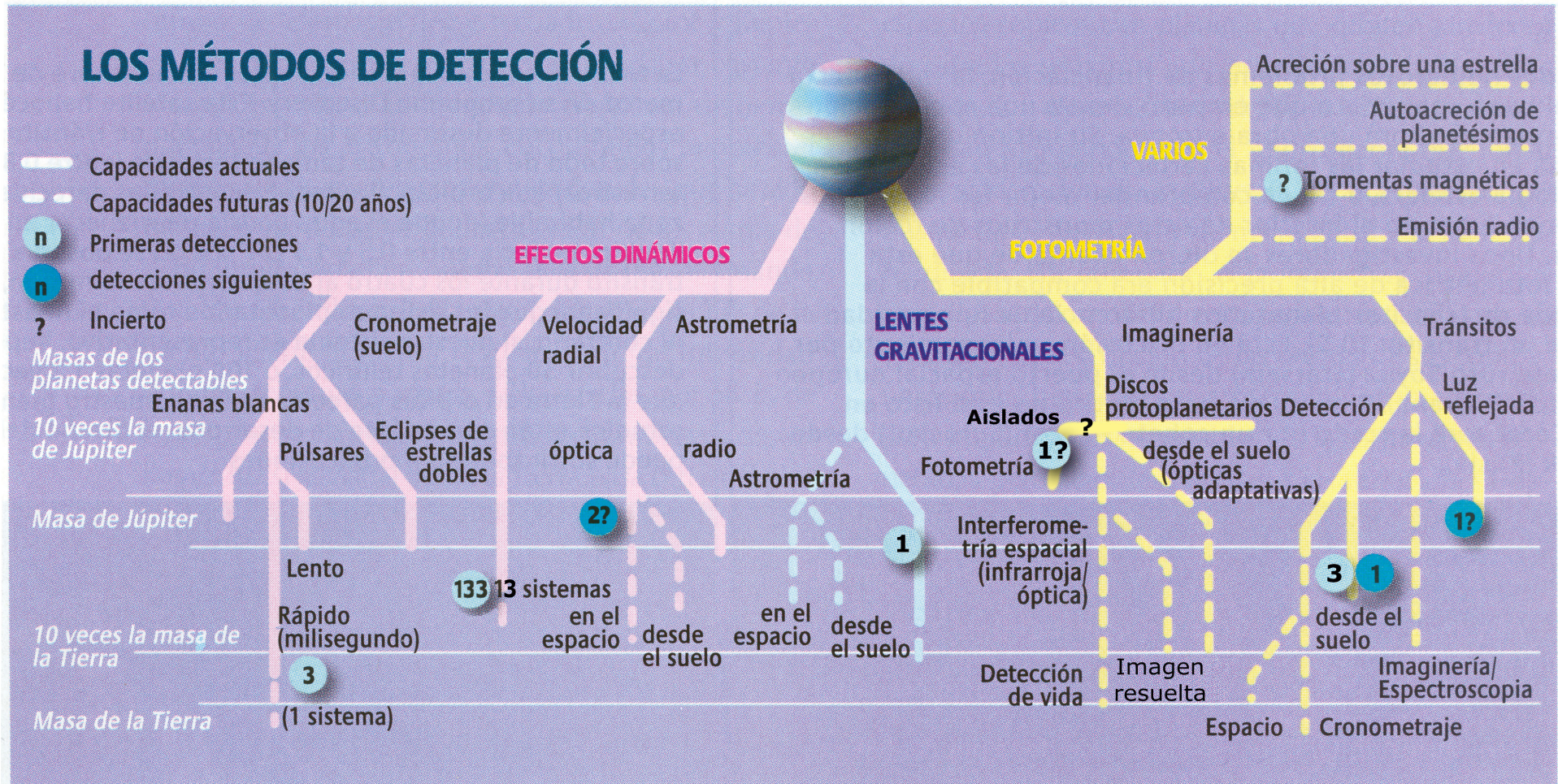
PLANETPOL

En abril de 2004 ve la primera luz un polarímetro muy sensible que intenta encontrar la luz polarizada reflejada por el exoplaneta. Primera vez que se utiliza esta técnica. **¡¡ Buena Suerte !!**



Cuando la luz proveniente de la estrella se refleja en el exoplaneta se polariza. Si se observa con un polarímetro veremos que la luz proveniente del exoplaneta tiene mayor contraste que con otros métodos directos. La clave está en encontrar una señal periódica en la señal total

Métodos de Observación

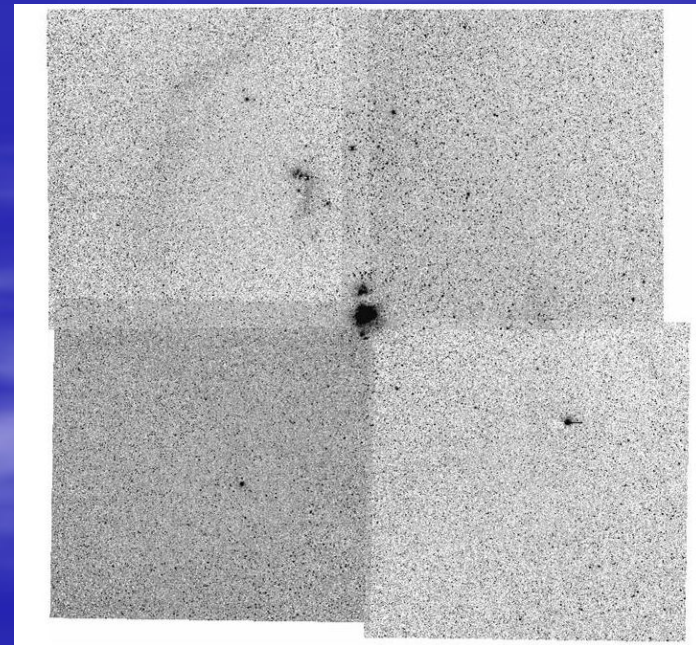


La búsqueda desde La Palma

SuperWASP (Wide Angle Survey Patrol)

En abril de 2004 se inaugura oficialmente SuperWASP, una nueva instalación que pretende registrar robóticamente cualquier evento transitorio que suponga una variación fotométrica del 1% en objetos hasta la magnitud 13 y en un área

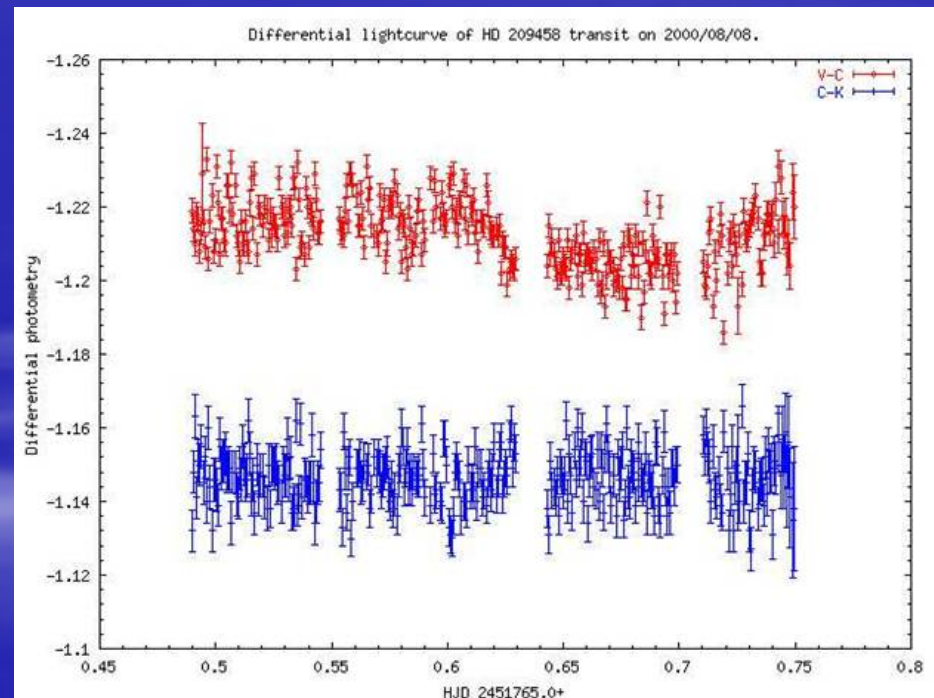
del cielo de... **¡¡30 × 60 lunas llenas!!**



La búsqueda desde La Palma

SuperWASP (Wide Angle Survey Patrol)

Según las estadísticas actuales SuperWASP descubrirá por el método del tránsito 50 nuevos exoplanetas por año con masas del orden de Júpiter



La búsqueda desde La Palma

Espectrógrafo FIES (Fiber Echelle Spectrograph)

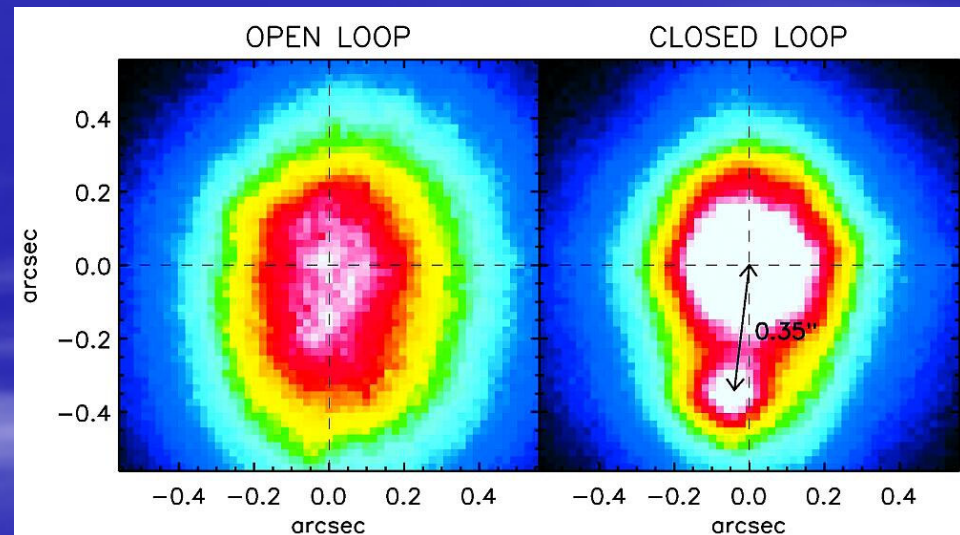
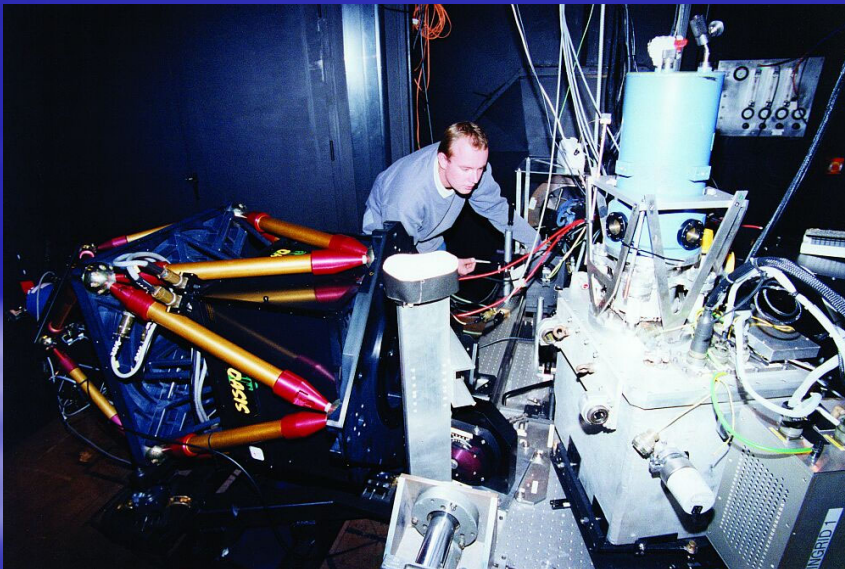
El FIES es un espectrógrafo echelle de alta resolución situado en el Telescopio Óptico Nórdico (NOT). Existen planes para situar FIES fuera del edificio del telescopio y alimentarlo por fibra óptica: gran estabilidad y disponibilidad. Potencial para descubrir exoplanetas por el método radial en el futuro

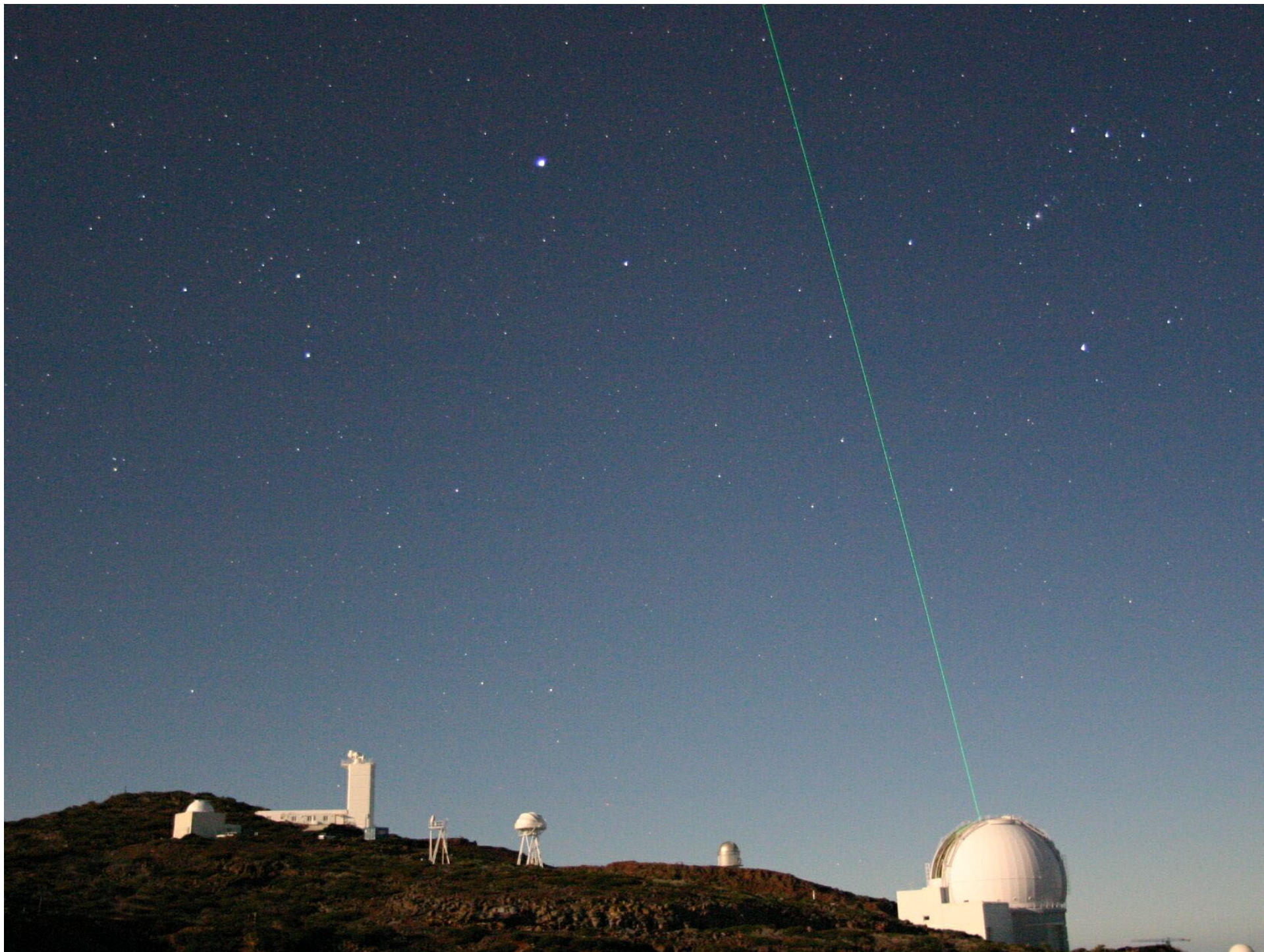


La búsqueda desde La Palma

Imagen Directa Mediante Optica Adaptativa

La óptica adaptativa permite eliminar los defectos en las imágenes introducidas por la turbulencia atmosférica. La consecuencia es un incremento en la resolución espacial de las imágenes: vemos mejor. El instrumento NAOMI permite esta corrección en el telescopio William Herschel





La búsqueda desde La Palma

Imagen Directa Mediante Optica Adaptativa

Sin embargo, sólo es posible detectar objetos jóvenes con masas del orden de Júpiter a 10 UA en estrellas cercanas, y la coronografía no es eficiente.

El proyecto JOVIAN usa la propiedad de que un exoplaneta joven emite su mayor emisión térmica, aumentando el contraste con su estrella en el infrarrojo cercano. JOVIAN utiliza, por lo tanto, el sistema NAOMI+INGRID.



La búsqueda desde La Palma

RoboNet y el telescopio Liverpool

- El telescopio robotizado Liverpool de 2 metros de diámetro participa en la red RoboNet-1.0. Uno de los objetivos científicos de esta red es la detección de planetas extrasolares a partir de la rápida respuesta a las alarmas producidas por OGLE-III (microlentes gravitatorias). La ubicación y el modo de operación de estos telescopios los hace ideales para este proyecto. Ya está en funcionamiento.



La búsqueda desde La Palma

SETI Optico con MAGIC

En el observatorio se pretende utilizar MAGIC para realizar la búsqueda pasiva de vida mediante la escucha en el rango óptico de longitudes de onda

El láser ofrece unas características importante para la comunicación dentro de la galaxia por las siguientes razones:

1. Es más potente que el MASER (equivalente en radio)
2. La información puede transmitirse en paquetes de nanosegundos (mil millonésima de segundo). Mayor capacidad para comunicar mensajes
3. En la naturaleza hay poca contaminación de pulsos en el óptico. Señal más limpia

Podríamos pensar por lo tanto que alguna civilización esté intentando comunicarse con nosotros de esta manera

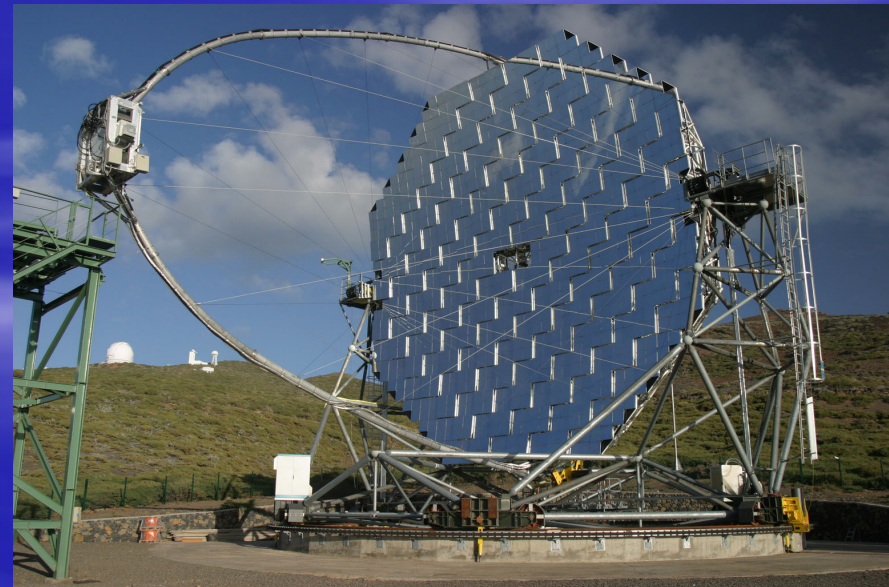
La búsqueda desde La Palma

SETI Optico con MAGIC

- El telescopio Cherenkov de 17 metros de diámetro es el mayor colector de luz jamás construido.
- Debido a su particular forma de observar, puede resolver pulsos de nanosegundos
- Sus fotomultiplicadores son muy sensibles



**MAGIC ya está
escuchando**



La búsqueda desde La Palma

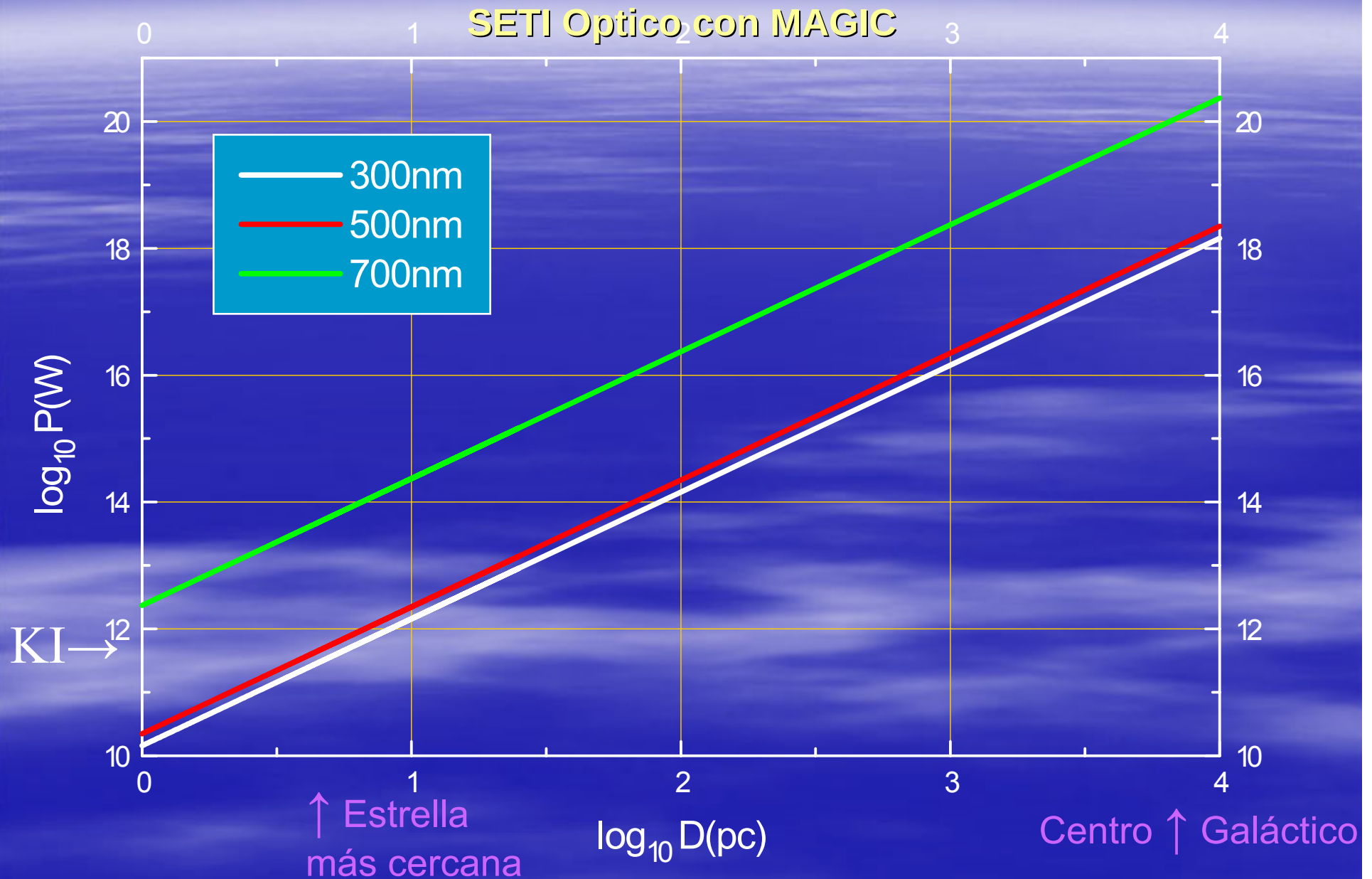
SETI Optico con MAGIC

	$P_{\text{usado}} \text{ (W)}$	$R_{\text{detec}} \text{ (pc)}$
KI	10^{11}	2
KII	10^{26}	$63 \cdot 10^6$
KIII	10^{37}	$20 \cdot 10^{12}$

Siguiendo los criterios de civilización de Kardashev que se basan en la fuente de energía disponible:

- KI (empleando toda la energía de su planeta)
- KII (empleando toda la energía de su estrella)
- KIII (empleando toda la energía de su galaxia)

La búsqueda desde La Palma

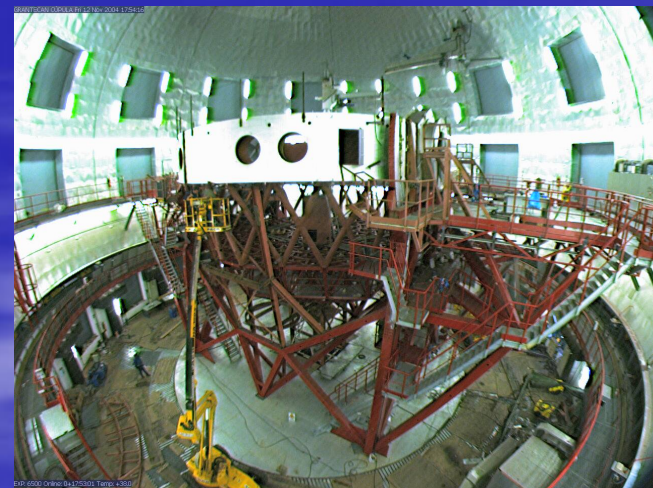


La búsqueda desde La Palma

Gran Telescopio de Canarias

El Gran Telescopio de Canarias (GTC) será el mayor telescopio óptico e infrarrojo de su clase en el mundo. El diámetro de su espejo primario es de 10.4 metros y se prevee entre en funcionamiento en 2006

Una instrumentación adecuada y el uso de óptica adaptativa permitirán la continuación del programa JOVIAN hasta unas 7.5 UA de la estrella y además con mayor profundidad de detección (el poder colector del Gran Telescopio de Canarias será 7 veces mayor que el del telescopio William Herschel)



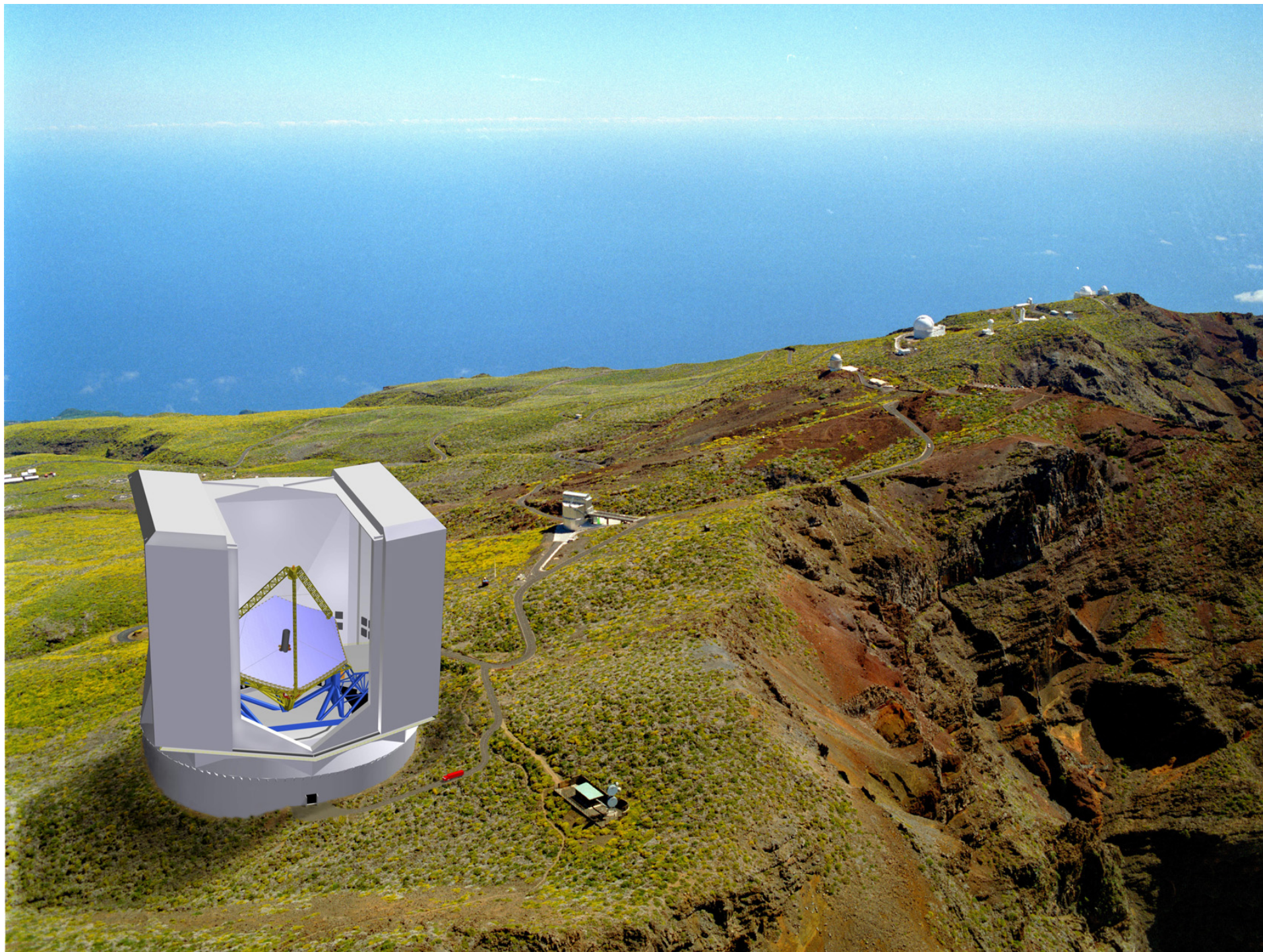
La búsqueda desde La Palma

Telescopio Euro 50

Nos encontramos en la fase de diseño y toma de decisiones para la futura generación de telescopios: diámetros de 20 a 100 metros

En Europa hay dos proyectos. El telescopio Euro 50 es un proyecto desarrollado por la Universidad de Lund (Suecia) que pretende construir un telescopio de 50 metros preferentemente en La Palma

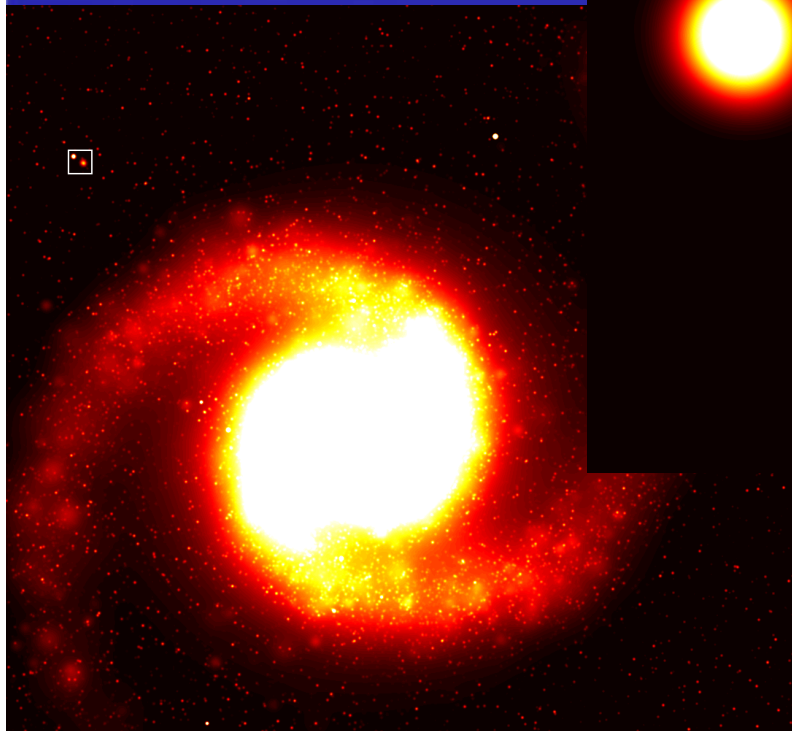
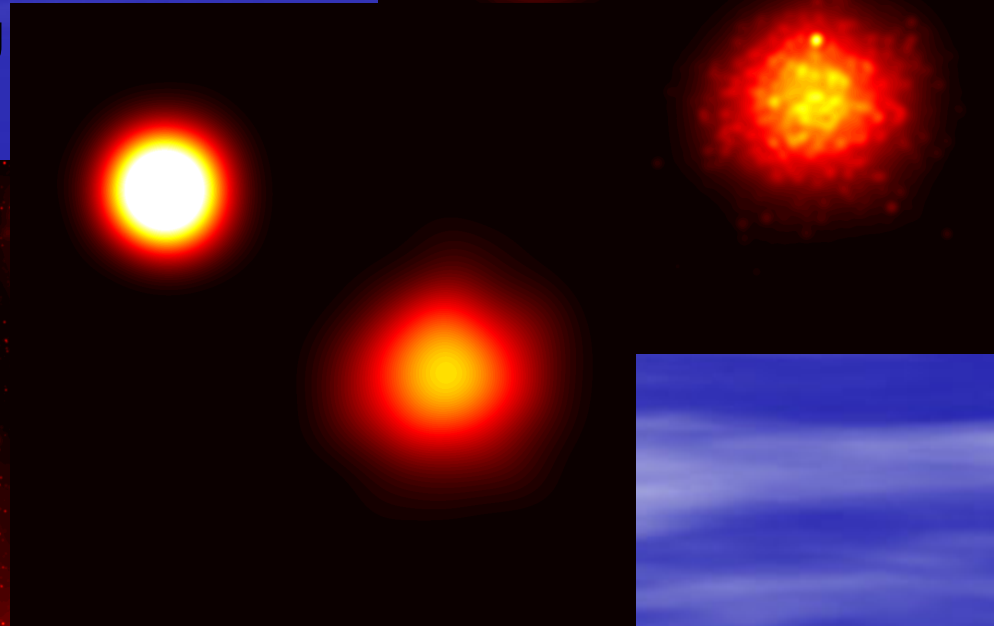
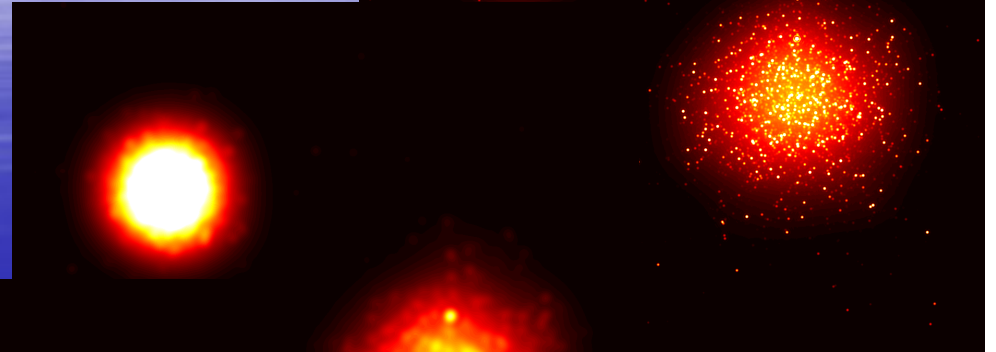
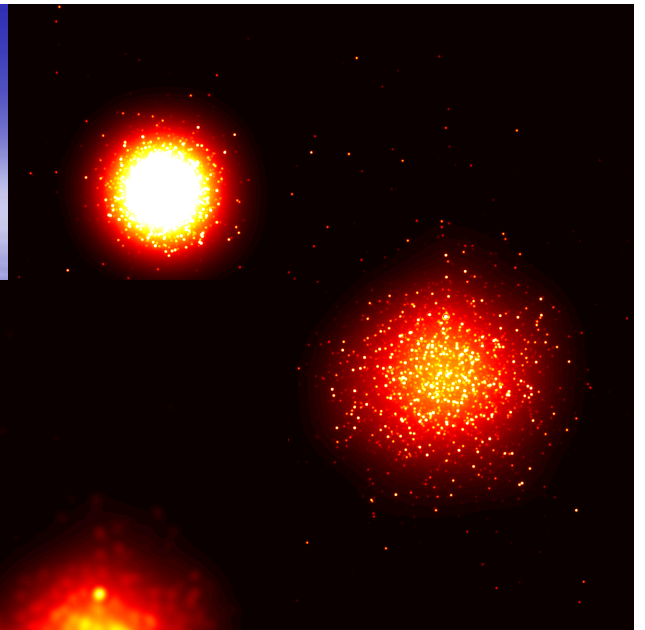




Euro 50 con OA

10 metros con OA

Limitado por seeing



La búsqueda desde La Palma

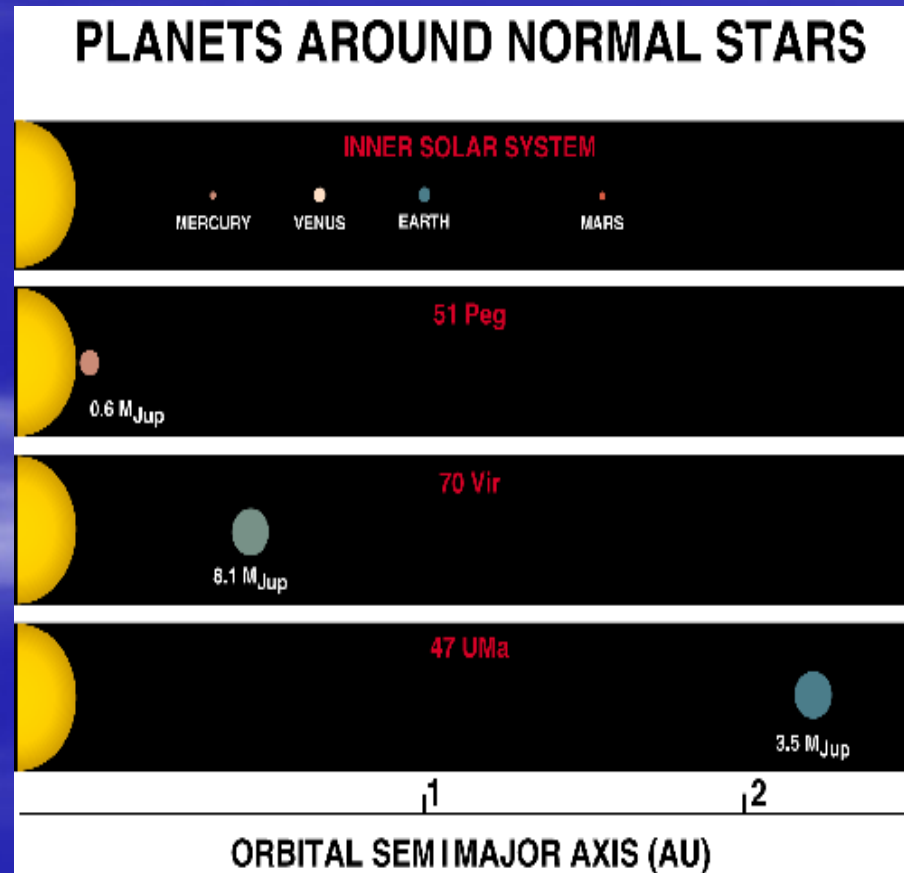
Telescopio Euro 50

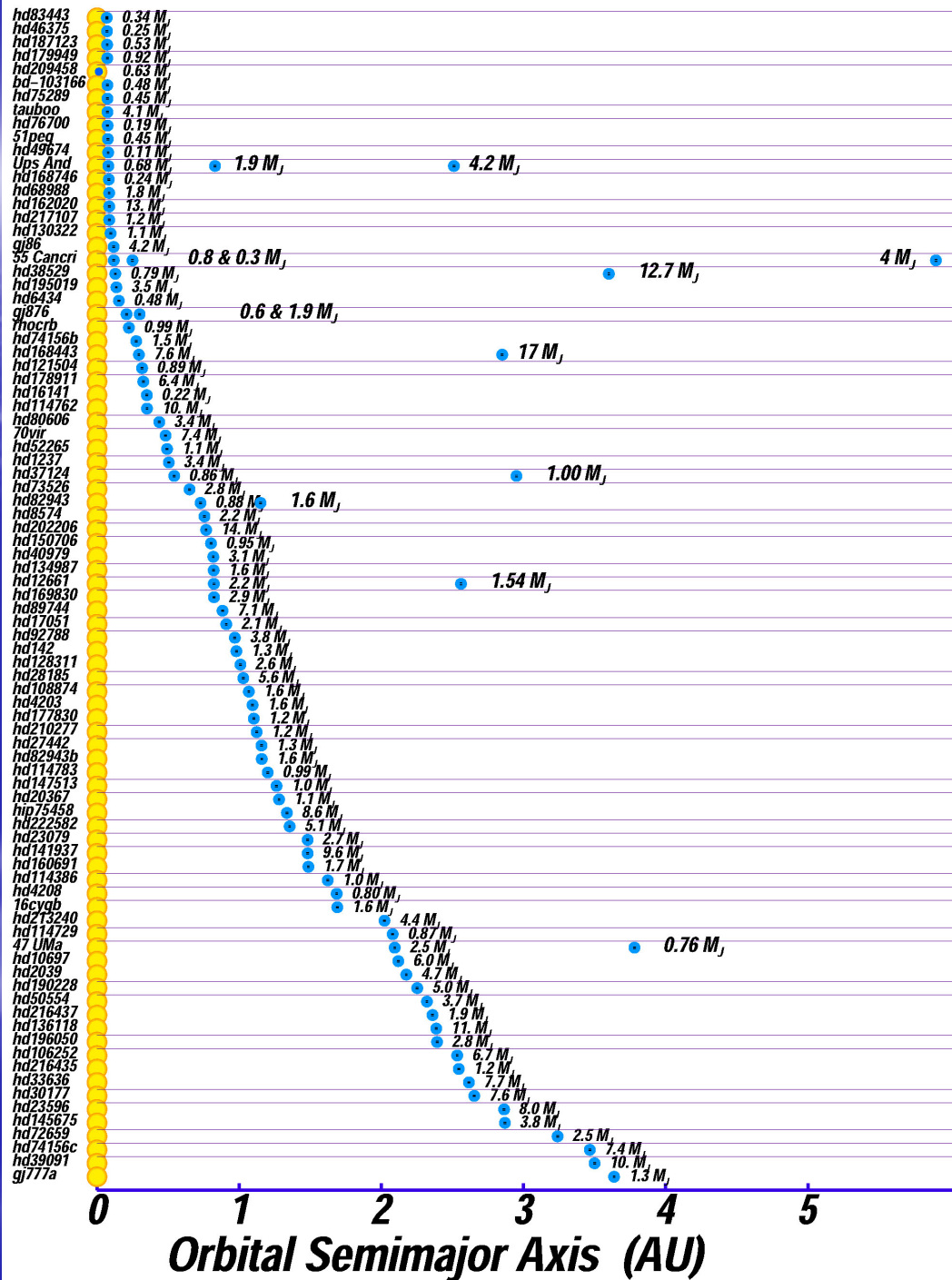
Realizará la búsqueda y estudio de planetas de tipo terrestre:

- El método de las velocidades radiales permitirá incrementar en un factor 100 o más el número de exoplanetas conocidos (mayor relación señal-ruido, podrá observar estrellas más débiles). En estrellas de baja masa de la vecindad solar podría detectar planetas de tipo terrestre.
- Con un sistema de óptica adaptativa el Euro 50 podría realizar curvas de luz de tránsitos reportados por otros telescopios con gran precisión. Si además dispone de espectroscopía de alta resolución podría observar las atmósferas de los exoplanetas en tránsito.
- Euro 50 podría obtener imágenes directas de exoplanetas hasta 0.55 UA en estrellas cercanas con la instrumentación y la estrategia adecuadas. La combinación de coronografía y espectroscopía de área podría dar buenos resultados.
- El Euro 50 jugará un papel muy importante en combinación con las misiones espaciales proyectadas

Conclusiones

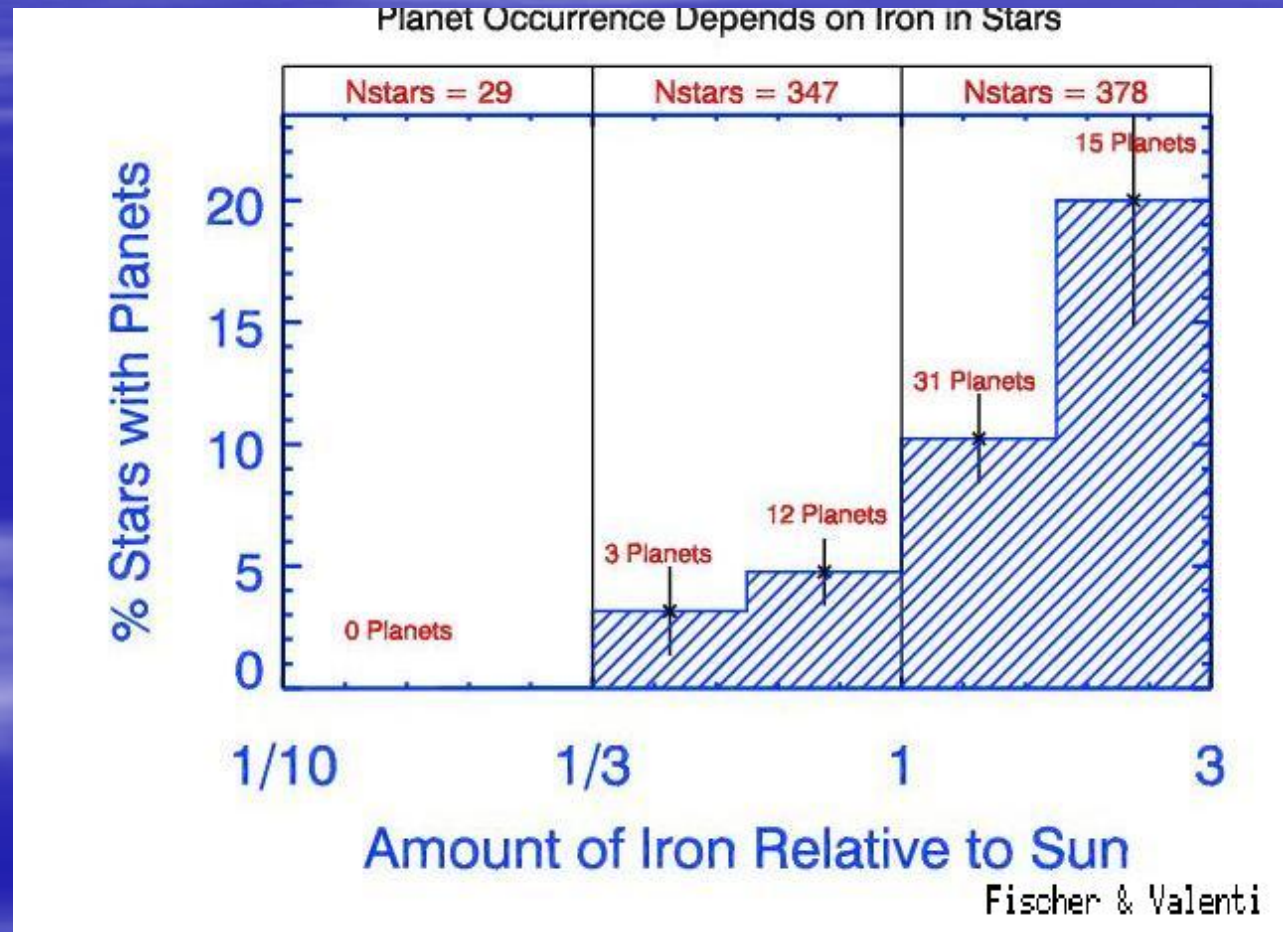
1. Aunque los métodos de detección actuales nos sesgan la población de exoplanetas, sin embargo nos ha mostrado un zoo un tanto desconcertante: la mayoría son **planetas gaseosos y calientes**. ¿Somos nosotros los raros? Es necesario un mayor conocimiento de los procesos de formación de sistemas planetarios y sus estadísticas de masas (función de masas) y distancias a la estrella.





Conclusiones

2. Las estrellas con **mayor metalicidad** tienden a tener **mayor número de planetas**. Esto es bueno.



Conclusiones

3. La carrera por la búsqueda activa de vida fuera del Sistema Solar ya ha comenzado y el Observatorio del Roque de Los Muchachos tiene un **papel importante**.
4. En los próximos años se darán los primeros pasos para la detección de planetas tipo terrestre en zonas de habitabilidad de estrellas “buenas” (<2015) a partir de los datos proporcionados por los telescopios a bordo de satélites. **¡¡ Siguiendo término de la ecuación de Drake !!**

$$N = R_s \times f_s \times f_p \times n \times f_e \times f_i \times f_c \times L$$


5. Ya se diseñan las misiones para esclarecer el quinto término de la ecuación de Drake: discusión y diseño de instrumentos para la detección de **biomarcadores**.

¡ MUCHAS GRACIAS !

