

# ¿Hay vida en el universo?

Ute Lisenfeld  
Universidad de Granada



# Índice

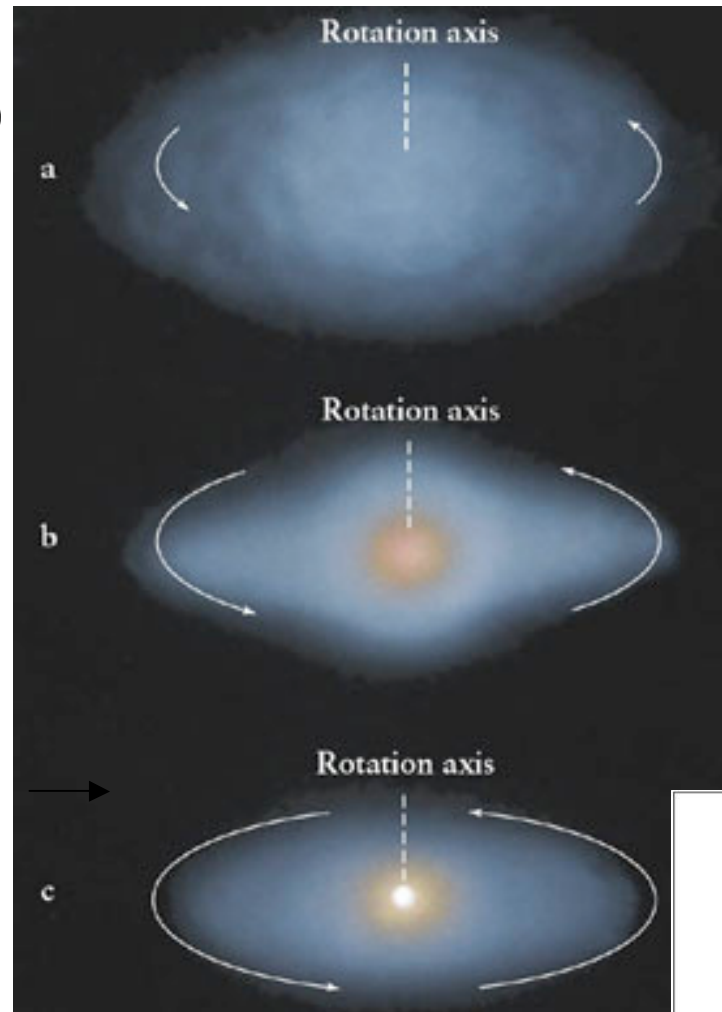
1. La formación del sistema solar y la evolución de la vida en la Tierra
2. Las condiciones necesarias para la vida
3. Vida en nuestro sistema solar
4. En busca de planetas extrasolares habitables
5. En busca de inteligencias extraterrestres

# Formación de nuestro sistema solar

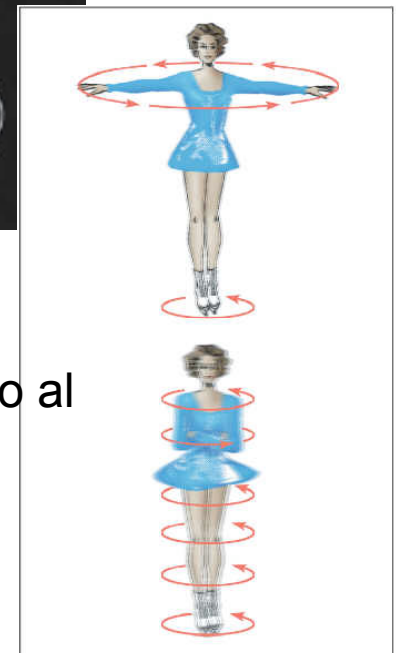
Hace unos 4.5 mil millones de años una nube interestelar colapsó debido a su propio peso



Star-Birth Clouds · M16 HST · WFPC2  
PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995  
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA



El momento angular se conserva  
→ El colapso es fácil paralelo al eje de rotación pero difícil perpendicular  
→ Se forma un disco de “acreción”



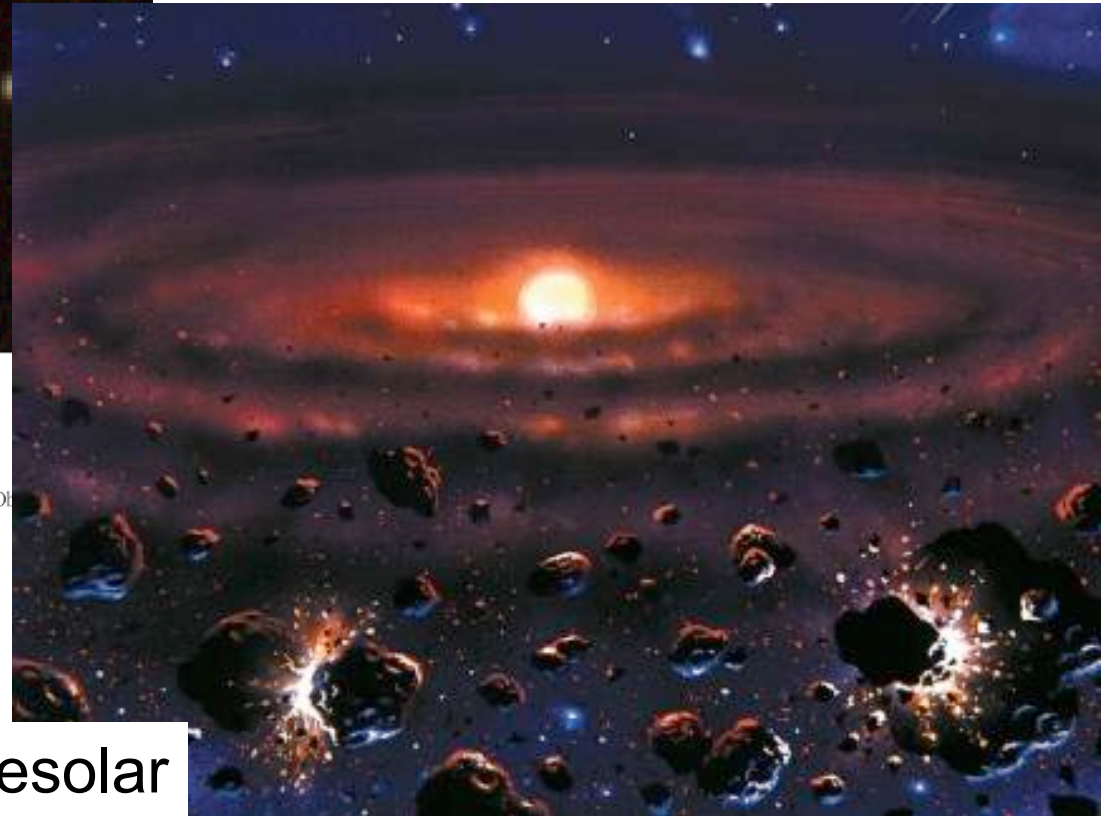
# Disco presolar



Infant Solar System in Ophiuchus  
(VLT ANTU + ISAAC)

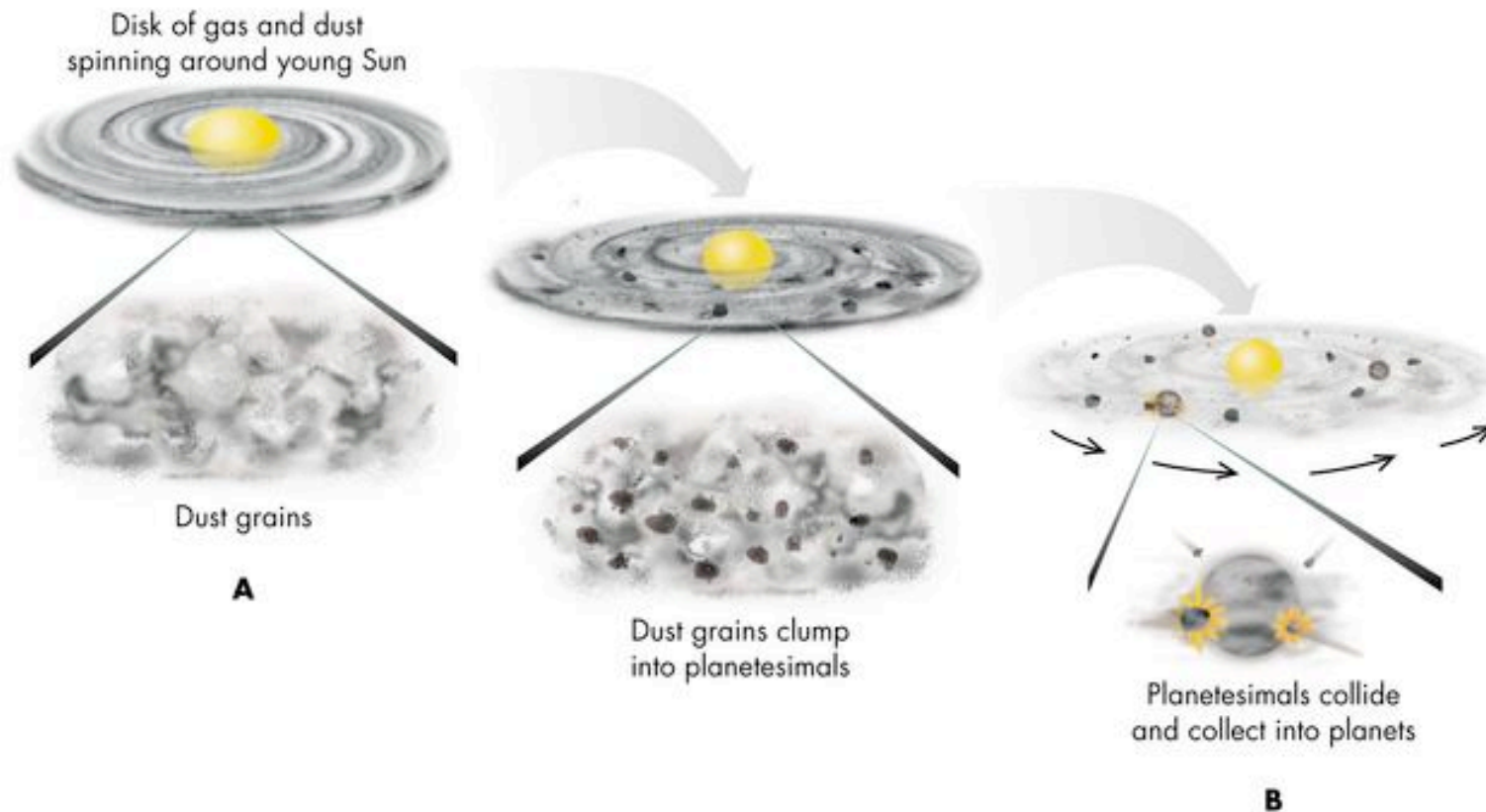
ESO PR Photo 12c/02 (7 May 2002)

© European Southern Observatory



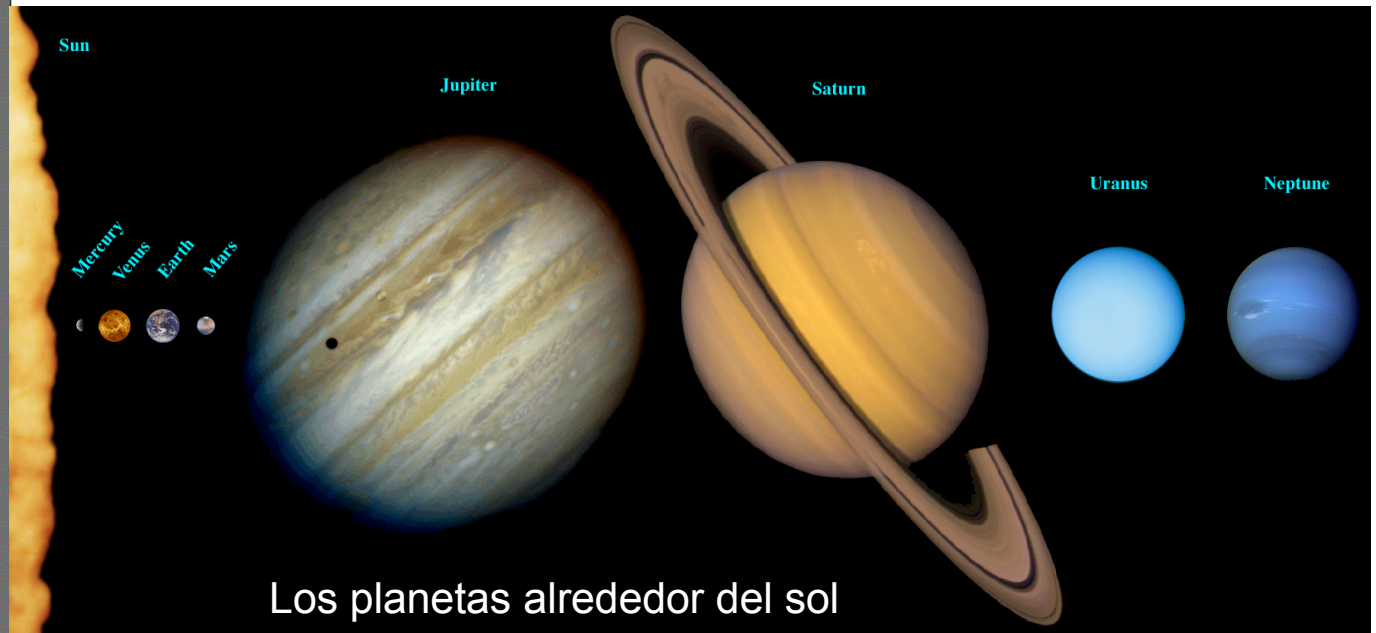
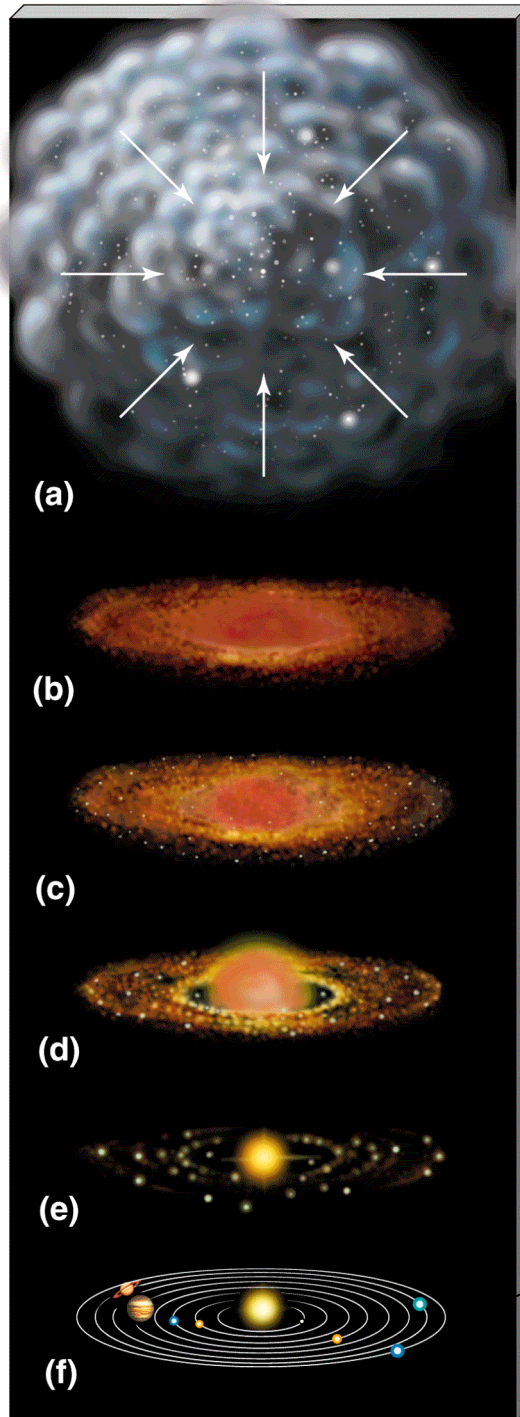
Visión artística de disco presolar

# Formación de planetas



- Partículas pequeñas (polvo y gas) colisionan y forman cuerpos más grande (planetesimales, de unos km de diámetro)
- Planetesimales colisionan para formar planetas

# Planetas en nuestro Sistema Solar



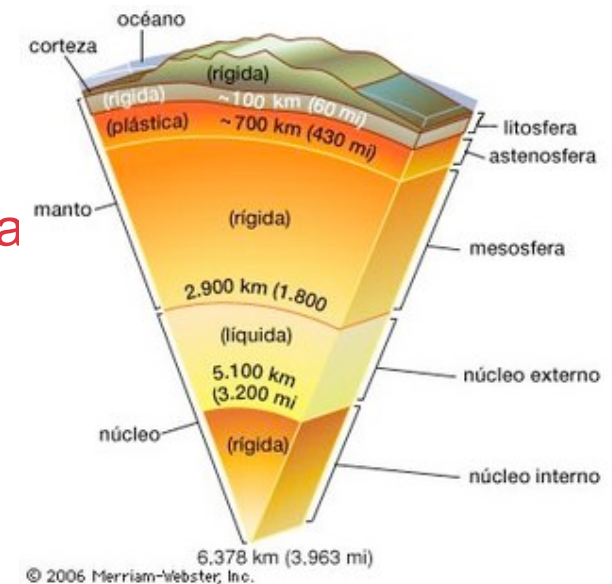
Resumen de los pasos en la formación del sistema solar

# Formación de la estructura de la Tierra

Gran parte de la tierra se pone fluido debido al calentamiento por decaimiento radioactivo en la tierra (hace ~4 mil millones de años)

- La temperatura supera 2000 K
- El hierro se funde
- Se hunde al centro de la tierra
- Se libera energía gravitacional
- Se alcanzan unos 4500 K
- Se deriven rocas
  - Se liberan gases y **se forma una atmósfera**
  - Se forma la estructura de la Tierra de hoy

Luego: la Tierra se enfría y la corteza se solidifica otra vez (hace ~3.8 mil millones de años)



# Comienzo químico de la vida en la Tierra

## Condiciones del ambiente para primer paso:

- Primera atmósfera era sin oxígeno:
    - entorno reductor para reacciones químicas
    - no había capa de ozono --> penetración radiación UV
  - Mucha actividad atmosférica (p.e. descargas eléctricas)
- En este entorno se forman **aminoácidos y otras moléculas orgánicas**

## Siguientes pasos:

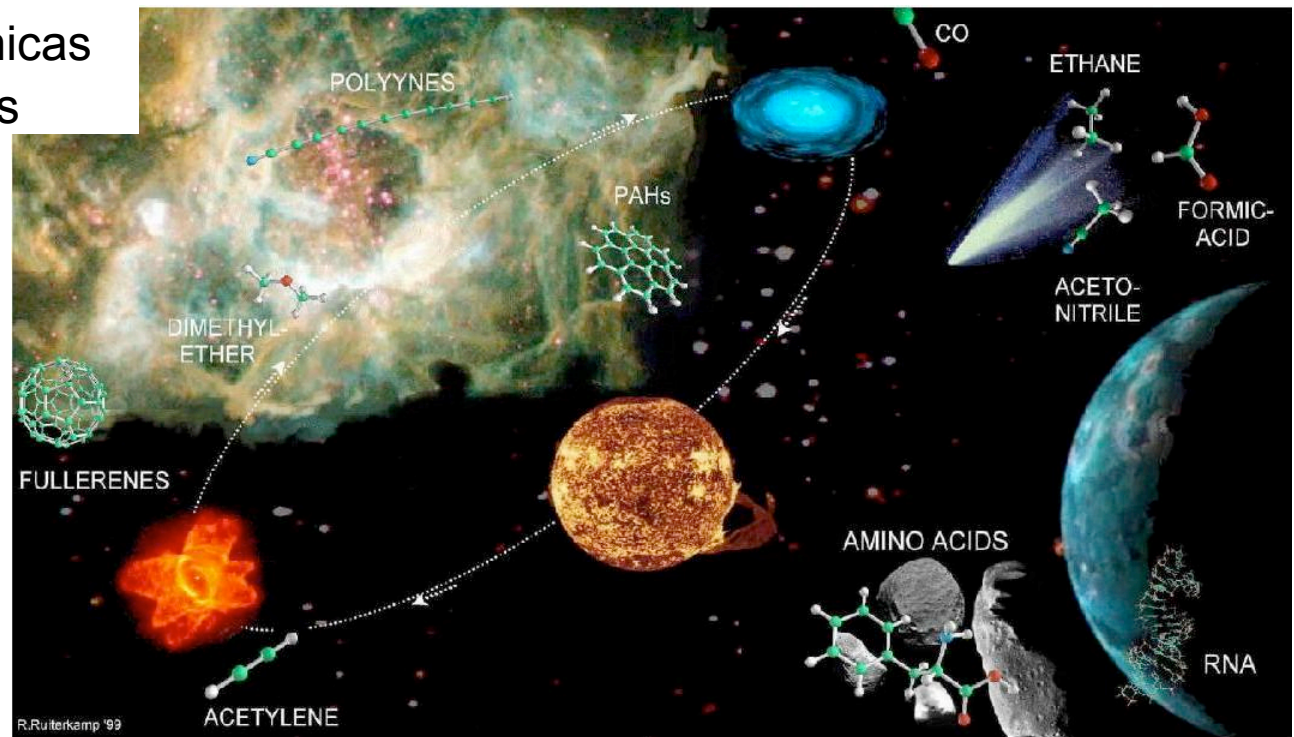
- Moléculas orgánicas disueltas en el océano primitivo constituyen “caldo primordial”, en el que se forman proteínas y ácidos nucleicos (RNA y DNA)
- Formación de las primeras células procariotas (sin núcleos)
- Formación de las primeras células eucariotas (con núcleos)



# Apoyo a la hipótesis de un origen químico de la vida

1. El experimento de Miller y Urey (1953): Sometieron una mezcla de metano, hidrógeno, amoniaco y agua a descargas eléctricas → se formaron moléculas orgánicas (entre otros: glucosa, aminoácido glicina, ácido acético...)

2. Presencia abundante de todo tipo de moléculas (cientos de tipos descubiertos hasta hoy), incluso orgánicas en el nubes interestelares



Ejemplos de moléculas interestelares

# Cambios en la atmósfera de la Tierra

- La radiación UV disuelve  $\text{H}_2\text{O}$  y libera  $\text{O}_2$  en la atmósfera. En la parte superior de la atmósfera se forma  $\text{O}_3$  (ozono) que absorbe UV.
  - Hay algo de oxígeno en la atmósfera. Ambiente es menos reductor
  - Ya no llega radiación UV a la superficie → vida puede empezar
  - Ya no se disocia más  $\text{H}_2\text{O}$ . Los océanos se mantienen.
- Las primeras formas de plantas con fotosíntesis (algas procariontas) aumenta cantidad de oxígeno en la atmósfera
  - Atmósfera tiene oxígeno. Formas de vida que necesitan oxígeno puede empezar.

# Escala de tiempo: Hace...

13 mil millones de años:	<b>Big Bang</b>
4.5 mil millones de años:	Se forma <b>Sol y el sistema solar</b>
3.5 mil millones de años:	Primeros indicios de vida, comienzo de <b>fotosíntesis</b>
1.5 mil millones de años:	Aparecen <b>células eucariontes</b> (celulas nucleadas)
600 millones de años:	Aparecen gran <b>diversidad de formas de vida</b>
200 millones de años:	Aparecen los <b>mamíferos</b>
65 millones de años:	Extinción del los <b>dinosaurios</b>
4 millones de años:	Aparece el <b>Homo Australopitecos</b>
100 000 años:	Aparece el <b>Homo Sapiens</b>
10 000 años:	Comienza la <b>cultura humana</b>
100 años:	Comienza la sociedad con alta <b>tecnología</b>

## Conclusiones:

- Vida ha empezado pronto en la tierra
- Ha tardado mucho en desarrollar una forma más compleja
- La Historia humana es muy corta (¿y cuando durará todavía...?)
- Los avances culturales y tecnológicos son muy rápidos

# Características de la vida en la Tierra

- Crecimiento\*
- Reproducción\*
- Especies evolucionan a través de mutación y selección
- Organismos pueden extraer energía del entorno
- Está basado en química con carbono
- Necesita agua

\* Características principales la vida ya notado por Charles Darwin y otros

# ¿Cuáles son las condiciones necesarias para la vida?

Vamos a usar una **selección conservador**, pero **justificado**.

1. **Agua líquido** es importante como
  - Disolvente para los nutrientes y los desperdicios
  - Medio para transportar sustancias químicas,
  - Importante sustancia para reacciones químicas
  - Propiedades particulares del agua:
    - Es líquido en un rango amplio de temperaturas
    - El hielo tiene la densidad más baja que el agua líquido → no se hielan todos los lagos/mares, sino pueden coexistir las tres fases del agua en un amplio rango de temperaturas
  - Agua podría estar en la superficie, o subterráneo, calentado por ej. or volcanismo

Hay otras sustancias (por ejemplo amonio o metano) que podrían servir como disolvente, pero sus propiedades no son tan favorables.

*Ammonia ! Ammonia!*

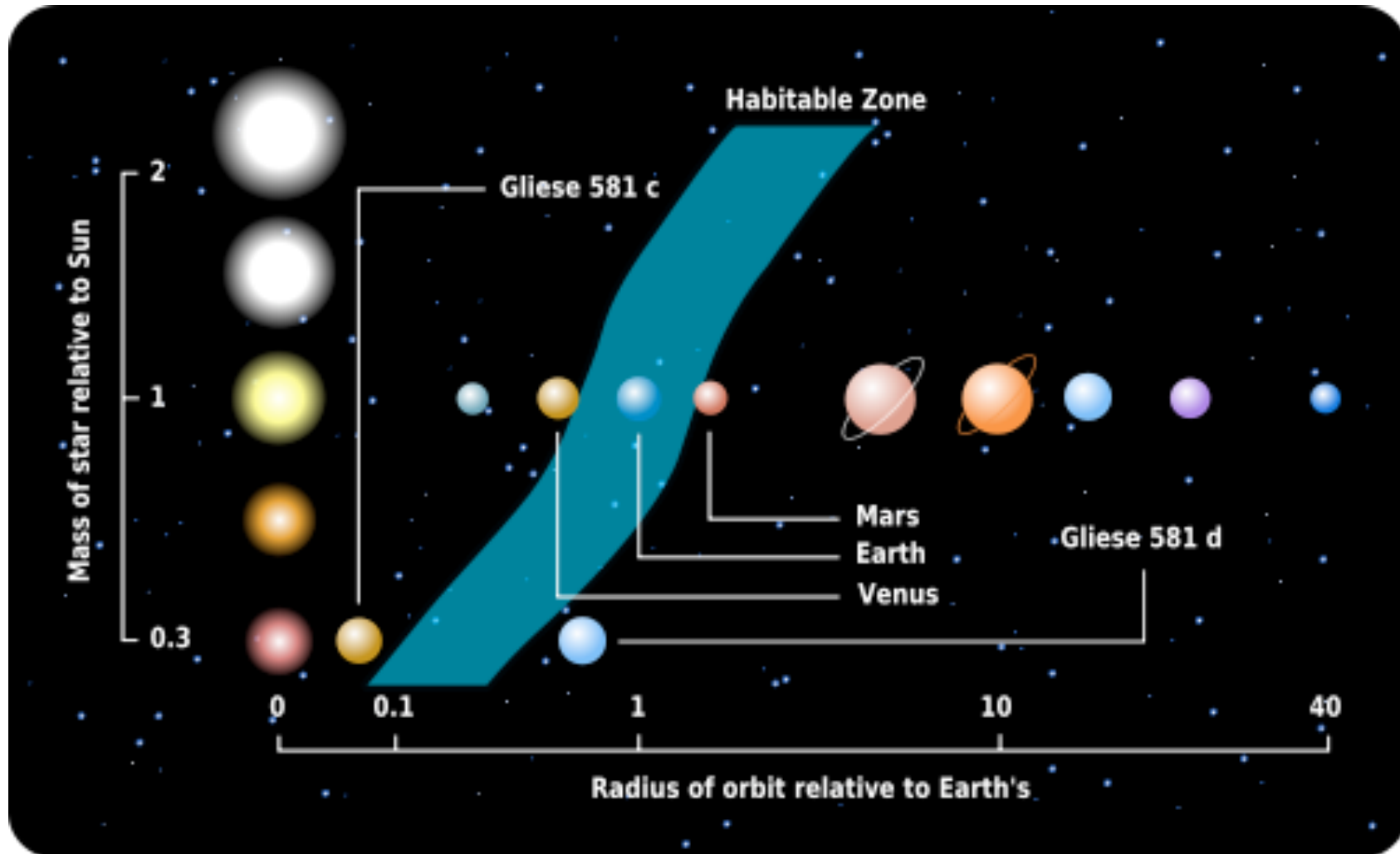


*R. Grossman; New Yorker, 1962*

# ¿Cuales son las condiciones necesarias para la vida?

2. Elementos mas importantes para vida en la tierra: carbono (C), oxigeno (O), hidrogeno (H)
  - Son parecido a los elementos mas abundantes en el universo (H, He, O, C,N), pero no en la superficie de la tierra (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K)
  - Razón para su importancia: capacidad de formar enlaces muy estables
3. Disponibilidad de energía. Ésta podría tener diferentes formas:
  - Radiación solar,
  - Energía hidrotérmica
  - Energía geotérmica: planeta tiene que ser como mínimo tan grande como Marte para retener energía geotérmica durante mucho tiempo (edad del sistema solar, 4500 millones años)
4. Presencia de una atmósfera
  1. Protección de la luz UV, rayos cósmicos
  2. Estabilidad geológica y del clima, falta de impactos de meteoritos.

# Zona habitable alrededor de una estrella



Mínima condición para la vida: Temperatura adecuada



# ¿Vida en Marte?



- Hoy Marte no puede mantener agua líquido:
  - Las temperaturas son demasiado bajo,
  - Agua se evaporaría rápidamente debido a baja presión de la atmósfera
- Temperaturas son muy bajas
- No hay ozono: radiación UV llega a superficie

# ¿Había vida en Marte en el pasado?

- Hay indicios geológicas (erosión) que **existía agua líquido** en la superficie de Marte → parece que Marte antes tenía la capacidad de tener agua
- Probablemente **el clima** hace ~3 mil millones de años **era más caliente**.
  - Una posible explicación es el **efecto invernadero**.
  - Los gases posiblemente se han perdido del planeta y el efecto invernadero se ha parado → enfriamiento de la superficie
- **No se han encontrado indicios claros de rastros de vida** (presente o pasado), pero podría existir o haber existido en sitios aislados.



# Vida en Venus?

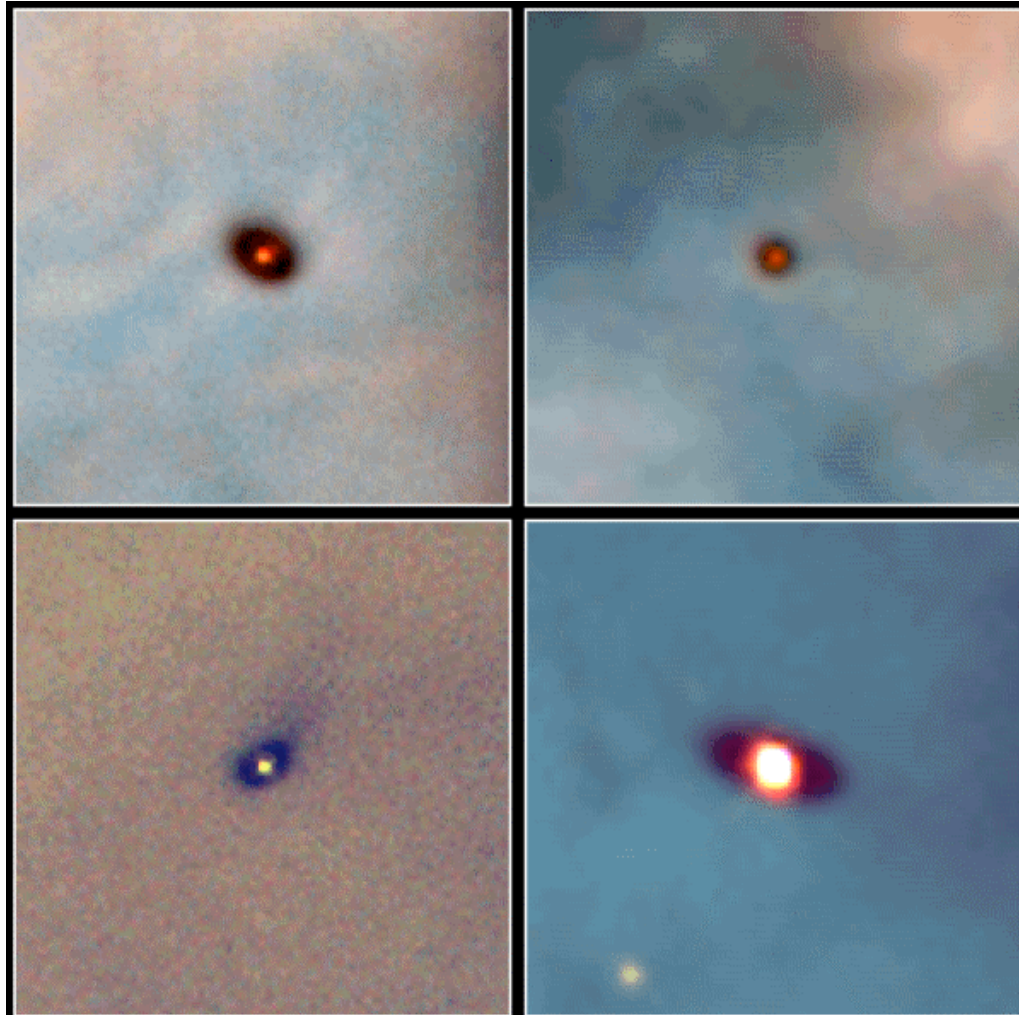
- Actualmente, Venus es demasiado caliente (480°C) para permitir vida.
- Probablemente, hace ~4 mil millones de años Venus existía agua y posiblemente las temperaturas eran 300° más bajas
- Altas temperaturas se produjeron debido a un **efecto invernadero catastrófico**: Altas temperaturas → agua evapora → efecto invernadero se refuerza → más agua evaporó
- Agua evaporado se puede perder del planeta.
- Actualmente, CO<sub>2</sub> en la atmosfera es el principal responsable para el efecto invernadero.



# En busca de planetas extrasolares habitables

- Cuando se forma una estrella necesariamente se forma un disco de acreción
  - Formación de planetas es algo frecuente
- En los últimos 12 años se han encontrados más de 300 exoplanetas
- Habitabilidad de un planeta:
  - Requisito mínimo es que agua líquido puede existir → rango de temperaturas adecuadas
  - Depende de la luminosidad de la estrella, de la distancia del planeta de la estrella, de las propiedades del planeta (capacidad de reflexión, atmósfera, p.e. efecto invernadero)

# Otros sistemas planetarios

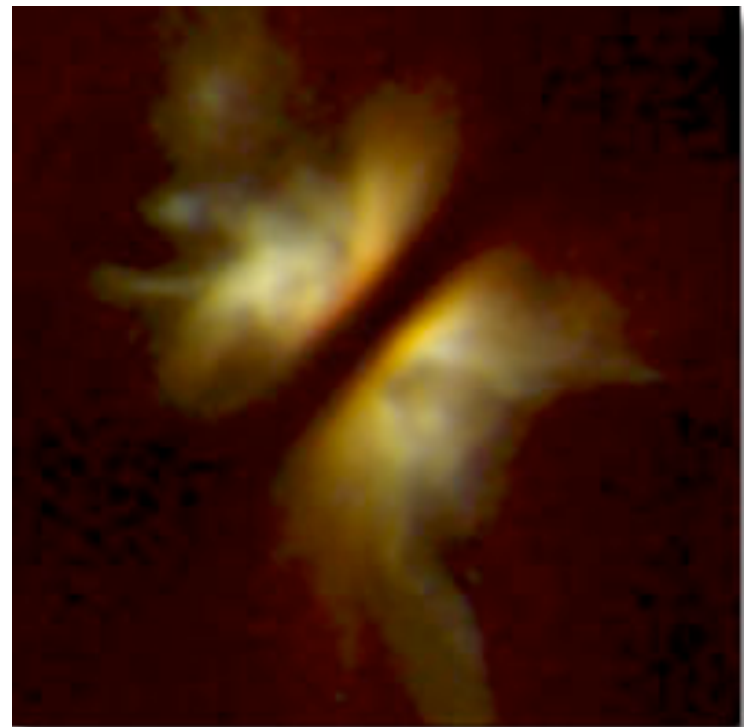


**Protoplanetary Disks  
Orion Nebula**

HST · WFPC2

PRC95-45b · ST ScI OPO · November 20, 1995  
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA

Se han detectado lo que parecen discos protoplanetarios en otras zonas del universo donde actualmente se están formando estrellas



# Métodos principales de detección de “exoplanetas”:

## 1. Efecto gravitatorio del planeta

- a) Astrometría de alta precisión para medir pequeñas oscilaciones de la órbita
- b) Variaciones en la velocidad radial de la estrella

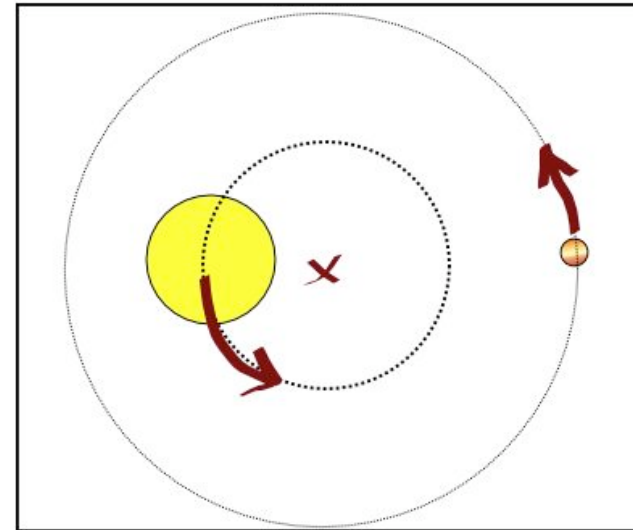
## 2. Cambio de la luminosidad debido a ocultaciones: Método de tránsito.

- El cambio de luminosidad que se resultaría de Jupiter delante del Sol es de 1%, el de la tierra de 0.01 %

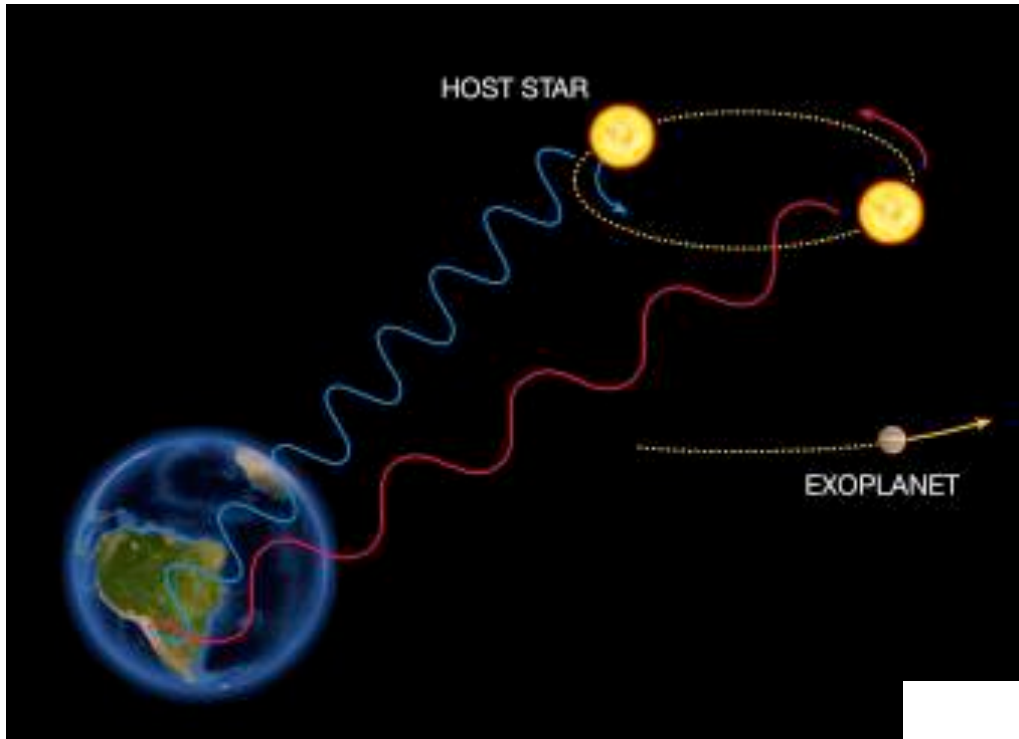
## 3. Detección directa: difícil porque la estrella es mucho más brillante que el planeta.

# 1. Efecto gravitatorio

- La estrella se desplaza debido al efecto gravitatorio del exoplaneta. Este **desplazamiento** se puede detectar con astrometría muy precisa
- **Variación en la frecuencia** de las líneas de emisión en la estrella debido al efecto Doppler



Desde la Tierra se observa desplazamiento

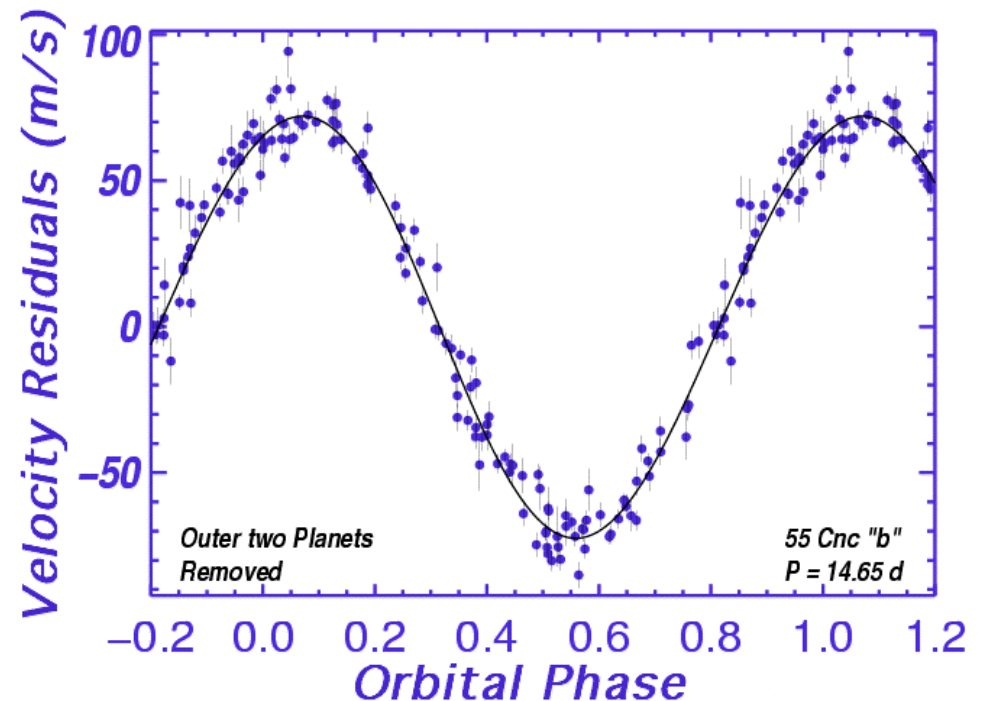


# Método de velocidad radial

Efecto Doppler hace que la luz de la estrella está corrido la azul cuando se acerca y al rojo cuando se aleja.

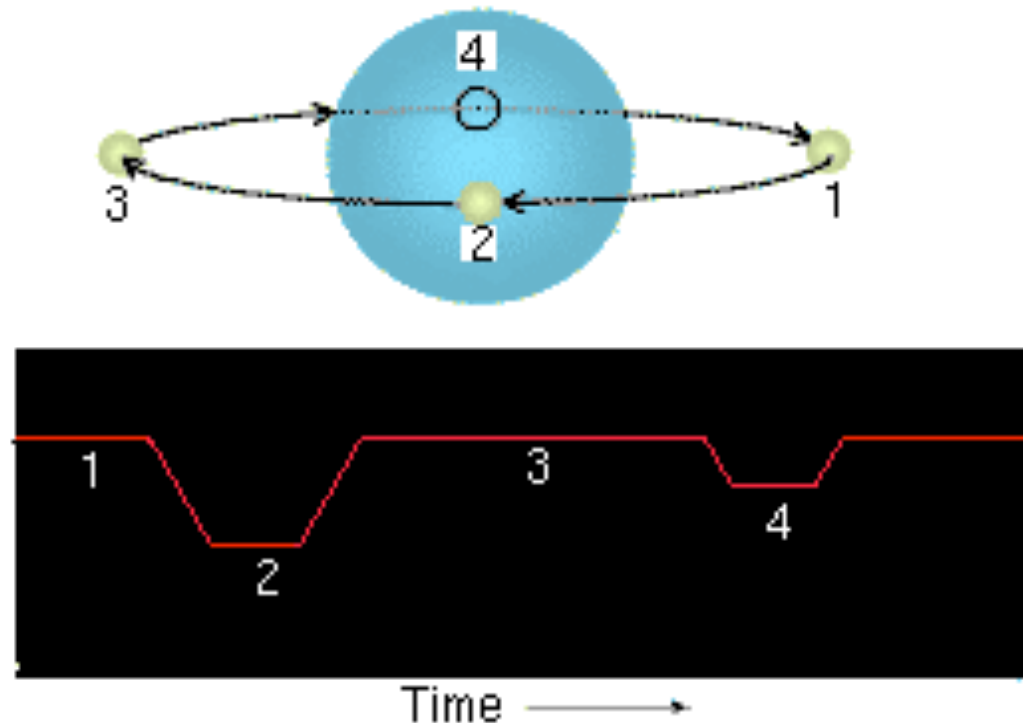
El resultado es un oscilación periódica en la frecuencia de las líneas. →

- Este método favorece la detección de planetas masivos a poca distancia de la estrella (→ efecto más notable)
- Da solamente masa mínima del planeta porque movimiento tangencial no se puede medir.





## 2. Método del tránsito



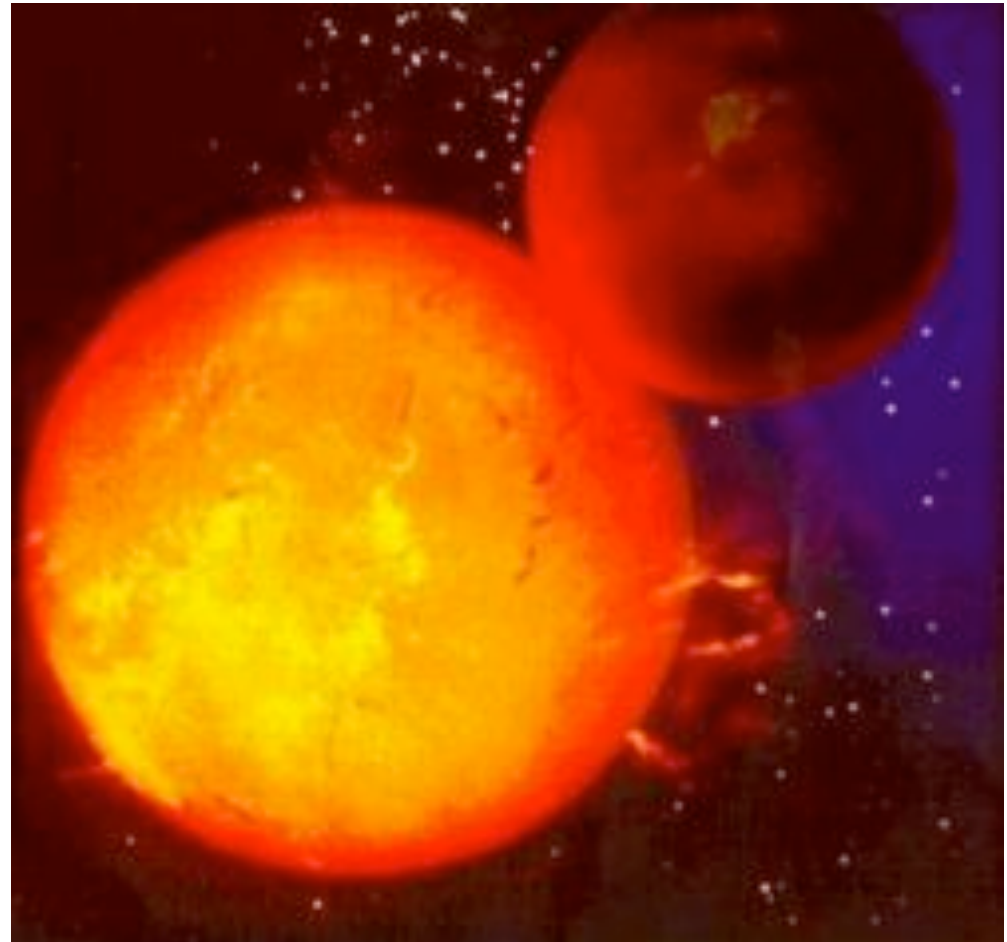
Desventaja: hay solamente una pequeña probabilidad que los tránsitos se produzcan, i.e. que la orientación de la órbita sea adecuada.

Para un planeta a 1UA: probabilidad de 0.5% → si cada estrella tuviera un planeta a esta distancia habría que observar 200 para detectar uno.

→ Este método requiere la observación de muchas estrellas

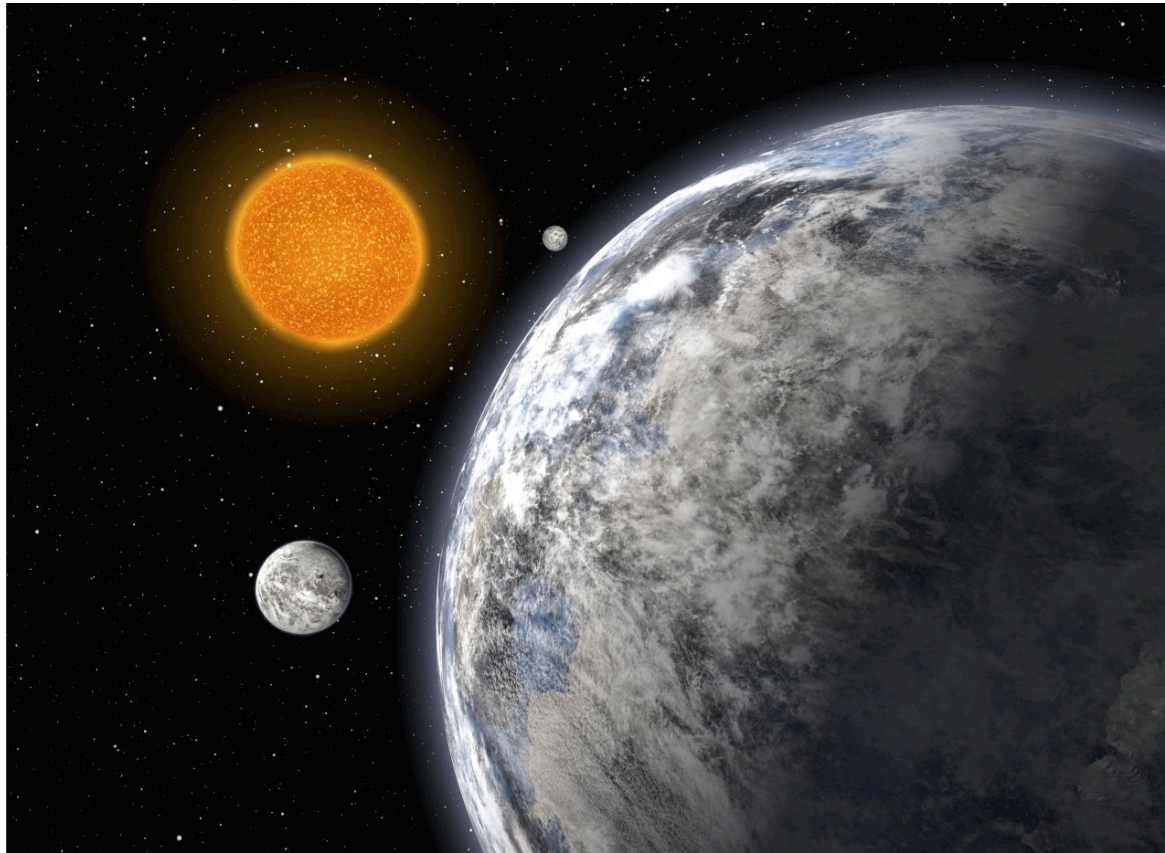
# Primera detección de exoplaneta alrededor de estrella de secuencia mayor en 1995

- Pegasi b, con método de velocidad radial
- Masa: 0.5 x masa de Jupiter
- La Estrella es parecida al sol
- Distancia del planeta a la estrella: 0.052 UA
- Temperatura superficial: > 1000 grados

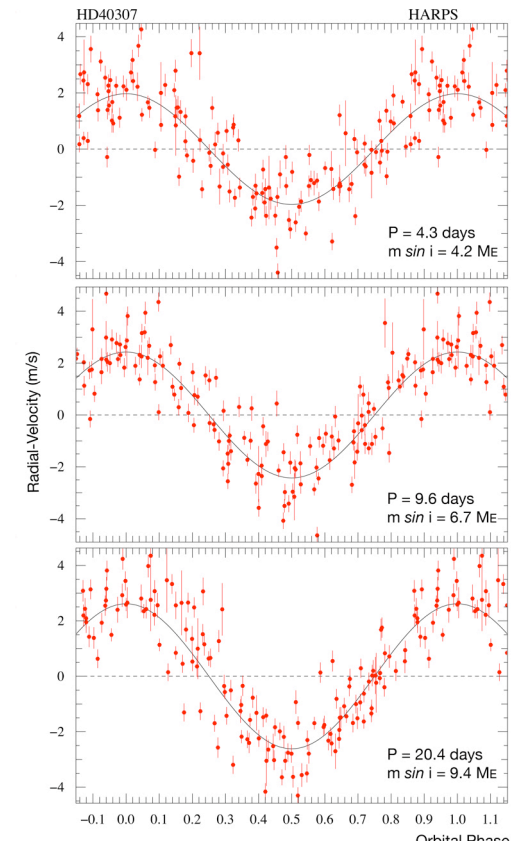


Visión artística del sistema

Con el método de la velocidad se detectan planetas cada vez menos masivas y más alejado de su estrella



A Trio of Super-Earths  
(Artist's Impression)

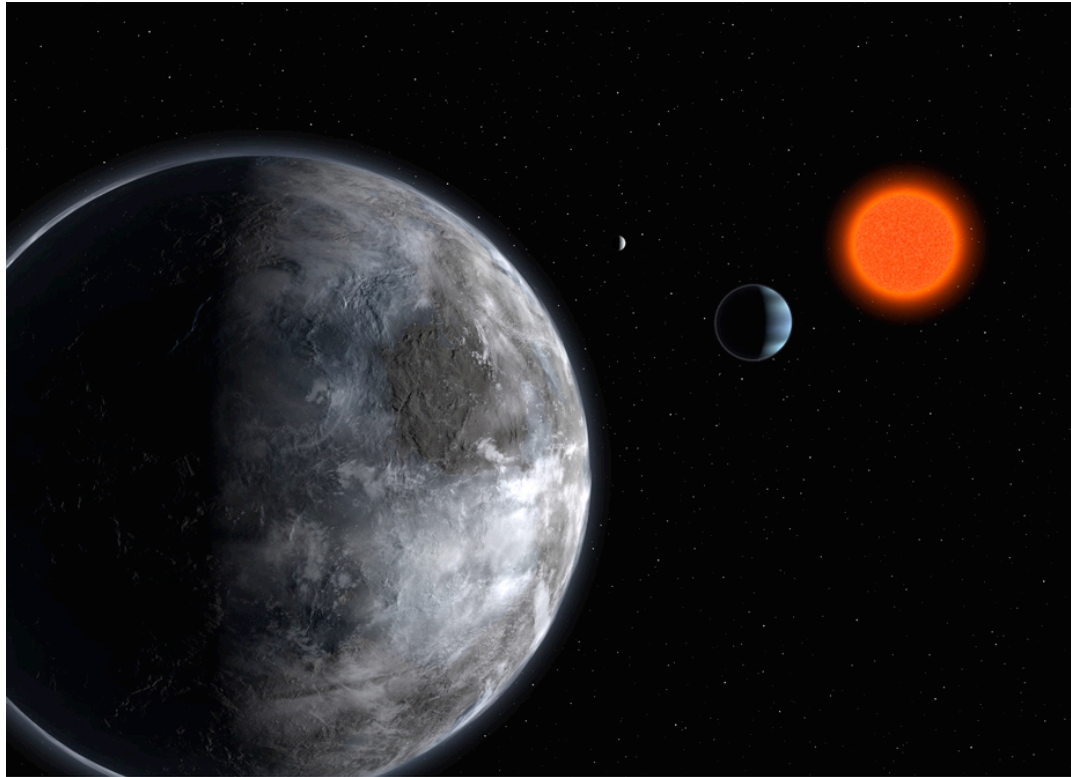


Ejemplo de uno de los últimos detecciones: Tres planeta alrededor de la estrella HD 40307

- Masa: 4.2, 6.7 y 9.4 veces la masa terrestre (“Super-Tierras”)
- Periodos de 4.3, 9.6 y 20.4 días → órbitas muy cercanas a la estrella (<0.15 x unidad astronómica, más pequeño que la órbita de Mercurio)

# Gliese 581c: planeta similar a la tierra ?

- Masa: 5x masa de la Tierra
- Periodo: 13 día
- Distancia a la estrella: 0.07 UA
- Estrella (Gliese 581) enana roja
- Distancia a nosotros: 20 años luz



The Planetary System in Gliese 581  
(Artist's Impression)

ESO Press Photo 22a/07 (25 April 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



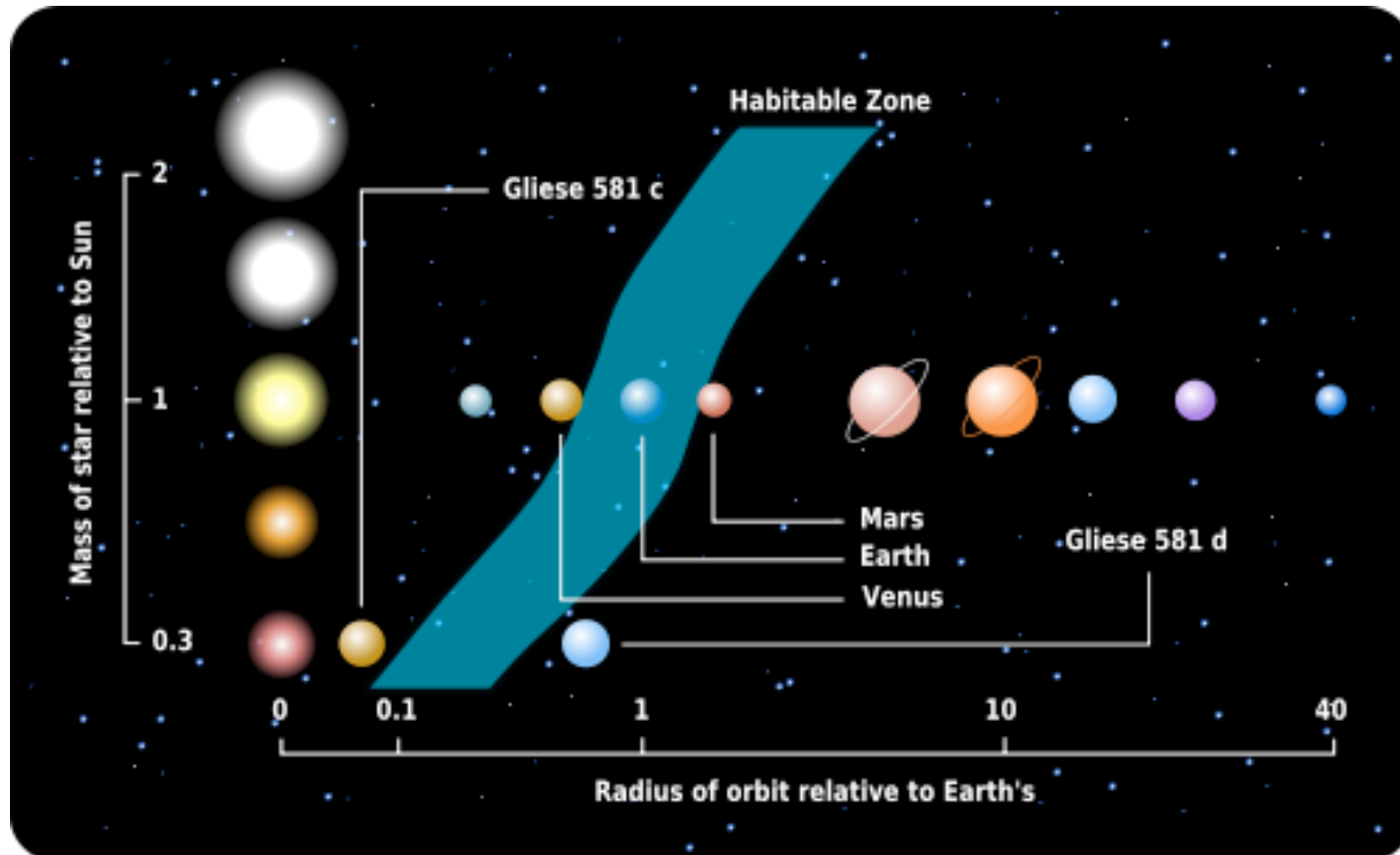
**Temperatura** estimada en Gliese 581c podría ser entre 0-40°C

**Pero**: no se sabe si hay agua, más bien no.

Planeta demuestra siempre la misma cara a la estrella (similar a Mercurio) → una cara es caliente, otra fría

Otra especulación: Gliese 581d con temperatura de equilibrio de -20°C podría tener temperaturas más altas debido a un efecto invernadero

# Posición de Gliese c y d en la zona de habitabilidad



# Observación directa de planetas

- Primer imagen de un planeta extrasolar en 2005 con el Very Large Telescope (Chile)

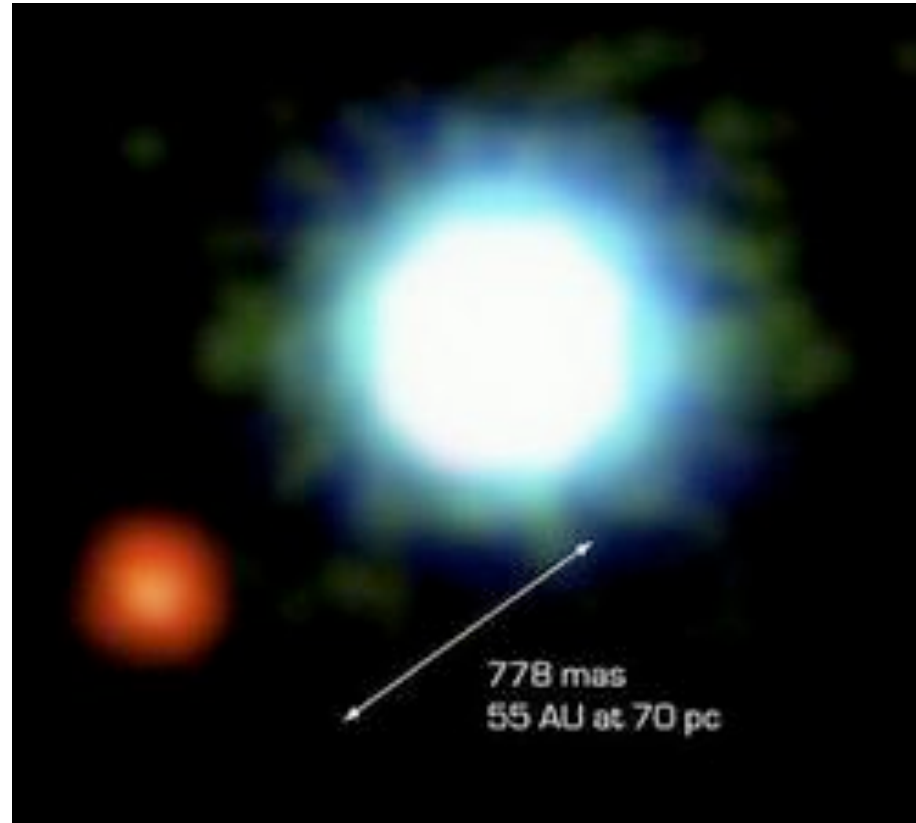


Imagen en infrarrojo del Very Large Telescope (VLT, Chile) de un sistema de una enana marrón (azúl) y un planeta (rojo) de unos 5 veces la masa de Jupiter. Separación entre estrella y planeta: 55 veces la distancia entre Tierra y Sol. Distancias del sistema: unos 200 años luz

# Propiedades generales de los exoplanetas

- Hasta hoy (2009) **más de 300 planetas extrasolares** han sido detectados
- La mayoría de estos exoplanetas tienen **una alta masa y pequeña distancia** a la estrella.
- Eso es un **efecto de selección**, porque planetas masivas y con una pequeña órbita se detectan con más facilidad.
- El hecho que se han detectado ya planetas con masas parecidas a la Tierra indica que podrían ser frecuentes.

## **Resultados:**

- 7% de las estrellas tienen planetas gigantes
- Primeros análisis de resultados recientes de ESO: unos 30% de estrellas parecidos al sol tienen planetas con masas entre la Tierra y la de Neptuno (17x masa de la Tierra) y periodos por debajo de 50 días (con periodos mas largos posiblemente incluso más planetas).

# Misiones futuras para buscar exoplanetas

- Satelitte **Kepler** (NASA, lanzado en Marzo 2009) observará más de 100 000 estrellas a lo largo de 3 años para determinar variaciones en la luminosidad debido al **transito de planetas**.
- Satélite **Gaia** (ESA, lanzamiento previsto en 2011): catalogo de posiciones, espectroscopia y velocidad radial de varios millones de estrella en nuestra galaxia --> detectará exoplanetas
- Satélite **Darwin** (ESA, lanzamiento previsto 2015): observar en detalle planetas extrasolares parecidas a la Tierra y estudiar las condiciones de vida



# ¿Cuántos estrellas hay en el universo?



A simple vista (en buenas condiciones se pueen ver unos 5000 estrellas (todos de nuestra galaxia)

Se ve la banda de la Vía Láctea, el plano de la galaxia en la que vivimos

# Nuestra galaxia, la Vía Láctea



En la Vía Láctea hay unos 100 mil millones de estrellas parecidas al Sol.

Para que un planeta tenga la posibilidad de tener vida, debería ser parecido al sol:

- Estrellas masivas viven muy poco tiempo → Vida no tiene tiempo
- Estrella poco masivas emiten poca luminosidad

→ El planeta debe estar muy cerca para tener una temperatura adecuada

→ Gran Influencia

gravitacional de la estrella

→ Rotación sincronizada

# Tenemos galaxias vecinas

## El Grupo Local



Hay unos 100 mil millones de galaxias en el universo visible



Cúmulo de Coma

Las galaxias se agrupan:  
•Cúmulos de galaxias (unos cientos a miles de miembros-galaxias)  
•Super-cúmulos de galaxias

.....

...pero la luz de la más distante viaja más de 10 mil millones de años hasta llegar hacia nosotros

En la busca de vida extraterrestre mejor nos limitamos a la Vía Láctea

# ¿Qué probable es ponernos en contacto con extraterrestres?

En 1960 Frank Drake propuso la siguiente formula para el **número de civilizaciones, N**, con las que podríamos ponernos en contacto en nuestra galaxias:

$$N = p R^* L$$

- **R\***: tasa de formación de estrellas similares al sol en nuestra galaxia
- **L**: duración promedio de una civilización
- **p**: probabilidad de que una estrella tenga un planeta con vida

Para p, propuso la siguiente descripción:  **$p = f_p n_e f_l f_i f_c$**

- $f_p$ : fracción de estrellas que tienen planetas
- $n_e$ : numero promedio de planetas similares a la tierra por sistema solar
- $f_l$ : promedio de planetas similares a la tierra de haber desarrollado vida
- $f_i$ : promedio de planeta que han desarrollando vida inteligente por lo menos una vez
- $f_c$  : promedio de planetas con vida inteligente que son capaces de la comunicación interestelar

$$N = p R^* L$$

- **R\***: tasa de formación de estrellas similares al sol en nuestra galaxia
  - conocemos bien: unos  $10^*$  por año
- **L**: duración promedio de una civilización
  - **incógnita** : 100 años - 1000 millones de años
- **P**: probabilidad de que una estrella tenga un planeta con vida

$$P = f_p n_e f_l f_i f_c$$

- $f_p$ : fracción de estrellas que tienen planetas
  - Observaciones: 7% para planetas masivas
  - Para planetas de masa más bajas posiblemente más alto
  - Estimación: entre 10 y 100%
- $n_e$ : numero promedio de planetas similares a la tierra por sistema solar
  - Pronto lo sabremos mejor (todavía no debido a limitaciones observacionales)
  - Hasta ahora: 2 planetas similares a la Tierra en 300 exoplanetas  $\rightarrow \approx 1\%$  (seguramente demasiado bajo)
  - Estimación optimista (pero no irrealista): 100%
- $f_l$ : promedio de planetas similares a la tierra de haber desarrollado vida
  - No se sabe, posiblemente 100%
- $F_i$ : promedio de planeta que han desarrollado vida inteligente por lo menos una vez
  - No se sabe, posiblemente 100%
- $f_c$  : promedio de planetas con vida inteligente que son capaces de la comunicación interestelar
  - No se sabe, posiblemente 100%

$$N = p R^* L$$

- **R\***: tasa de formación de estrellas similares al sol en nuestra galaxia
  - conocemos bien: unos 10\* por año
- **L**: duración promedio de una civilización
  - incógnita : 100 años - 1000 millones de años
- **P**: probabilidad de que una estrella tenga un planeta con vida

$$P = f_p n_e f_l f_i f_c$$

- $f_p$ : fracción de estrellas que tienen planetas
  - Observaciones: 7% para planetas masivas
  - Para planetas de masa más bajas posiblemente más alto
  -
- $n_e$ :
  - → Nuestra estimación optimista:  $P = 0.01 - 1$  (nales)
  - 
  - (seguramente demasiado bajo)
  - Estimación optimista (pero no irrealista): 100%
- $f_l$ : promedio de planetas similares a la tierra de haber desarrollado vida
  - No se sabe, posiblemente 100%
- $f_i$ : promedio de planeta que han desarrollado vida inteligente por lo menos una vez
  - No se sabe, posiblemente 100%
- $f_c$  : promedio de planetas con vida inteligente que son capaces de la comunicación interestelar
  - No se sabe, posiblemente 100%

# El estimado número de civilizaciones extraterrestres y su distancia

Usamos:  $N = L p R^*$ ,  
con  $P = 0.1$  y  $R^* = 10$  por año

L (duración de la civilización) es la mayor incógnita

La distancia se estima suponiendo una distribución aleatoria siguiendo la distribución real de las estrellas en la Vía Láctea

L [años]	N	Distancia[años luz]
100	100	10000
1000	1000	5000
$10^4$	$10^4$	2000
$10^5$	$10^5$	1000
$10^9$	$10^9$	35

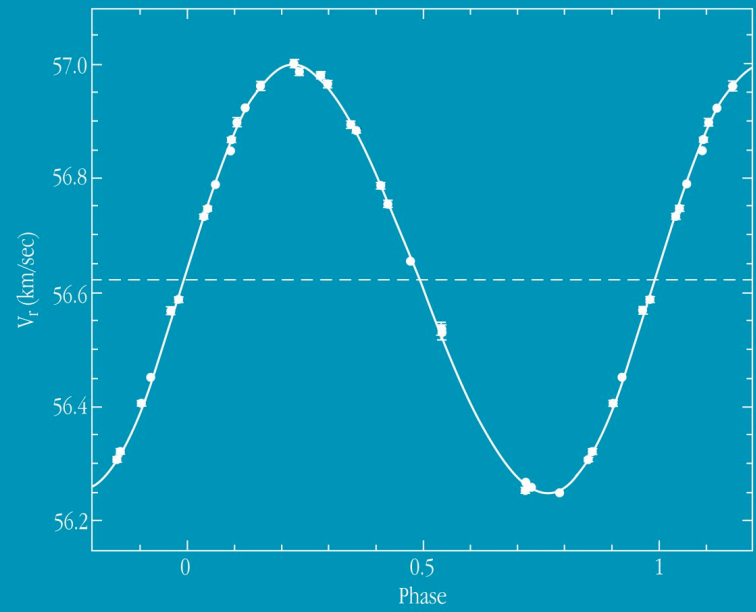
Con  $L = 100 - 1000$  años: contacto vía radioemisión no es posible, por que luz viaja más tiempo de lo que dura la civilización.



# Proyectos a buscar vida extraterrestre:

- Banda de espectro electromagnético mejor adaptado: **radio**. No sufre extinción interestelar
- **Proyecto Seti (Search for Extraterrestrial Intelligence)**: Conjunto de experimentos en busca de inteligencia extraterrestres
- Primer experimento en 1960 por Frank Drake, observaba dos estrellas en radio para encontrar señal → nada
- 1971: Estudio de posibles estrategias pagado por NASA. Propuesta: gran conjunto de radiotelescopios → no se hizo
- 1974: Del radiotelescopio de Arecibo se mandó un mensaje a M13 (distancia 25 000 años luz)
- Desde 1980: Varias campañas de observación de todo el cielo
- 1992: Inicio de un programa EEUU a largo plazo (MOP, microwave observing program) para observar 800 estrellas con radiotelescopios. Después de un año el congreso lo paró
- 1995: Fundación de la ONG **“SETI Institute”** en California, con ayuda de voluntarios
  - Transformación de antenas radio privadas (3-5m, de televisión) para observar el cielo
  - 1999: SETI@home --> análisis de datos del programa en ordenadores privadas

Fin

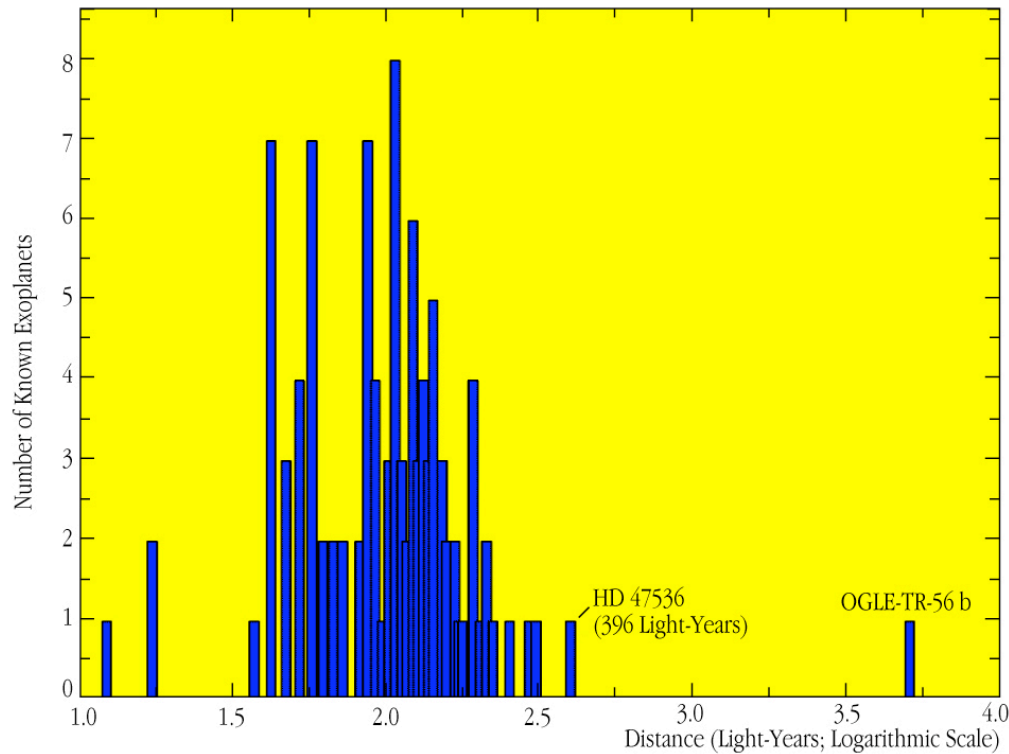


Radial Velocity Curve of Gliese 86



# Estadística sobre planeta detectado

Hasta hoy (2006) unos 180 planetas externas han sido observados



Distribution of Exoplanet Distances

# Star formation

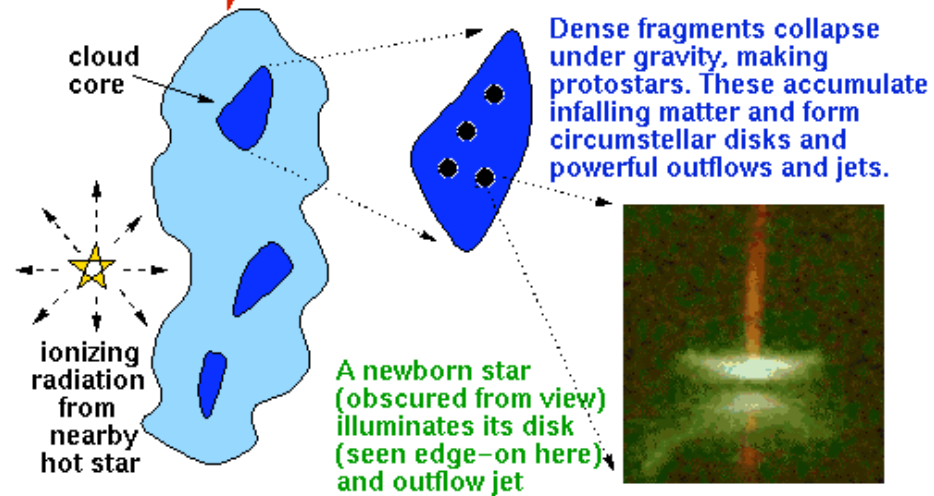


Molecular clouds are cold, dark, giant condensations of dust and molecular gas which serve as "stellar nurseries".

All stars are born in molecular clouds, including our Sun. Molecular clouds are the "stuff" we're made of!

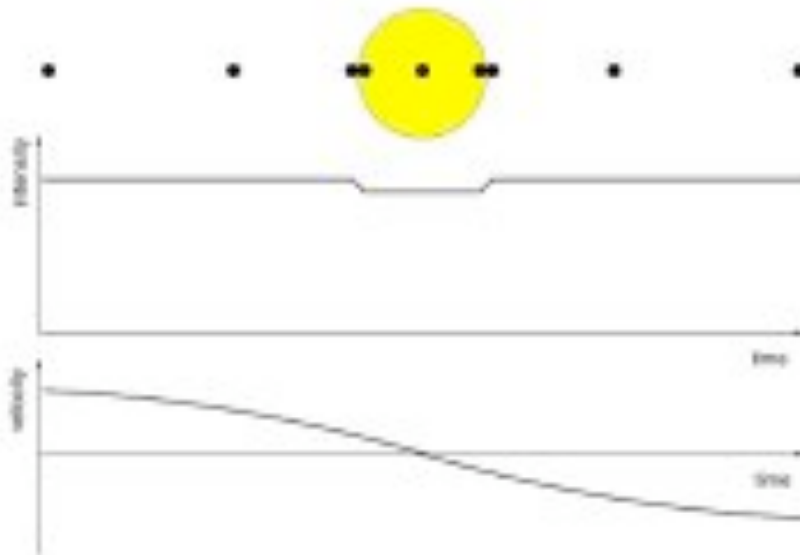
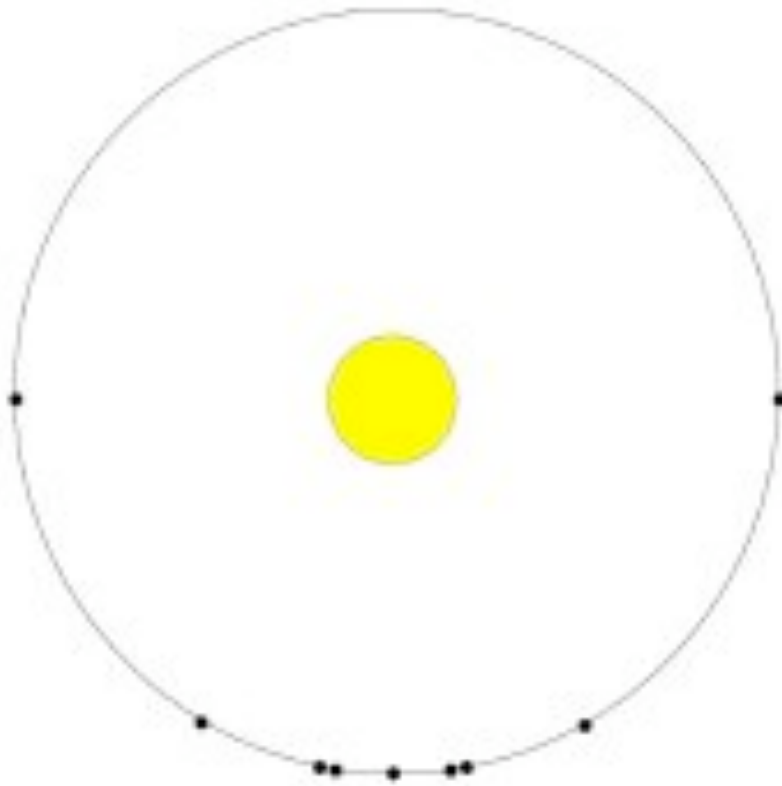
Because of their dusty content, visible light cannot penetrate into a molecular cloud. Thus, infrared and submillimeter observations are needed to "see" the star-forming process.

molecular cloud





Efecto  
avitatorio:







# Numero de civilizaciones $N = L p R^*$

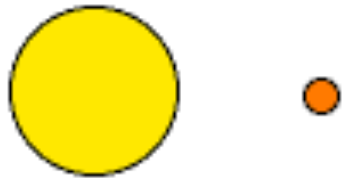
## Distancia a la proxima civilización

P	0.1	0.01	0.001
L			
100 años	100 10 000	10 20000	1
105 años	105 1000	104 2000	103 5000
109 años	109 35	108 70	107 150

Con  $L = 100$  años --> contacto via radioemisión no es posible  
 Con 1000 años tampoco, hacen falta por lo menos  $L = 10000$  años.

# 1. Efecto gravitatorio

a) Desplazamiento de la estrella debido al efecto del planeta --> hace falta “astrometría” muy precisa



Lo que está pasando



b) Variaciones en la frecuencia de las líneas de emisión en la estrella debido al efecto Doppler