

Planetas y exoplanetas

Rosa M. Ros, Hans Deeg, Ricardo Moreno

International Astronomical Union

Universidad Politécnica de Cataluña, España

Instituto de Astrofísica de Canarias, España

Colegio Retamar de Madrid, España



Objetivos

- Comprender el significado de los valores numéricos que resumen las tablas de datos de los planetas del Sistema Solar.
- Entender las principales características de los sistemas planetarios extra solares.



Sistema Solar

Buscamos otro tipo de modelos que den información, no sólo sean trabajos manuales



Según el aspecto

Queremos modelos con
más contenido y que
permitan mostrar algunos
aspectos concretos



Actividad 1: Distancias al Sol

Mercurio	57 900 000 km		6 cm	0.4 AU
Venus	108 300 000 km		11 cm	0.7 AU
Tierra	149 700 000 km		15 cm	1.0 AU
Marte	228 100 000 km		23 cm	1.5 AU
Júpiter	778 700 000 km		78 cm	5.2 AU
Saturno	1 430 100 000 km		143 cm	9.6 AU
Urano	2 876 500 000 km		288 cm	19.2 AU
Neptuno	4 506 600 000 km		450 cm	30.1 AU



Actividad 2: Diámetros

Sol	1 392 000 km		139.0 cm
Mercurio	4 878 km		0.5 cm
Venus	12 180 km		1.2 cm
Tierra	12 756 km		1.3 cm
Marte	6 760 km		0.7 cm
Júpiter	142 800 km		14.3 cm
Saturno	120 000 km		12.0 cm
Urano	50 000 km		5.0 cm
Neptuno	45 000 km		4.5 cm

Actividad 2: Diámetros



Camiseta con los diámetros
de los planetas a escala



Actividad 3: Diámetros y distancias al Sol

Sol	1 392 000 km			25.0 cm	
Mercurio	4 878 km	57 900 000 km		0.1cm	10 m
Venus	12 180 km	108 300 000 km		0.2 cm	19 m
Tierra	12 756 km	149 700 000 km		0.2 cm	27 m
Marte	6 760 km	228 100 000 km		0.1 cm	41 m
Júpiter	142 800 km	778 700 000 km		2.5 cm	140 m
Saturno	120 000 km	1 430 100 000 km		2.0 cm	250 m
Urano	50 000 km	2 876 500 000 km		1.0 cm	500 m
Neptuno	45 000 km	4 506 600 000 km		1.0 cm	800 m

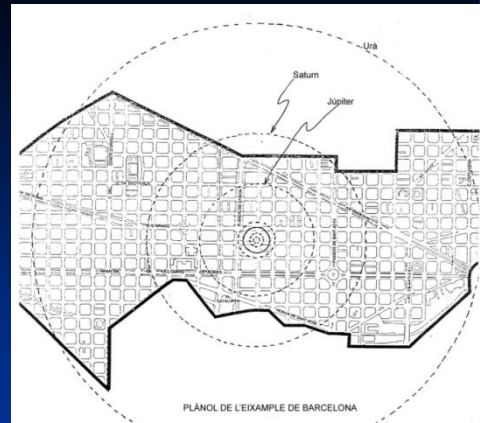
Normalmente no hay patio de escuela
que llegue mas allá de Marte



Actividad 3: Maqueta de diámetros y distancias en el patio ...



Actividad 4: Maqueta en la ciudad (*Barcelona*)



Sol	“lavavajillas”	<i>Puerta Instituto</i>
Mercurio	bolita caviar	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venus	guisante	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Tierra	guisante	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Marte	grano de pimienta	<i>Paseo de Gracia</i>
Júpiter	naranja	<i>Calle Balmes</i>
Saturno	mandarina	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Urano	nuez	<i>Calle Entenza</i>
Neptuno	nuez	<i>Estación de Sans</i>

Modelo en la ciudad de Metz (Francia)



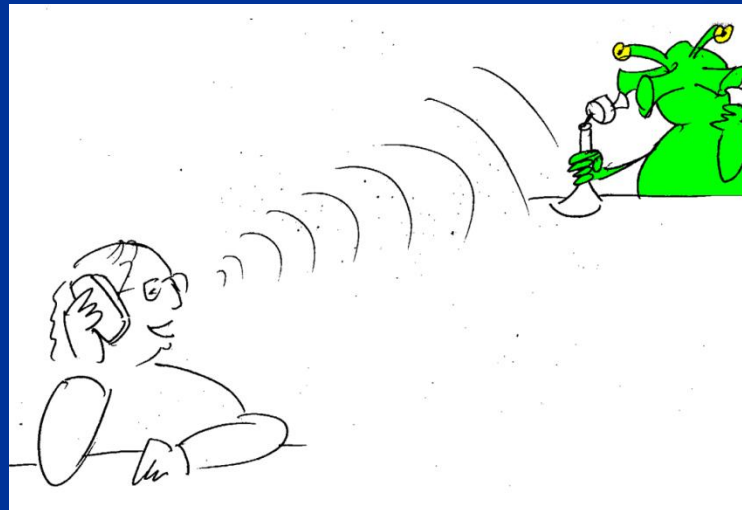
Actividad 5: Maqueta de tiempos

- $c = 300\,000 \text{ km/s}$

El tiempo que tarda la luz de la Luna a la Tierra es:

$$t = \text{distancia TL} / c = 384\,000 \text{ km} / 300\,000 = 1.3 \text{ seg.}$$

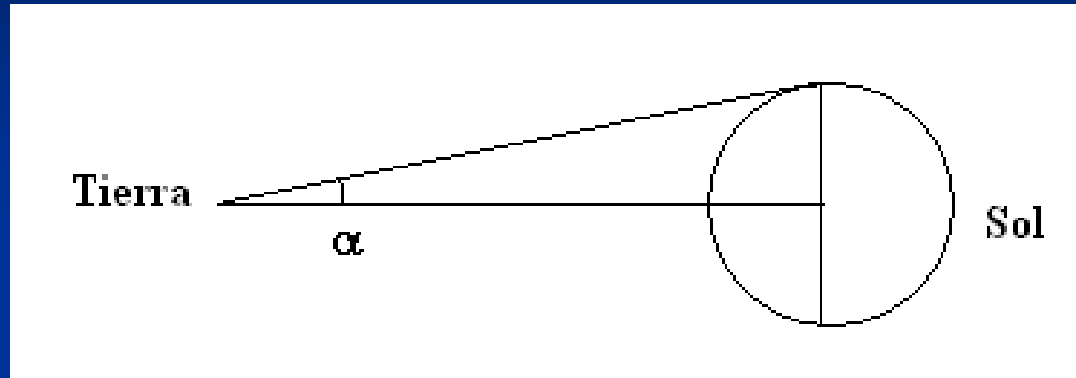
¿Cómo sería la conversación entre planetas por “videoconferencia”?



La luz del Sol tarda en llegar a...

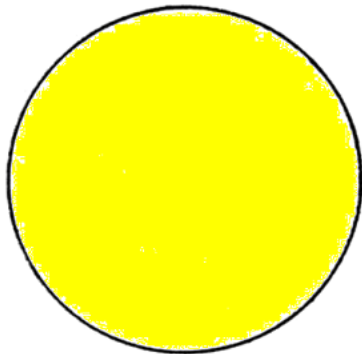
Mercurio	57 900 000 km		3.3 minutos
Venus	108 300 000 km		6.0 minutos
Tierra	149 700 000 km		8.3 minutos
Marte	228 100 000 km		12.7 minutos
Júpiter	778 700 000 km		43.2 minutos
Saturno	1 430 100 000 km		1.32 horas
Urano	2 876 500 000 km		2.66 horas
Neptuno	4 506 600 000 km		4.16 horas

Actividad 6: El Sol visto desde los planetas

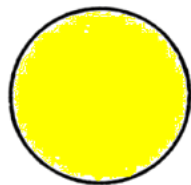


- $\alpha = \tan \alpha = \text{radio Sol} / \text{distancia al Sol} =$
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ radianes} = 0.255^\circ$
- Desde la Tierra el Sol mide $2\alpha = 0.51^\circ$

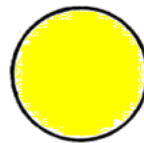
Actividad 6: El Sol visto desde los planetas



desde Mercurio



desde Venus



desde la Tierra



desde Marte



desde Júpiter



desde Saturno

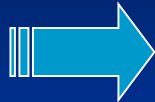


desde Urano



desde Neptuno

Actividad 7: Modelo de densidades

Sol	1.41 g/cm³		Azufre (1.1-2.2)
Mercurio	5.41 g/cm³		Pirita (5.2)
Venus	5.25 g/cm³		Pirita (5.2)
Tierra	5.52 g/cm³		Pirita (5.2)
Marte	3.90 g/cm³		Blenda (4.0)
Júpiter	1.33 g/cm³		Azufre (1.1-2.2)
Saturno	0.71 g/cm³		Madera pino (0.55)
Urano	1.30 g/cm³		Azufre (1.1-2.2)
Neptuno	1.70 g/cm³		Arcilla (1.8-2.5)



Actividad 8: Modelo de achatamiento

- Cortar tiras de cartulina de 35x1 cm.
- Sujetarlas a un palo cilíndrico de 50 cm de largo y 1 cm de diámetro, fijando la parte superior y dejando la parte inferior libre para que pueda desplazarse a lo largo del palo.
- Se hace girar el palo al frotar entre las manos con un rápido movimiento de rotación en un sentido y otro. La fuerza centrífuga deforma las bandas de cartulina al igual que deforma los planetas.



Actividad 8: Achatamiento

Planetas	$(\text{radio ecuatorial} - \text{radio polar}) / \text{radio ecuatorial}$
Mercurio	0.0
Venus	0.0
Tierra	0.0034
Marte	0.005
Júpiter	0.064
Saturno	0.108
Urano	0.03
Neptuno	0.03



Actividad 9: Modelo de periodos orbitales

- sujetamos una cuerda por el extremo opuesto al que hemos fijado una tuerca y lo hacemos girar como una onda por encima de nuestra cabeza
- al ir soltando cuerda veremos que necesita mas tiempo para dar una vuelta
- si retiramos cuerda necesita menos tiempo para dar la vuelta



Datos de la órbita terrestre

Velocidad orbital media $v=2\pi R/T$

Para la Tierra

$$v=2\pi 150 \cdot 10^6 / 365$$

$$v= 2,582,100 \text{ km/día} = 107,590 \text{ km/h} = 29.9 \text{ km/s}$$

(La velocidad orbital media del Sol en torno al centro galáctico es 220 km/s ó 800000 km/h.)



Datos orbitales

Planeta	Período orbital (días)	Distancia desde el Sol (km)	Velocidad orbital media (km/s)	Velocidad orbital media (km/h)
Mercurio	87.97	57.9 10^6	47.90	172440
Venus	224.70	108.3 10^6	35.02	126072
Tierra	365.26	149.7 10^6	29.78	107208
Marte	686.97	228.1 10^6	24.08	86688
Jupiter	4331.57	778.7 10^6	13.07	47052
Saturno	10759.22	1 430.1 10^6	9.69	34884
Urano	30.799.10	2 876.5 10^6	6.81	24876
Neptuno	60190.00	4 506.6 10^6	5.43	19558



Actividad 10: Modelo de gravedades superficiales

- gravedad superficial, $F = G M m / d^2$ con $m=1$ $d=R$
entonces $g = GM / R^2$ donde la masa $M = 4 \pi R \rho^3 / 3$
- Sustituyendo $g = 4 \pi G R \rho / 3$



Actividad 10: Gravedad superficial

la masa es la misma en cada planeta, solo el peso (fuerza de atracción) es diferente

Planeta	R. Ecut.	Densidad		Grav. Calc.	Grav. sup.Real	
Mercurio	2439 km	5.4 g/cm ³		0.378	3.70 m/s ²	0.37
Venus	6052 km	5.3 g/cm ³		0.894	8.87 m/s ²	0.86
Tierra	6378 km	5.5 g/cm ³		1.000	9.80 m/s ²	1.00
Marte	3397 km	3.9 g/cm ³		0.379	3.71 m/s ²	0.38
Júpiter	71492 km	1.3 g/cm ³		2.540	23.12 m/s ²	2.36
Saturno	60268 km	0.7 g/cm ³		1.070	8.96 m/s ²	0.91
Urano	25559 km	1.2 g/cm ³		0.800	8.69 m/s ²	0.88
Neptuno	25269 km	1.7 g/cm ³		1.200	11.00 m/s ²	1.12
Luna					1.62 m/s ²	0.16

Actividad 11: Modelo de “cráteres de impacto”

- Recubrir el suelo con periódicos para no ensuciar y recoger la harina.
- Poner una capa lisa de 1 ó 2 cm de harina con un colador.
- Poner una capa de unos pocos milímetros de cacao en polvo sobre la harina con un colador.
- Desde unos 2 m de altura dejamos caer una cucharada sopera de cacao en polvo que dejara marcas. similares a los cráteres de impacto.
- Terminado el modelo se puede reciclar la harina para repetirlo.



Actividad 12: Velocidad de escape

- $E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2$
- $E_{\text{pot}} = -GM_{\text{Planeta}} m / R_{\text{Planeta}}$
- $E_{\text{Mec}} = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = 0$
- $g_{\text{planeta}} = GM_{\text{planeta}} / R_{\text{planeta}}^2$

Entonces: $-GM_{\text{planeta}} m / R_{\text{Planeta}} + \frac{1}{2} mv^2 = 0$

$$\frac{1}{2} mv^2 = g_{\text{planeta}} m R_{\text{planeta}}$$

la velocidad de velocity resulta:

$$v = (2gR)^{1/2}$$

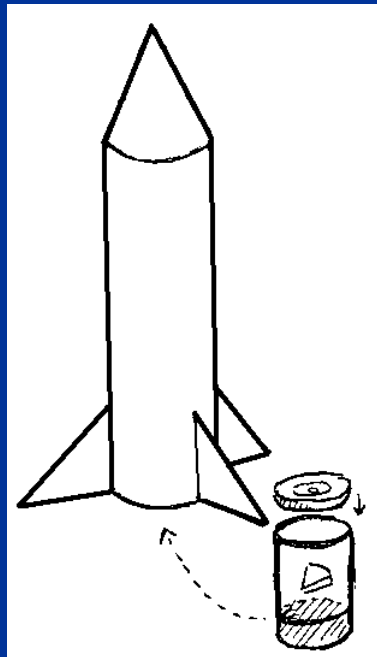


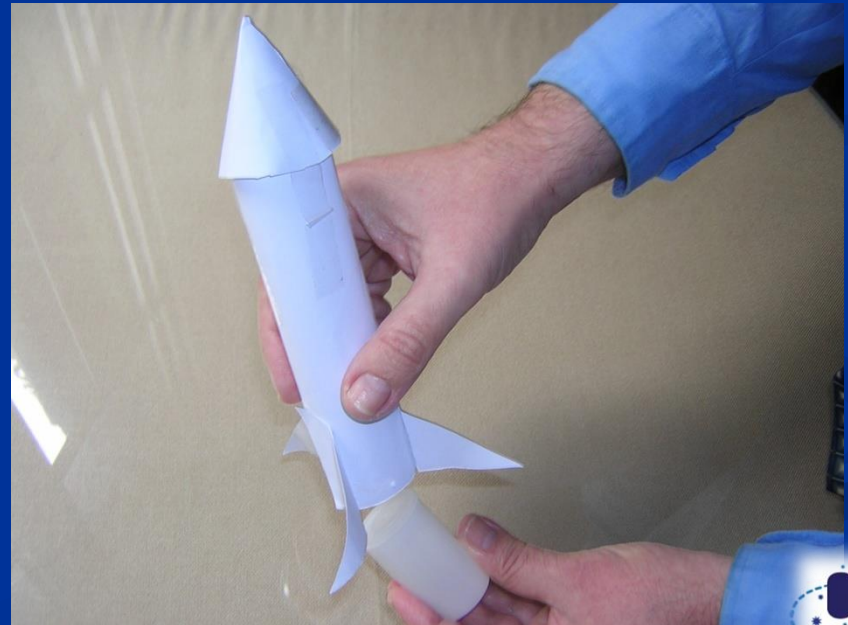
Actividad 12: Velocidades de escape

Planeta	Radio Ecuatorial	Gravedad superficial		Velocidad de escape
Mercurio	2 439 km	0.378		4.3 km/s
Venus	6 052 km	0.894		10.3 km/s
Tierra	6 378 km	1.000		11.2 km/s
Marte	3 397 km	0.379		5.0 km/s
Júpiter	71 492 km	2.540		59.5 km/s
Saturno	60 268 km	1.070		35.6 km/s
Urano	25 559 km	0.800		21.2 km/s
Neptuno	25 269 km	1.200		23.6 km/s

Lanzamiento de cohetes

- Cartulina
- Cápsula de película
- $\frac{1}{4}$ aspirina efervescente





Sistemas planetarios extrasolares



1995 Michael Mayor y Didier Queloz anunciaron la detección de un exoplaneta orbitando 51 Pegasi.



2M1207b directly imaged (ESO)

1a foto
16 marzo 2003



Dependemos de la tecnología



Galileo en 1610, observa por primera vez Saturno, con su telescopio no ve un fino anillo sino que lo interpreta como un astro con tres cuerpos. Hay que esperar a Huygens (1659) con un telescopio mejor y puede resolver el anillo. Por ese motivo la pintura de Rubens (1636-1638) simboliza Saturno con tres objetos según el descubrimiento de Galileo.

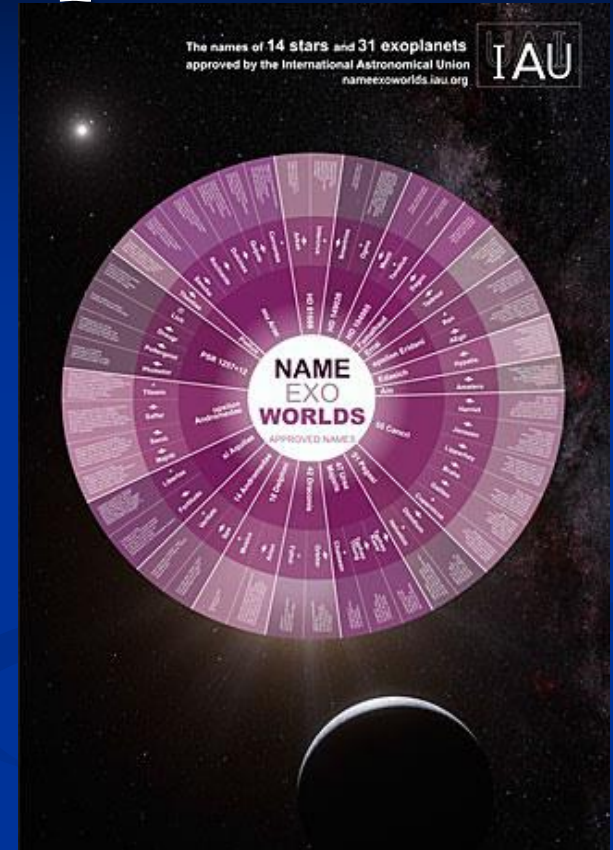


Nombres para exoplanetas

Se pone una letra después del nombre de la estrella central empezando por “b” para el primer planeta encontrado en el sistema (*p.e. 51 Pegasi b*).

El siguiente planeta se nombra con la siguiente letra del alfabeto c, d, e, f, etc.

(*51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e ó 51 Pegasi f*).



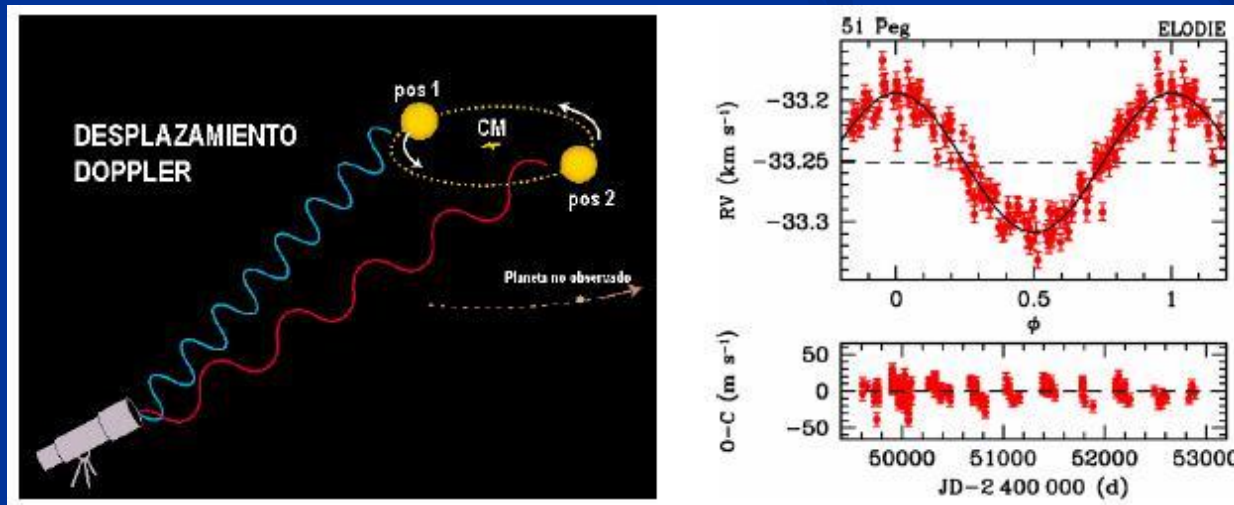
Métodos de detección de exoplanetas

Se utilizan muchos métodos, p.e.:

- Velocidad Radial o efecto Doppler
- Método de Tránsitos
- Microlensing
- Otros

Método de detección: Velocidad radial

Se mide la variación de la velocidad radial de la estrella causada por el efecto Doppler al orbitar alrededor del baricentro del sistema planeta+estrella. Fue con este método que se logró detectar el primer exoplaneta 51 Pegaso b.

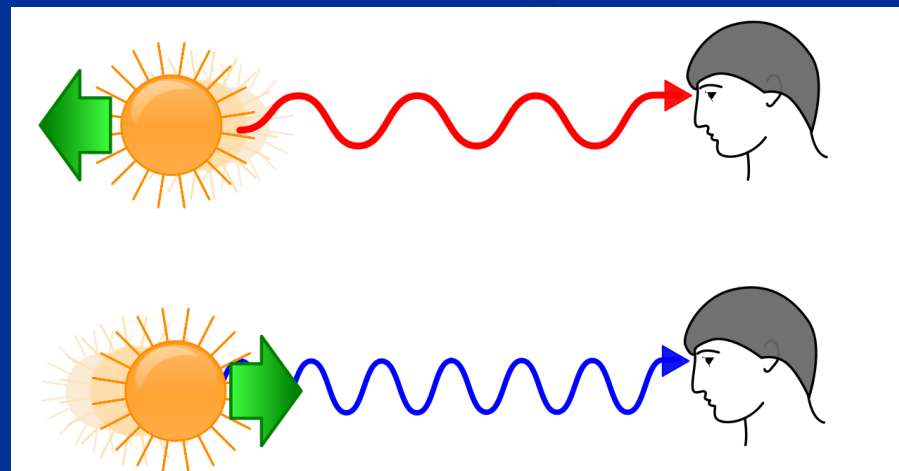


Actividad 13: Efecto Doppler

El efecto Doppler hace variar la longitud de onda de una fuente de luz si se mueve.

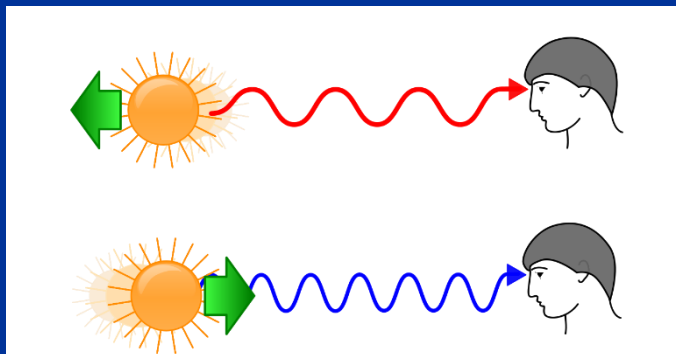
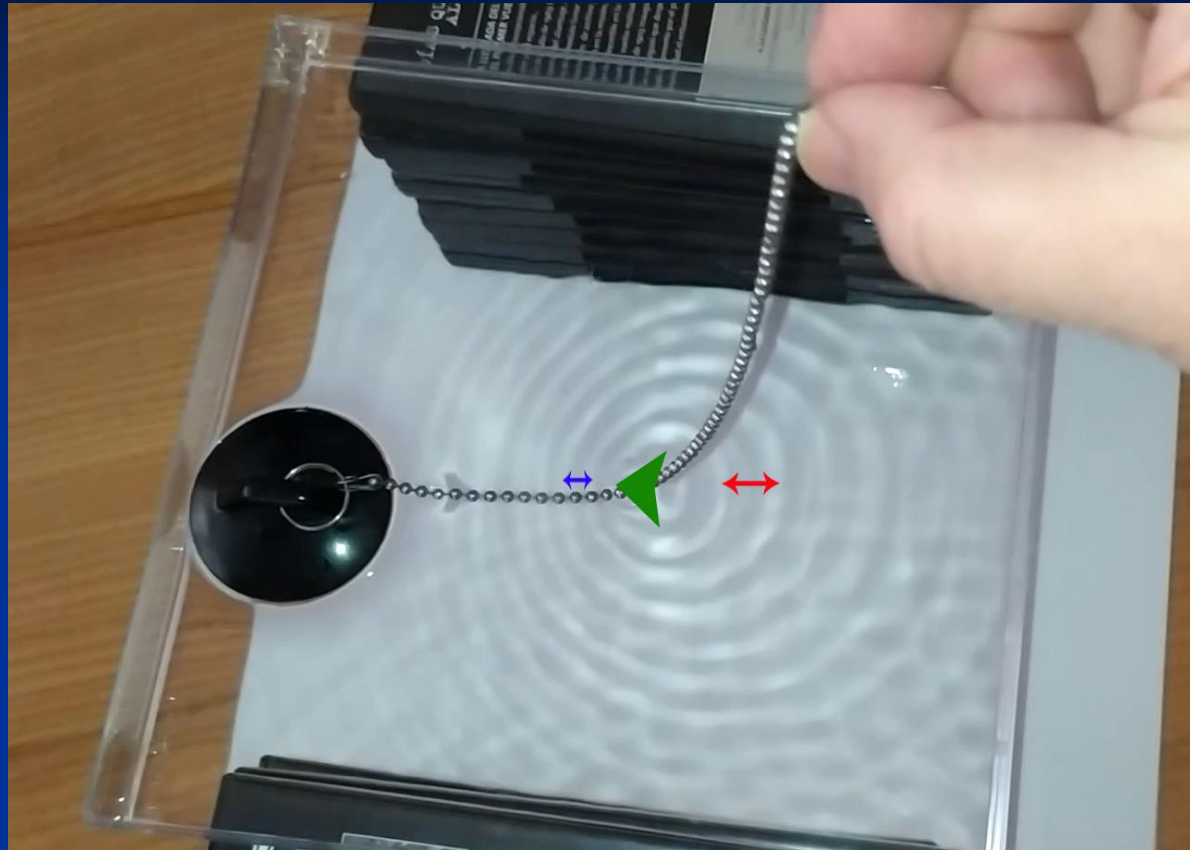
Cuando se acerca al espectador, la longitud de onda se acorta y la luz se desplaza hacia la parte azul del espectro visible.

Cuando se aleja, la longitud de onda se alarga y la luz se desplaza hacia la parte roja del espectro visible.



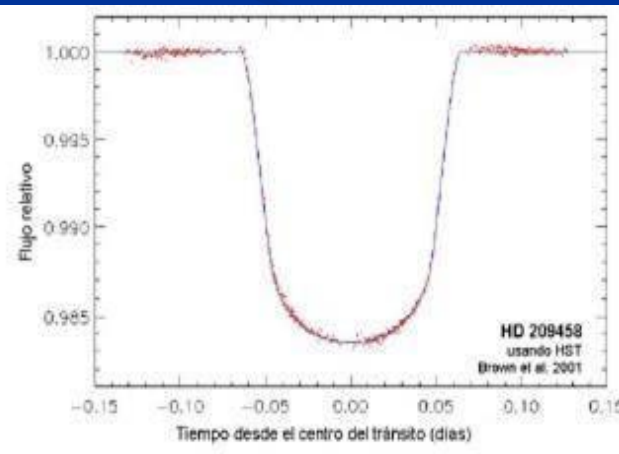
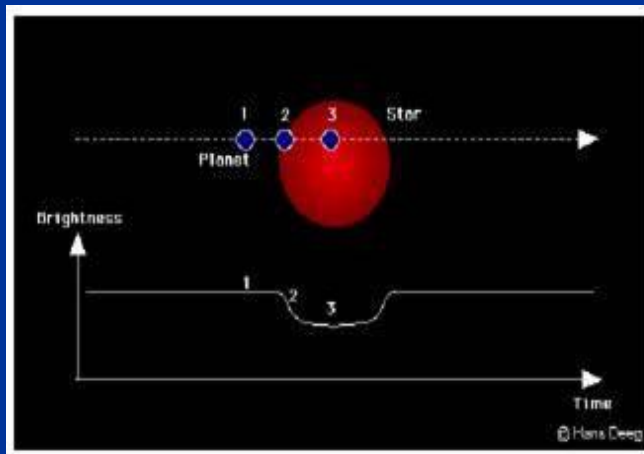
Actividad 13: Efecto Doppler

Se ha reproducido con una cubeta de agua, un tapón con cadenita y el flash del móvil.



Método de detección: Tránsitos

Durante el tránsito de un exoplaneta, el brillo de la estrella sufre una pequeña disminución. Para estrellas de tipo solar y planetas del tamaño de Júpiter, la disminución del brillo es de aproximadamente 1%, en el caso de planetas del tamaño de la Tierra la disminución está alrededor del 0.03%.



Actividad 14: Simulación de transito

Usando dos pelotas: una grande para la estrella y otra pequeña para el exoplaneta girando en trono a la estrella

Con el observador en el mismo plano de giro y si esta observando en ese instante, verá el planeta pasar por delante de la estrella y la curva de luminosidad tendra una alteración.

Pero si el observador no esta en el mismo plano de giro, no se observara ningun cambio en la curva de luminosidad.



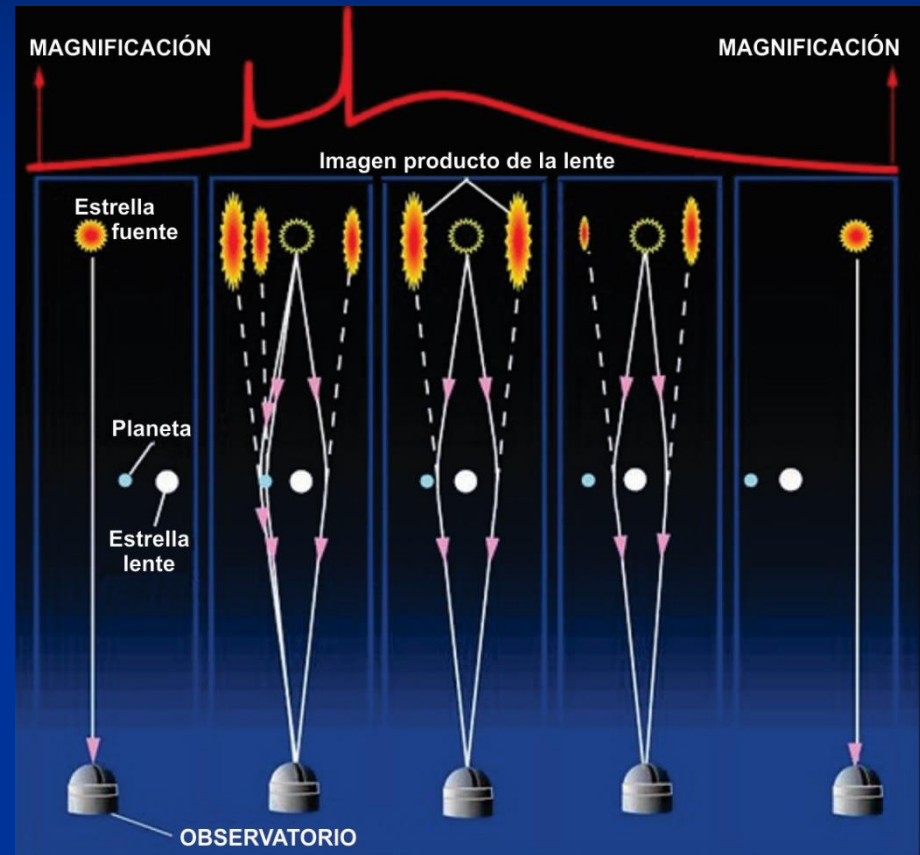
Observador en el plano de giro



Observador fuera del plano de giro

Método de detección: Microlentes

Cuando se tiene una ampliación o distorsión que resalte el sistema estrella-exoplaneta, debido al alineamiento de dicho sistema con una estrella u objeto que contenga un lente gravitacional.



Debe existir completa alineación visual entre los 3 cuerpos (tierra, objeto-lente y estrella-exoplaneta).

Actividad 15: Simulación de microlentes



Con solo un pie de copa y no se ve nada.

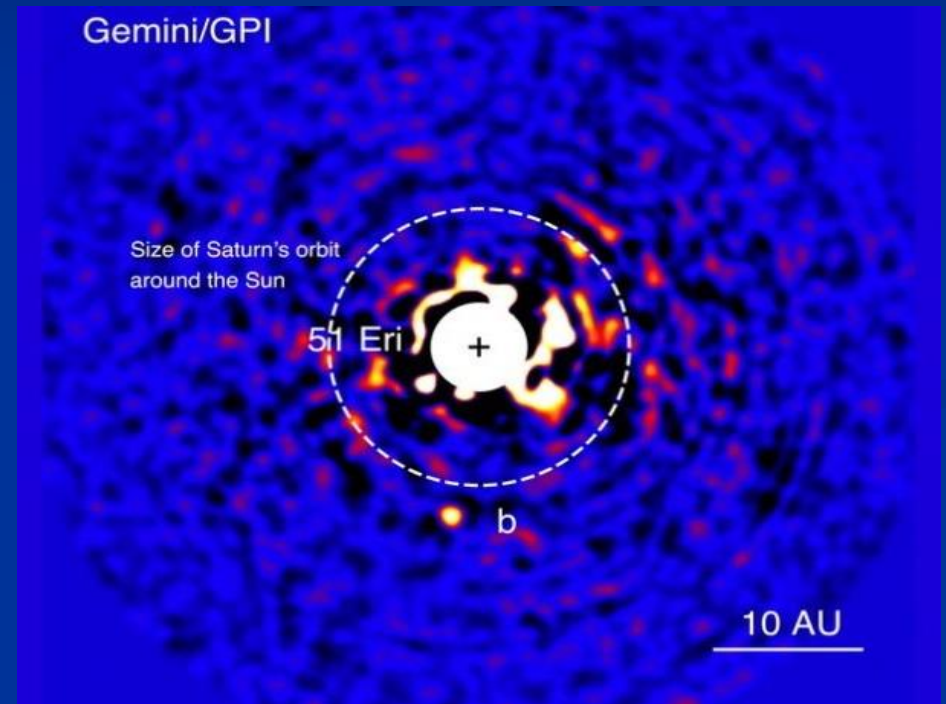


Con un par de pies de copa

Después pasamos por delante con el otro y surge un punto y después incluso dos

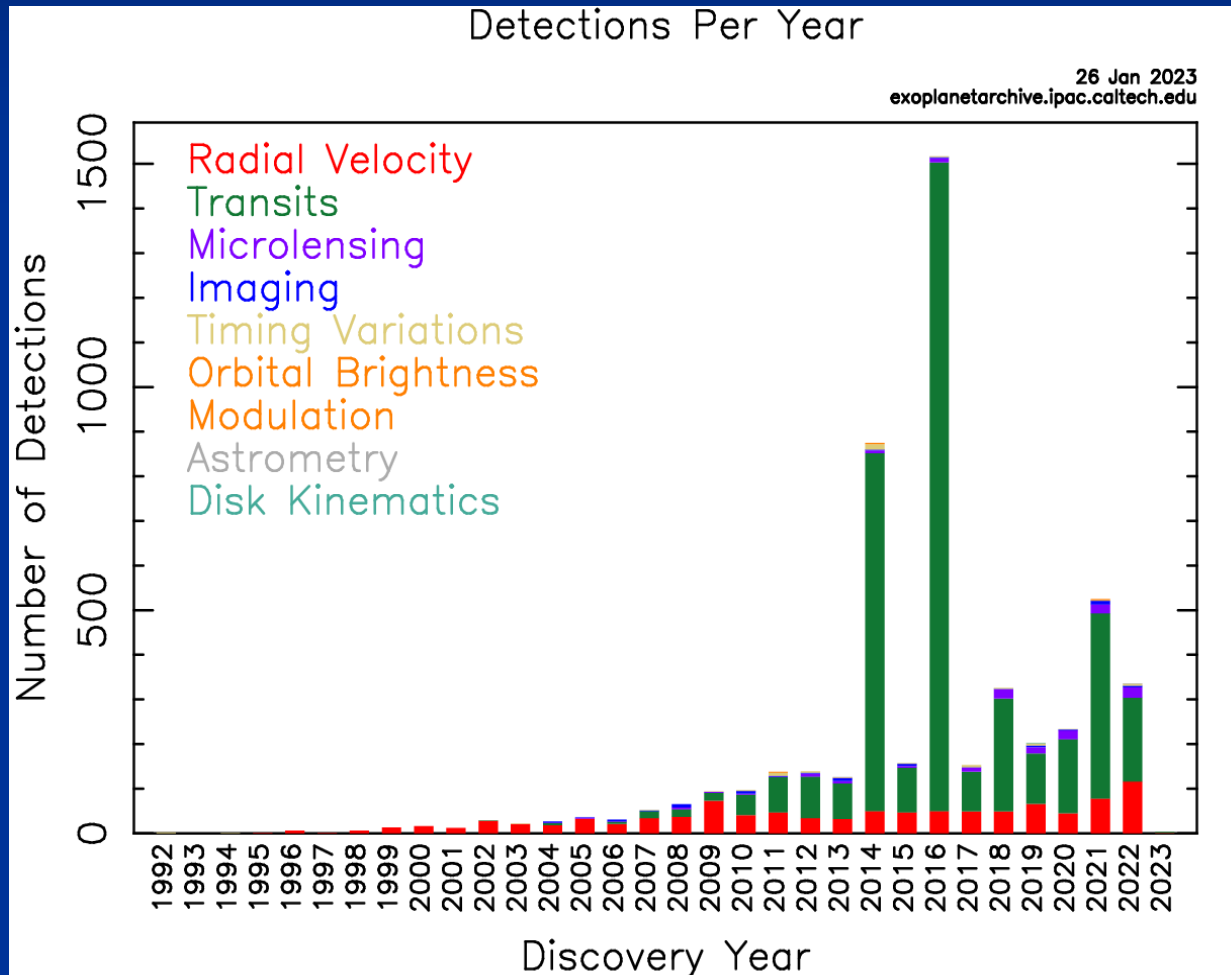
Método de detección: directa

Se estudia la imagen de la estrella, para determinar los exoplanetas alrededor de la misma.



Debido a la cantidad de luz que emite la estrella, no es sencillo de llevar a cabo.

Exoplanetas conocidos 2023 según método de detección

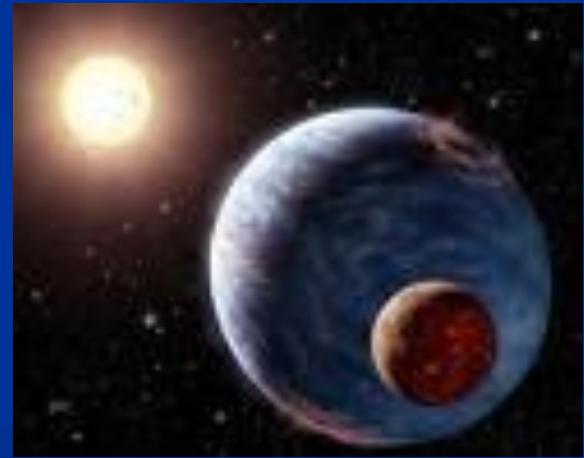


Modelos de sistemas de exoplanetas

Actualmente, se han descubierto unos 4000 sistemas planetarios mas de 5300 exoplanetas, y se han realizado observaciones de cerca de 10000 candidatos a exoplanetas

Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

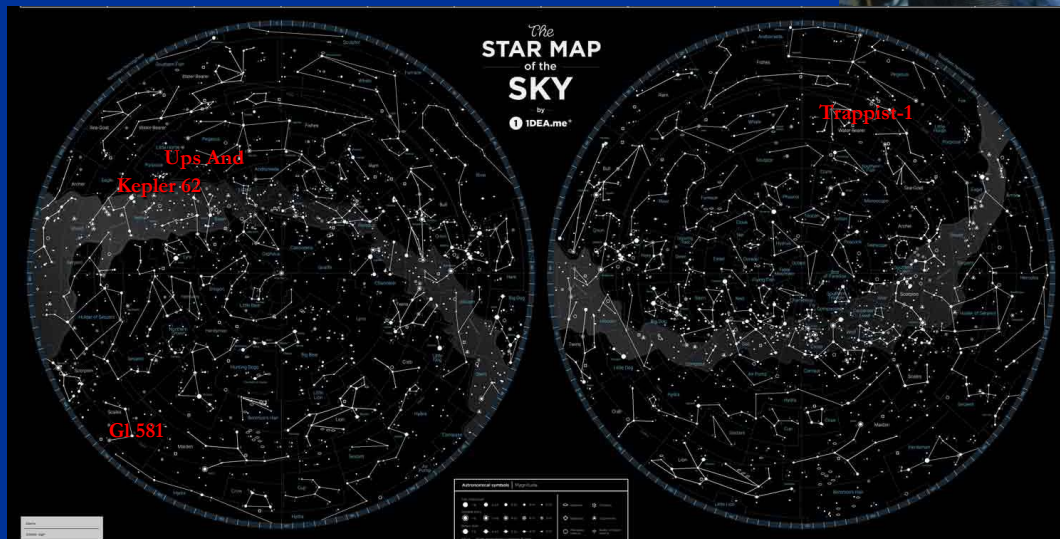
Las masas se comparan con la de Júpiter (1.9×10^{27} kg) o con la de la Tierra ($5,97 \times 10^{24}$ kg).



Los límites tecnológicos son la causa.



Actividad 16: Modelos a escala de sistemas exoplanetarios



Distancia 1 ua = 1 m

Diámetro 10000 km = 0.5 cm

Actividad 16: Construir Sistema Solar:

Sistema Solar	Distancia AU	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Mercurio	0.39	4879	40 cm	0.2 cm
Venus	0.72	12104	70 cm	0.6 cm
Tierra	1	12756	1m	0.6 cm
Marte	1.52	6794	1.5 m	0.3 cm
Jupiter	5.2	142984	5 m	7 cm
Saturno	9.55	120536	10 m	6 cm
Urano	19.22	51118	19 m	2.5 cm
Neptuno	30.11	49528	30 m	2.5 cm

Estrella anfitriona Sol G2V, Diámetro del Sol en el modelo es 35 cm

Distancia 1 AU = 1 m

Diámetro 10000 km = 0.5 cm



Actividad 16: Construir (1r sistema exoplanetario):

Upsilon Andromedae Titawin	Descub. año	Distancia AU	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Ups And b/Saffar	1996	0.059	108000	6 cm	5,5 cm
Ups And c/Samh	1999	0.830	200000	83 cm	10 cm
Ups And d/Majriti	1999	2.510	188000	2.5 m	9 cm
Ups And e/Titawin e	2010	5,240	140000	5,2 m	7 cm

Estrella anfitriona Upsilon Andromedae F8V esta a 44 a.l. en And., Diámetro 1,28 del Sol que en el modelo es 45

cm

Distancia 1 AU = 1 m

Diámetro 10000 km = 0.5 cm



Actividad 16: Construir (con planetas “terrestres”)

Gliese 581	Descub. año	Distancia AU	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Gl.581 e	2009	0.030	15200	3 cm	0.8 cm
Gl.581 b	2005	0.041	32000	4 cm	1.6 cm
Gl.581 c	2007	0.073	22000	7 cm	1,1 cm

Estrella anfitriona Gliese 581 M2,5V esta a 20,5 a.l. en Libra,
Diámetro 0,29 del Sol que en el modelo es 10 cm

Distancia 1AU = 1m

Diámetro 10000 km = 0.5 cm



Actividad 16: Construir (planetas “terrestres habitables”)

Kepler 62	Descub. año	Distancia AU	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Kepler-62 b	2013	0,056	33600	5,6 cm	1,7 cm
Kepler-62 c	2013	0,093	13600	9 cm	0.7 cm
Kepler-62 d	2013	0,120	48000	12 cm	2,4 cm
Kepler-62 e	2013	0,427	40000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0,718	36000	72 cm	1,8 cm

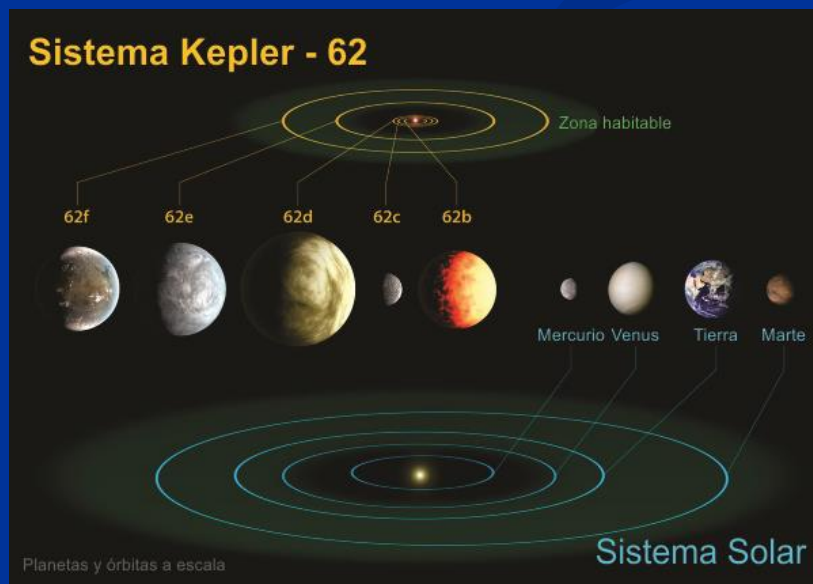
Estrella anfitriona Kepler 62 K2V esta a 1200 a.l. en Lyra,
Diámetro 0,64 del Sol que en el modelo es 22 cm

Distancia 1AU = 1m
Diámetro 10000 km = 0.5 cm



Possible habitabilidad de exoplanetas

- En la zona habitable de Kepler-62: los dos exoplanetas podrían tener agua líquida en sus superficies. Para Kepler-62e, que está cerca del interior de la zona habitable, esto requeriría la cobertura de nubes reflectantes que reducen la radiación que calienta la superficie. Kepler-62f, por otro lado, está en la zona exterior de la zona habitable



Construir (planetas “terrestres habitables”)

Nombre exoplaneta	Descub. año	Distancia AU	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Trappist-1 b	2016	0.012	28400	1,2 cm	1,4 cm
Trappist-1 c	2016	0.016	28000	1,6 cm	1,4 cm
Trappist-1 d	2016	0.022	20000	2,2 cm	1,0 cm
Trappist-1 e	2017	0.030	23200	3,0 cm	1,2 cm
Trappist-1 f	2017	0.039	26800	3,9 cm	1,3 cm
Trappist-1 g	2017	0.047	29200	4,7 cm	1,5 cm
Trappist-1 h	2017	0.062	19600	6,2 cm	1,0 cm

Estrella anfitriona Trappist 1 M8V esta a 40 a.l. en Acuario,
Diámetro 0,1 del Sol que en el modelo es 4 cm

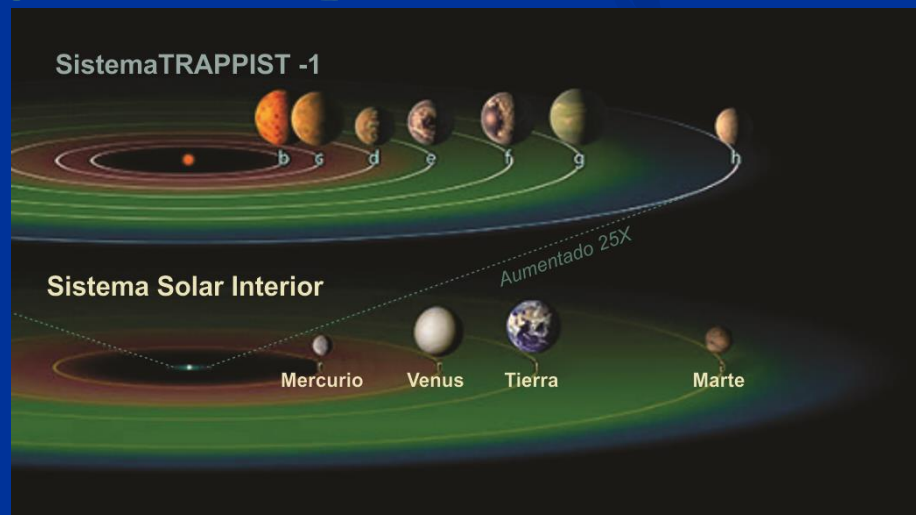
Distancia 1 AU = 1 m

Diámetro 10000 km = 0.5 cm



Posible habitabilidad de exoplanetas

- Los exoplanetas del sistema Trappist-1 son rocosos y podrían tener grandes cantidades de agua en su superficie, ya sea líquida, en forma de vapor, o como una corteza de hielo. En la zona habitable de Trappist 1 se encuentra **Trappist-1e** que parece tener **un núcleo denso, comparable con la Tierra** lo que parece indicar que de todos los planetas de este sistema, éste es el más parecido a la Tierra y es probable que tenga una magnetosfera protectora.



Conclusiones

- Conocimiento más “concreto” de los planetas.
- Se establecen relaciones de “parámetros” que permiten comprender mejor cuales son las dimensiones.
- El Sistema Solar “esta vacío”.
- Introducción de los exoplanetas. Reconocer los métodos para su detección.



¡Muchas gracias
por su atención!

