

# Planetas y exoplanetas

Rosa M. Ros, Hans Deeg

International Astronomical Union

Universidad Politécnica de Cataluña, España

Instituto de Astrofísica de Canarias, 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



# Maqueta de distancias al Sol

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



# Maqueta de diámetros

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

# Maqueta de diámetros



Camiseta con los diámetros  
de los planetas a escala



# Diámetros y distancias al Sol

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

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

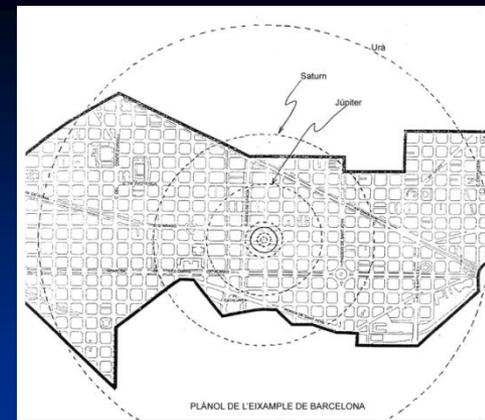


# Maqueta de diámetros y distancias en el patio ...



# Maqueta en la ciudad

*(Barcelona)*



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

# Modelo en la ciudad de Metz (Francia)



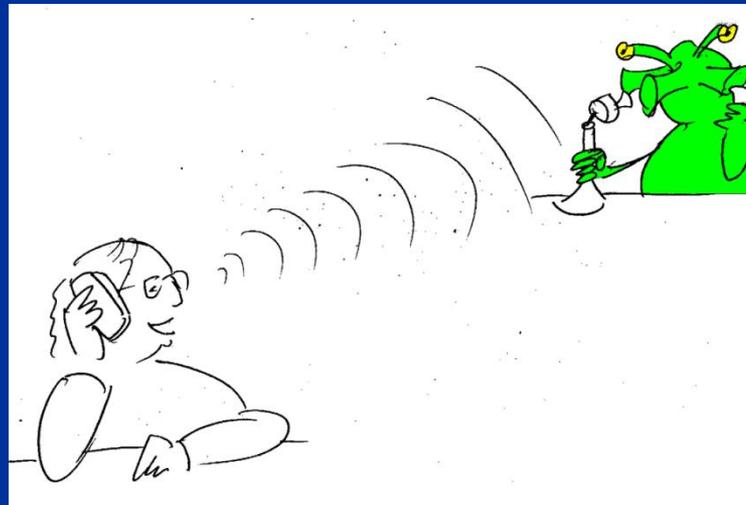
# Maqueta de tiempos

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

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

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

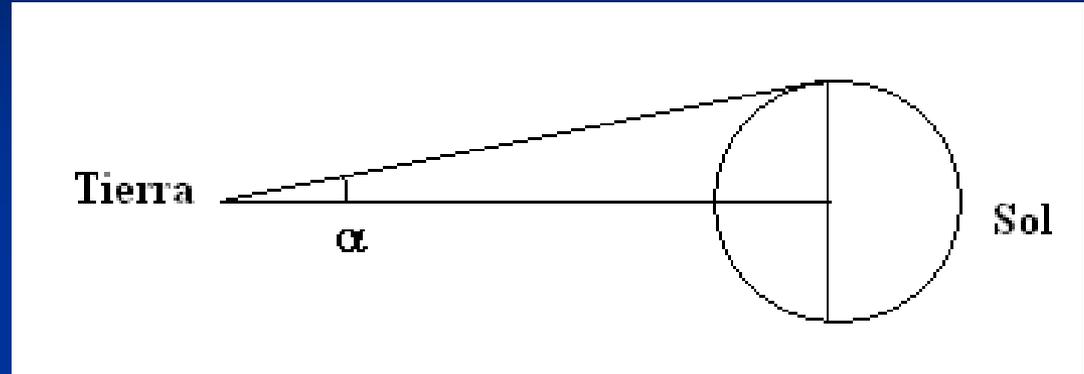
¿Cómo sería la conversación entre planetas por “videoconferencia”?



# La luz del Sol tarda en llegar a...

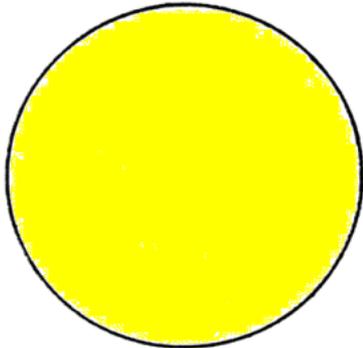
<b>Mercurio</b>	<b>57 900 000 km</b>		<b>3.3 minutos</b>
<b>Venus</b>	<b>108 300 000 km</b>		<b>6.0 minutos</b>
<b>Tierra</b>	<b>149 700 000 km</b>		<b>8.3 minutos</b>
<b>Marte</b>	<b>228 100 000 km</b>		<b>12.7 minutos</b>
<b>Júpiter</b>	<b>778 700 000 km</b>		<b>43.2 minutos</b>
<b>Saturno</b>	<b>1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

# El Sol visto desde los planetas

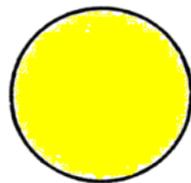


- $\alpha = \tan \alpha = \text{radio Sol} / \text{distancia al Sol} =$   
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ radianes} = 0.255^\circ$
- Desde la Tierra el Sol mide  $2\alpha = 0.51^\circ$

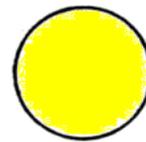
# El Sol visto desde los planetas



desde Mercurio



desde Venus



desde la Tierra



desde Marte



desde Júpiter



desde Saturno

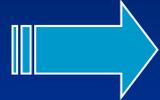


desde Urano



desde Neptuno

# Densidades

<b>Sol</b>	<b>1.41 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Azufre (1.1-2.2)</b>
<b>Mercurio</b>	<b>5.41 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Pirita (5.2)</b>
<b>Venus</b>	<b>5.25 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Pirita (5.2)</b>
<b>Tierra</b>	<b>5.52 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Pirita (5.2)</b>
<b>Marte</b>	<b>3.90 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Blenda (4.0)</b>
<b>Júpiter</b>	<b>1.33 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Azufre (1.1-2.2)</b>
<b>Saturno</b>	<b>0.71 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Madera pino (0.55)</b>
<b>Urano</b>	<b>1.30 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Azufre (1.1-2.2)</b>
<b>Neptuno</b>	<b>1.70 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>Arcilla (1.8-2.5)</b>



# 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.



# 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



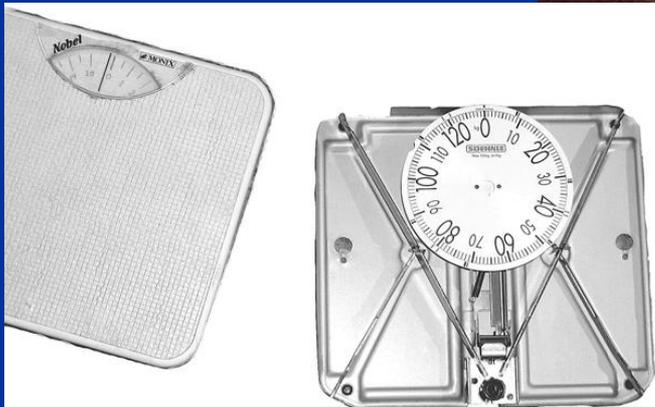
# Modelo de velocidades de rotación

- 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



# 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  $g = 4 \pi G R \rho / 3$



# Gravedad superficial

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

# 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.



# Velocidad de escape

- Espacio  $e = \frac{1}{2} a^2 t + v_0 t$
- Velocidad  $v = a t + v_0$
- En la superficie  $v_0=0$ ,  $a=g$  y  $e =R$ , entonces

$R = \frac{1}{2} g t^2$  y  $v = g t$  eliminando  $t$ ,  
entonces la velocidad de escape

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

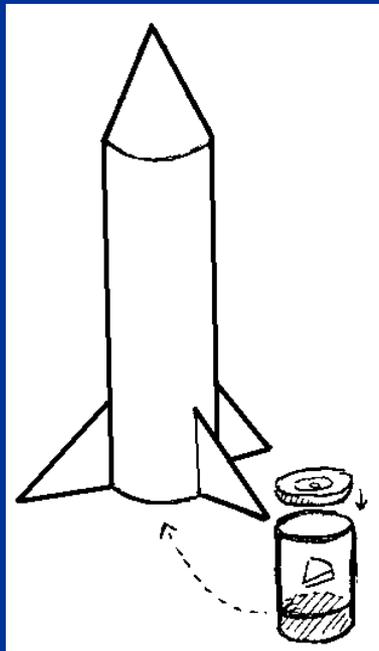


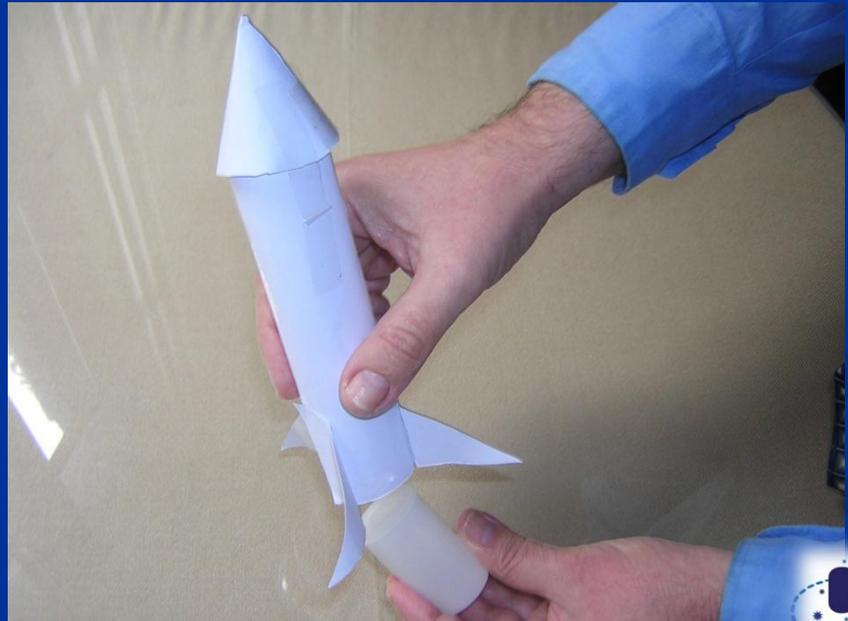
# Velocidades de escape

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.



1a foto  
16 marzo 2003

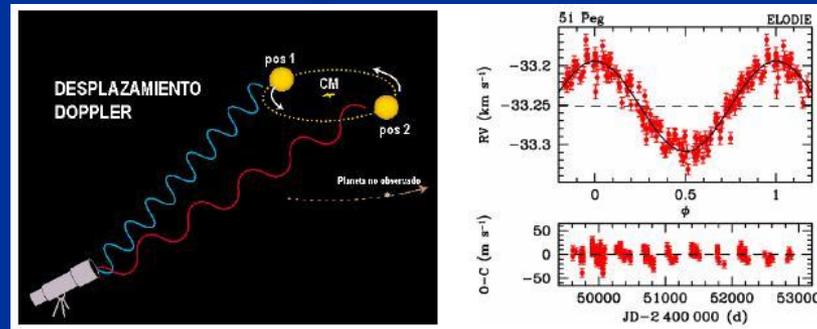
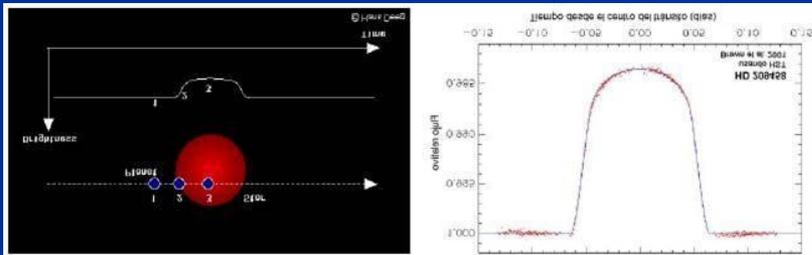
2M1207b directly imaged (ESO)



# Métodos usados para detectar exoplanetas

Se utilizan muchos métodos, p.e.:

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



# Modelos de sistemas de exoplanetas

Los sistemas de exoplanetas descubiertos son más de 2000 confirmados y varios miles de exoplanetas candidatos Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

Las masas de los exoplanetas suelen compararse con la masa de Júpiter ( $1.9 \times 10^{27}$  kg) o con la masa de la Tierra. Los límites tecnológicos son la causa.



# 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).*



# Modelos de sistemas exoplanetarios

Nombre del planeta	Dist. media ua	Per. orb. días	Masa Mín. en Mj ó Mt	Descub. año	Diám. aprox. km
Ups And b	0.059	4.617	0.69 Mj	1996	124000
Ups And c	0.83	241.5	1.98 Mj	1999	176000
Ups And d	2.51	1274.6	3.95 Mj	1999	221000
Gl 581 e	0.030	3,149	1.9 Mt	2009	16000
Gl 581 b	0.041	5.368	15.65 Mt	2005	32000
Gl 581 c	0.073	12.932	5.36 Mt	2007	22000
Kepler-62 b	0,0553	5,714	<0,03	2013	16800
Kepler-62 c	0,0929	12,441	<0,013	2013	6800
Kepler-62 d	0,120	18,164	<0,044	2013	24000
Kepler-62 e	0,427	122,387	<0,113	2013	20000
Kepler-62 f	0,718	267,291	<0,11	2013	18000

# Determinación de diámetros de exoplanetas

- Se suele suponer que la densidad del exoplaneta es igual a la densidad de Júpiter o de la Tierra
- como la densidad  $\rho = m / V$ , la masa  $m$  es conocida y el volumen  $V$  es una esfera  $V = 4 \pi R^3 / 3$ , entonces se calcula el radio  $R$

$$R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}}$$



# Modelo a escala de sistema exoplanetario



La escala apropiada es:  
distancias  $1 \text{ ua} = 1 \text{ m}$   
diámetros  $10\,000 \text{ km} = 0.5 \text{ cm}$ .

En este caso, todos los exoplanetas pueden estar situados en una clase normal y los cinco primeros planetas de nuestro sistema solar (incluido Júpiter) se pueden mostrar. Si la actividad se realiza fuera (por ejemplo en el patio de la escuela) se puede construir el modelo completo.



# Podemos construir (Sistema Solar):

Sistema Solar	Distancia ua	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

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

# Podemos construir

(primer sistema exoplanetario detectado):

Upsilon Andromedae	Distancia ua	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Ups And b	0.059	124000	6 cm	6 cm
Ups And c	0.83	176000	83 cm	9 cm
Ups And d	2.51	221000	2.5 m	11 cm

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



# Podemos construir

(un sistema con planetas tipo “terrestres”):

Gliese 581	Distancia ua	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Gl.581 e	0.030	16000	3 cm	0.8 cm
Gl.581 b	0.041	32000	4 cm	1.5 cm
Gl.581 c	0.073	22000	7 cm	1 cm

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



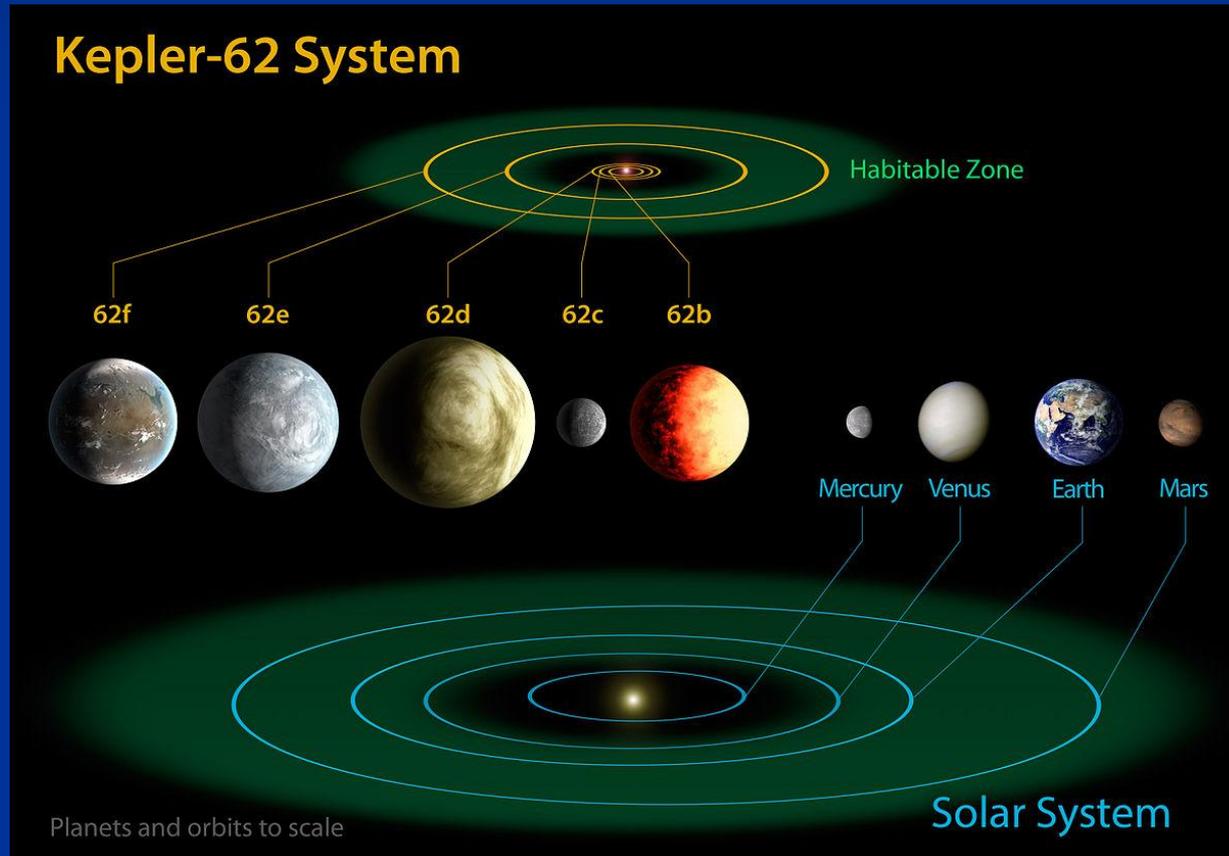
# Podemos construir (otro con planetas tipo “terrestres”):

Kepler 62	Distancia ua	Diámetro km	Modelo Distancia	Modelo Diámetro
Kepler-62 b	0,0553	16800	5,5 cm	0.8 cm
Kepler-62 c	0,0929	6800	9 cm	0.3 cm
Kepler-62 d	0,12	24000	12 cm	1.2 cm
Kepler-62 e	0,427	20000	43 cm	1 cm
Kepler-62 f	0,718	18000	72 cm	10.9 cm

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



# Posible habitabilidad de exoplanetas



# Posible habitabilidad de exoplanetas

- En la zona habitable del Sistema Solar están Venus, Tierra y Marte (pero Venus sufre el efecto invernadero y Marte podría tener algo de vida microbiana muy básica).
- En la zona habitable de Kepler-62: por el rango de distancia para algunas condiciones atmosféricas, estos dos planetas podría tener agua líquida en sus superficies, tal vez que los cubre ellos por completo. Para Kepler-62e, que se encuentra cerca de la gama interior de la zona habitable, esto requeriría una cobertura de nubes reflectante que reduce la radiación que calienta la superficie. Kepler-62f, por el contrario, se encuentra en la zona externa de la zona habitable



# 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.



¡Muchas gracias  
por su atención!

