



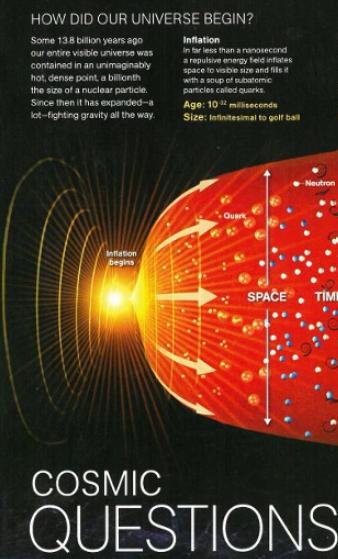
# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2019

- **Unidad**      02 – Astrofísica: cálido y frío
- **Clase**        UO2 C05
- **Fecha**        23 Oct 2019
- **Cont**          Exoplanetas
- **Cátedra**      Asorey

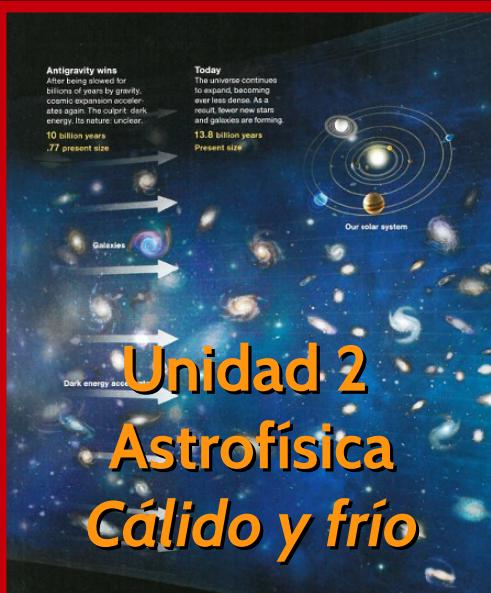


# Contenidos: un viaje en el tiempo



**WHAT IS OUR UNIVERSE MADE OF?**

Stars, dust, and gas—the stuff we can discern—make up less than 5 percent of the universe. Their gravity can't account for how galaxies hold together. Scientists figure about 24 percent of the universe is a mysterious dark matter—perhaps exotic particles formed right after inflation. The rest is dark energy, an unknown energy field or property of space that counters gravity, providing an explanation for observations that the expansion of space is accelerating.



## DO WE LIVE IN A MULTIVERSE?

What came before the big bang? Maybe other big bangs. The uncertainty principle holds that even the vacuum of space has density fluctuations. Inflation theory says our universe exploded from such a fluctuation—a random event that, odds are, had happened many times before. Our cosmos may be one in a sea of others just like ours—or nothing like ours. These other cosmos will very likely remain forever inaccessible to observation; their possibilities limited only by our imagination.



# Secuencia Principal

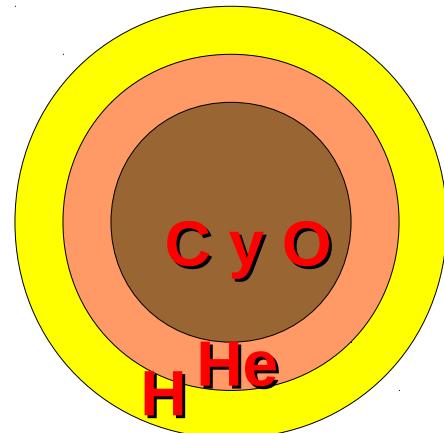
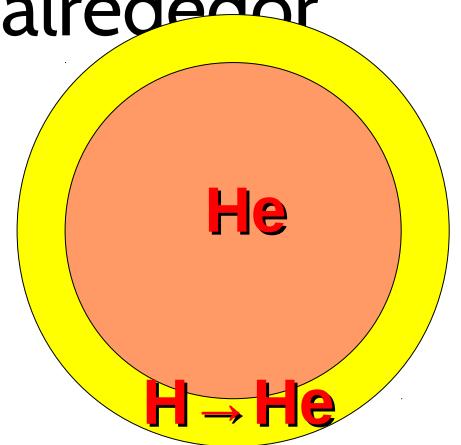


- Conversión  $H \rightarrow He$  es muy eficiente
- $10^{10}$  años para  $M = 1 M_{\text{Sol}}$ 
  - La energía radiada,  $L \sim R^2 T^4$  proviene del interior
  - Velocidad de reacciones en el centro:  $\sim T_c^4$
  - $R^3 \sim M T_c / P$  ( $\leftarrow$  Viene de  $PV=nRT$ )
- Si  $T_c \rightarrow 2 T_c \Rightarrow R \rightarrow 8 R$
- Si  $R \rightarrow 8R \Rightarrow L \rightarrow 64 L$
- ¡Mayor energía radiada!
- Moraleja: “**Vive rápido y morirás jóven**”

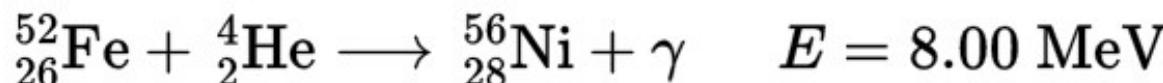
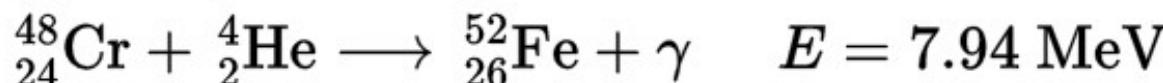
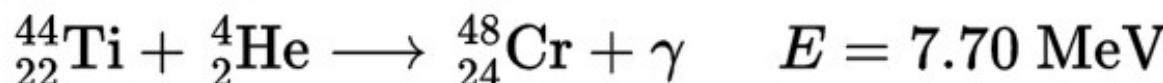
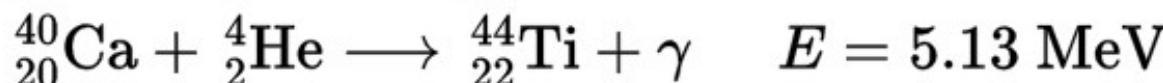
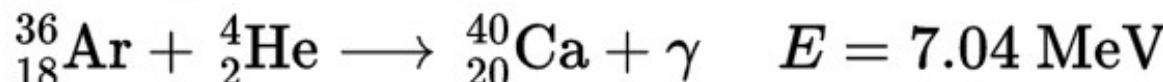
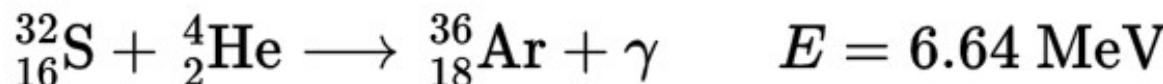
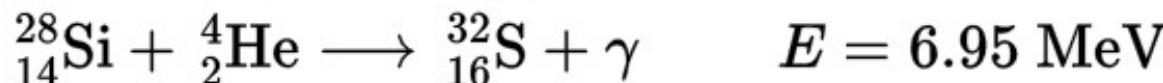
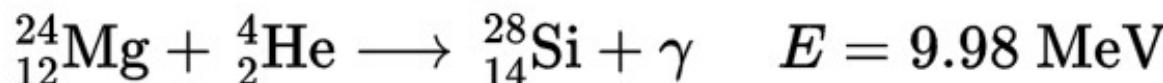
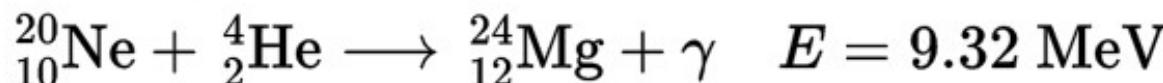
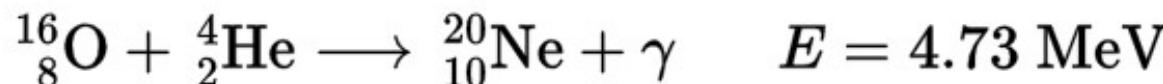
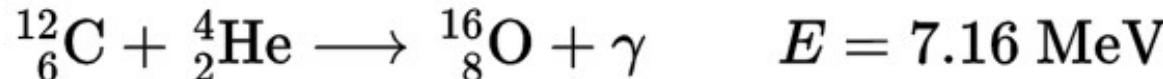
# Vejez



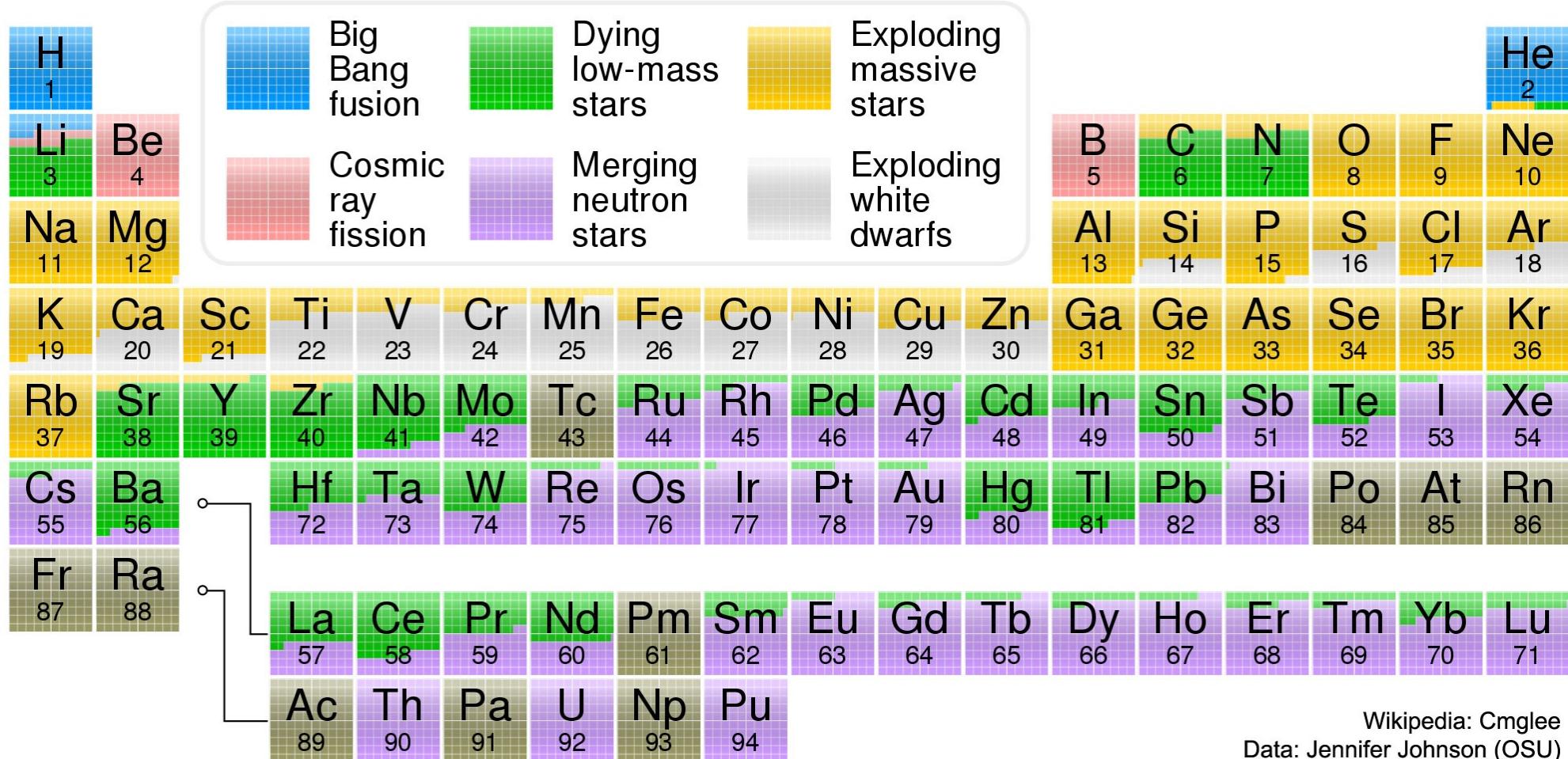
- Se acabó el H en el núcleo, ¿y ahora?
- Conversión  $H \rightarrow He$ , sólo en una corona alrededor del centro
- No alcanza la energía → Contracción
- Aumenta  $T_c \rightarrow$  Mayor producción de E
- Si  $T_c = 10^8$  K,  $He \rightarrow C$  (“Flash de Helio”)
- $R_{\text{Sol}} \rightarrow 220$  veces!!!
- Pero  $220 (7 \times 10^5) \text{ km} \sim 1.5 \times 10^8 \text{ km}$
- Núcleo cebolla:  $H \rightarrow He \rightarrow C \rightarrow O \rightarrow Si \rightarrow Fe$



Y después → más masa → más temperatura →  
sigo subiendo la escalera nuclear (procesos alfa)



# Nucleosíntesis

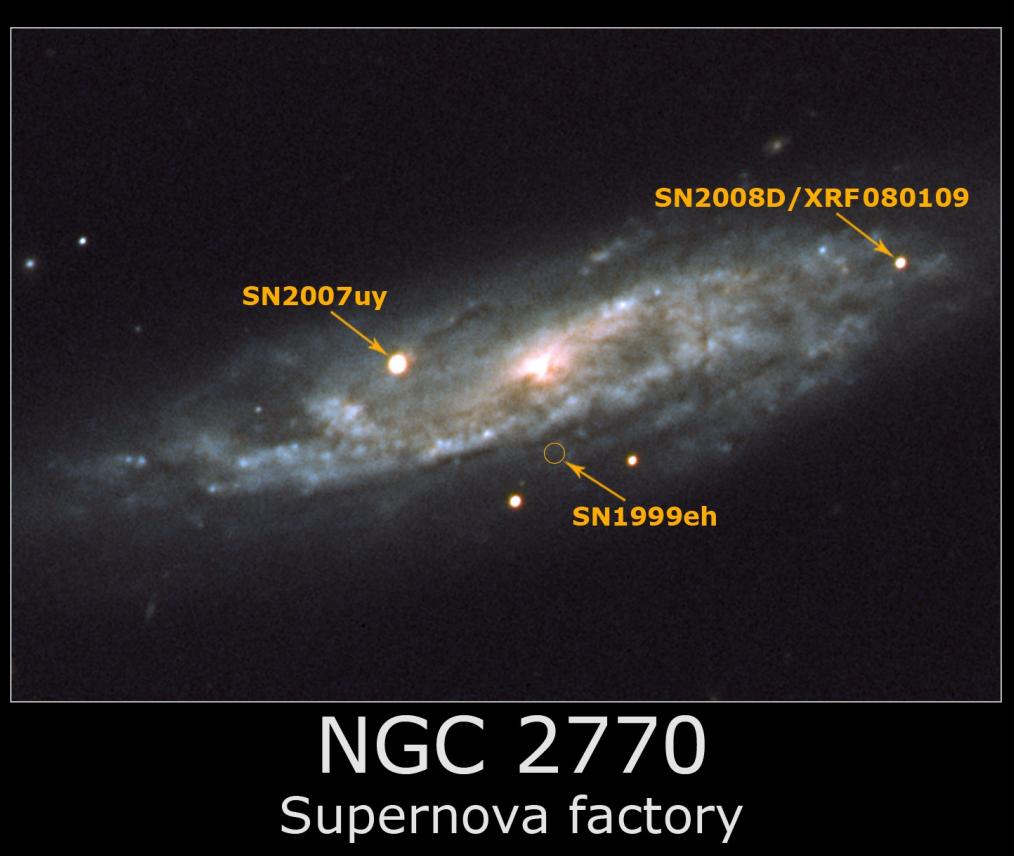




# Tres caminos Tres

- La masa estelar en este punto (la masa final) determina el destino final
  - $M_f < 1.44 M_S \rightarrow$  Enana blanca
  - $1.44 M_S < M_f < 3 M_S \rightarrow$  Estrella de neutrones
  - $M_f > 3 M_S \rightarrow$  Agujero negro

# Supernovas



NGC 2770  
Supernova factory

- Dos tipos de SN: I y II
- Estás son las tipo II
- En el núcleo:  
 $p^+ + e^- \rightarrow n + \nu_e$
- Estrella de neutrones
- $M \sim 2 M_{\text{Sol}}, R \sim 20 \text{ km}$
- ¡Calcular  $\rho$  y  $v_e$ !
- Pulsars (LGM)
- **M grandes → Agujeros Negros**

# Remanente de Supernovas



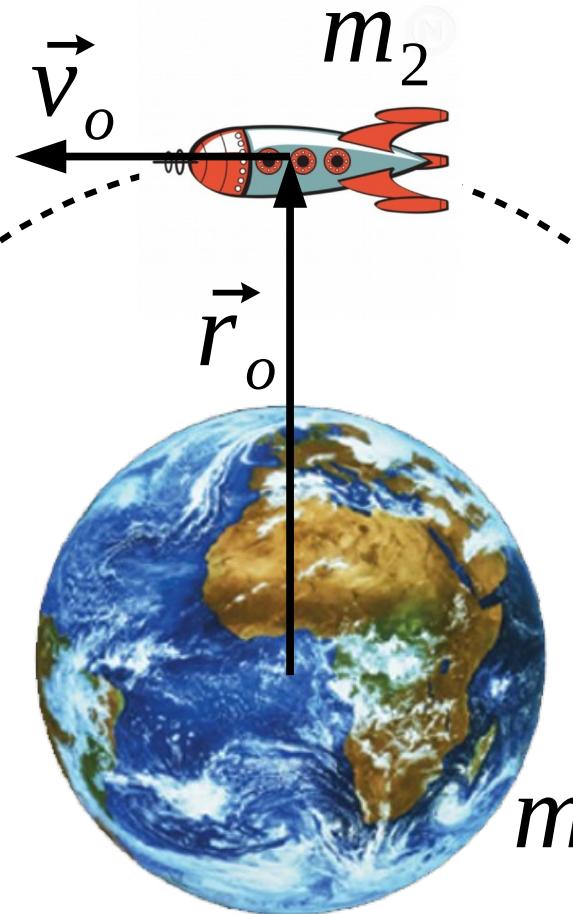
NGC2264 – Nebulosa Cono (Monoceros)

# Agujeros negros

- Región del espacio tiempo donde nada, ni siquiera la luz, puede escapar
- Se lo observa por su interacción con materia
- Binaria de contacto Cygnus X1
- Horizonte de eventos
  - Radio de Schwarzschild

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$


# Duración de la órbita



- Órbita circular

$$v_o = \frac{2\pi r_o}{t_o}$$

$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{G m_1}{r_o}} = \frac{2\pi r_o}{t_o}$$

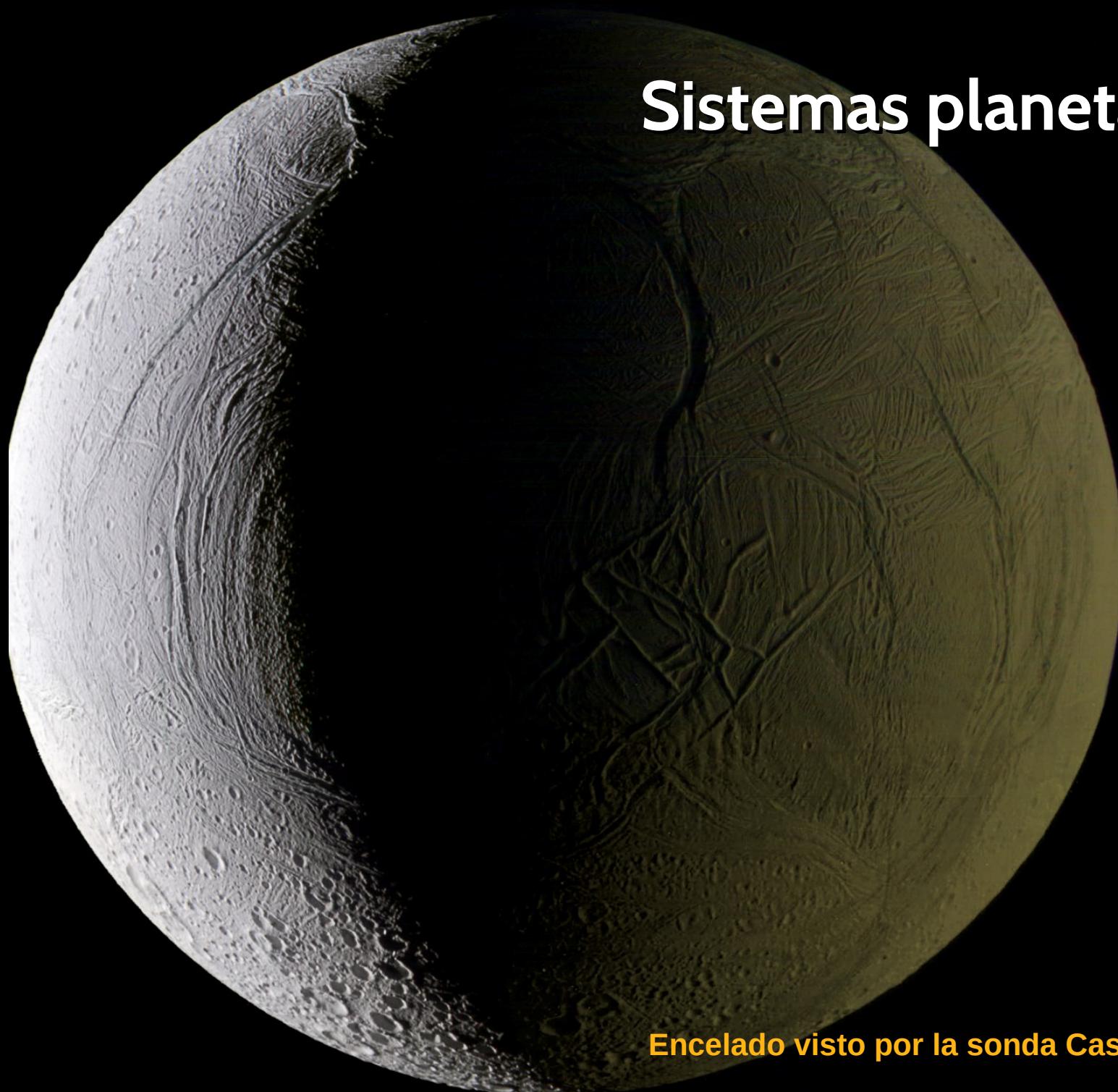
$$\frac{G m_1}{r_o} = \left( \frac{2\pi r_o}{t_o} \right)^2$$

$$\frac{t_o^2}{r_o^3} = \left( \frac{4\pi^2}{G m_1} \right)$$

**¡Atención!**  
 **$t^2$  prop.  $r^3$**

$$t_o^2 = \left( \frac{4\pi^2}{G m_1} \right) r_o^3 \Rightarrow t_o = \sqrt{\frac{4\pi^2}{G m_1} r_o^3}$$

# Sistemas planetarios



Encelado visto por la sonda Casini

# El Sistema Solar



Para verlo en escala,

[http://joshworth.com/dev/pixelspace/pixelspace\\_solarsystem.html](http://joshworth.com/dev/pixelspace/pixelspace_solarsystem.html)



# Saturno, un planeta exterior

## ¿Como explicar ese movimiento?



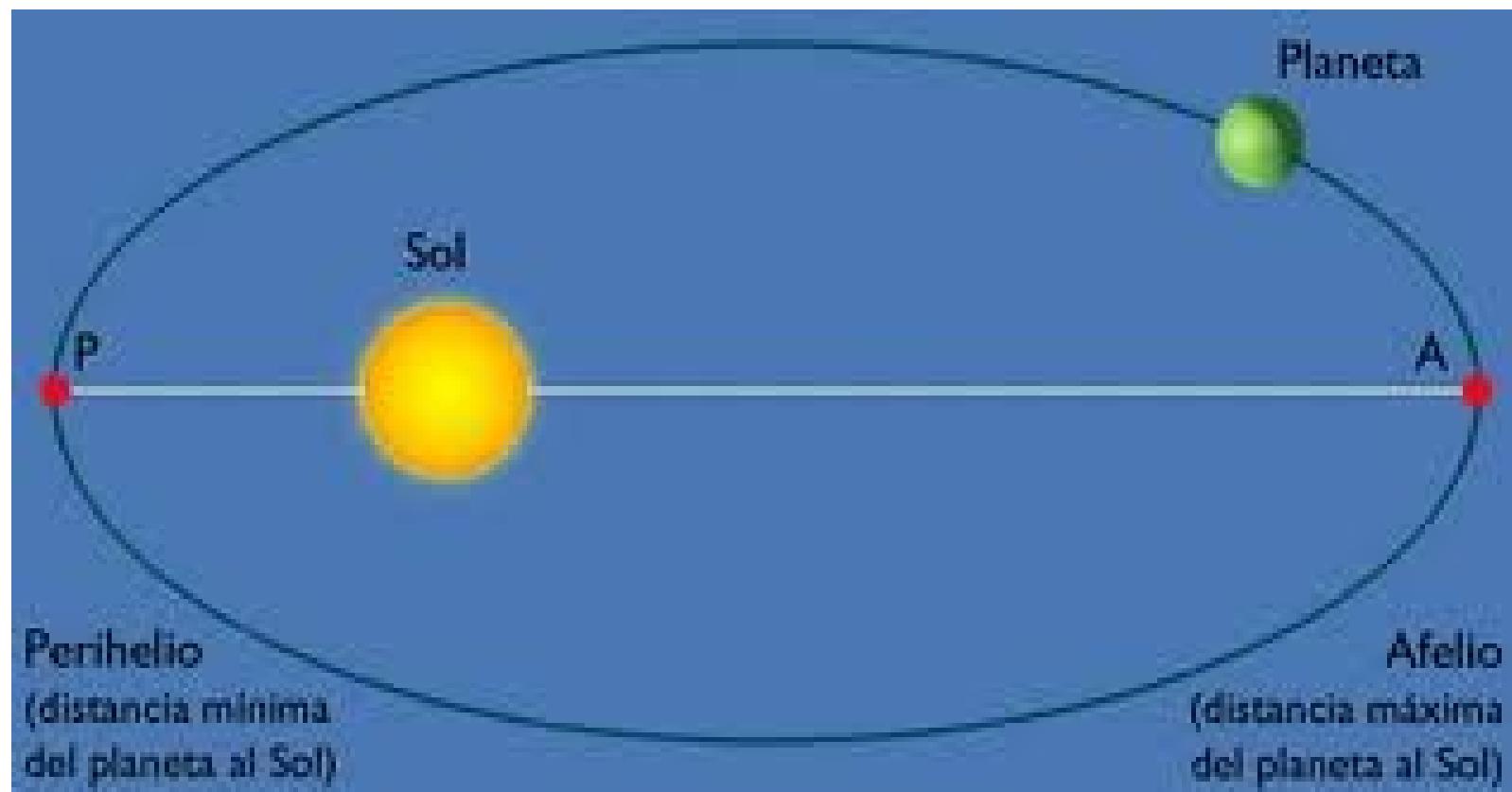
Saturn in CNC & LEO 1-8-2005 - 1-9-2008

8-2005

(c) Peter Wienerroither <http://homepage.univie.ac.at/~pww/>

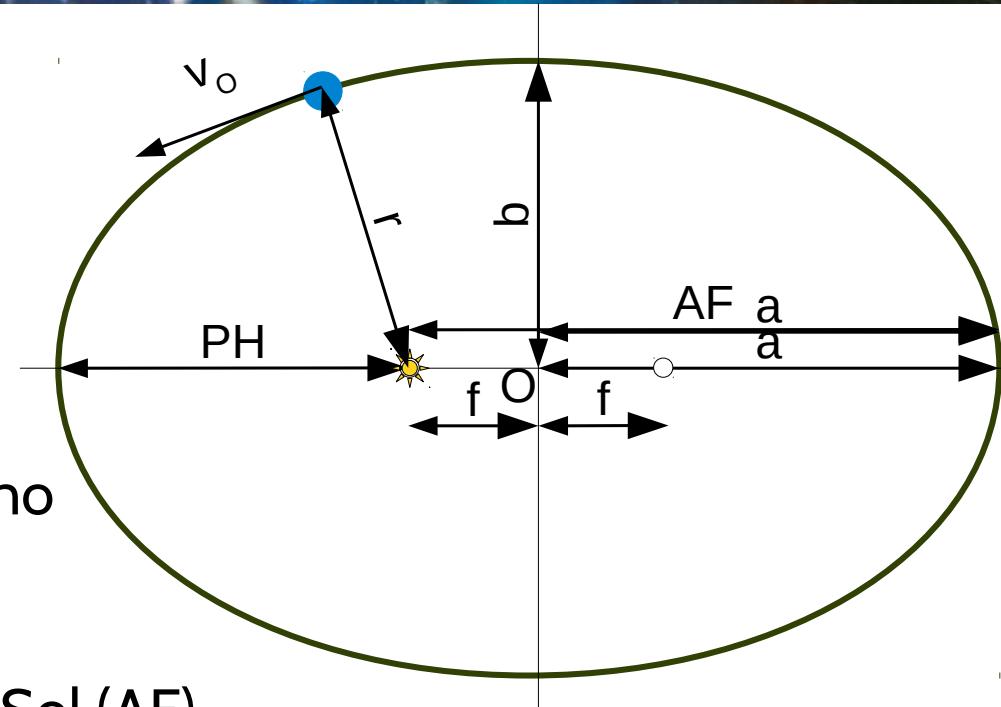
# Primera ley: Movimiento cerrado

**Primera Ley (1609): Los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas. El Sol se sitúa en uno de los focos.**



# Parámetros orbitales

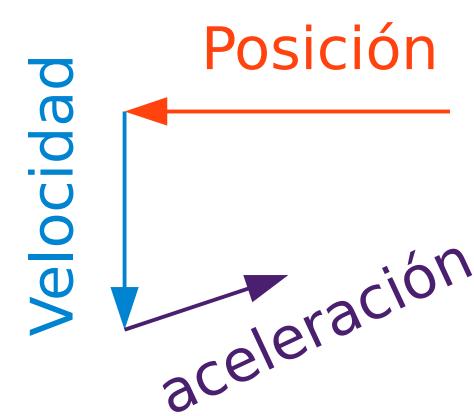
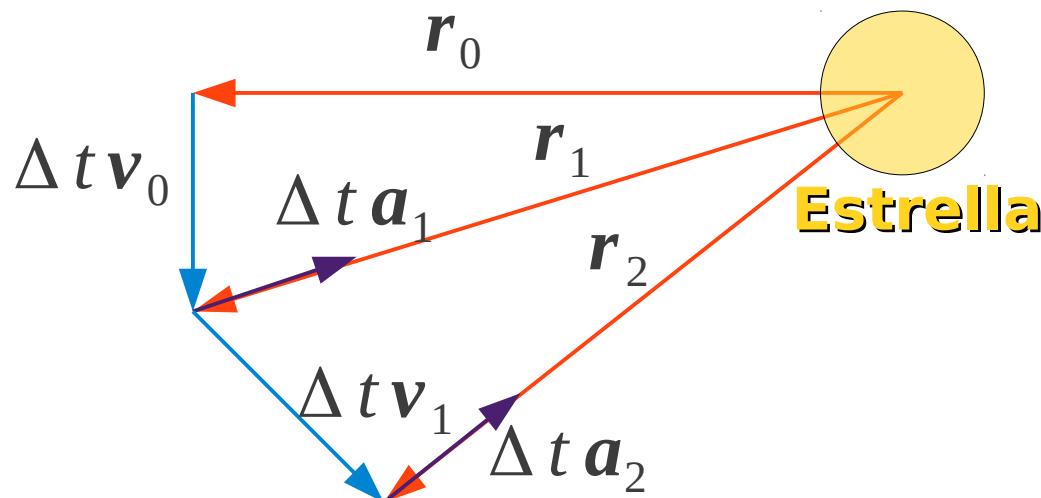
- **Centro:** O
- **Radio mayor:** a
- **Radio menor:** b
- **Radio vector:** r
- **Perihelio:** Punto de la órbita más cercano al Sol (PH)
- **Afelio:** Punto de la órbita más lejano al Sol (AF)
- **Distancia media:**  $(\text{PH}+\text{AF})/2=a$
- **Excentricidad:**  $\epsilon$     Elipse:  $0<\epsilon<1$   
parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica respecto a la circunferencia ( $\epsilon=0$ )
- **Velocidad orbital:** Depende de la posición  $v_o(r)$



$$\epsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

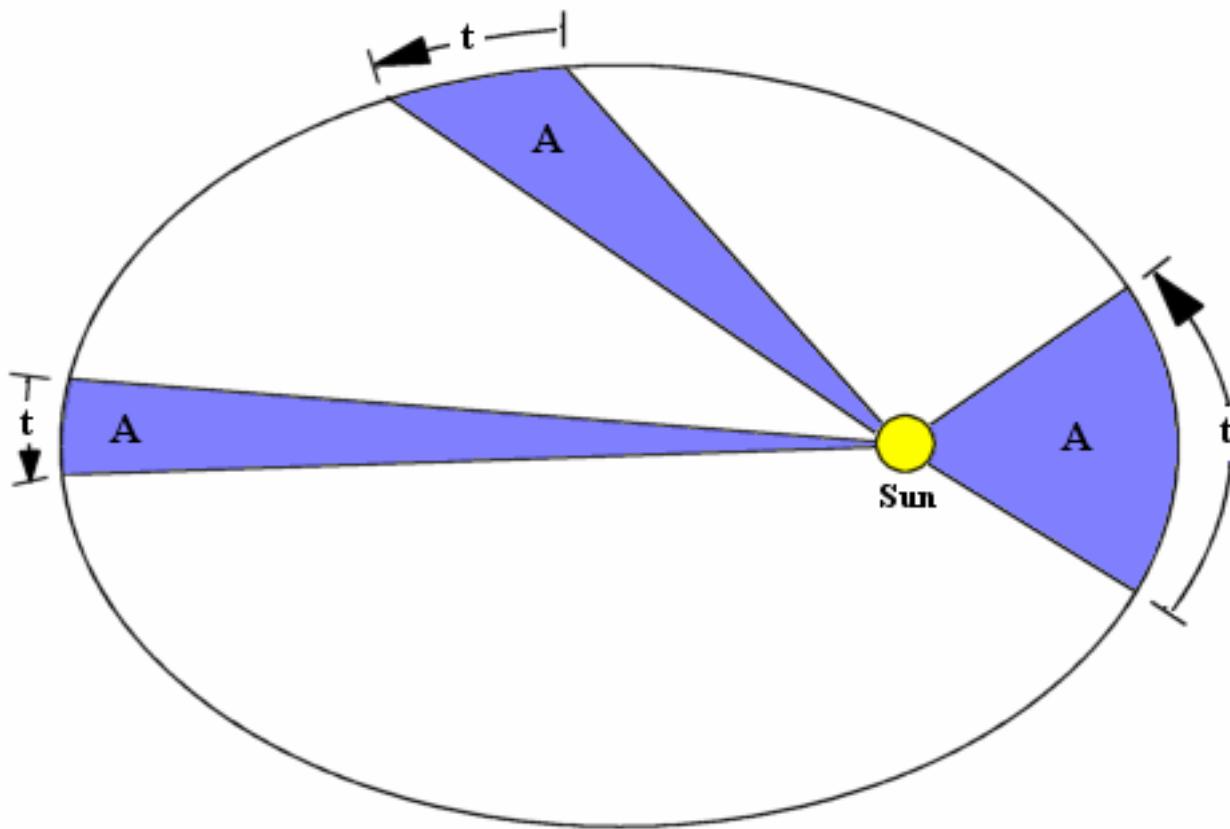
# ¿cómo se mueve un planeta?

- El movimiento no es circular, pero L es constante
- Si L es constante  $\rightarrow L = mr\mathbf{v} \rightarrow r\mathbf{v} = \text{"cte"}$ 
  - Aumenta r, disminuye v; disminuye r, aumenta v



# Segunda ley: Conservación Cant. Mov. Angular

Segunda Ley (1609): El radio vector que une el planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales



$$\frac{A}{t} = \text{cte} \Rightarrow \frac{A_1}{t} = \frac{A_2}{t}$$

$$\frac{b_1 \times r_1}{2t} = \frac{b_2 \times r_2}{2t}$$

$$\frac{v_1 t \times r_1}{t} = \frac{v_2 t \times r_2}{t}$$

$$v_1 r_1 = v_2 r_2$$

$$m v_1 r_1 = m v_2 r_2$$

$$\Rightarrow L_1 = L_2 \Rightarrow L = \text{cte}$$

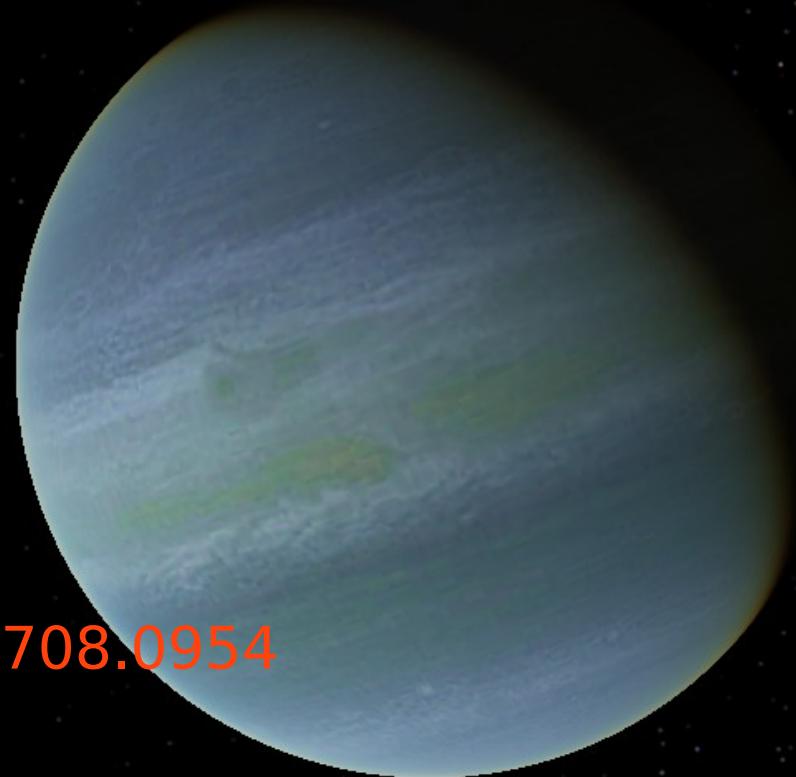
$$\text{y además } v_1 = v_2 \frac{r_2}{r_1}$$

$$\text{Si } r_1 < r_2 \Rightarrow v_1 > v_2$$

# Y también fuera del Sist. Solar: HD\_171028\_b

**HD 171028 b**  
Distanza: 380.670 km  
Raggio: 74.020 km  
Diametro apparente: 18° 44' 17,1"  
Durata del giorno: 12,560 ore  
Temperatura: 306 K

2009 Nov 18 21:50:17 UTC  
Tempo reale



<http://arxiv.org/abs/0708.0954>

$M=0.99 M_{\text{Sol}}$

$m=1.962 m_{\text{Jup}}$

$a=1.31019 \text{ UA}$

$E=0.59$

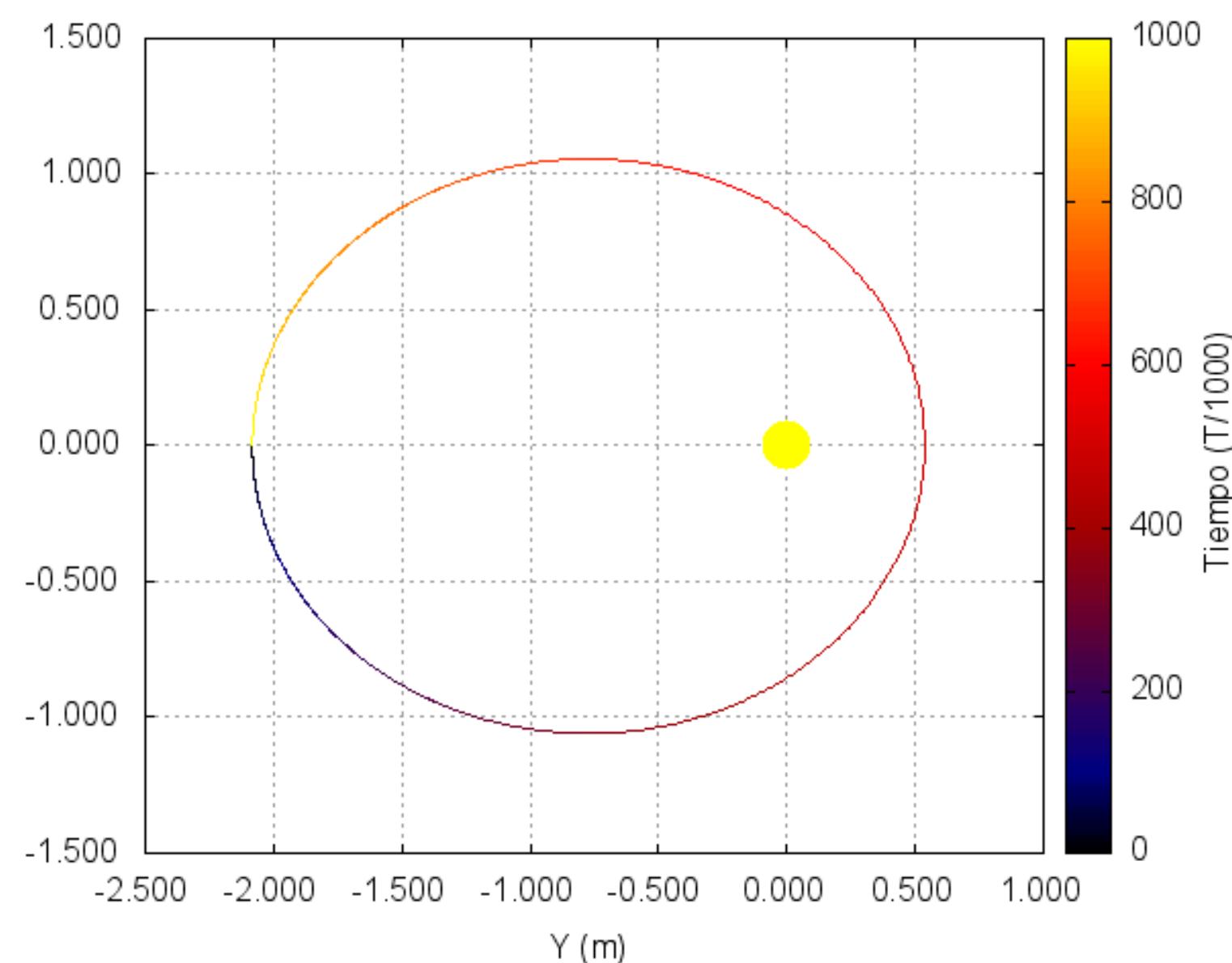
Velocità: 0,00000 m/s

Segui HD 171028 b  
FOV: 27° 08' 47,8" (1,00x)

# Y también fuera del Sist. Solar: HD\_171028\_b

HD 171028 b  
Distanza: 380.670 km  
Raggio: 74.020 km  
Diametro apparente: 18° 44' 17"  
Durata del giorno: 12,560 ore  
Temperatura: 306 K

<http://ar>  
 $M=0.99$   
 $m=1.962$   
 $a=1.310$   
 $E=0.59$   
Velocità: 0,00000 m/s



21:50:17 UTC

Segui HD 171028 b  
DV: 27° 08' 47.8" (1,00\*)



## Tercera Ley

**Tercera Ley (1618): El cuadrado del período orbital (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol, T) es directamente proporcional al cubo de la distancia media al Sol (a, igual al semieje mayor de la elipse).**

$$T^2 = k_{\text{Sol}} a^3$$

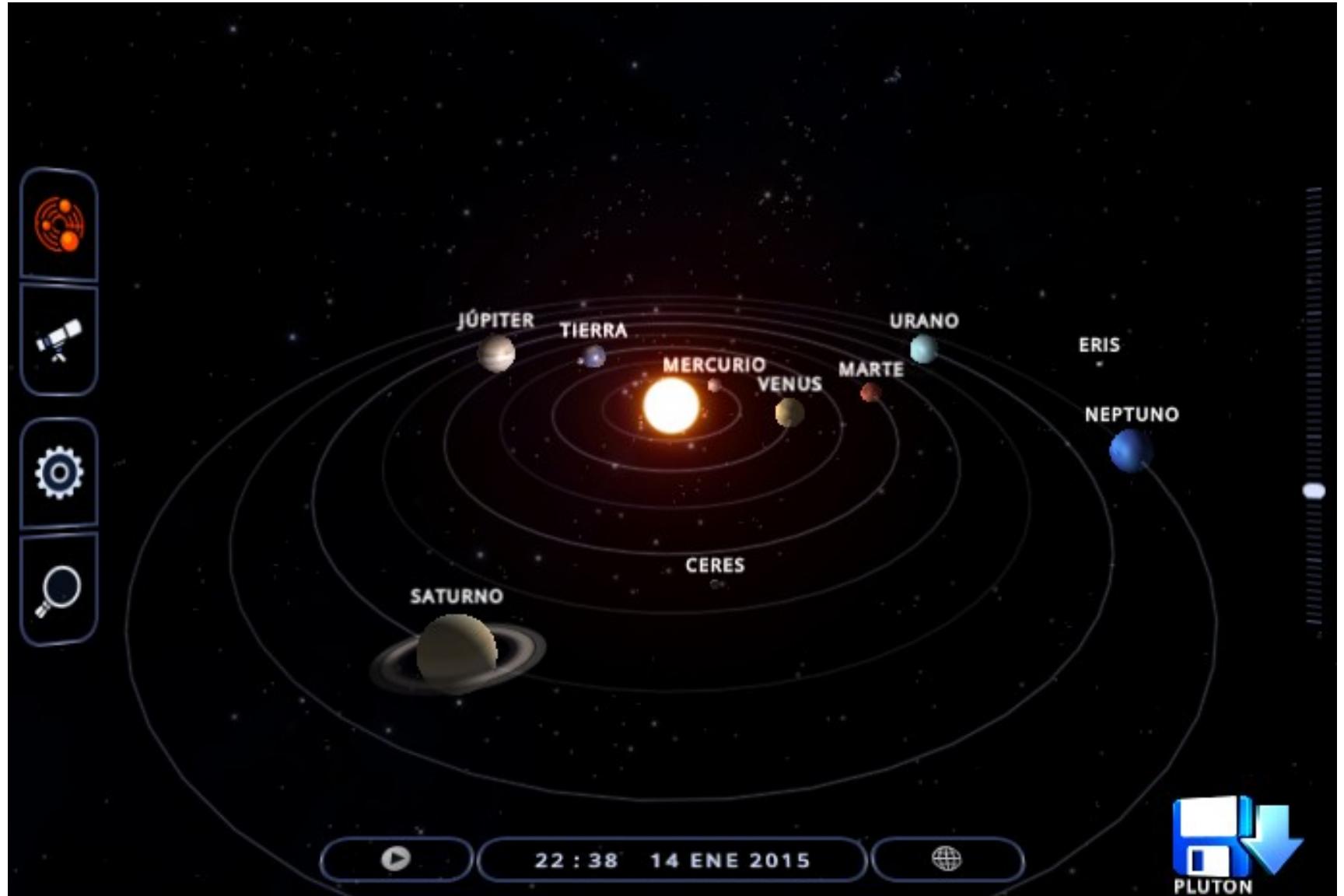
Calcule  $k_{\text{Sol}}$  y  $1/k_{\text{Sol}}$  en unidades del SI (m y s) y en años y unidades astronómicas

$$\frac{T^2}{a^3} = \left( \frac{4\pi^2}{G m_{\text{Sol}}} \right) \equiv k_{\text{Sol}}$$

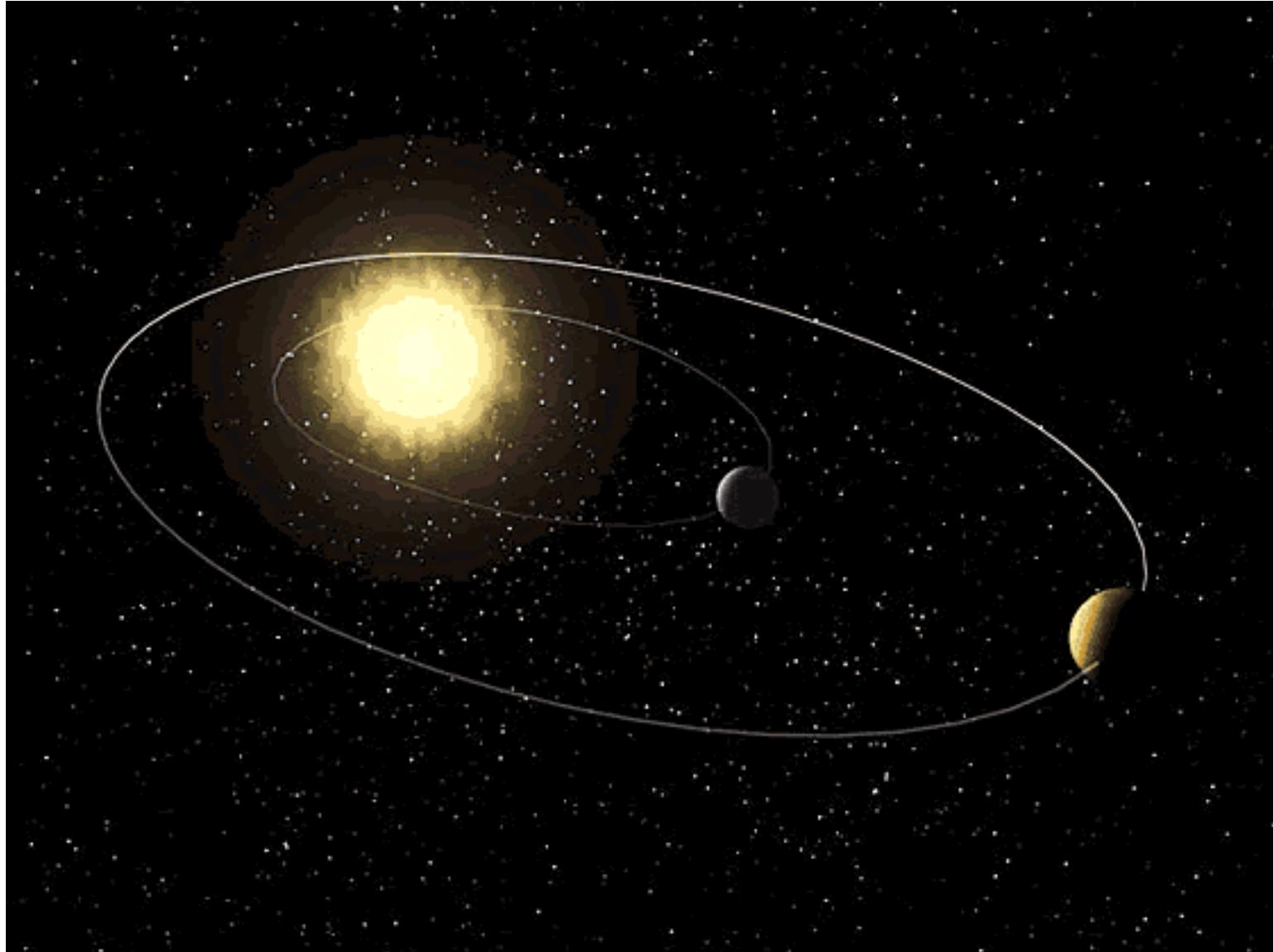
Recuerde que esta constante sólo depende de la masa del Sol y, por lo tanto, es la misma para TODOS los objetos que orbitan al Sol.

# “Solar System Scope”

<https://www.solarsystemscope.com/>



# Más cerca → más rápido, III, el regreso





# Para el Sistema Solar

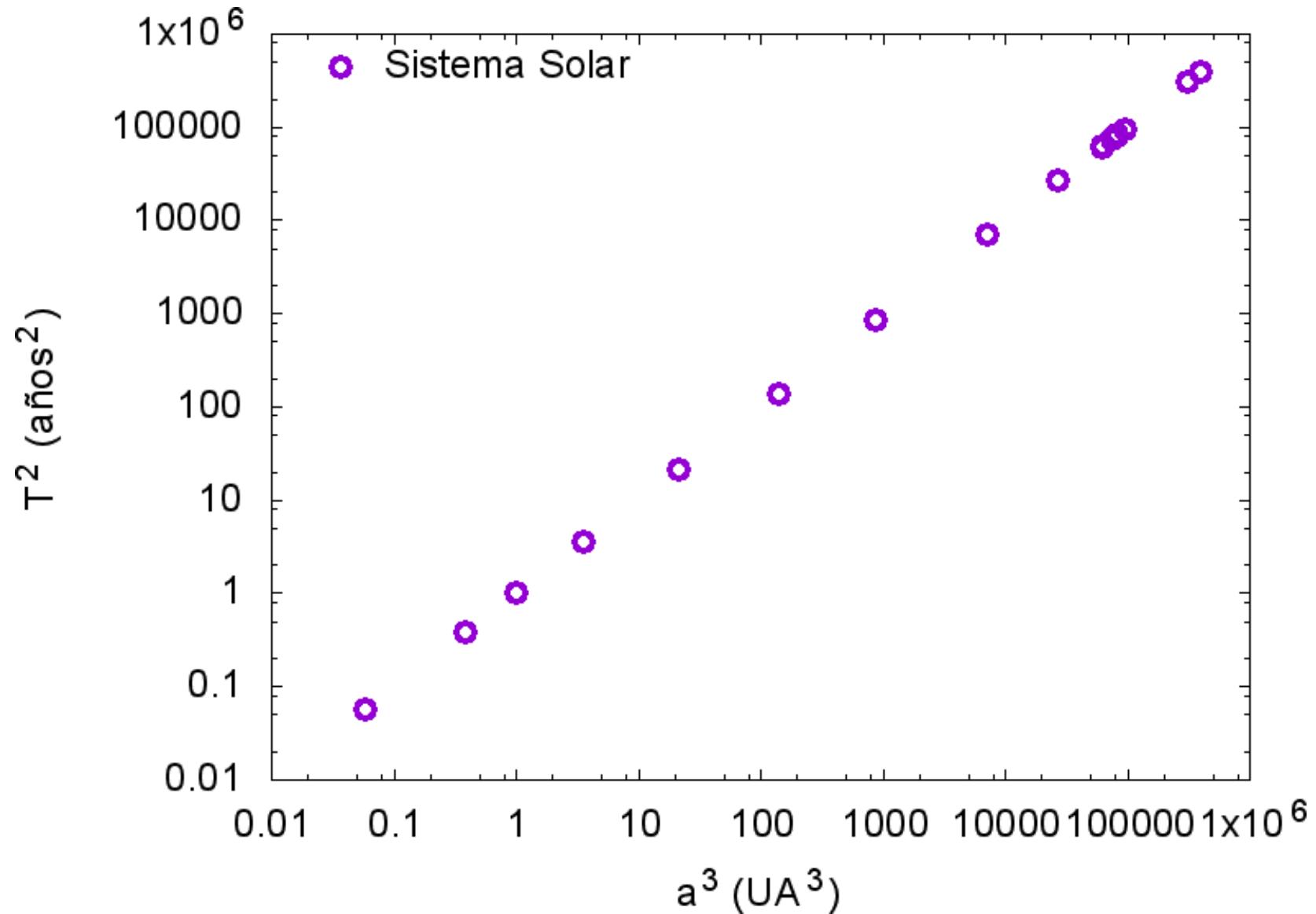
- Si medimos a en Unidades astronómicas y T en años terrestres,  $k=1$

$$\left(\frac{T}{\text{año}}\right)^2 = \left(\frac{a}{\text{U.A.}}\right)^3$$

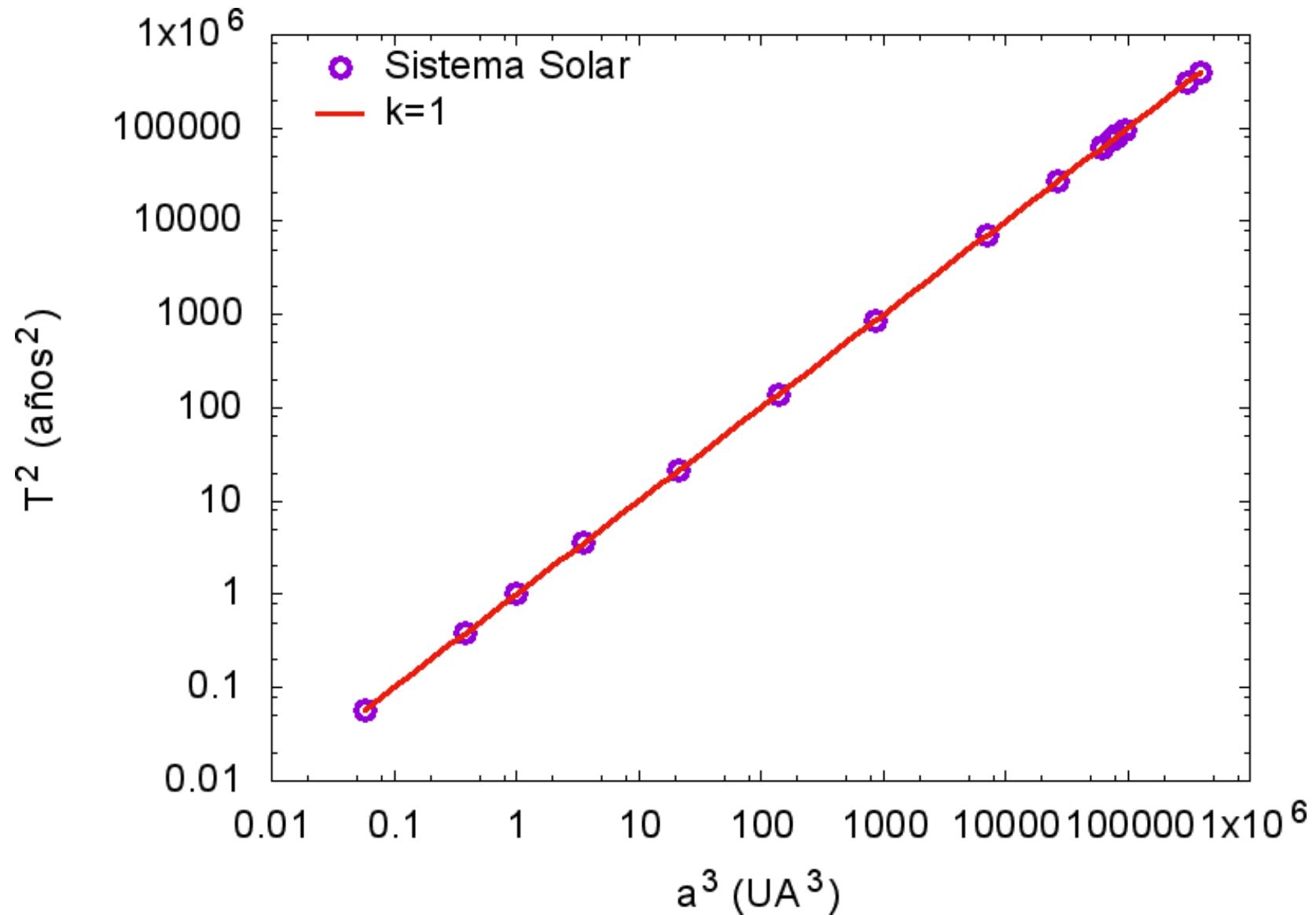
- (nota: pensar en la Tierra,  $T=1$ ,  $a=1$  entonces  $k=1$ )



# ¿Será verdad? → Datos!



# ¿Será verdad? → Datos!





## Tercera Ley

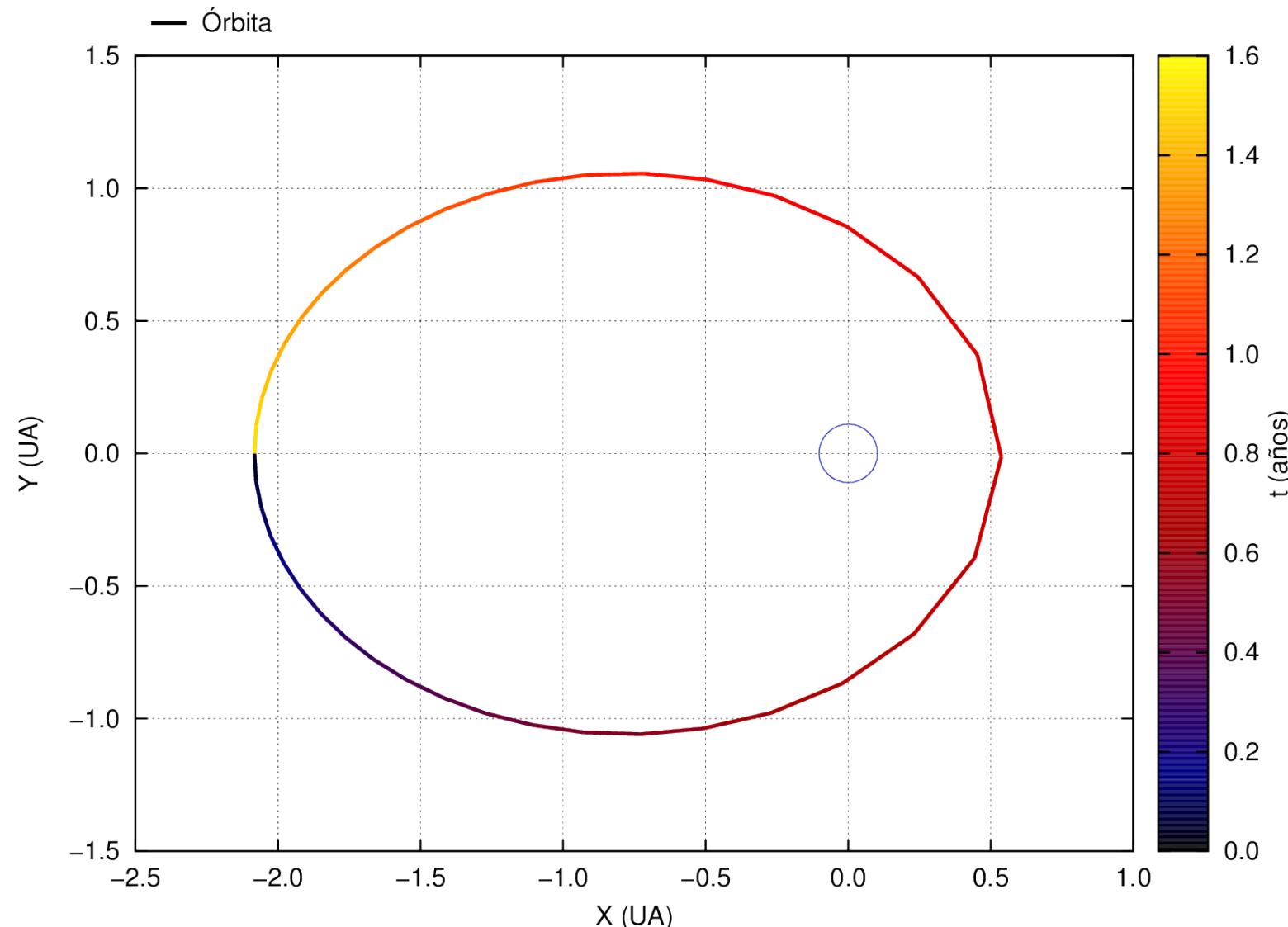
- Y vale para cualquier sistema orbital. Por ejemplo
  - calcule la masa de la Tierra sabiendo que el periodo orbital lunar es de 27,4 días y la distancia media es  $a=384800$  km
  - calcule el radio de la órbita de lo sabiendo que su periodo orbital es de 43h y la masa de Júpiter es  $1.899 \times 10^{27}$  kg.

$$\frac{T^2}{a^3} = \left( \frac{4\pi^2}{G m_{\text{central}}} \right) = \text{cte}$$

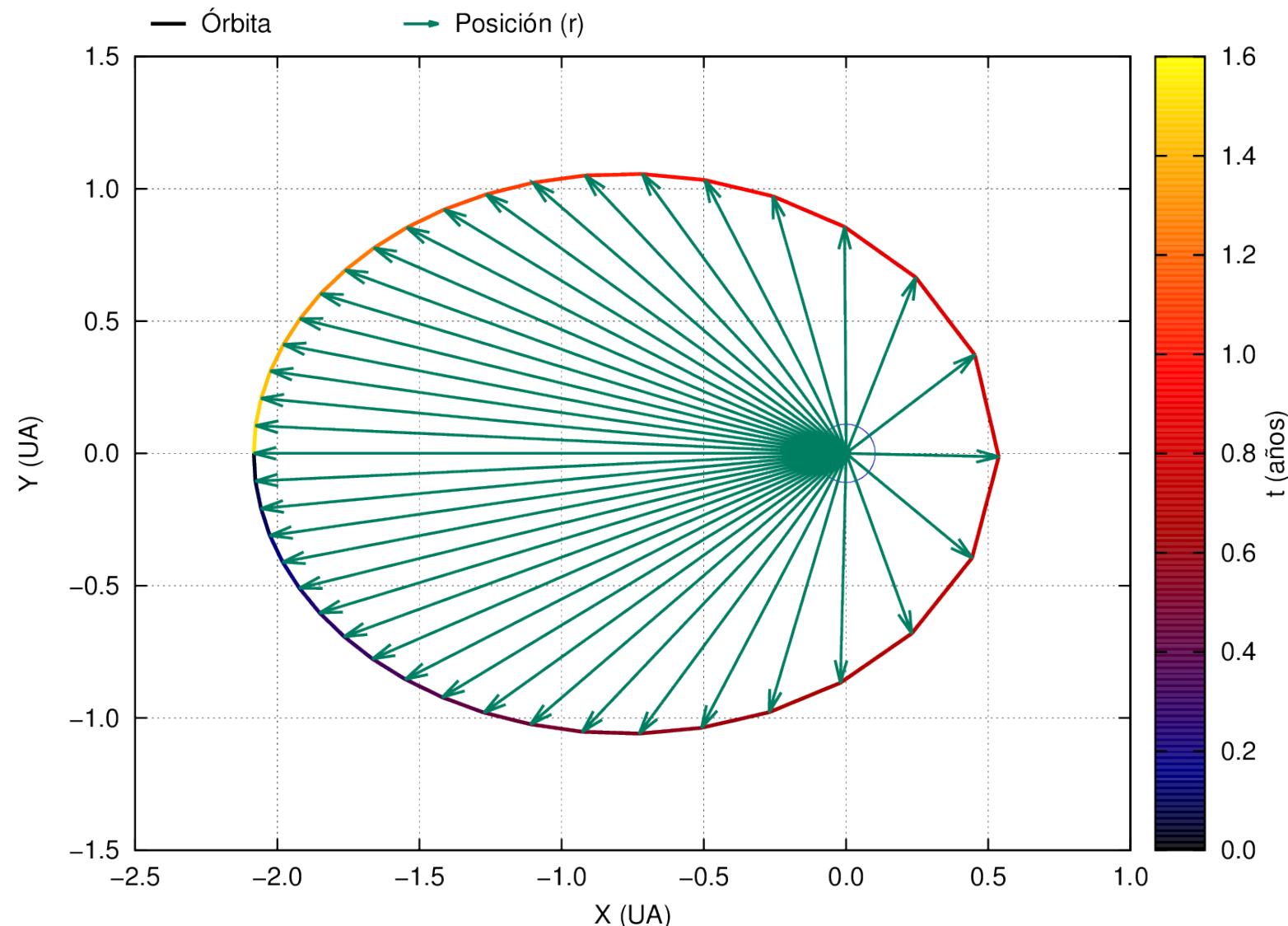


# Algo más “tangible”

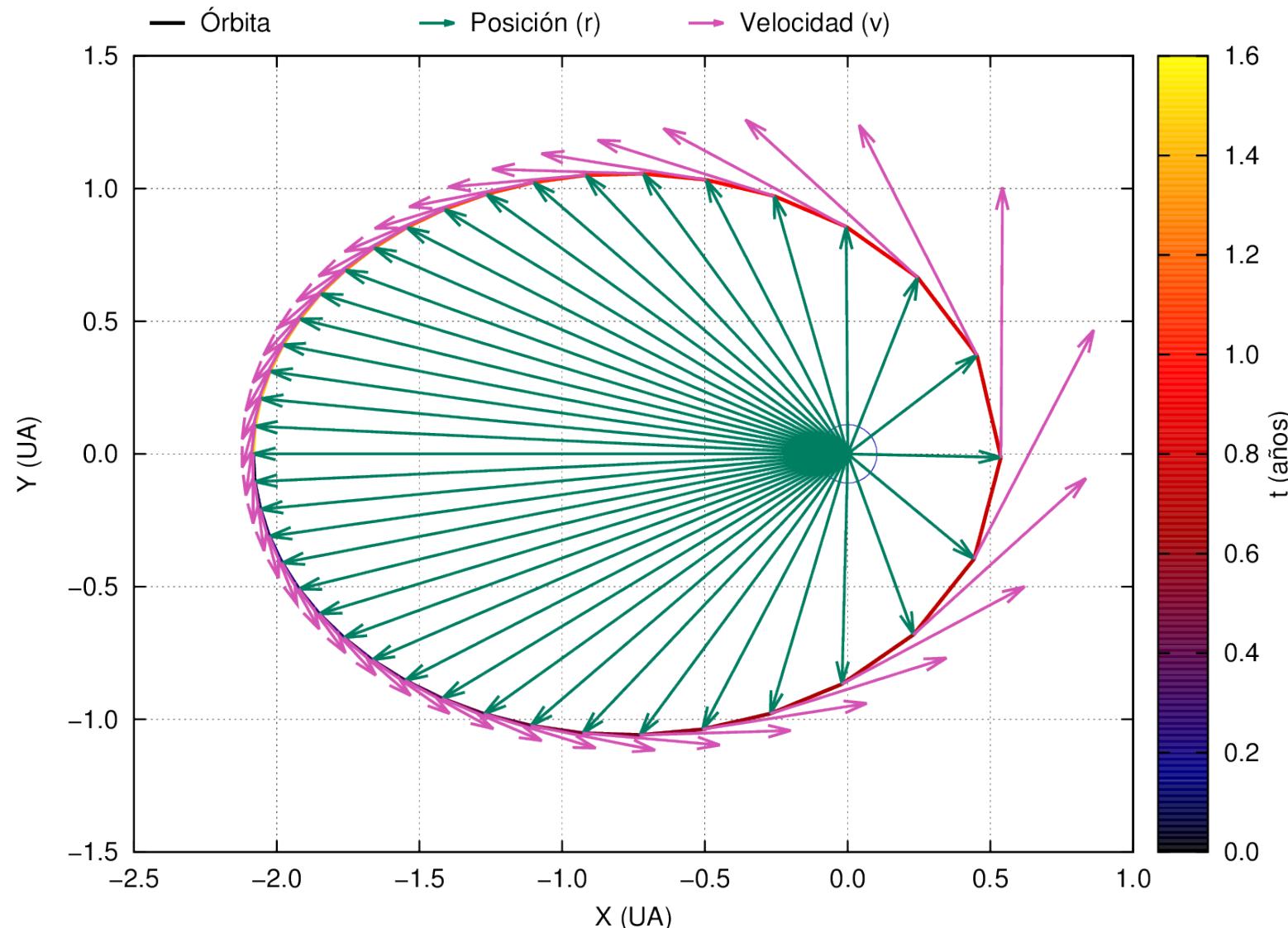
# Órbita



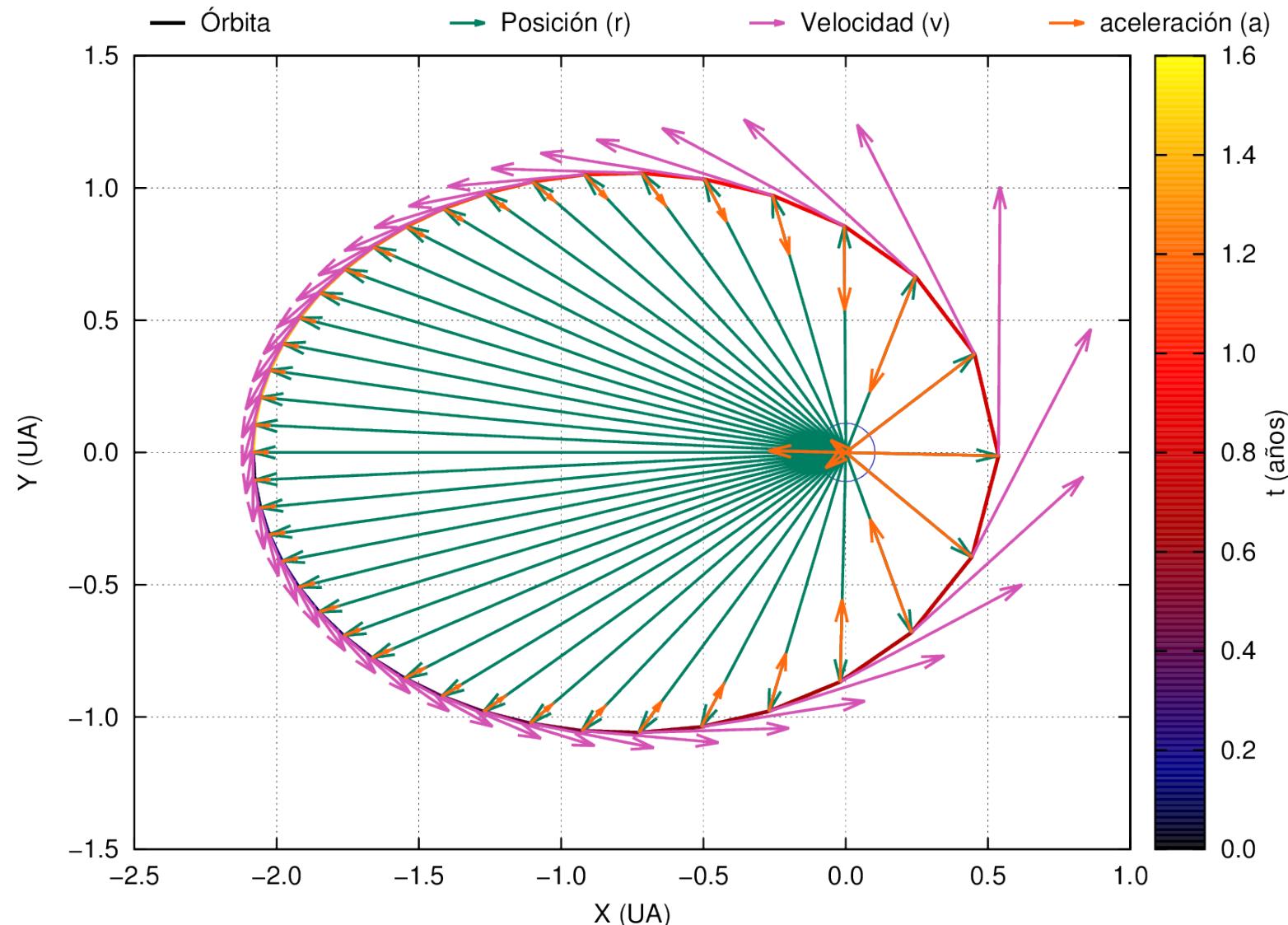
# Órbita+posición



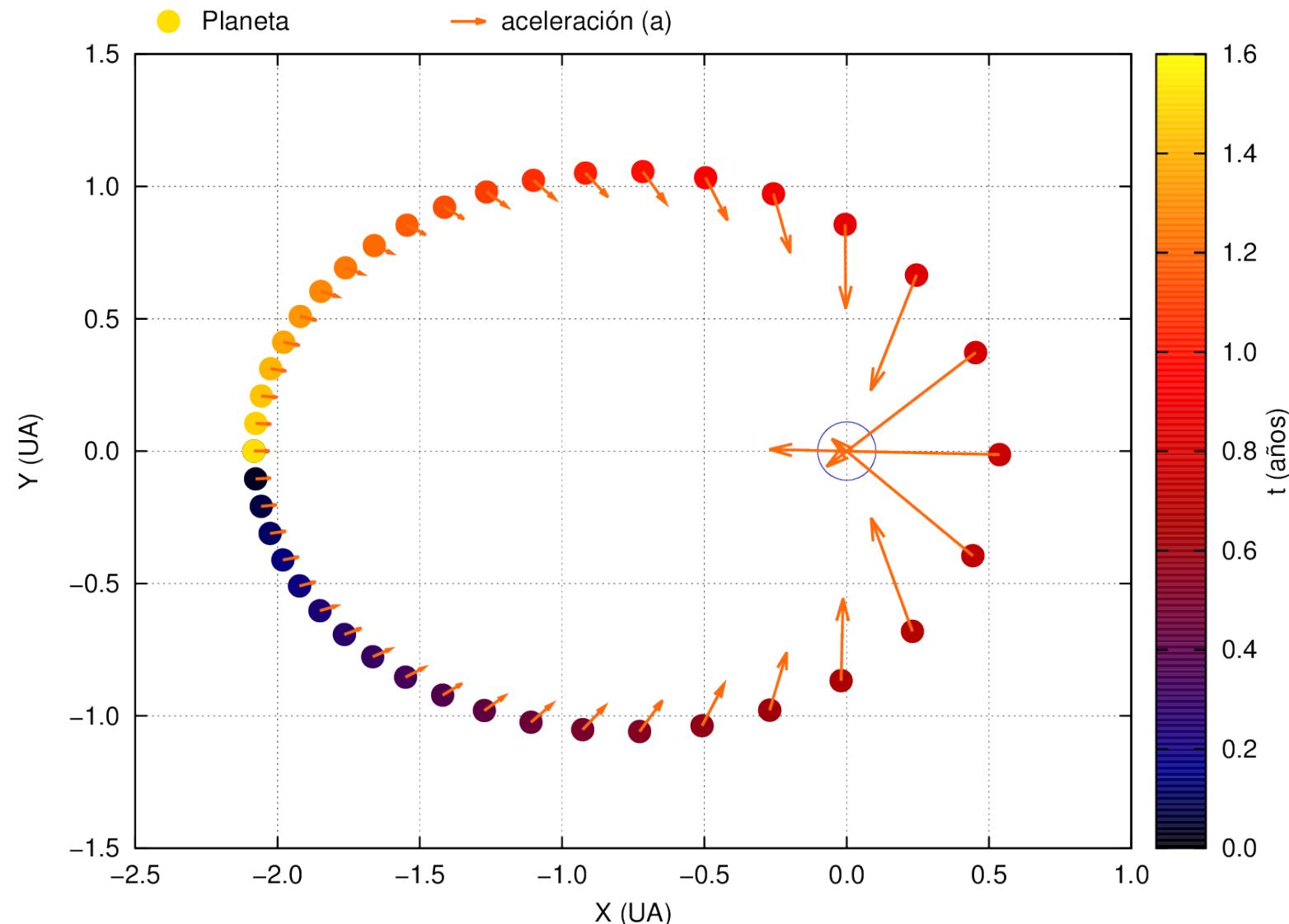
# Órbita+posición+velocidad



# Órbita+posición+velocidad+aceleración

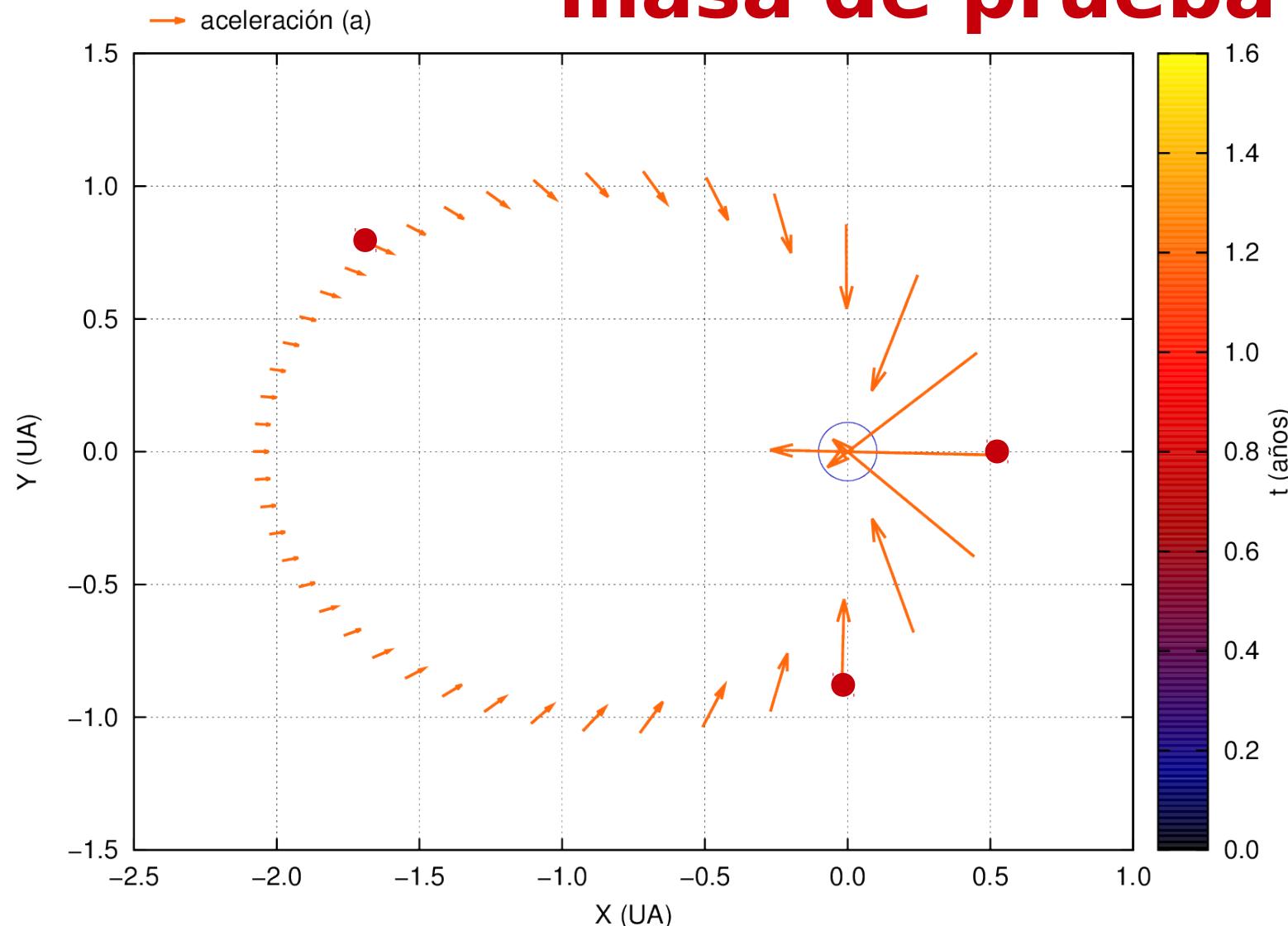


# planeta+aceleración

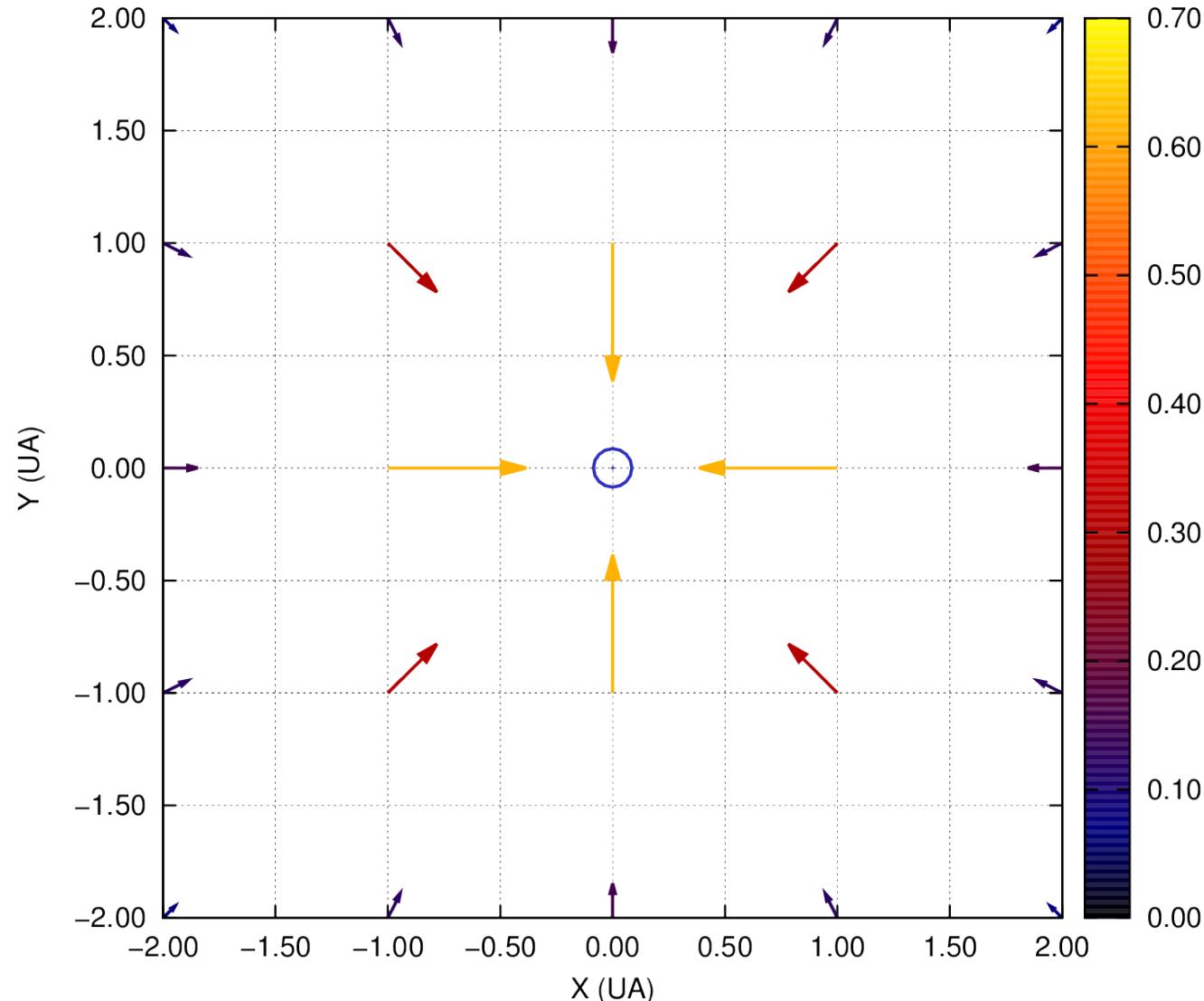


aceleración=Fuerza / masa

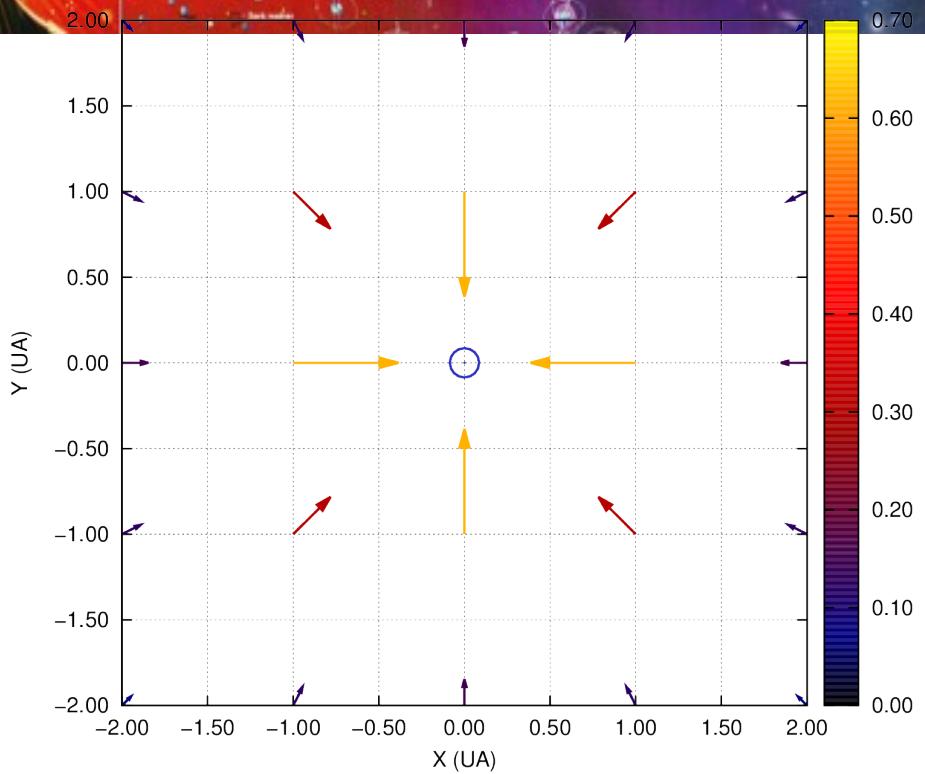
## masa de prueba



# Muevo la masa de prueba en el plano z=0



# Muevo la masa de prueba en el plano z=0 → “Campo gravitatorio”



**$\mathbf{g}(\mathbf{r})$**  es un *campo vectorial*.  
A cada punto  $\mathbf{r}$  del espacio le  
asigna el vector  **$\mathbf{g}(\mathbf{r})$**

$$\vec{F}(r) = \frac{G M m}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

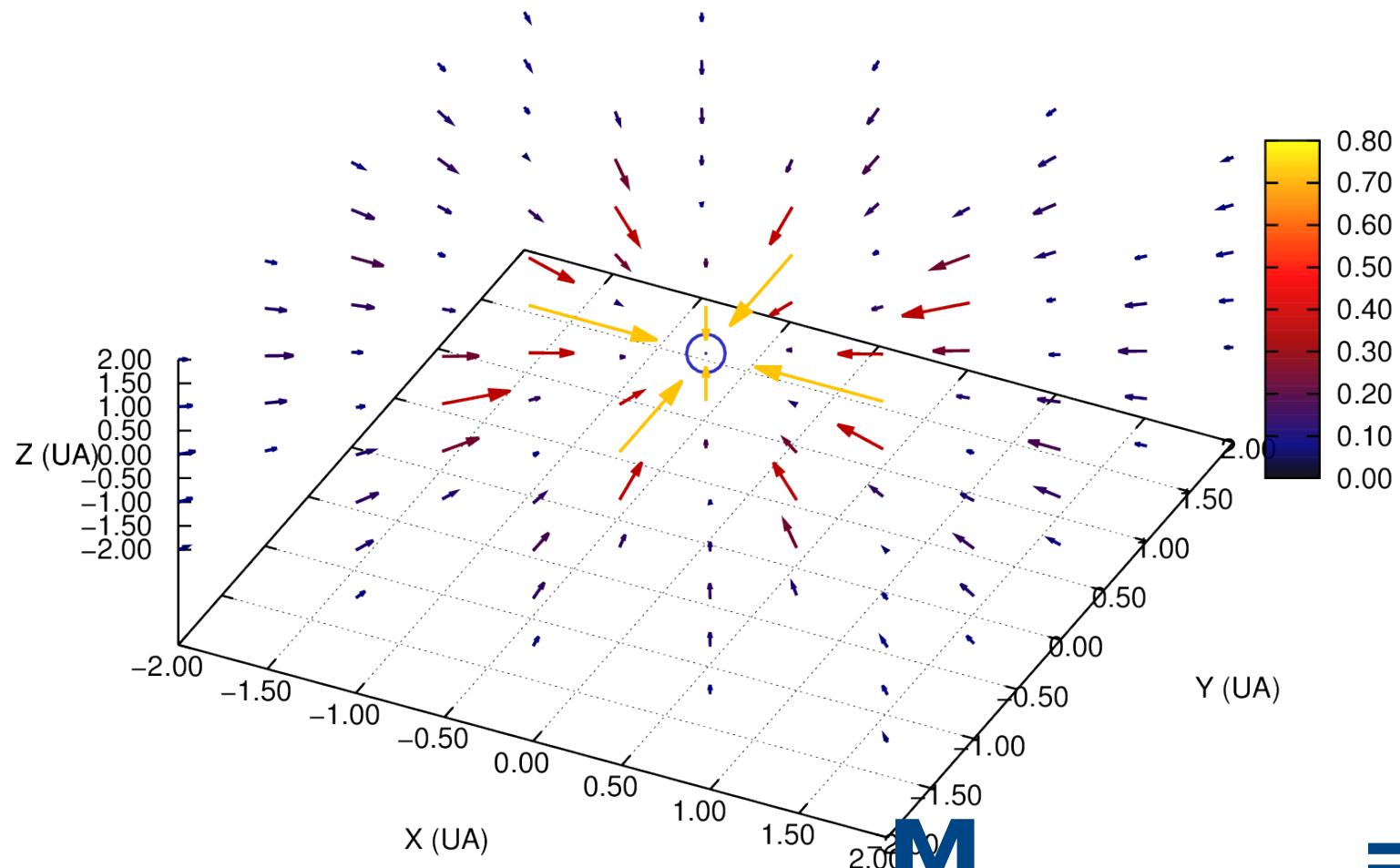
$$\vec{F}(r) = m \left[ \left( \frac{G M}{|\vec{r}|^2} \right) \hat{r} \right]$$

$$\vec{F}(r) = m \mathbf{g}(r)$$

$$\vec{g}(r) = \left( \frac{G M}{|\vec{r}|^2} \right) \hat{r}$$

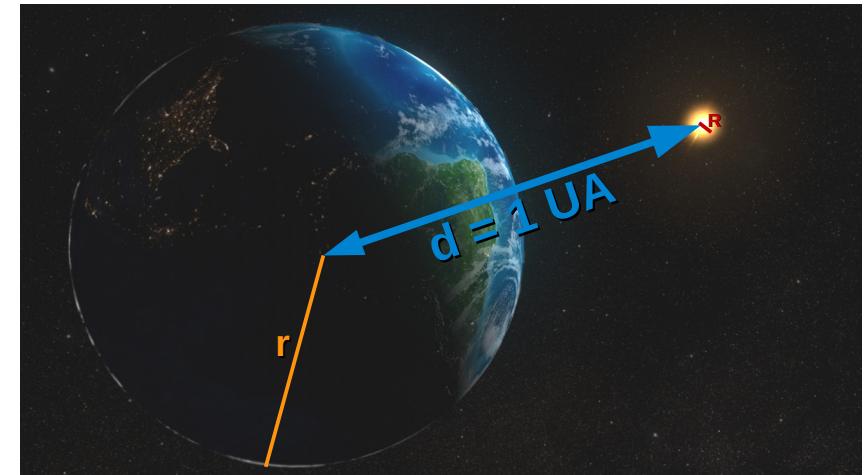
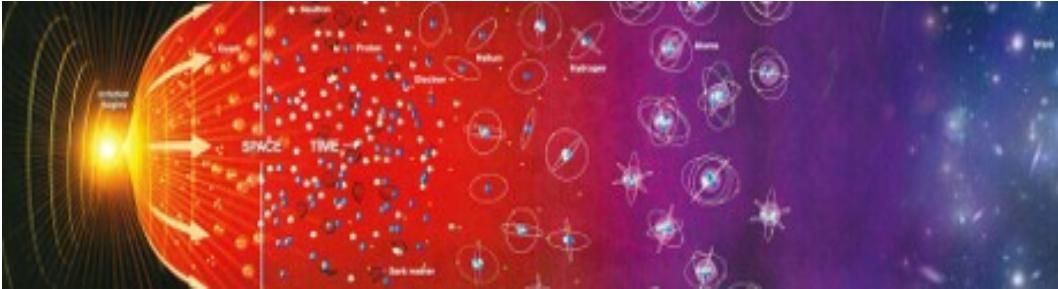
# Campo gravitatorio

**$g(r)$  representa al campo gravitatorio de la estrella HD171028D**



$$M_{\text{HD171028D}} = 0.99 M_s$$

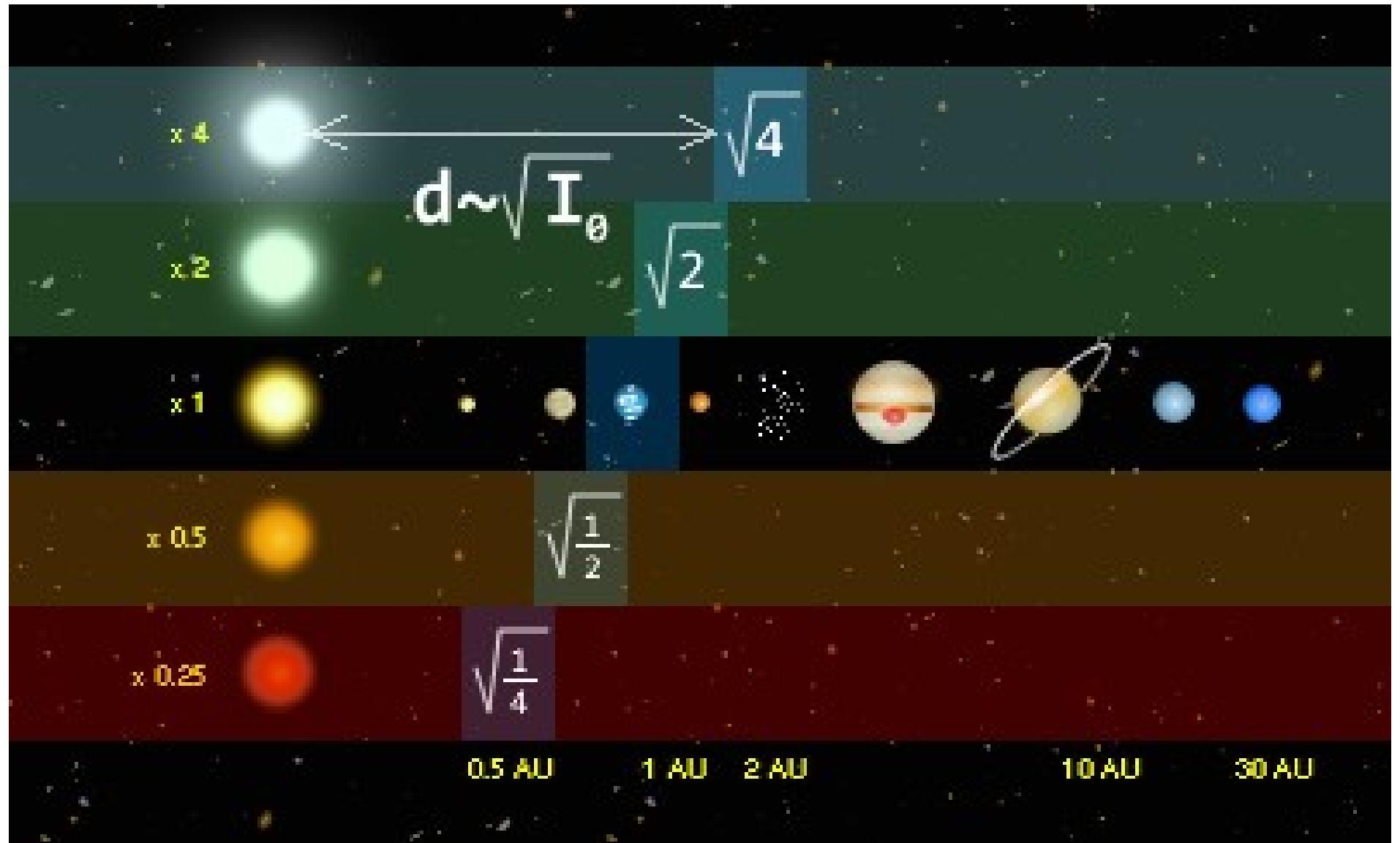
# ¿Y si fuera un planeta?



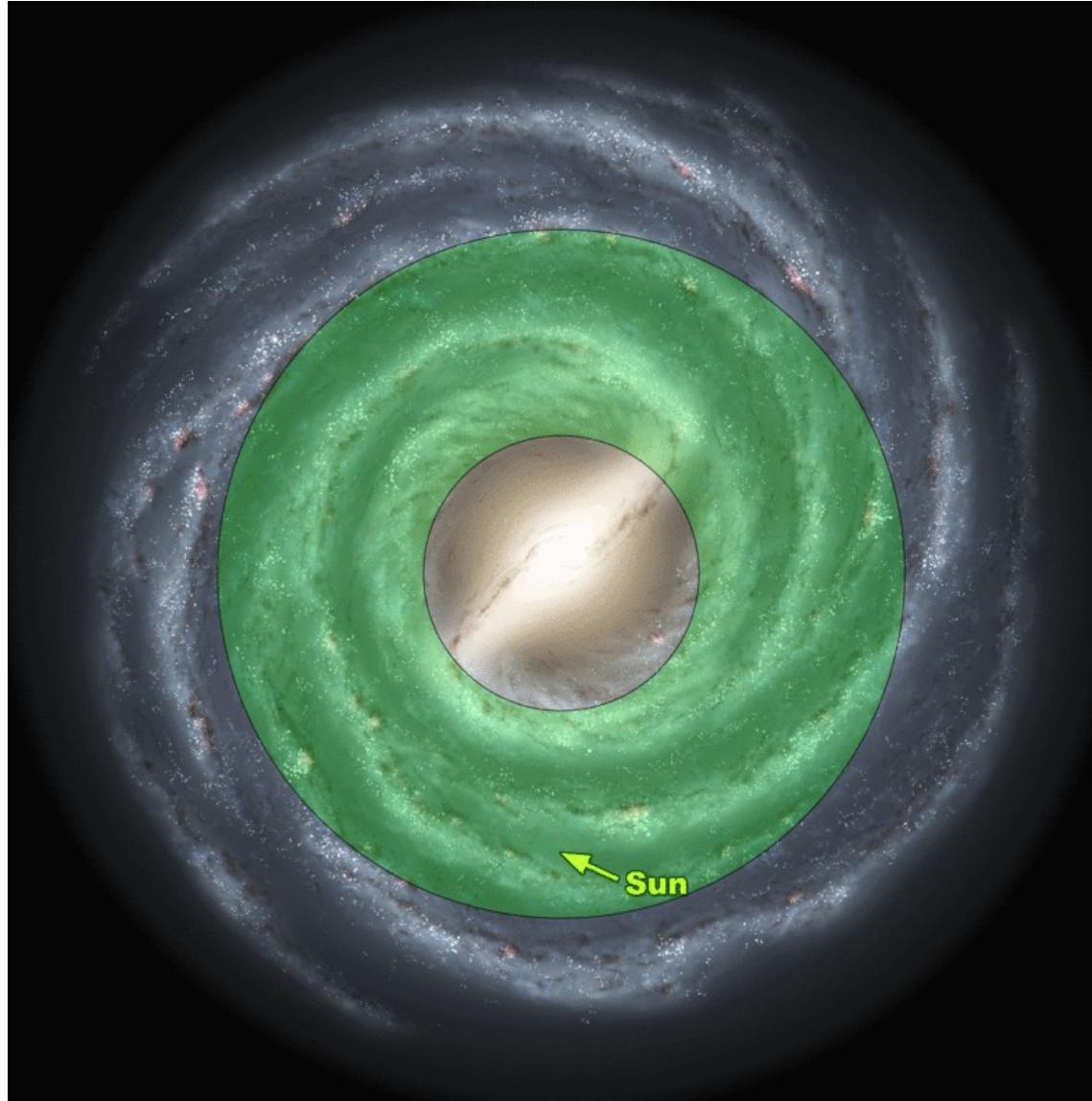
- ¿Qué fracción de la energía captura un planeta de radio  $r$ ?

$$T_{\oplus} = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{16\pi\sigma d^2}}$$
$$T_{\oplus} = \sqrt{\frac{R_{\odot}}{2d}} T_{\odot}$$
$$d = \frac{1}{2} \left( \frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}} \right)^2 R_{\odot}$$

# Zona habitable: Agua líquida (volveremos...)



zona habitable... galáctica





# Exoplanetas

<http://exoplanets.org/>

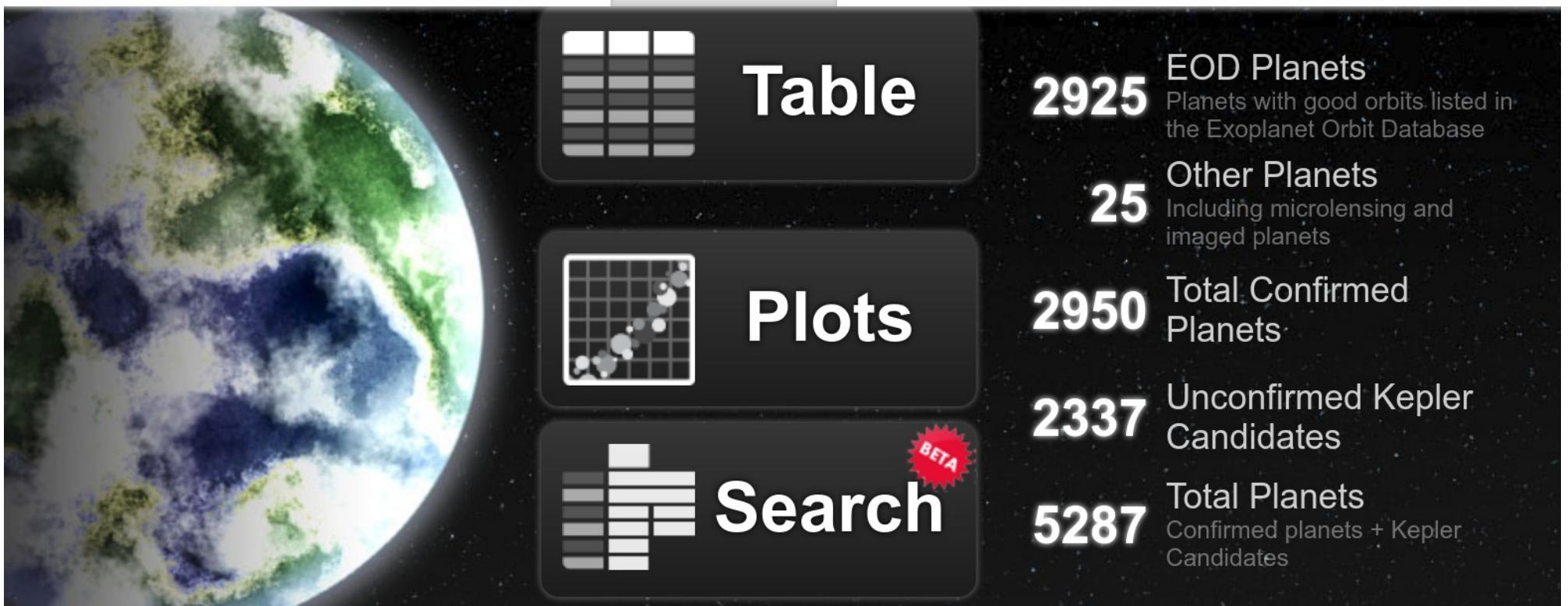
**exoplanets.org**

Exoplanets  
Data Explorer

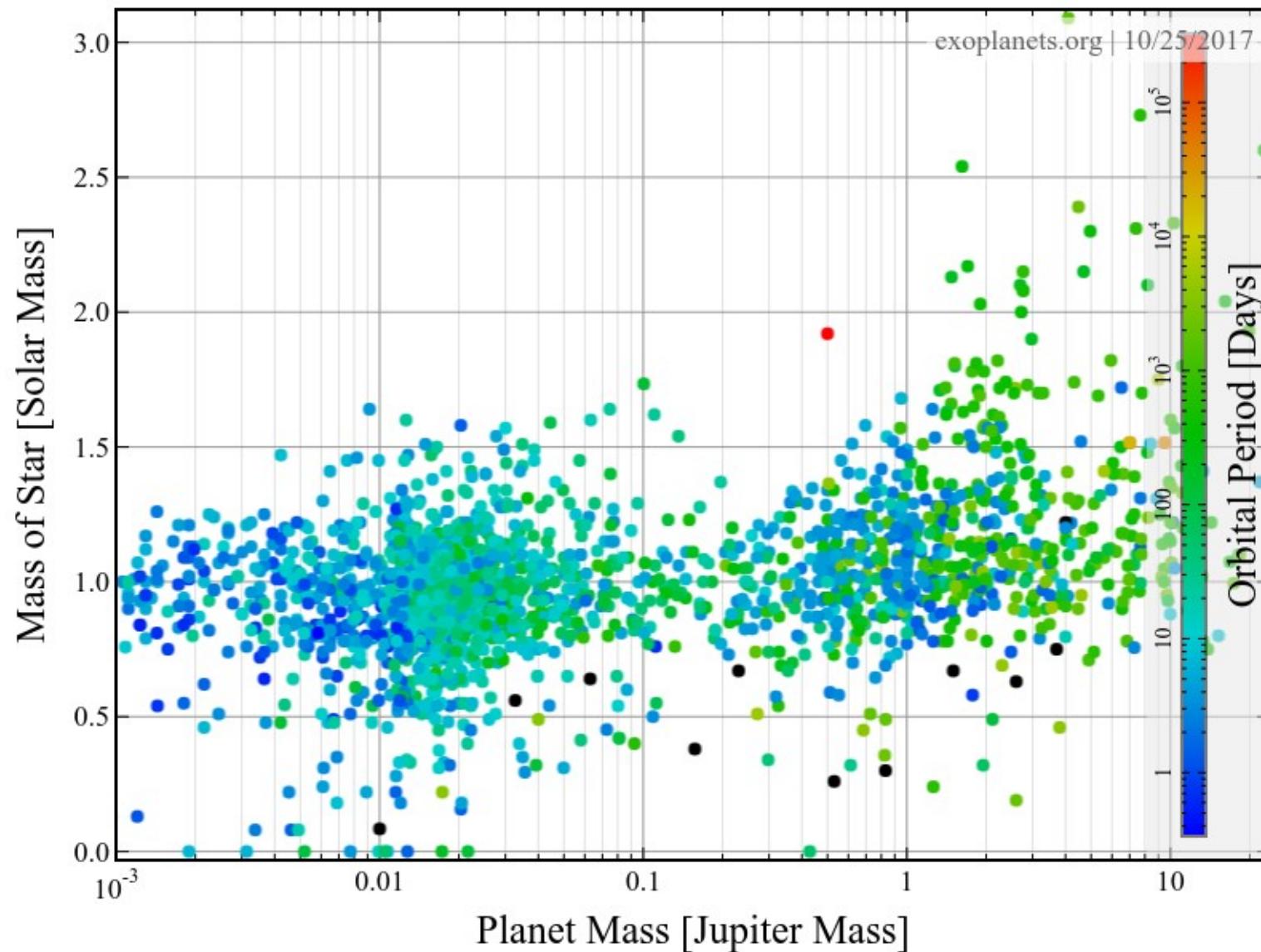
Methodology  
and FAQ

Exoplanets  
Links

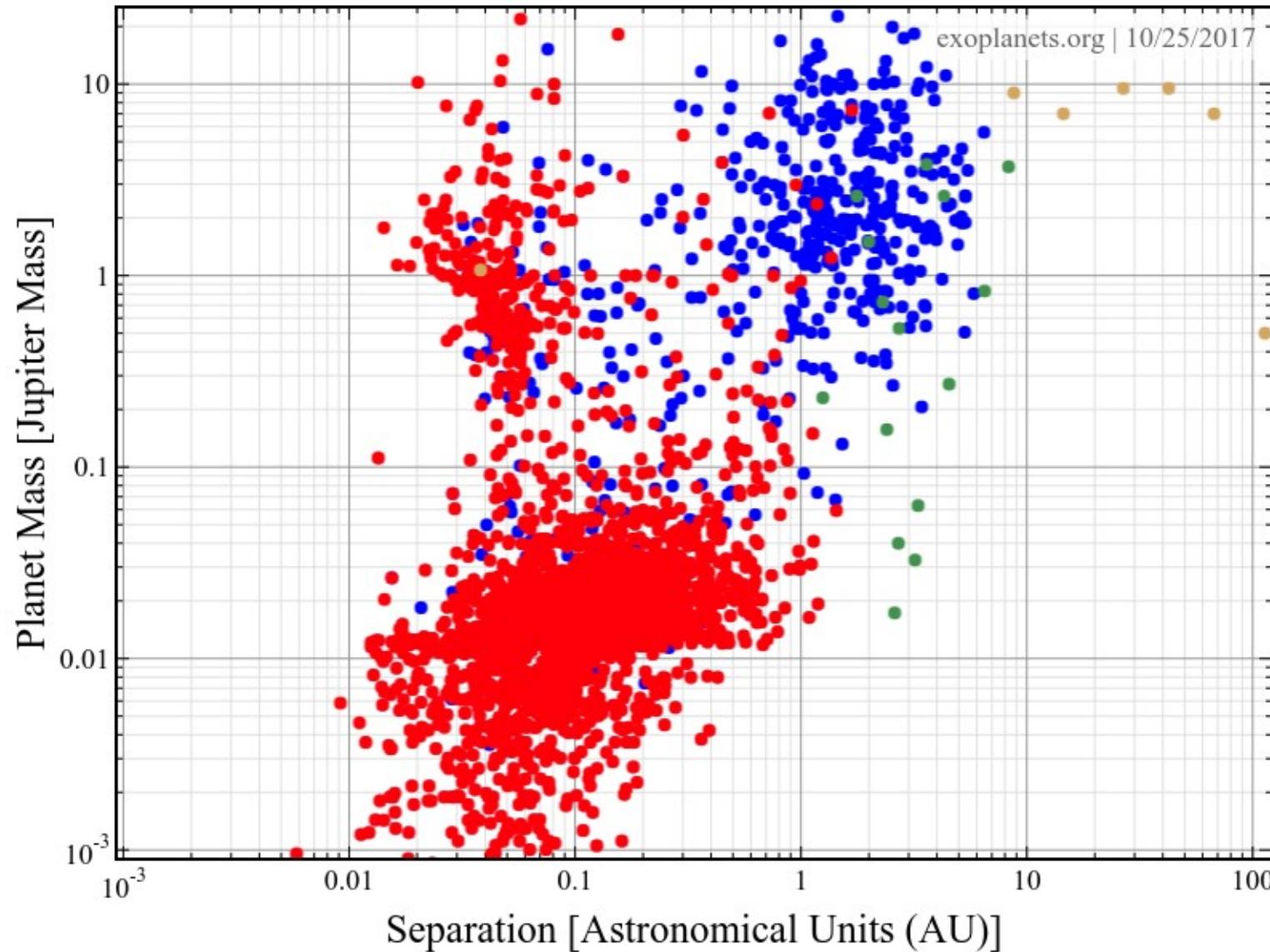
California  
Planet Survey



# Por ejemplo, masas



# Masa vs separación



# Pero si hay otros planetas, hay vida?



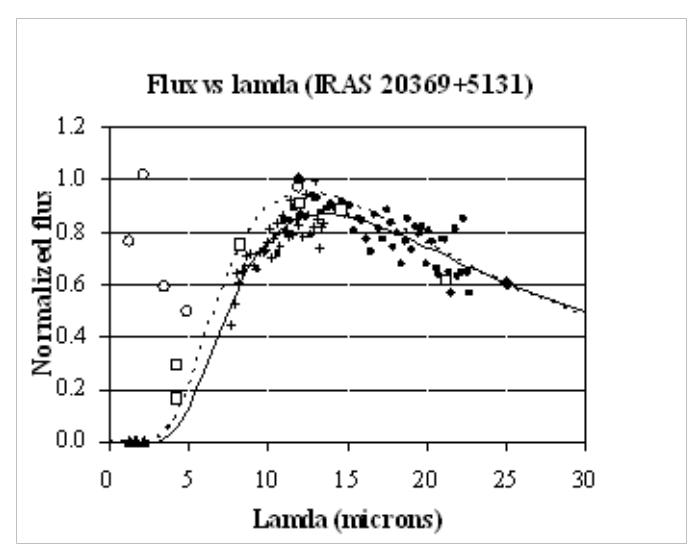
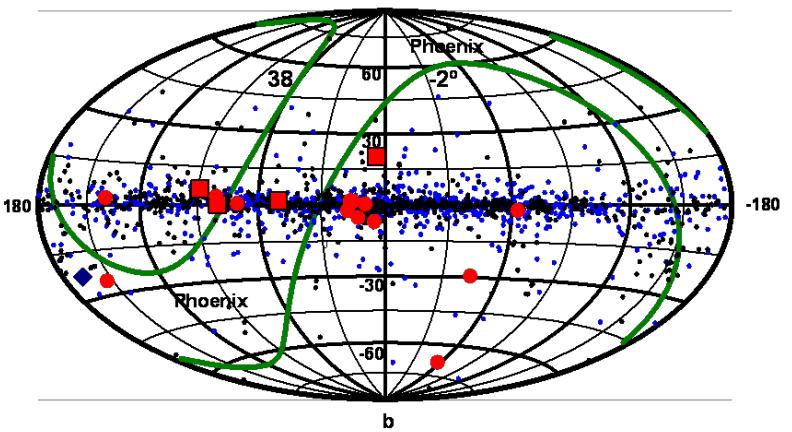


# Esferas de Dyson



# IRAS (InfraRed Astronomical Satellite)

[http://home.fnal.gov/~carrigan/infrared\\_astronomy/Termilab\\_search.htm](http://home.fnal.gov/~carrigan/infrared_astronomy/Termilab_search.htm)





# Astrobiología

- Astrobiología.

## astrobiología

De *astro-* y *biología*.

1. f. Rama interdisciplinaria de la ciencia cuyo objetivo es el origen, evolución y distribución de vida en el universo fuera de la Tierra.

# ¿Vida? 18 acepciones

- Gracias rae: tantas palabras y cero contenido... ;-)

## vida

Del lat. *vita*.

1. f. Fuerza o actividad esencial mediante la que obra el ser que la posee.
2. f. Energía de los seres orgánicos.
3. f. Hecho de estar vivo. *Le debe la vida a un medicamento.*
4. f. Existencia de seres vivos en un lugar. *No es posible la vida en Marte.*
5. f. Ser vivo. *Hizo nacer la vida en este jardín.*
6. f. Manera de vivir. *Su hija les cambió la vida.*
7. f. Estado o condición a que está sujeta la manera de vivir de una persona. *Vida monacal, de soldado.*
8. f. Actividad que desarrolla una persona o una comunidad. *Vida política, social, sexual.*
9. f. Tiempo que transcurre desde el nacimiento de un ser hasta su muerte o hasta el presente. *Una larga vida.*
10. f. Duración de una cosa. *Un electrodoméstico de vida corta.*
11. f. Narración de los hechos principales de la **vida** de una persona. *Lee vidas de santos.*
12. f. Animación, vitalidad de una persona o de una cosa. *Esta ciudad tiene poca vida nocturna. Es un cuadro con mucha vida.*
13. f. Viveza o ardor, especialmente de los ojos.
14. f. Cosa que origina suma complacencia. *Esta brisa es la vida.*
15. f. Cosa que contribuye o sirve al ser o conservación de otra. *El agua es vida.*
16. f. Conjunto de los bienes necesarios para vivir. *La vida en esta ciudad es muy cara.*
17. f. Existencia después de la muerte.
- Asor 18. f. *Rel.* Visión y gozo de Dios en el cielo. *Mejor vida. Vida eterna.*



# ¿qué es la vida?



# Qué es la Vida? E. Schrödinger

- La vida no viola las leyes de la termodinámica, aumentan su complejidad a costa de aumentar la entropía general en los procesos que hacen parte de esta
- La química de la herencia debe basarse en secuencias aperiódicas con la necesidad de una secuencia informativa que debe ser transmitida