



# Universidad Nacional de Río Negro

## Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2017

- **Unidad** 02 – Astrofísica
- **Clase** UO2C06 – 12
- **Fecha** 31 Oct 2017
- **Cont** Exoplanetas y Astrobiología
- **Cátedra** Asorey
- **Web**  
[github.com/asoreyh/unrn-ipac](https://github.com/asoreyh/unrn-ipac)  
[www.facebook.com/fisicareconocida/](https://www.facebook.com/fisicareconocida/)



# Contenidos: un viaje en el tiempo

## HOW DID OUR UNIVERSE BEGIN?

Some 13.8 billion years ago our entire visible universe was contained in an unimaginably hot, dense point, a billion times the size of a nuclear particle. Since then it has expanded—a lot—fighting gravity all the way.

**Inflation**  
The universe expands, cools a repulsive energy field inflates space faster than light fills it with a soup of subatomic particles called quarks.

**Age:**  $10^{-3}$  milliseconds  
**Size:** Infinitesimal to golf ball

**Early building blocks**  
Quarks clump into protons and neutrons, creating blocks of atomic nuclei. Perhaps dark matter forms.

**Age:** .01 milliseconds  
**Size:** 0.1-millionth present size

**First nuclei**  
As the universe continues to cool, the lightest nuclei of hydrogen and helium arise. A thick fog of particles blocks all light.

**Age:** .01 to 200 seconds  
**Size:** 1-billionth present size

**First atoms, first light**  
As electrons begin orbiting nuclei, creating atoms, the glow from their infalling orbits is unveiled. This light is as far back as our instruments can see.

**Age:** 380,000 years  
**Size:** .0009 to 0.1 present size

**The "dark ages"**  
For 300 million years this collection of gas and dust is the only light. Clumps of matter that will become galaxies glow brightest.

**Age:** 380,000 to 300 million years  
**Size:** .0009 to 0.1 present size

**Gravity wins: first stars**  
Dense gas clouds collapse under their own gravity. Puffs of dark matter eventually form galaxies and stars. Star fusion lights up the stars.

**Age:** 300 million years  
**Size:** 0.1 present size

**Antigravity wins**  
After being slowed for billions of years, gravity, cosmic expansion accelerates again. The culprit: dark energy. Its nature: unclear.

**Age:** 10 billion years  
**Size:** .77 present size

**Today**  
The universe continues to expand, becoming ever less dense. As a result, fewer new stars and galaxies are forming.

**Age:** 13.8 billion years  
**Size:** Present size

## COSMIC QUESTIONS

In the 20th century the universe became a story—a scientific one. It had always been seen as static and eternal. Then astronomers observed other galaxies flying away from ours, and Einstein's general relativity theory implied space itself was expanding—which meant the universe had once been denser. What had seemed eternal now had a beginning and an end. But what beginning? What end? Those questions are still open.

## 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 23 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.



## WHAT IS THE SHAPE OF OUR UNIVERSE?

Einstein discovered that a star's gravity curves space around it. But is the whole universe curved? Might space close up on itself like a sphere or curve the other way, opening out like a saddle? By studying cosmic background radiation, scientists have found that the universe is poised between the two: just dense enough with just enough gravity to be almost perfectly flat, at least the part we can see. What lies beyond we can't know.



## Unidad 2 Astrofísica Cálido y frío

### 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 quantum energy fluctuations. Inflation theory suggests universes 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.

## HOW WILL IT END?

Which will win in the end, gravity or antigravity? Is the density of matter enough for gravity to halt or even reverse cosmic expansion, leading to a big crunch? It seems unlikely—especially given the power of dark energy, a kind of antigravity. Perhaps the acceleration in expansion caused by dark energy will trigger a big rip that shreds everything, from galaxies to atoms. If not, the universe may expand for hundreds of billions of years, long after all stars have died.



## Unidad 1 Partículas 1 todo es relativo



Fly through the universe on our digital edition.  
LONDON PHOTOS: ANDREW STONE; FERNE GOLDBECK; ART: WOZNIAK/INTERACT DESIGN SOURCE: CHARLES BENNETT, JOHN HESKETH, AND JEFFREY KATZ, NIST; DAVID TURNER, UNIVERSITY OF CHICAGO; COURTESY OF THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

# Estrellas supermasivas

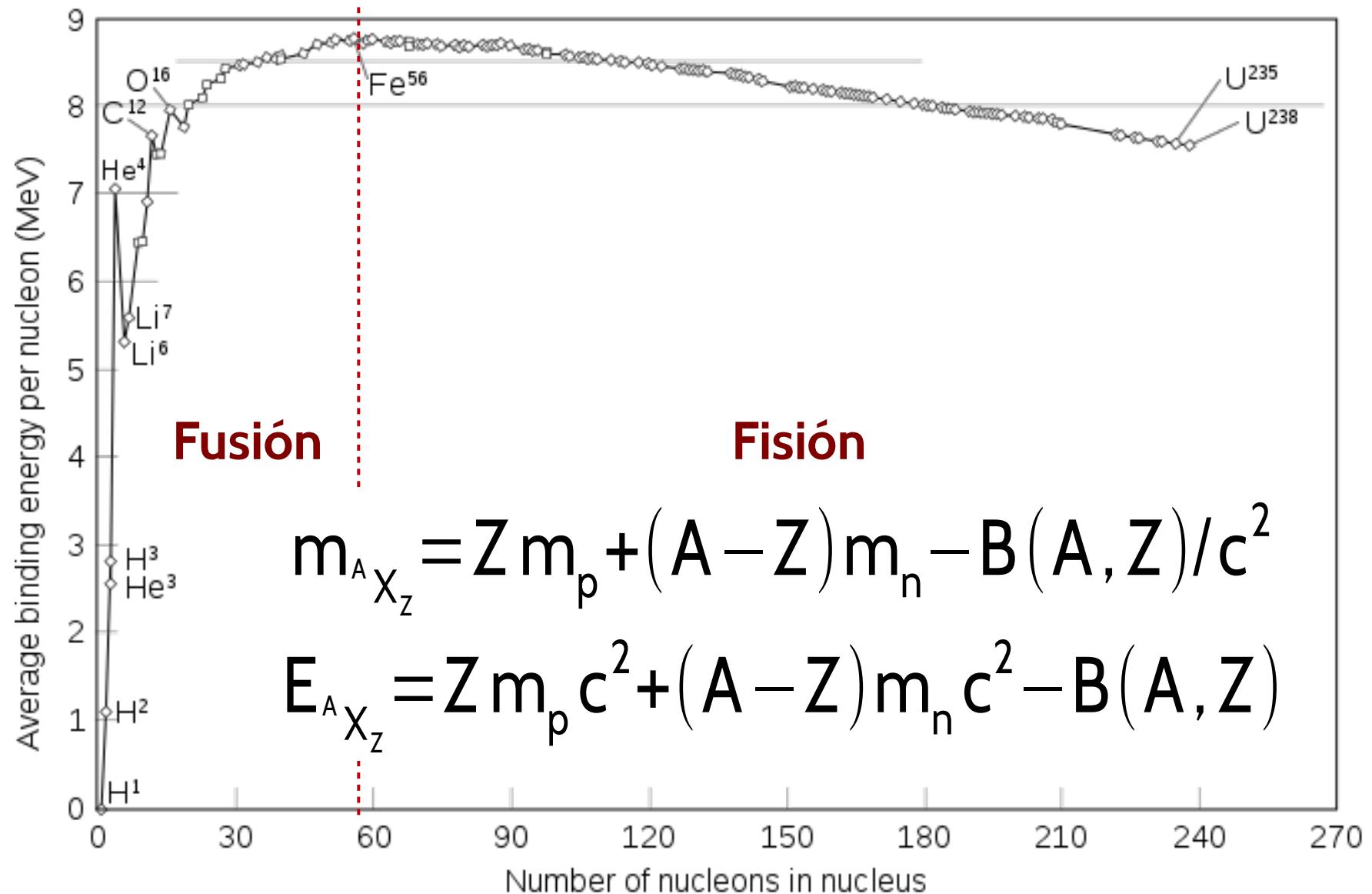
NGC3372 – Nebulosa Carina (Carina)

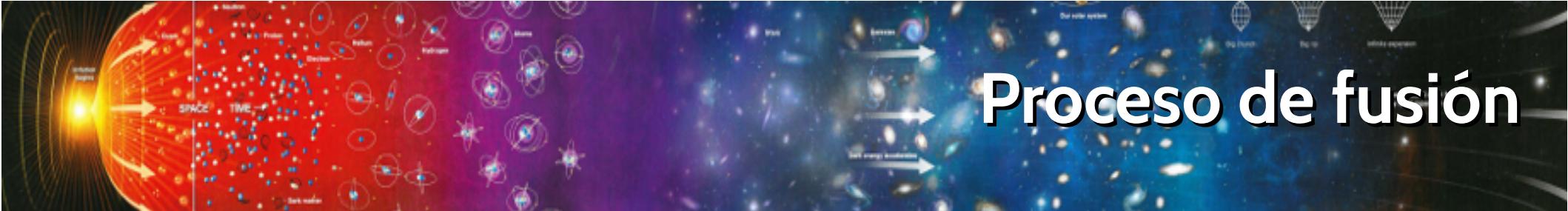
# $\eta$ Carinae: Una binaria a punto caramelito



Nebulosa Homúnculo en la Nebulosa Eta Carina (en la Nebulosa Carina)

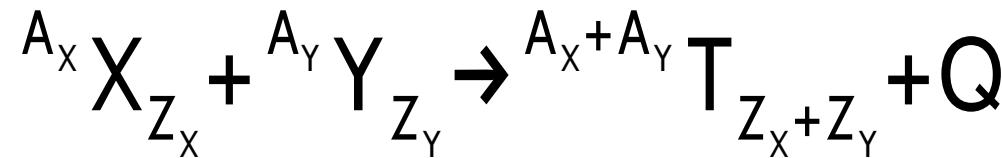
# Energías de ligaduras



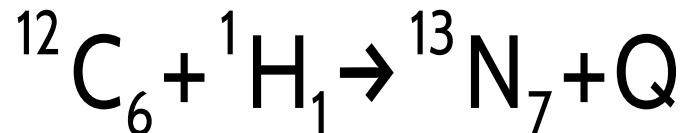
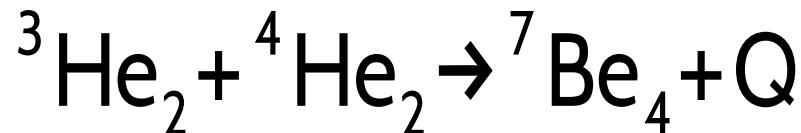


# Proceso de fusión

- Dos núcleos se fusionan liberando energía:



- Por ejemplo:



- Y entonces, la energía liberada será

$$Q = (m_{\text{reactivos}} - m_{\text{productos}}) c^2$$



# Energía liberada en un proceso de fusión

- Entonces:

$$Q = B_{\text{productos}} - \sum B_{\text{reactivos}}$$

- Los valores de  $B(A,Z)$  pueden obtenerse de tablas
- Ver por ejemplo:

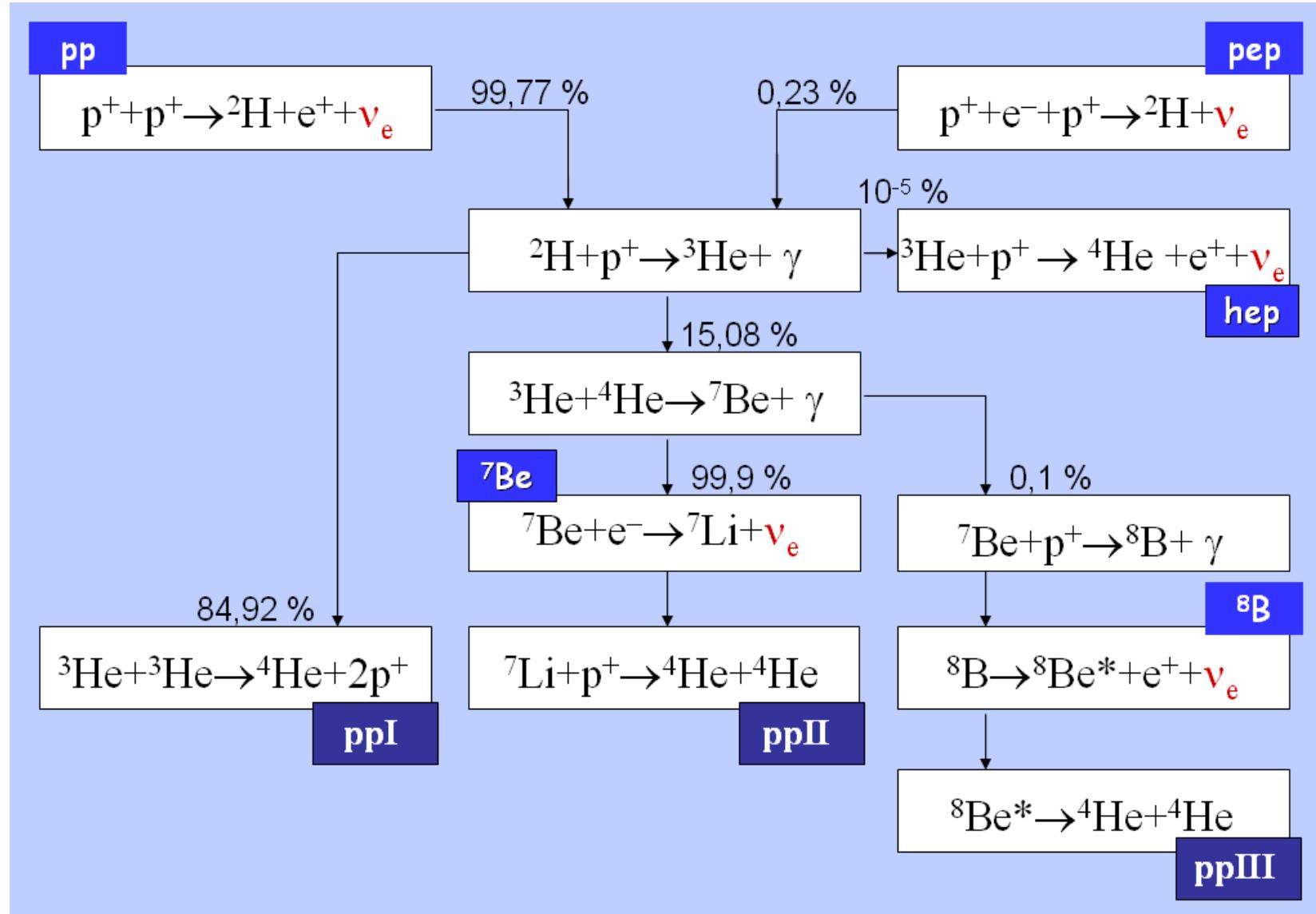
<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

también en Google play!:

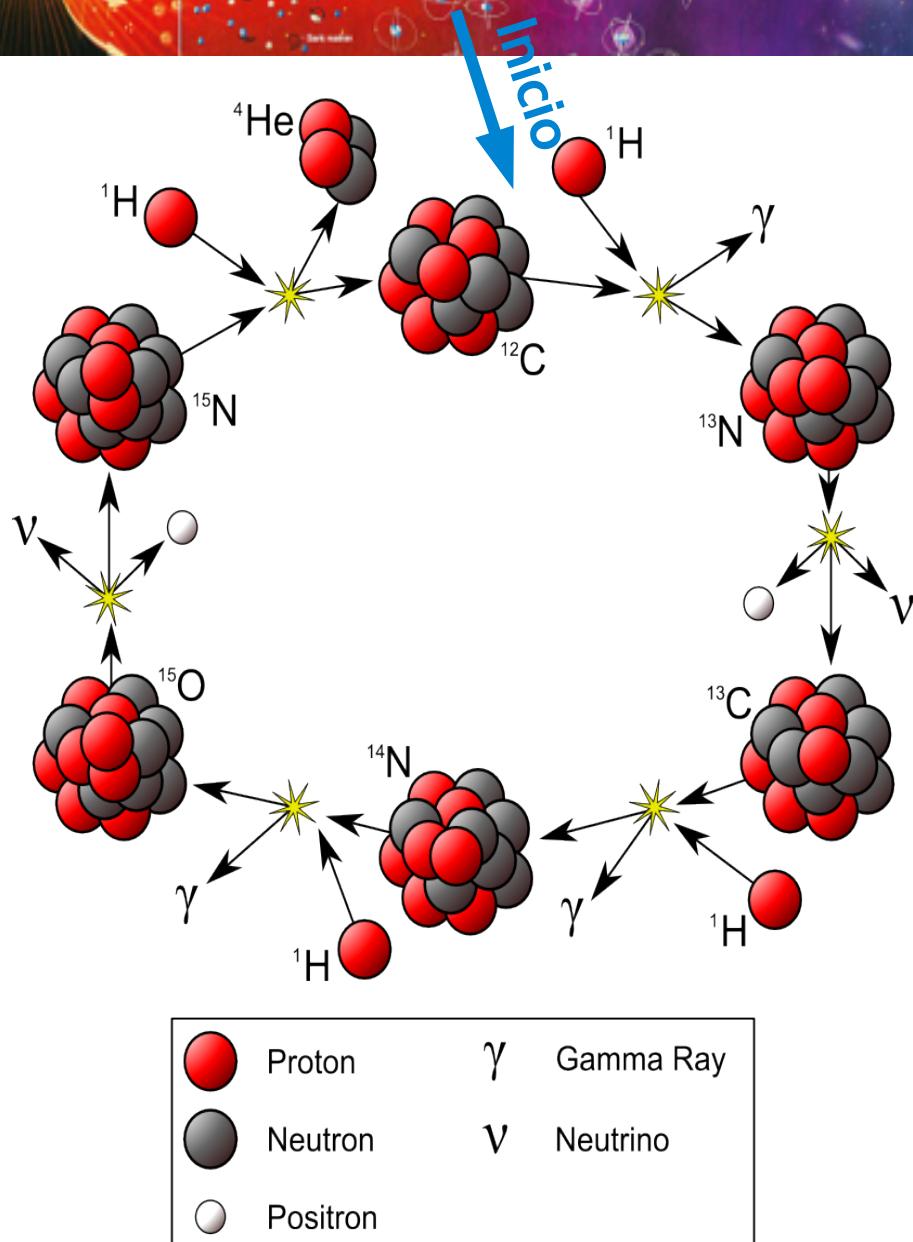
<https://play.google.com/store/apps/details?id=iaea.nds.nuclides>

- Tener en cuenta que en la mayoría de las tablas se reporta la energía de ligadura por nucleón, es decir,  $B/A$

# La cadena protón protón (pp chain)

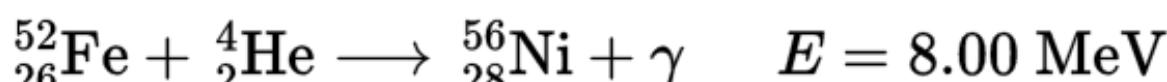
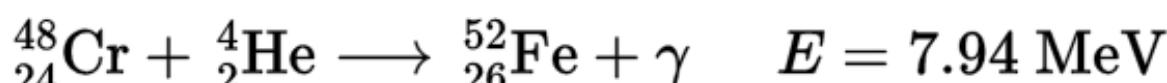
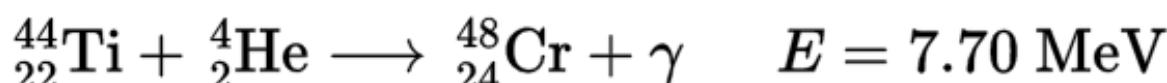
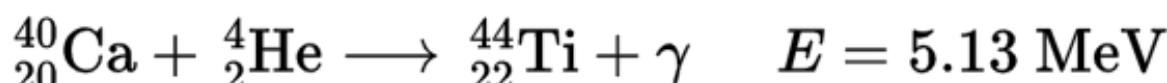
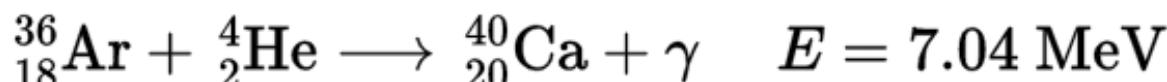
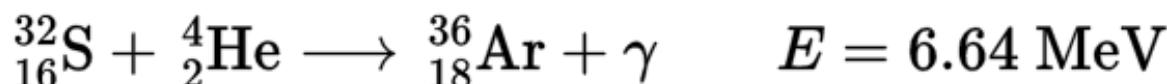
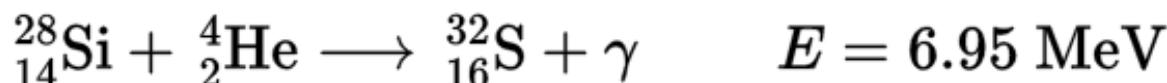
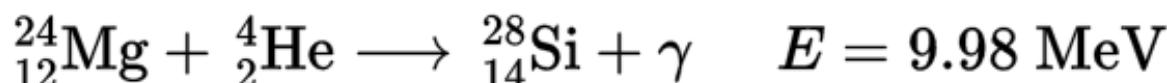
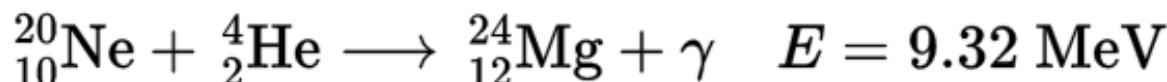
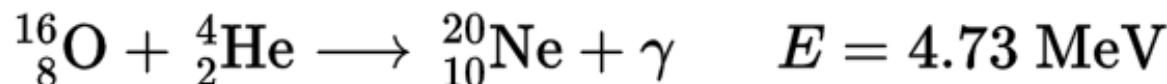
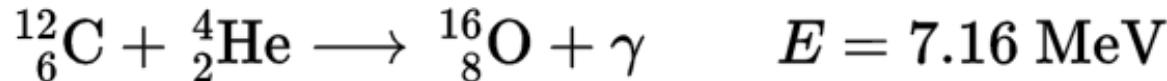


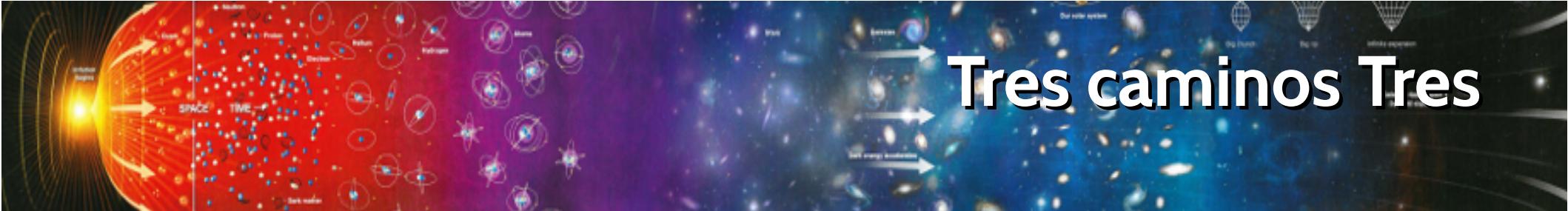
# En estrellas más masivas, además... ciclo CNO



- Ciclo CNO (Carbono, Nitrógeno, Oxígeno)
- Usa el CNO como “catalizador”
- La reacción neta convierte  $4 \text{ p} \rightarrow \text{He} + \text{neutrinos} + Q$ , al igual que la cadena pp
- Libera la misma cantidad de energía neta por reacción (26.73 MeV)

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





# 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

# Enana blanca

NGC2440 + HD62166  
(en Pupis)

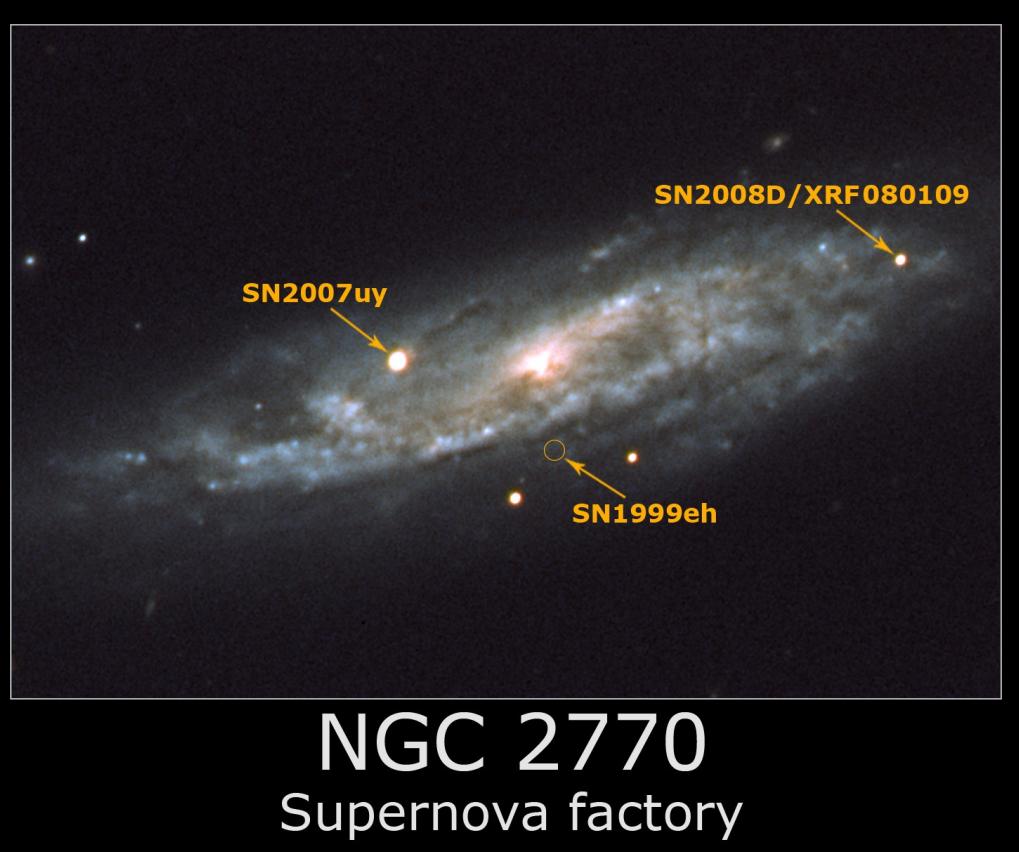
- No hay más **producción de energía**
- La gravedad **domina**
- El colapso comienza pero se detiene → **Pauli!**
- $R \sim R_{Tierra} \leftarrow$  Calcular  $p$  y  $v_e$
- La estrella se **enfria por radiación al espacio**  
→ Enana negra

:(

Sirio B



# Supernovas



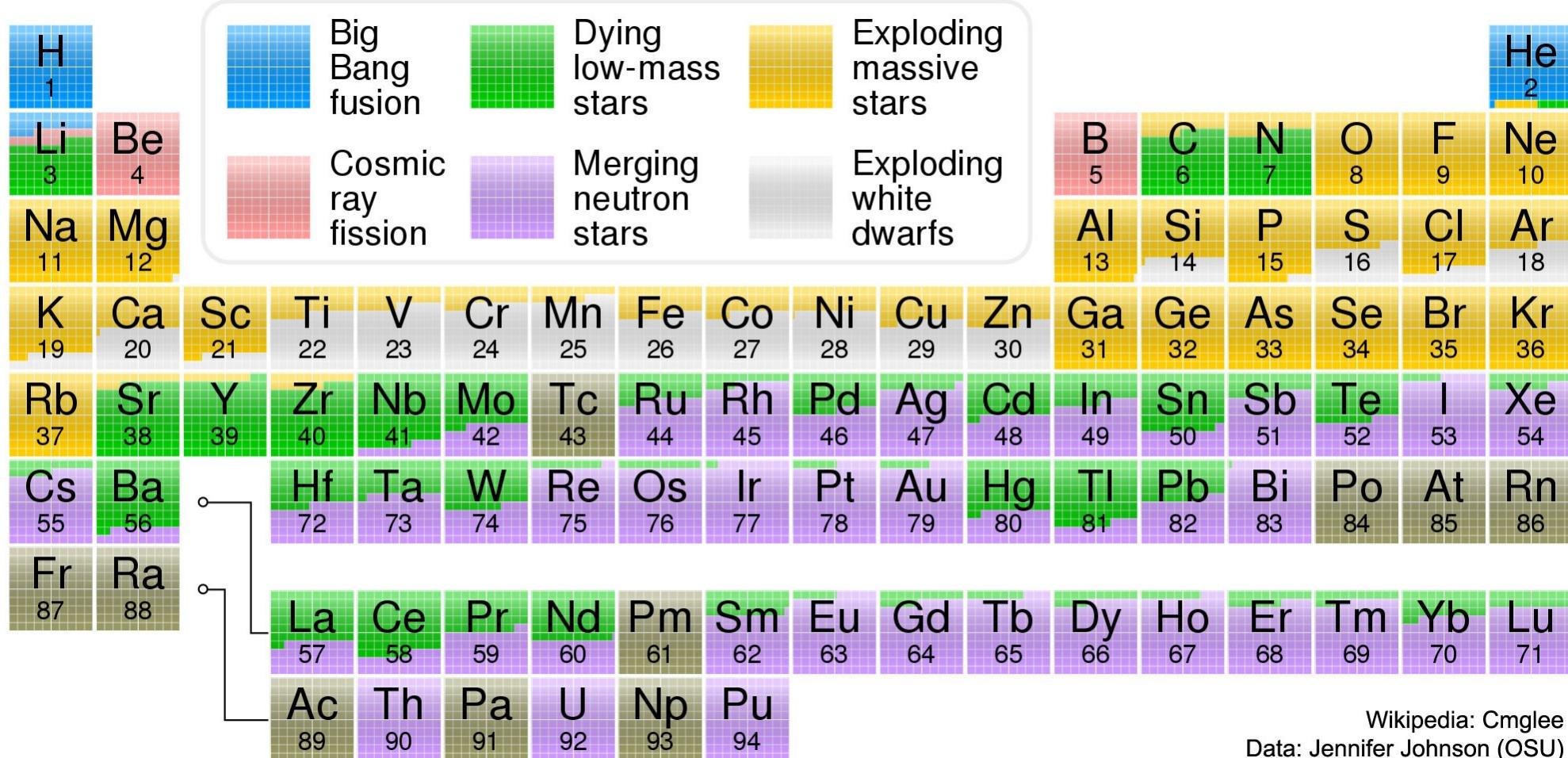
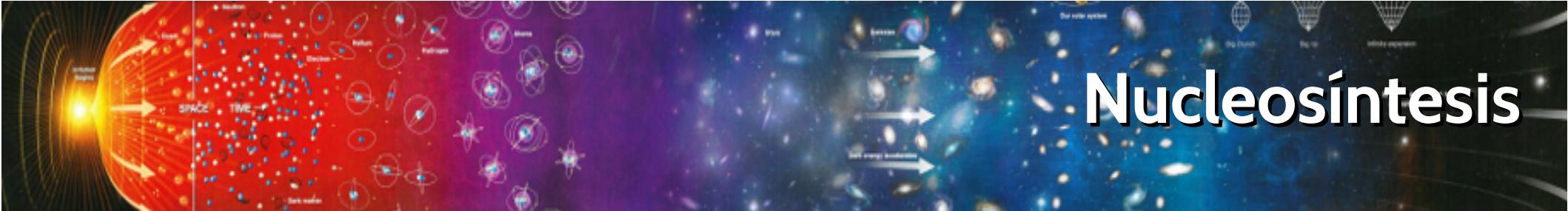
© Anglo-Australian Observatory

- 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**

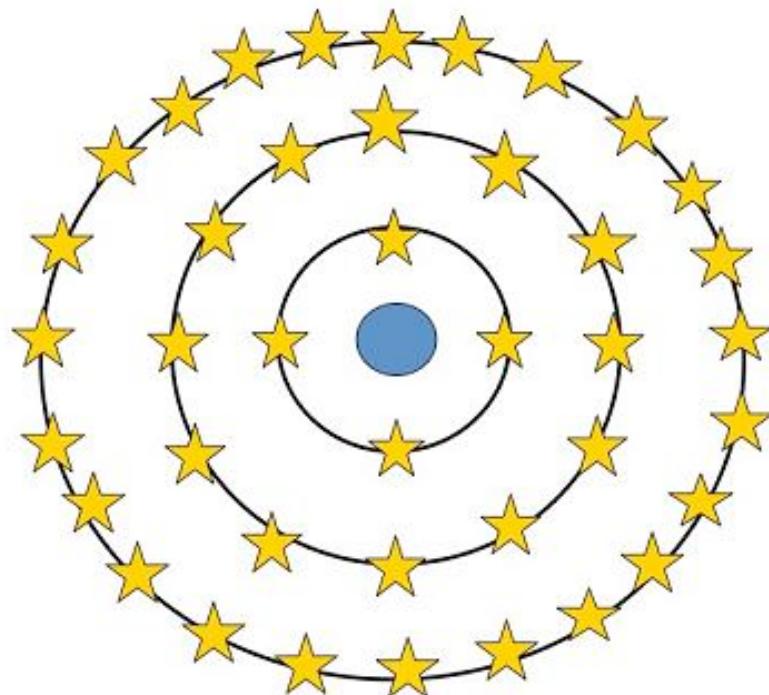
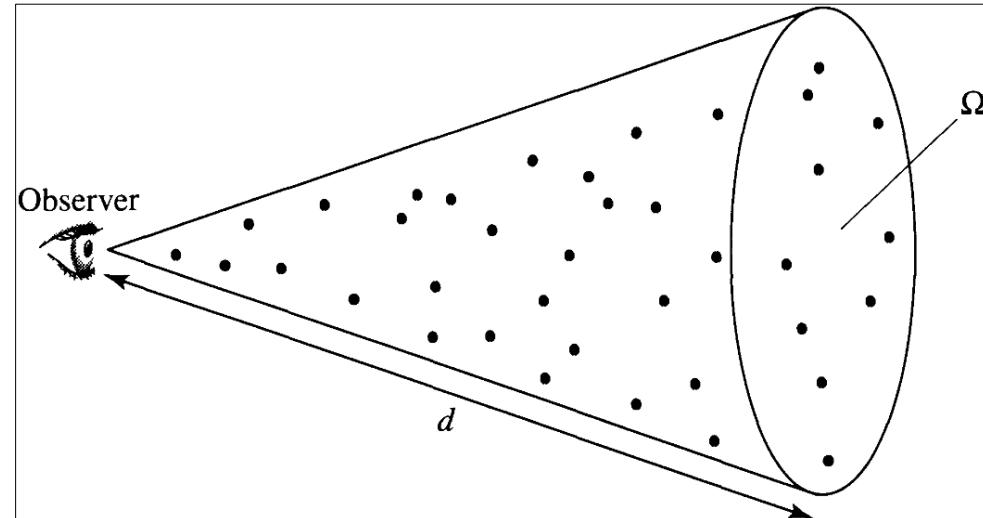
# Gargantúa (Interstellar)



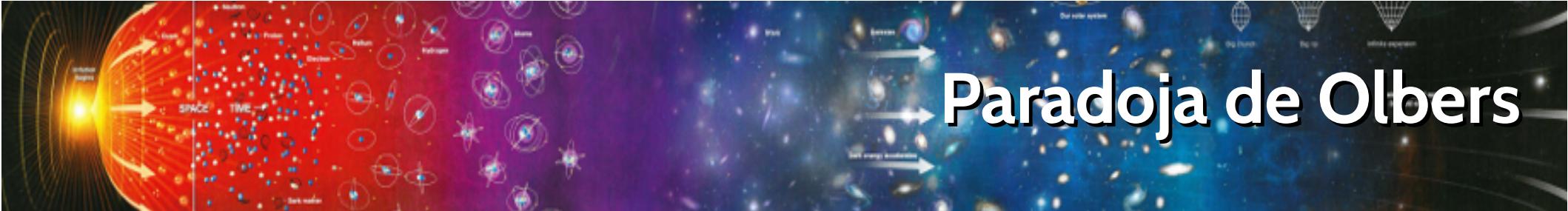
# Nucleosíntesis



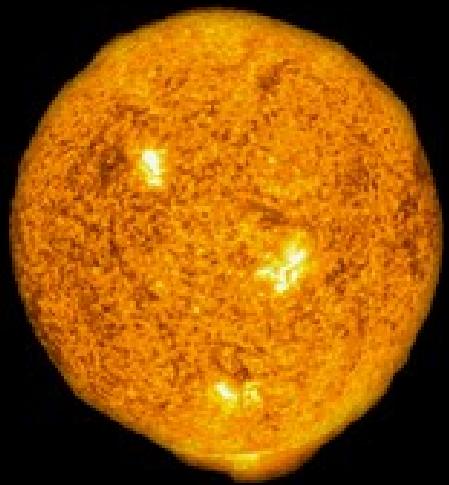
# La paradoja de Olbers



- Supongamos que hay infinitas estrellas...
- El número de estrellas en la superficie de un cono crece como  $d^2$ .
- Pero el flujo disminuye como  $d^2$ .
- Ergo, el flujo de energía de la superficie del cono es constante
- El cielo completo brillaría como las estrellas  $\rightarrow T=5700 \text{ K}$

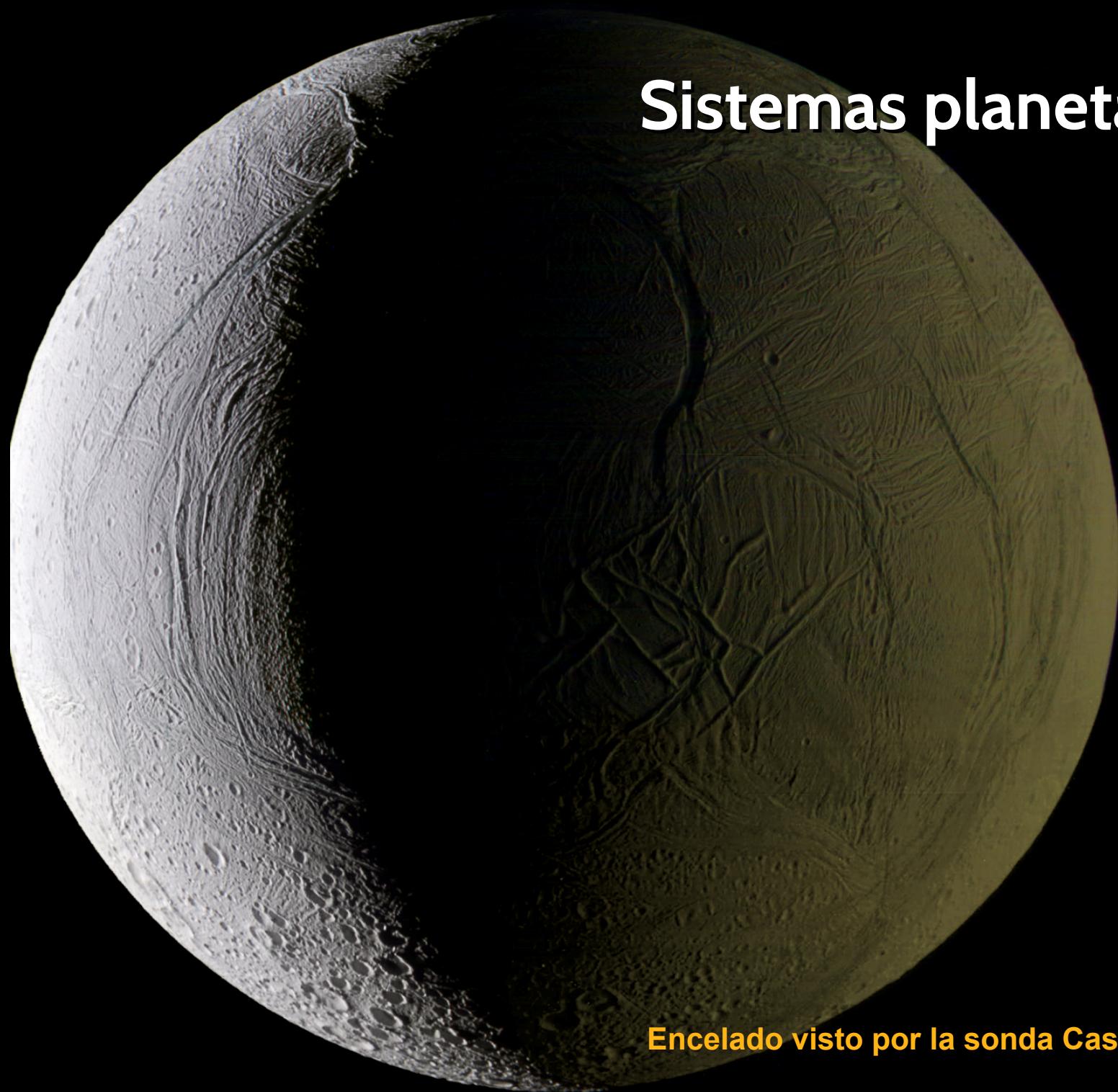


# Paradoja de Olbers



- No hay infinitas estrellas
- Hay absorción en el espacio

# Sistemas planetarios

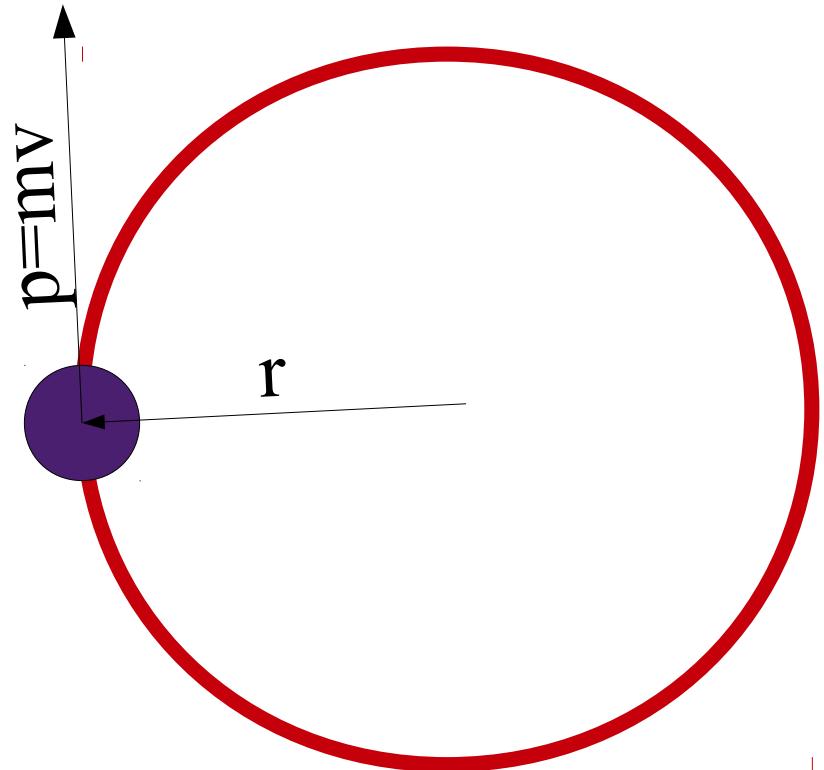


Encelado visto por la sonda Casini

# Cantidad de movimiento angular

- Si el objeto está girando con velocidad v y radio r:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$
$$|L| = m|r||v|\sin\theta$$



- La cantidad de movimiento angular es una magnitud **(pseudo) vectorial conservada**

**(cuando actúa una fuerza central)** y aditiva

$$\vec{L}_i = \vec{L}_f$$

$$\vec{L} = \sum_{j=1}^n \vec{r}_j \times \vec{p}_j = \sum_{j=1}^n \vec{L}_j$$

# Patinaje sobre hielo



# “Boleando”, Molina Campos



“BOLEANDO”  
Tempera sobre papel, 35 x 53 cm, 1957

# Movimiento circular uniforme: boleadora

- Mov. Circular Uniforme:

$$|\vec{r}| = \text{cte}, |\vec{v}| = \text{cte}, \vec{r} \perp \vec{v} \\ \Rightarrow \vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = \text{cte}$$

- Pero la velocidad cambia!

$$\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$$

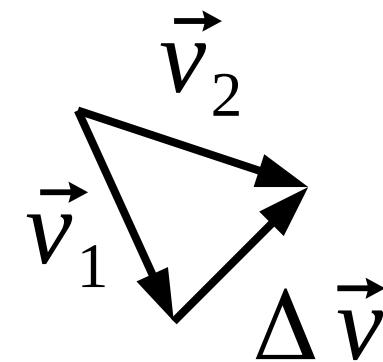
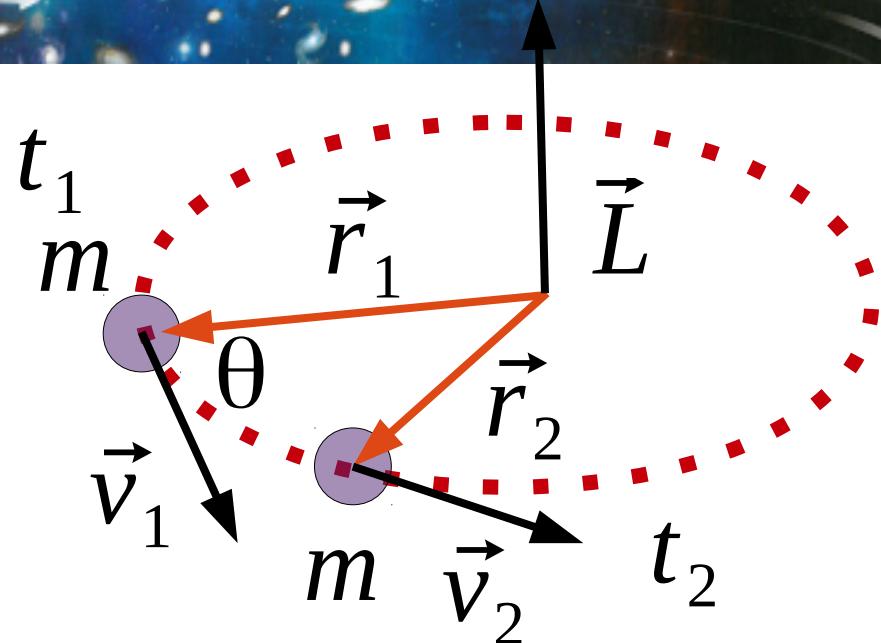
- Aceleración:

$$\vec{a}_c = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

- Si  $\Delta t \rightarrow 0$

$$\vec{a}_c \propto -\hat{r}$$

Aceleración centrípeta



# Aceleración centrípeta

- Aceleración centrípeta: evidencia el cambio en la dirección de la velocidad en un movimiento circular uniforme
- Tiene dirección radial y sentido hacia el centro:

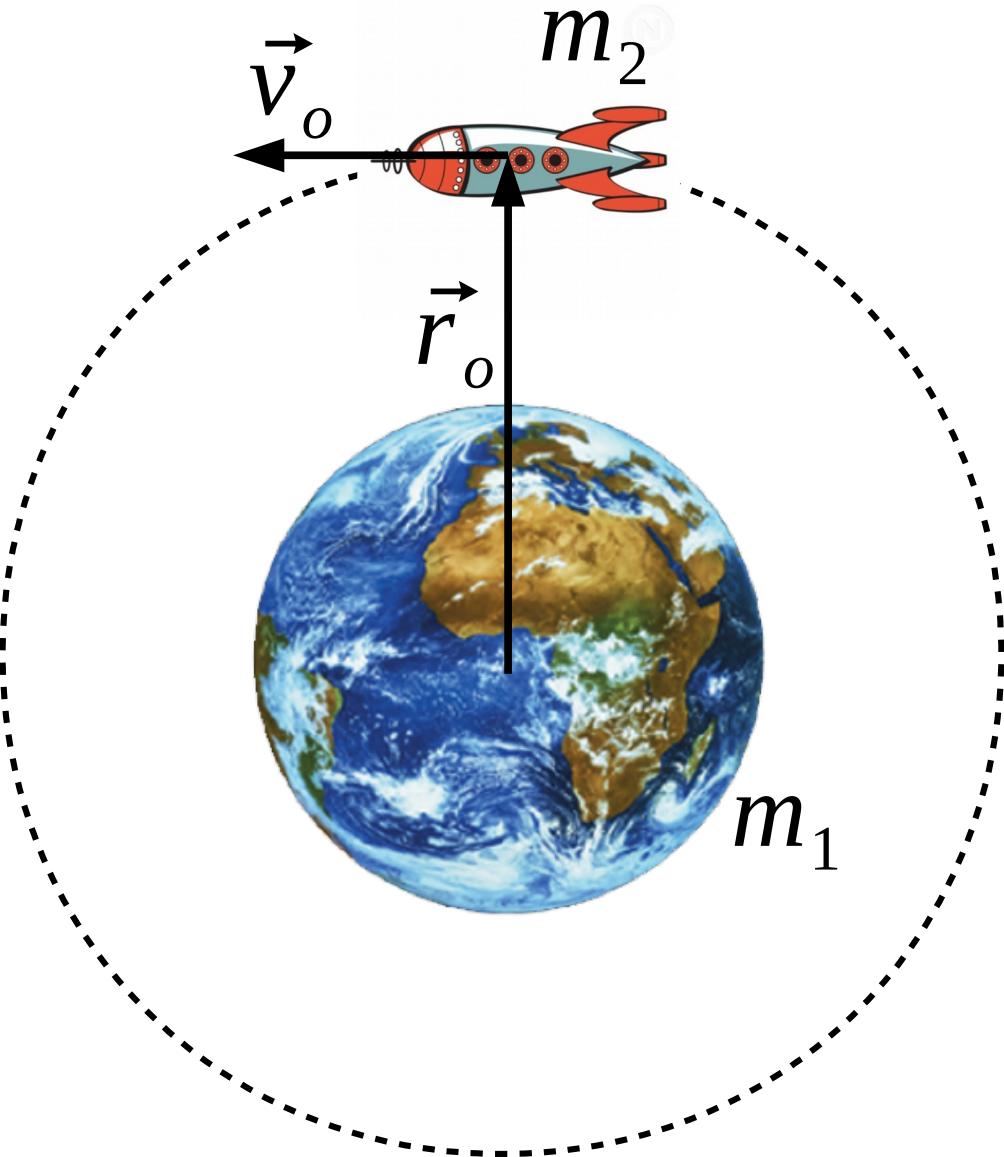
$$\vec{a}_c = -\frac{|\vec{v}|^2}{|\vec{r}|} \hat{r} \Rightarrow a_c = \frac{v^2}{r}$$

- En las boleadoras, ¿cuál fuerza es la fuerza centrípeta?

$$\vec{T} = m \vec{a}_c \quad \text{Tensión}$$

- ¿Podría ser, en algún sistema, la gravedad?

# Pensemos el siguiente sistema



- Balance de fuerzas
  - Centrípeta = Gravedad

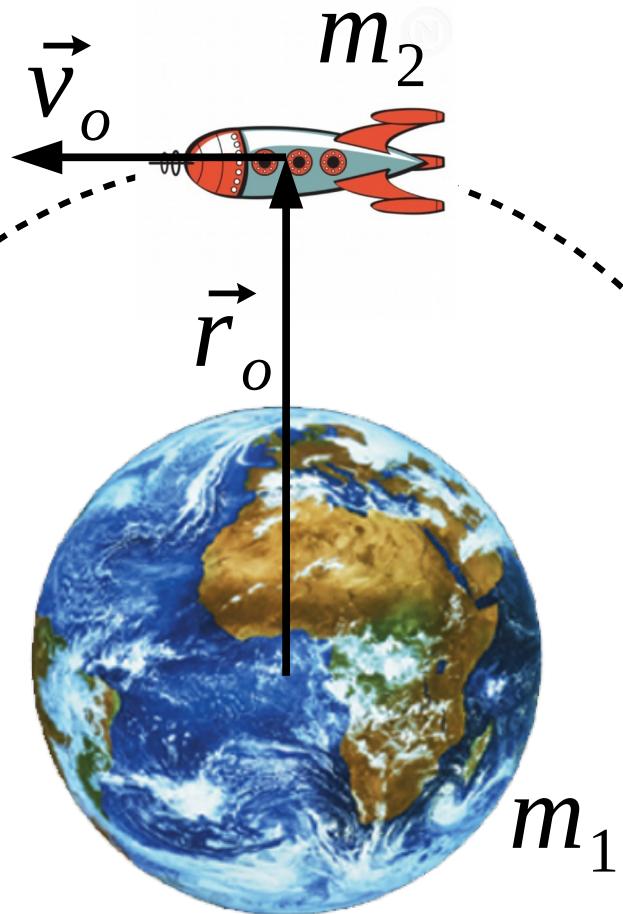
$$\vec{F}_c = \vec{F}_g$$
$$\frac{m_2 v_o^2}{r_o} = \frac{G m_1 m_2}{r_o^2}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{G m_1}{r_o}}$$

Velocidad  
orbital

¡¡No depende de  $m_2$ !!

# Duración de la órbita



- Órbita circular

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

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

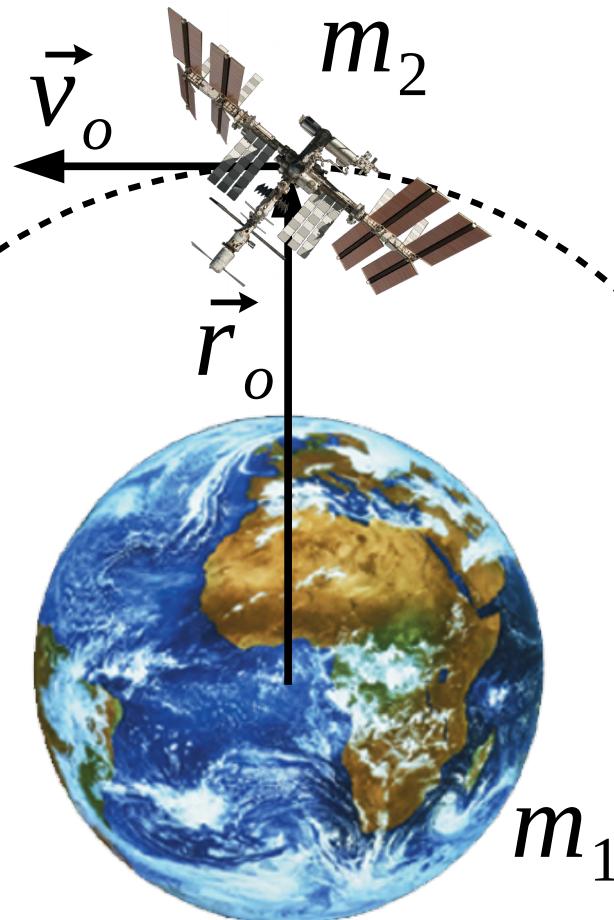
$$\frac{G m_1}{r_o} = \left( \frac{2\pi r_o}{t_o} \right)^2$$

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

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

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

# Velocidad orbital estación espacial



- Altura orbital: 413 km

$$r_o = R_+ + h = 6784 \text{ km}$$

$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{G m_1}{r_o}} = 7661 \text{ m/s} \simeq 0.7 v_e$$

$$\Rightarrow t_o = \sqrt{\frac{4\pi^2}{G m_1}} r_o^3 = 5570 \text{ s}$$

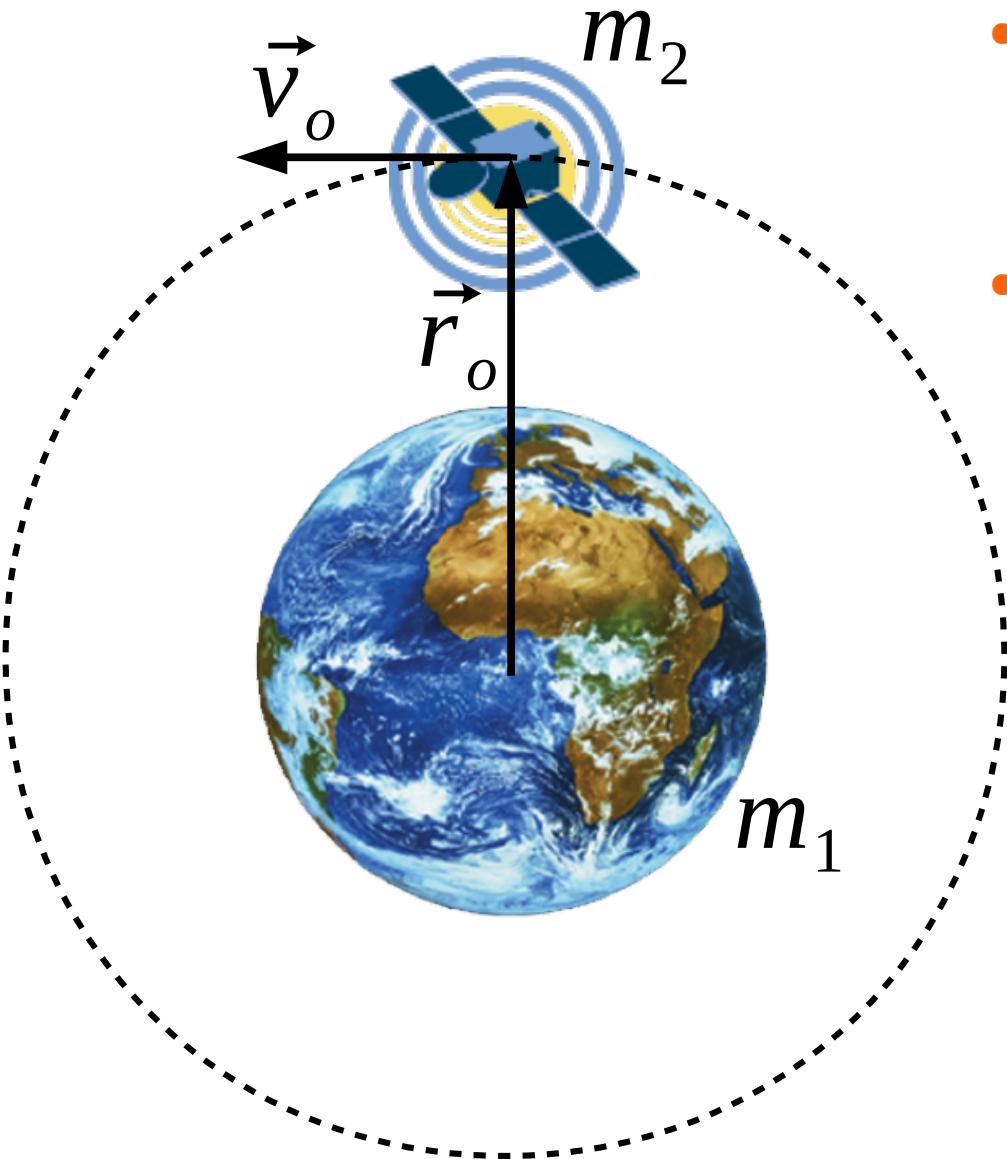
$$t_o = 92 \text{ min } 50 \text{ s}$$

- En la estación espacial hay ~ 15 amaneceres diarios

# ARSAT-I: Satélite geoestacionario argentino

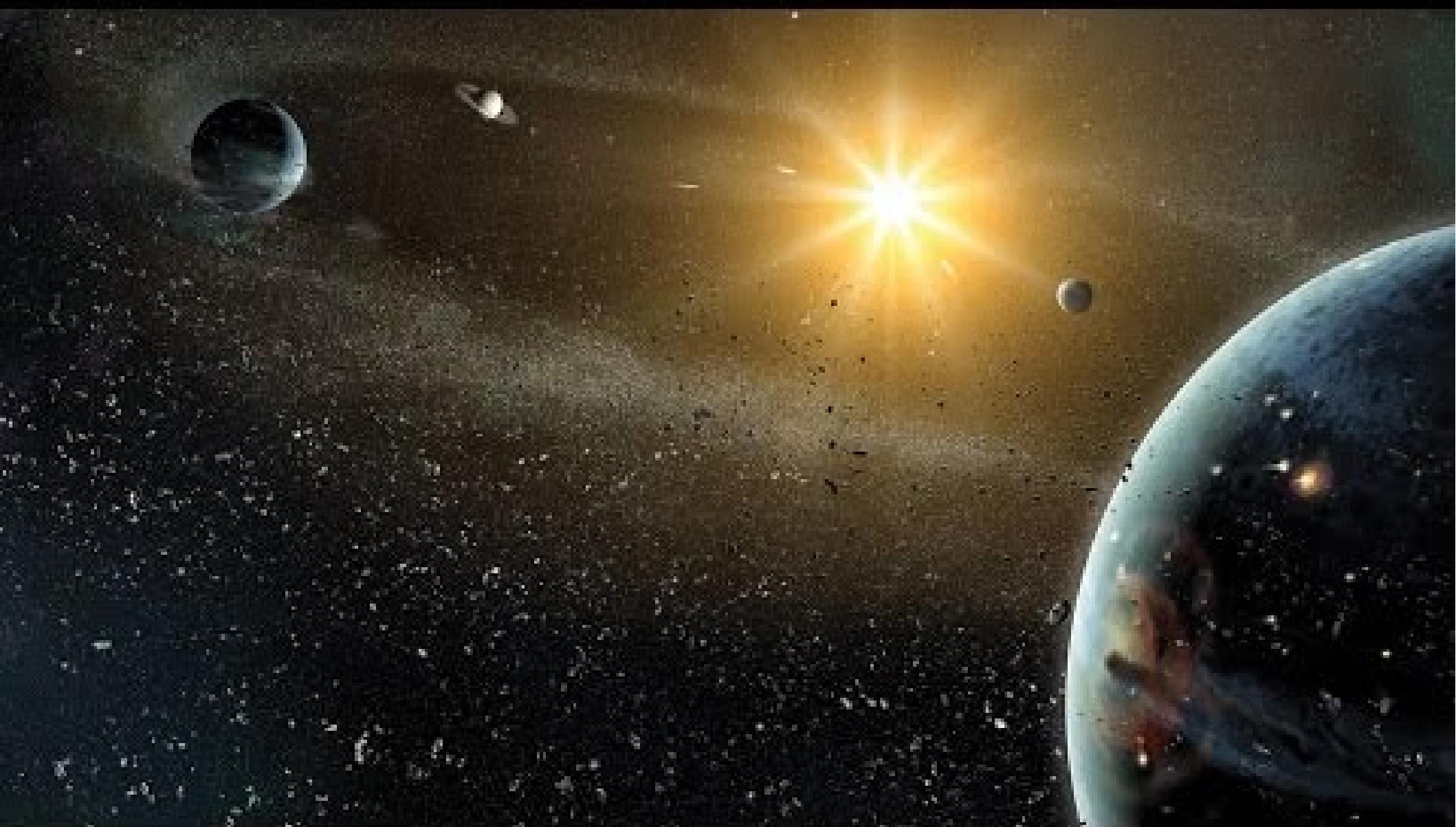


# ARSAT-I: Satélite geoestacionario argentino



- Geoestacionario
  - completa una órbita en 24h
- Calcule:
  - Velocidad orbital
  - Radio y altura orbital
  - Energía orbital:
- $E_o = E_g + E_k$
- Trabajo equivalente del cohete que lo puso en órbita

# 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?



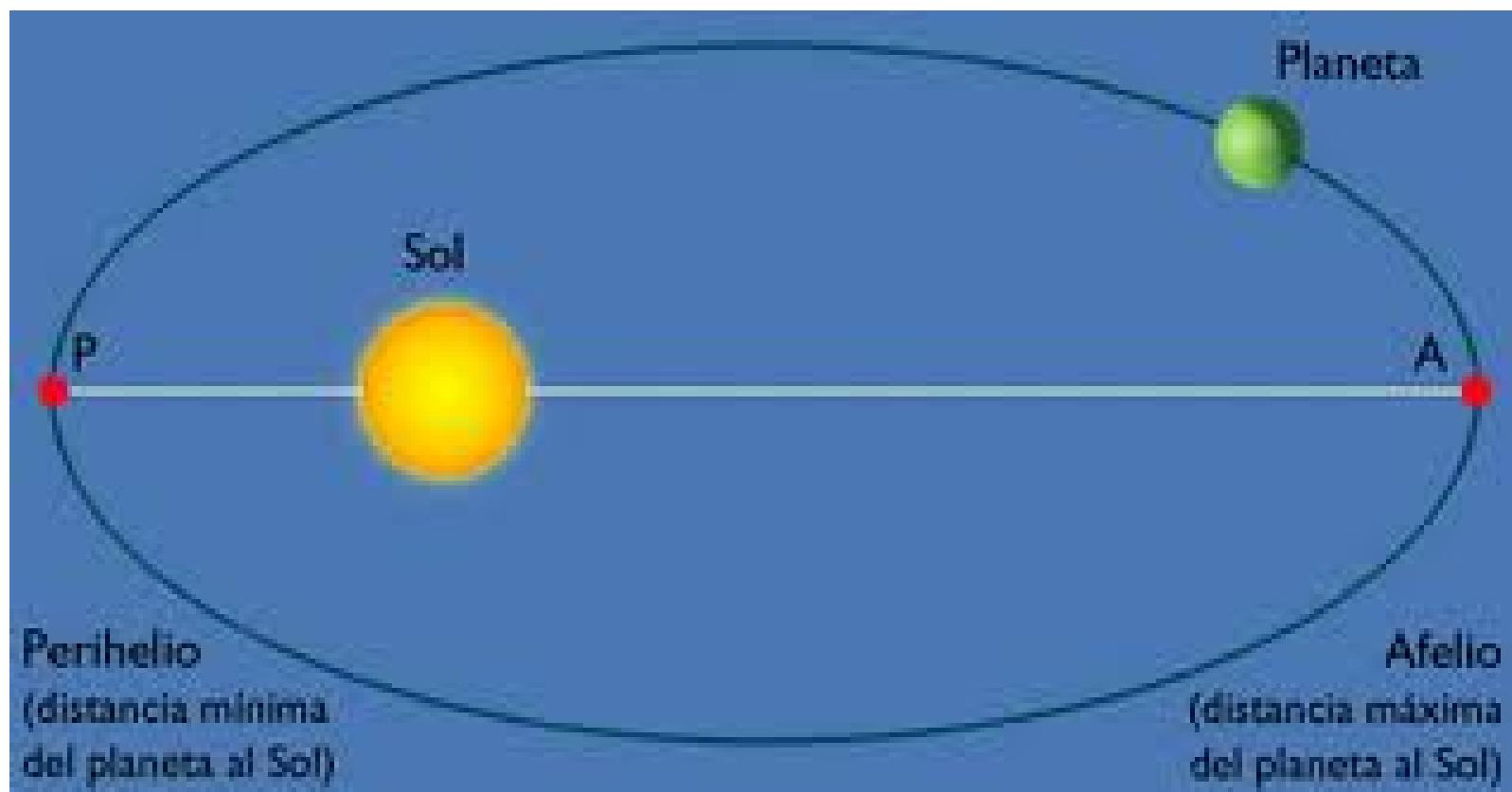
Saturn in CNC & LEO 1-8-2005 - 1-9-2008

8-2005

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

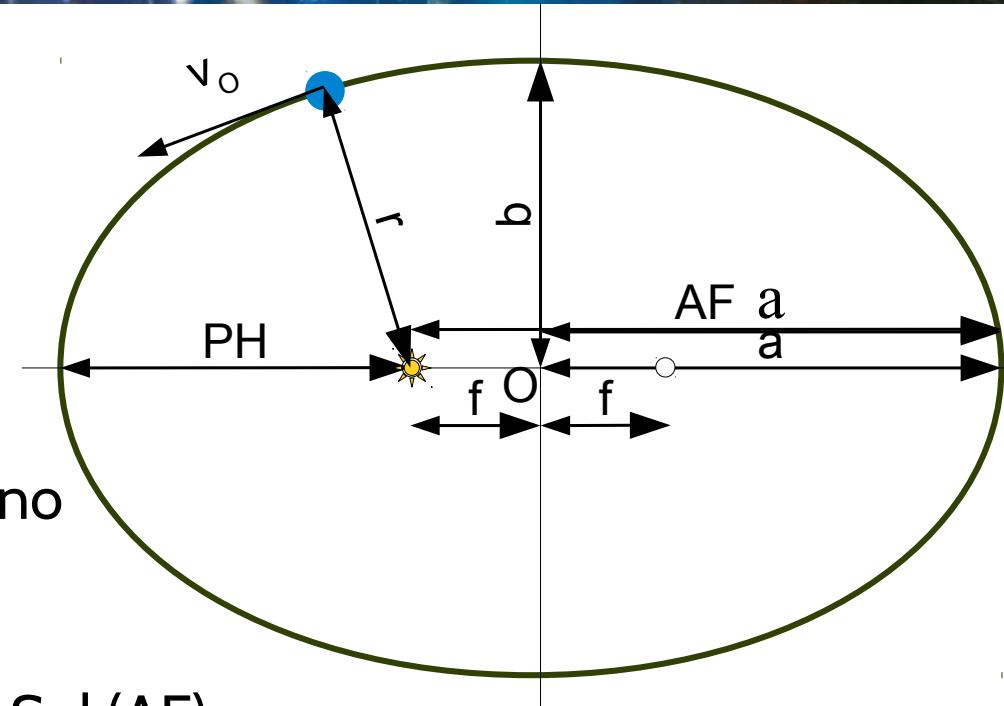
# Primera ley: Movimiento cerrado

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



# Parámetros orbitales

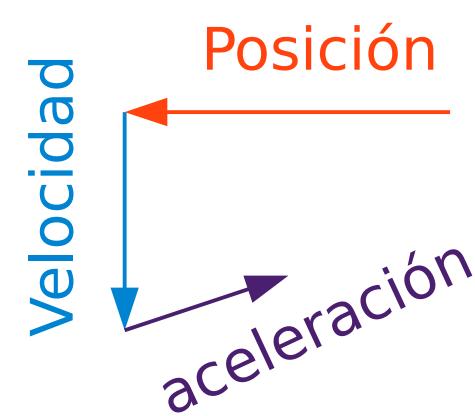
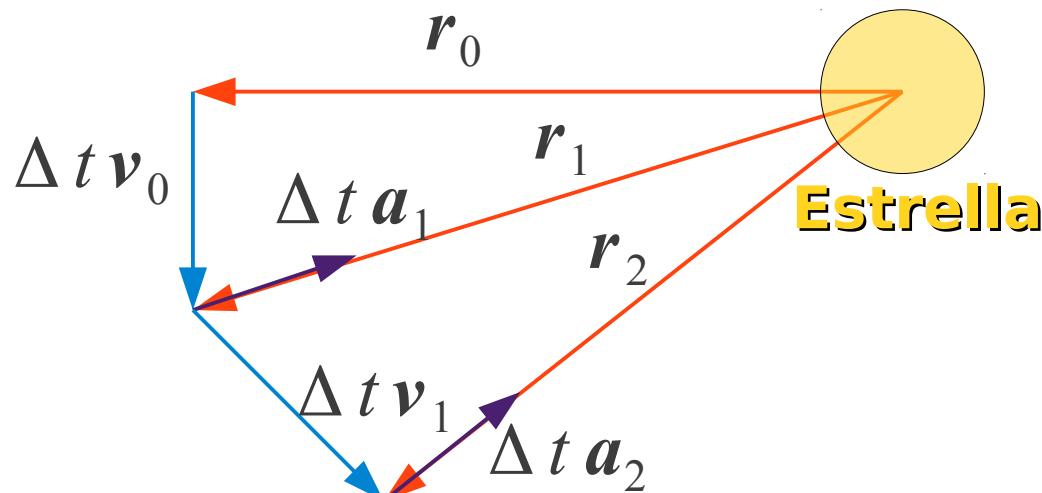
- **Centro:** O
- **Radio mayor:** a
- **Radio menor:** b
- **Radio vector:** r
- **Perihelio:** Punto de la órbita más cercano al Sol (PH)
- **Afelio:** Punto de la órbita más lejano al Sol (AF)
- **Distancia media:**  $(\text{PH}+\text{AF})/2=a$
- **Excentricidad:**  $\epsilon$     Elipse:  $0<\epsilon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



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

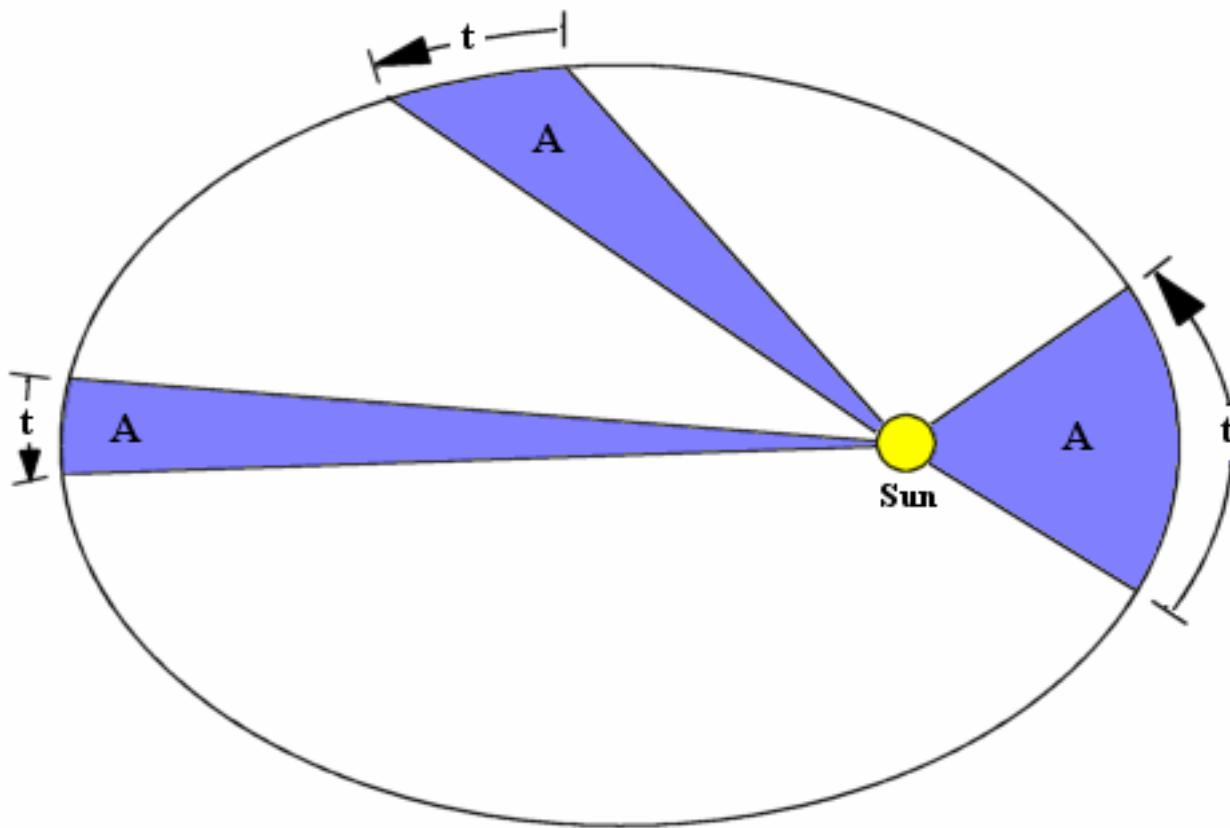
# ¿cómo se mueve un planeta?

- 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



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

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

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

$$v_1 r_1 = v_2 r_2$$

$$m v_1 r_1 = m v_2 r_2$$

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

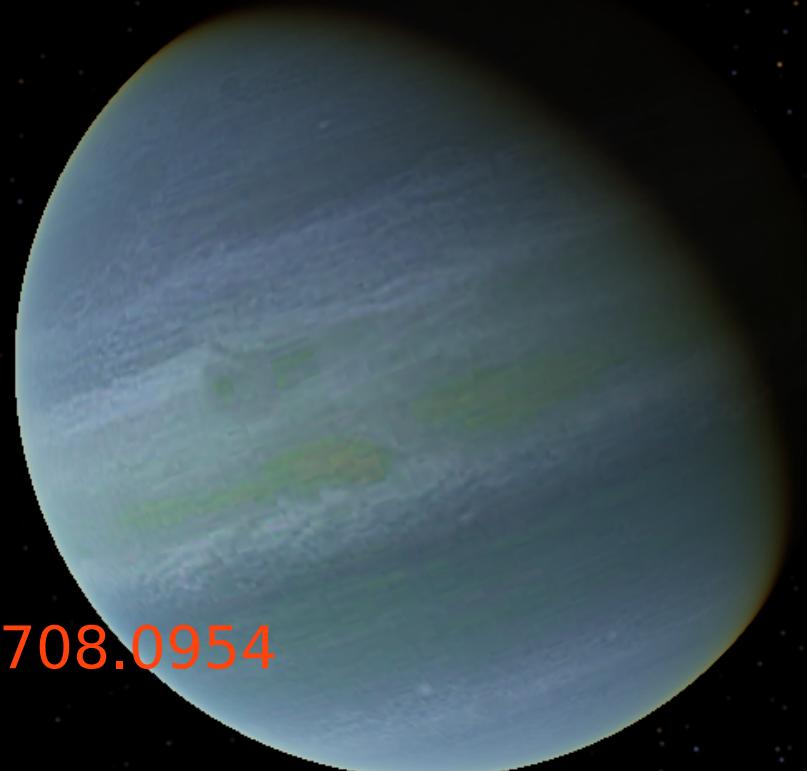
$$\text{y además } v_1 = v_2 \frac{r_2}{r_1}$$

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

# 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>

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

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

$a=1.31019 \text{ UA}$

$E=0.59$

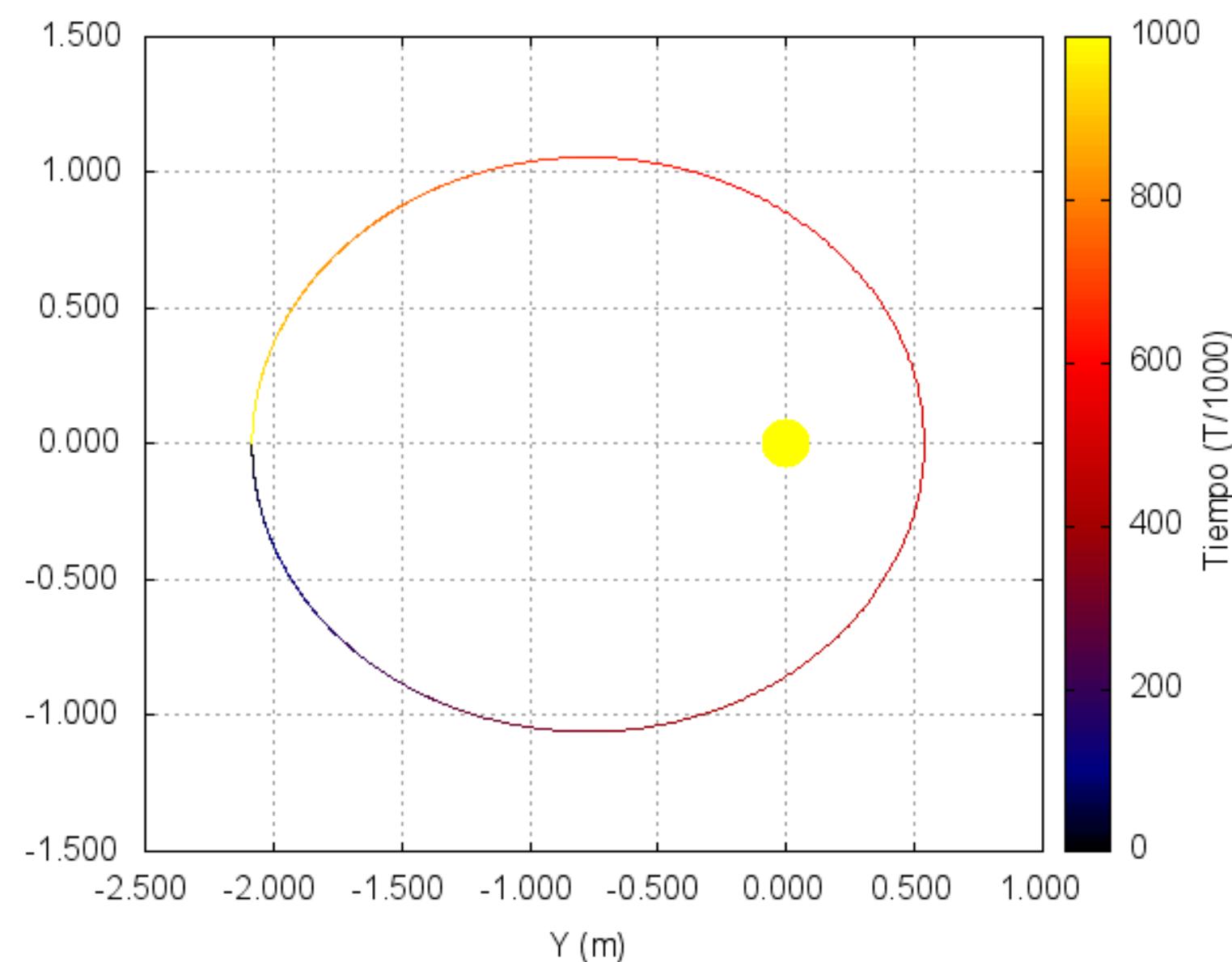
Velocità: 0,00000 m/s

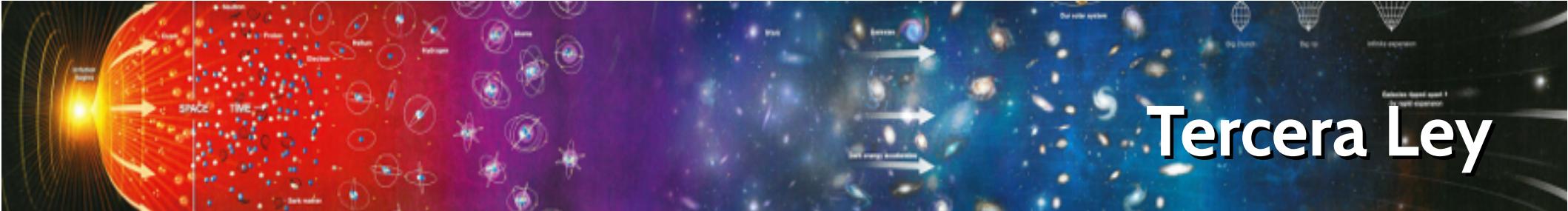
Segui HD 171028 b  
FOV: 27° 08' 47,8" (1,00x)

# 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





## 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).**

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

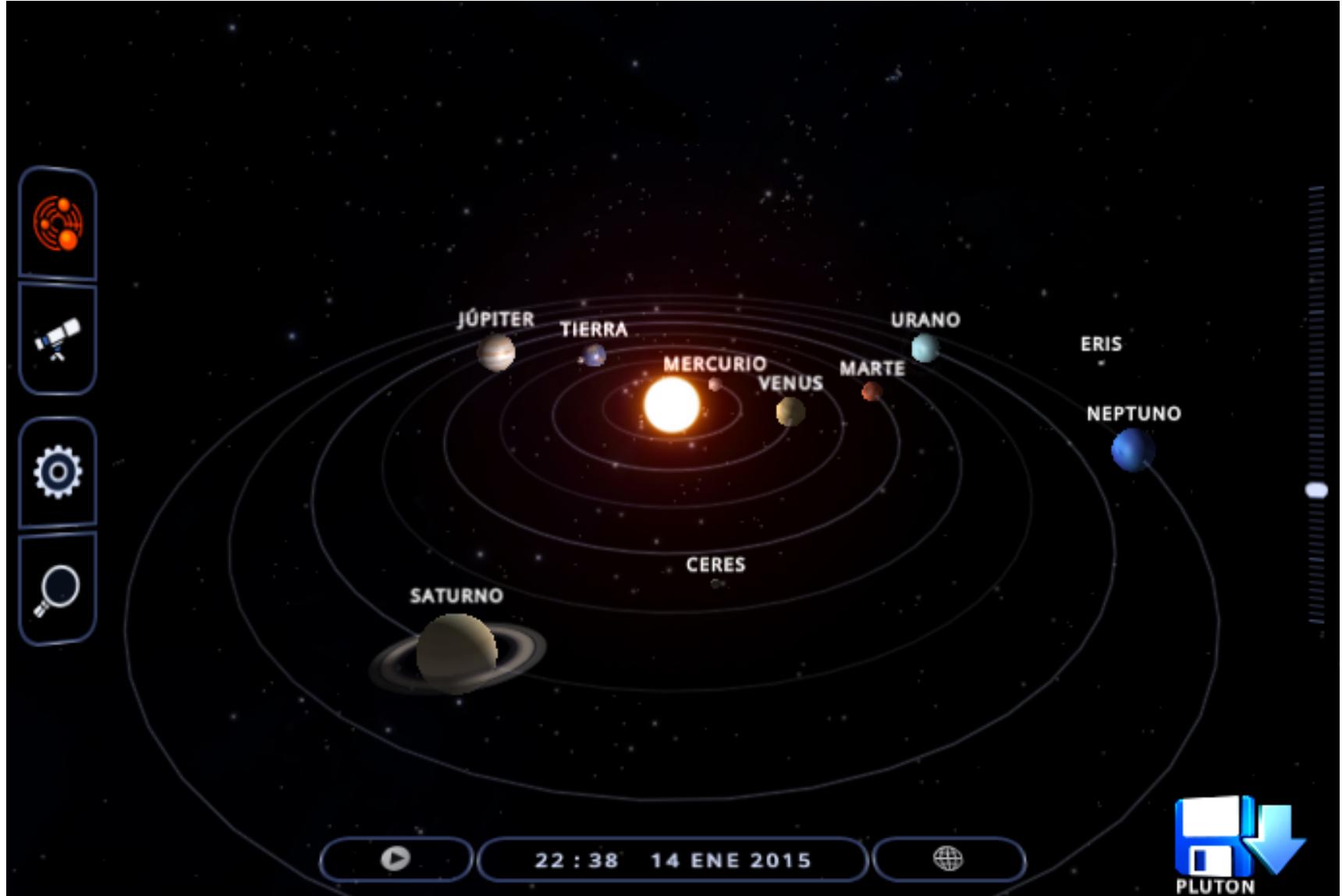
Calcule  $k_{\text{Sol}}$  y  $1/k_{\text{Sol}}$  en unidades del SI (m y s) y en años y unidades astronómicas

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

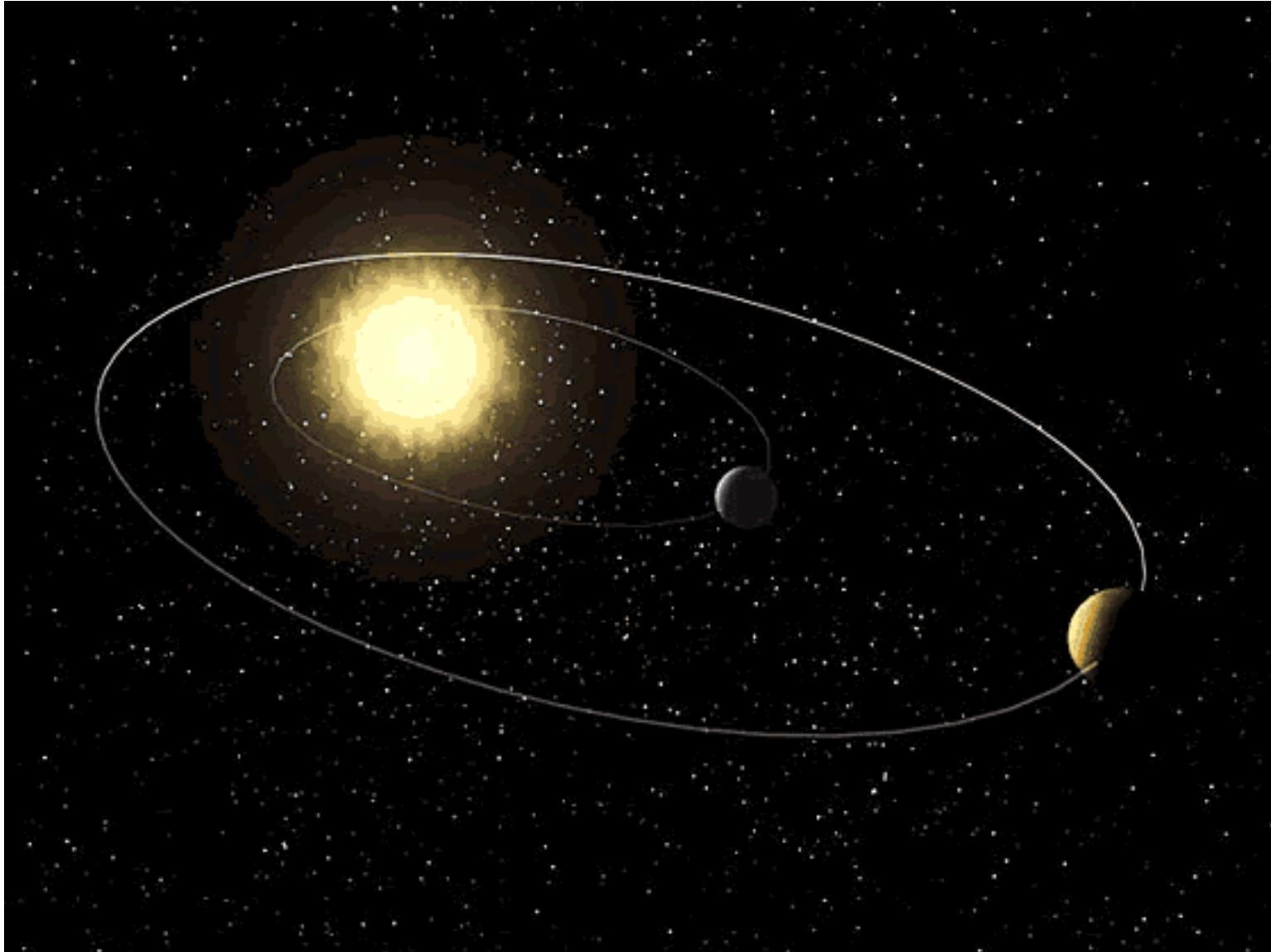
Recuerde que esta constante sólo depende de la masa del Sol y, por lo tanto, es la misma para TODOS los objetos que orbitan al Sol.

# "Solar System Scope"

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



# Más cerca → más rápido, III, el regreso



# Para el Sistema Solar

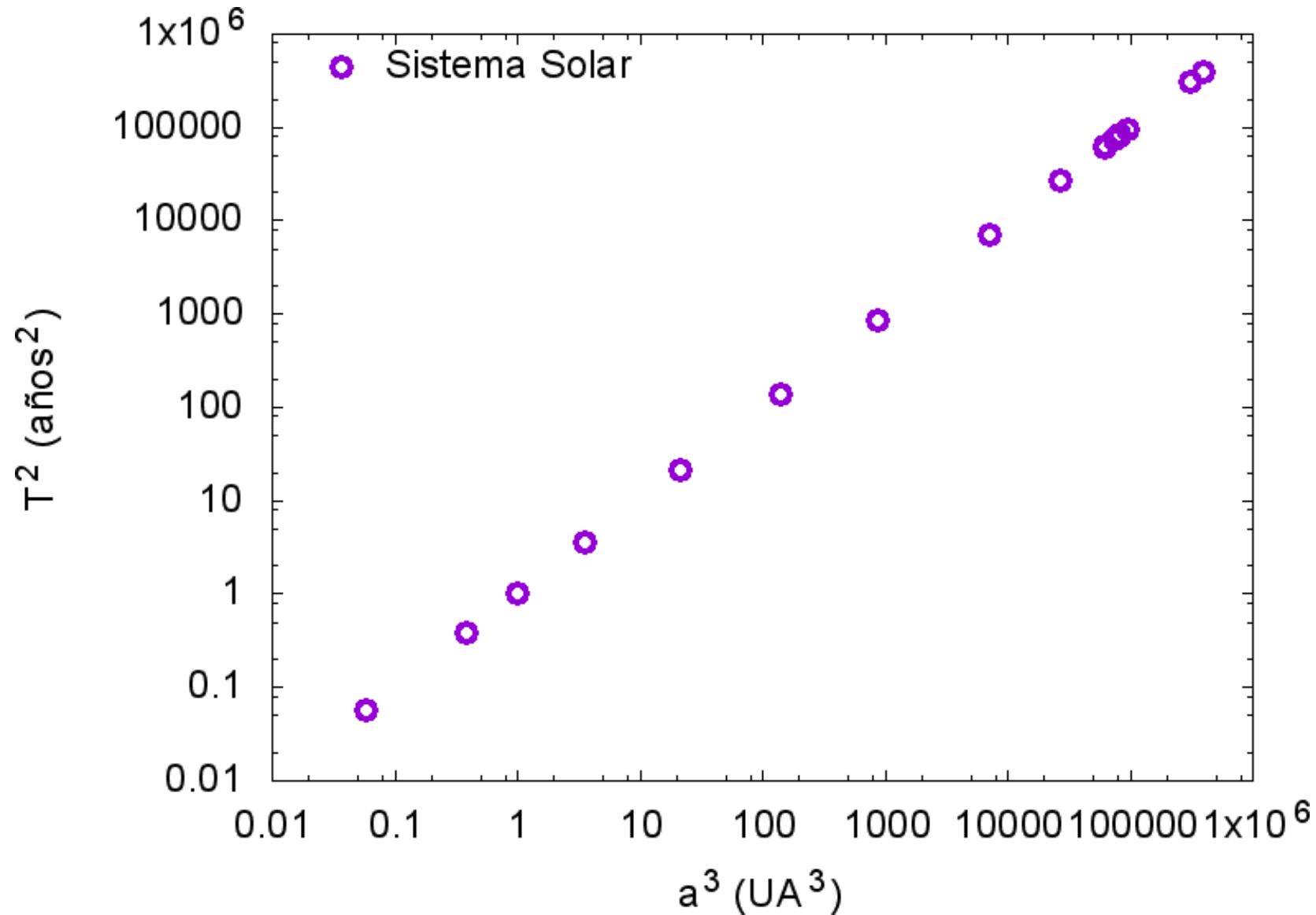
- Si medimos a en Unidades astronómicas y T en años terrestres,  $k=1$

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

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

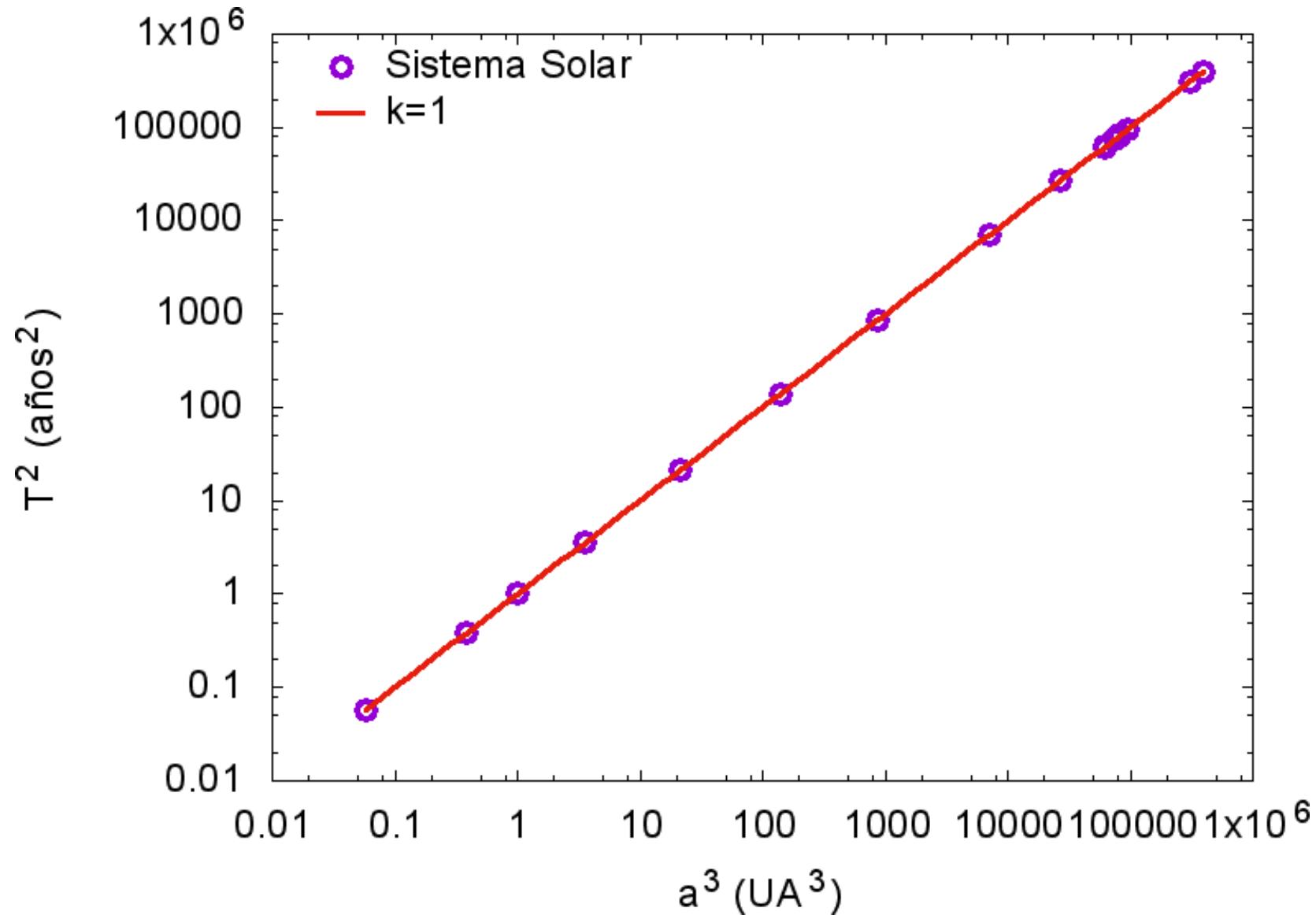


¿Será verdad? → Datos!

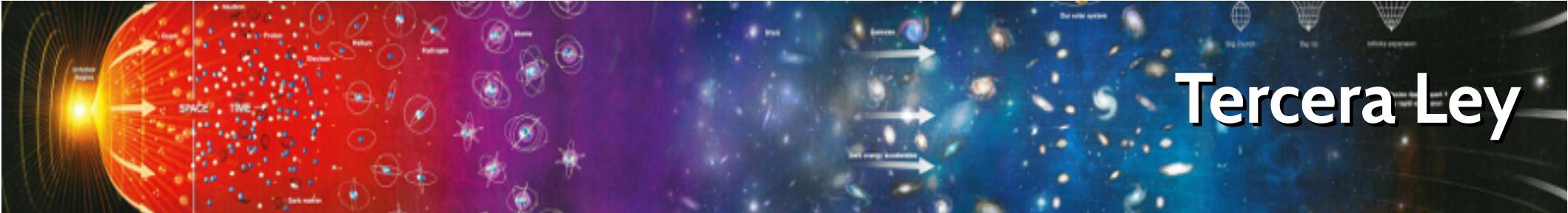




# ¿Será verdad? → Datos!



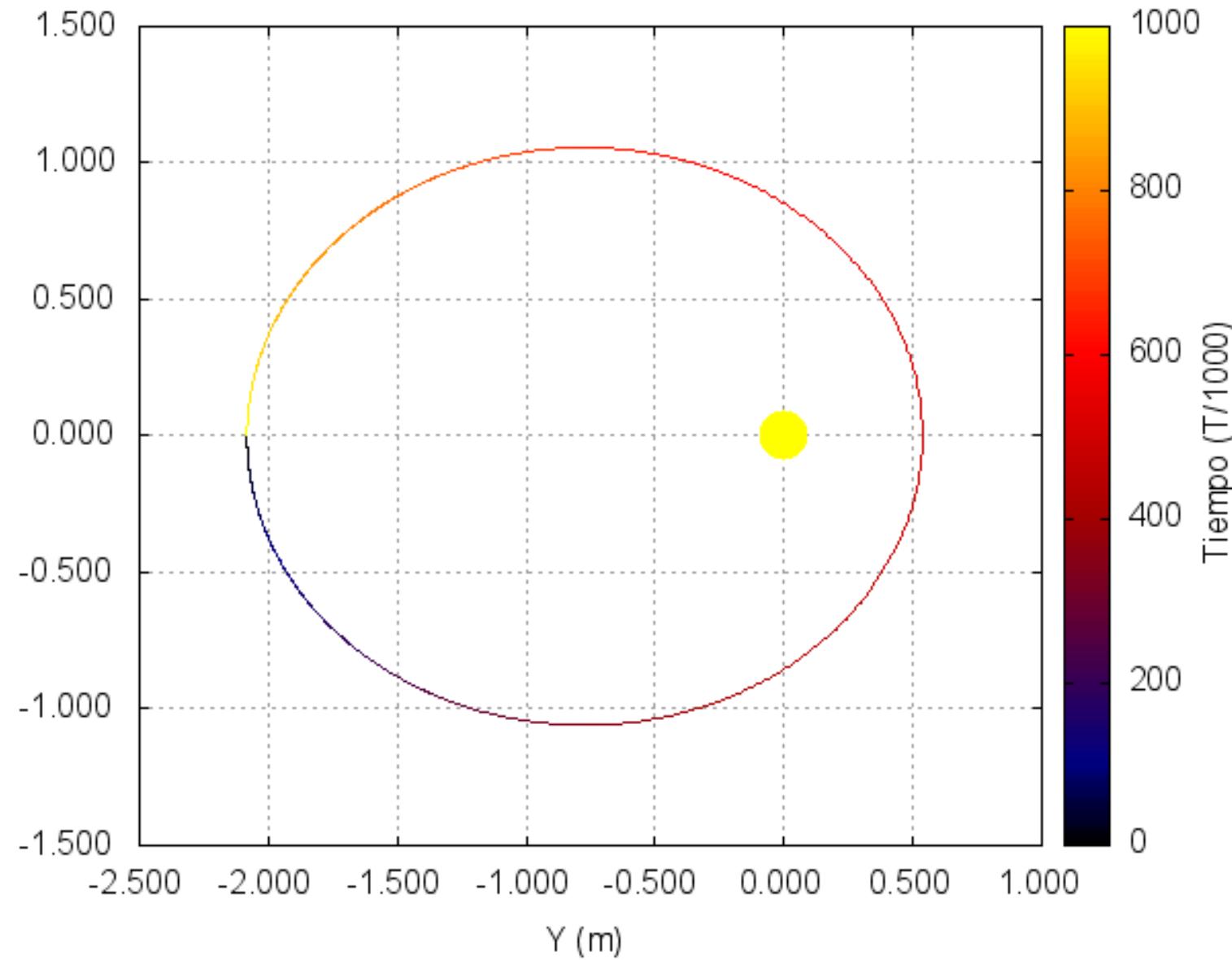
# Tercera Ley



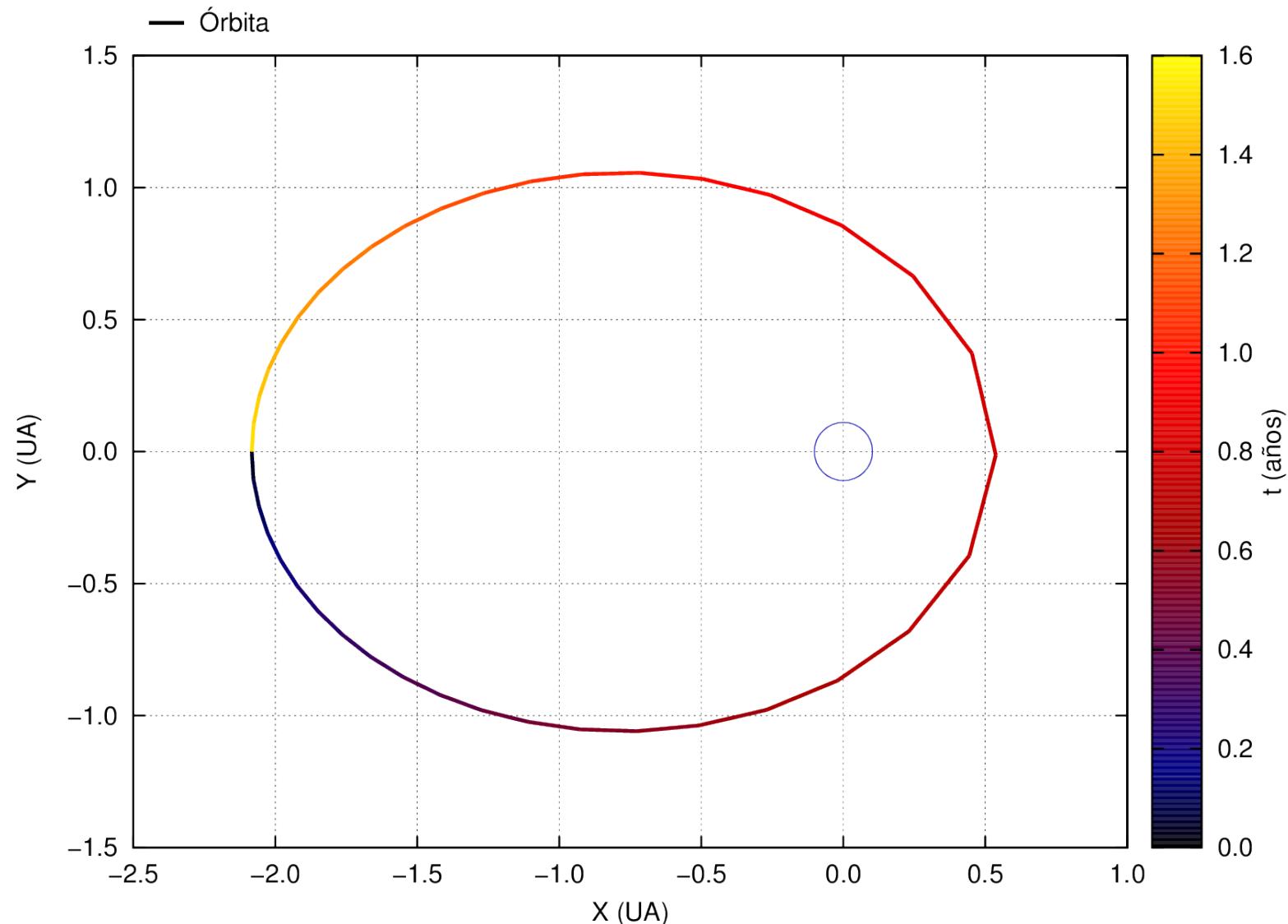
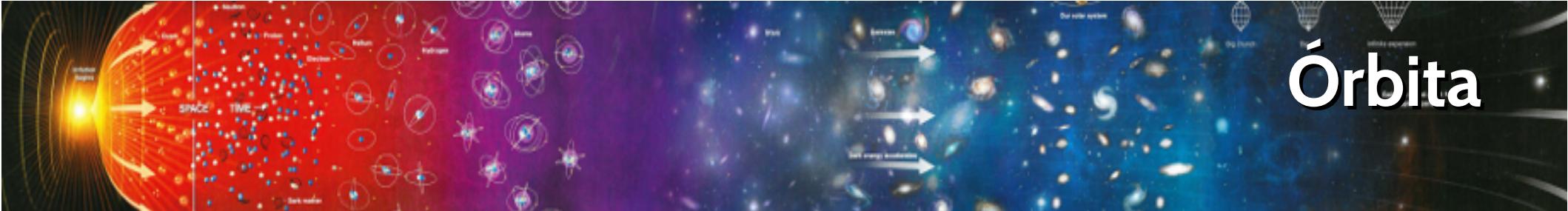
- Y vale para cualquier sistema orbital. Por ejemplo
  - calcule la masa de la Tierra sabiendo que el periodo orbital lunar es de 27,4 días y la distancia media es  $a=384800$  km
  - calcule el radio de la órbita de lo sabiendo que su periodo orbital es de 43h y la masa de Júpiter es  $1.899 \times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

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

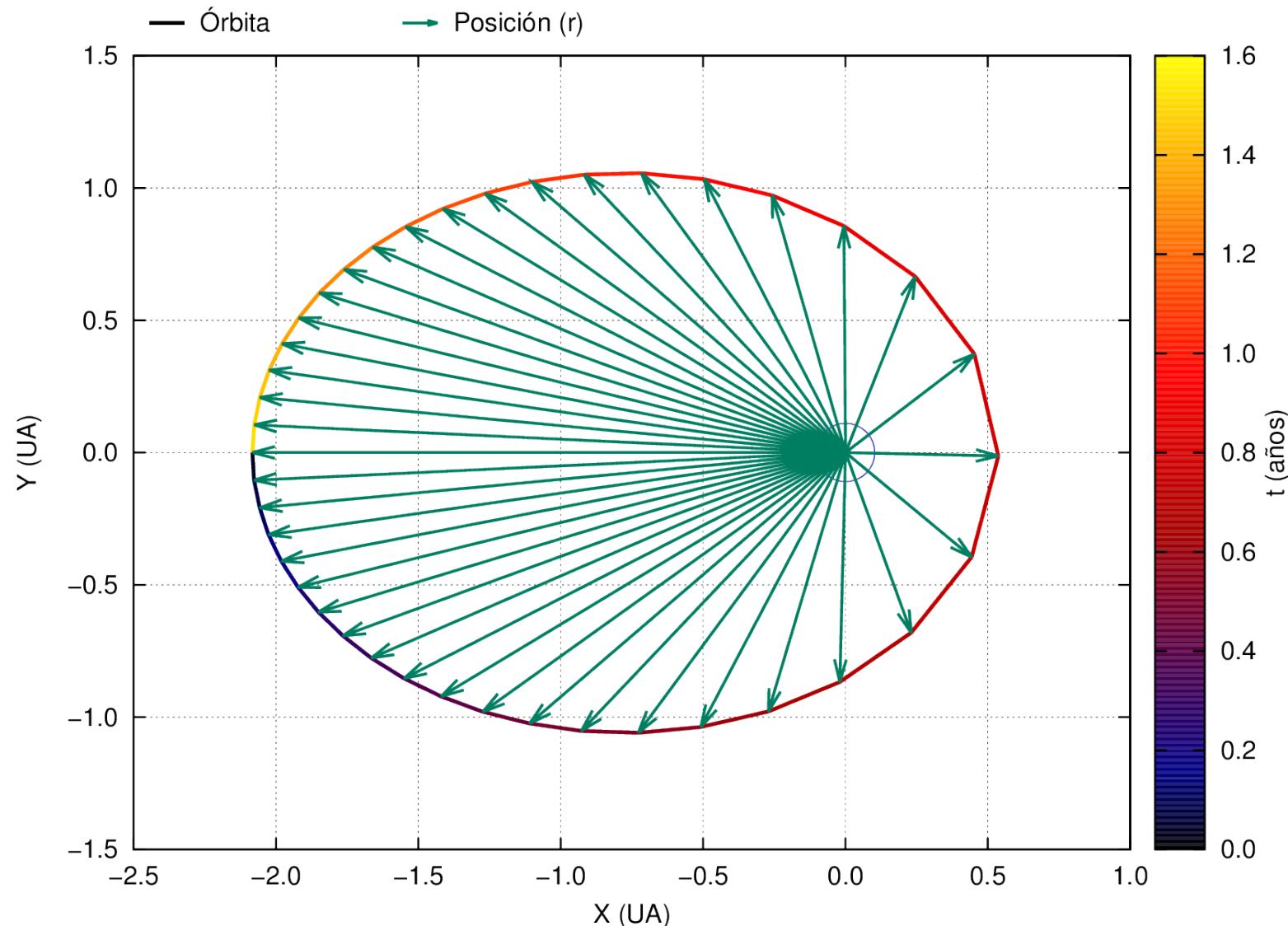
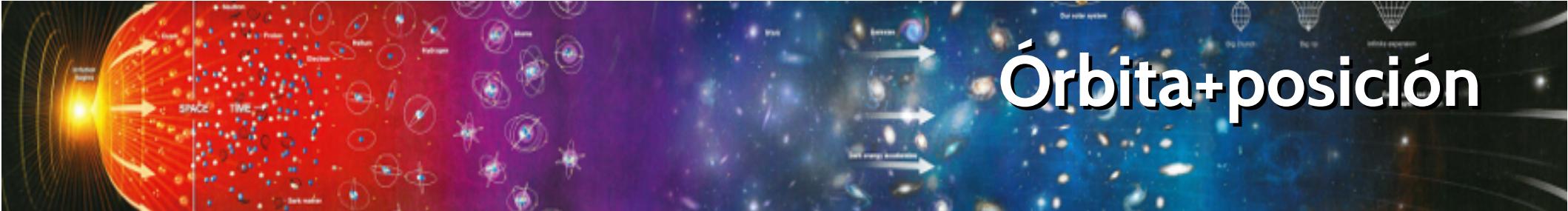
# Algo más “tangible”



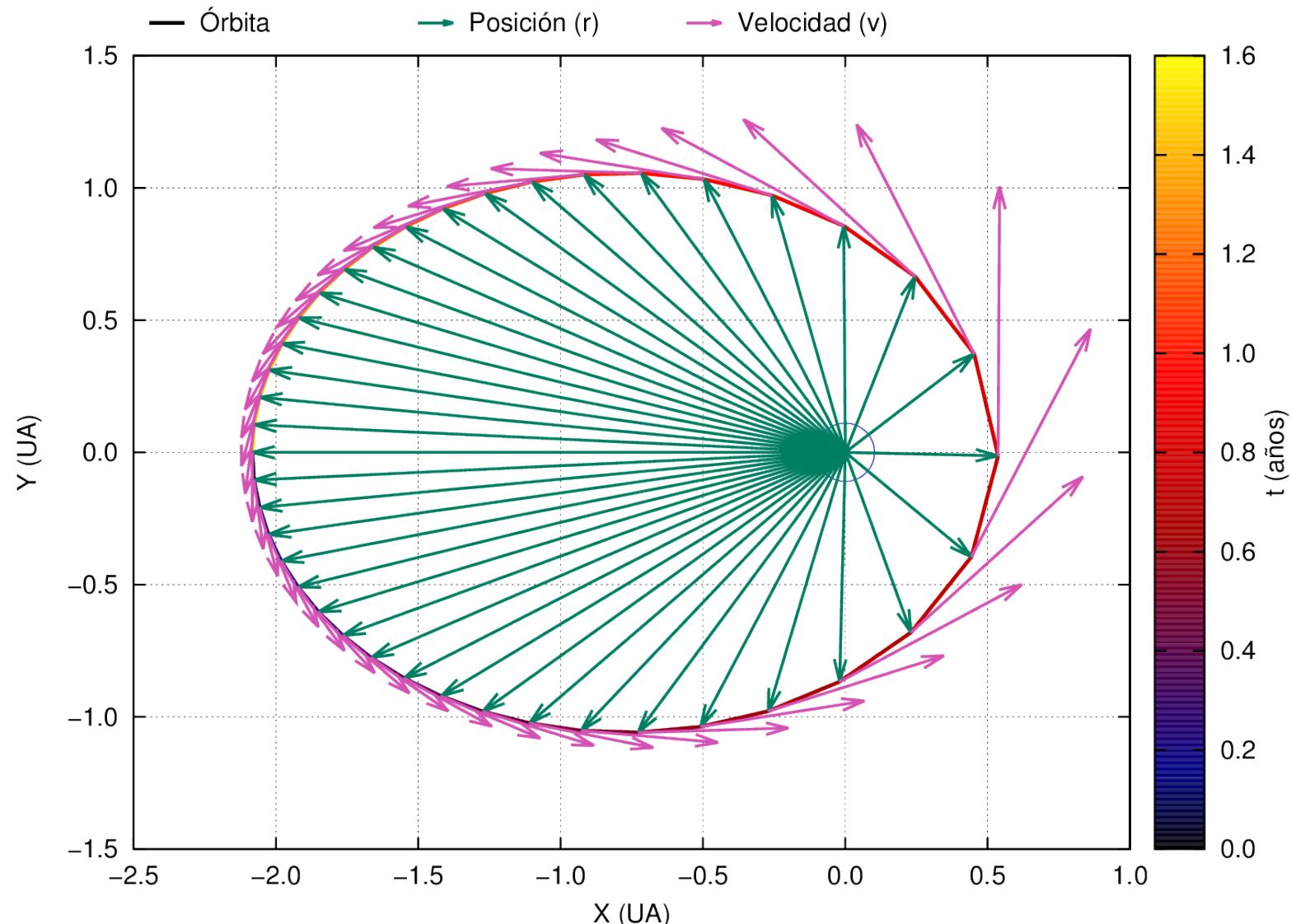
# Órbita



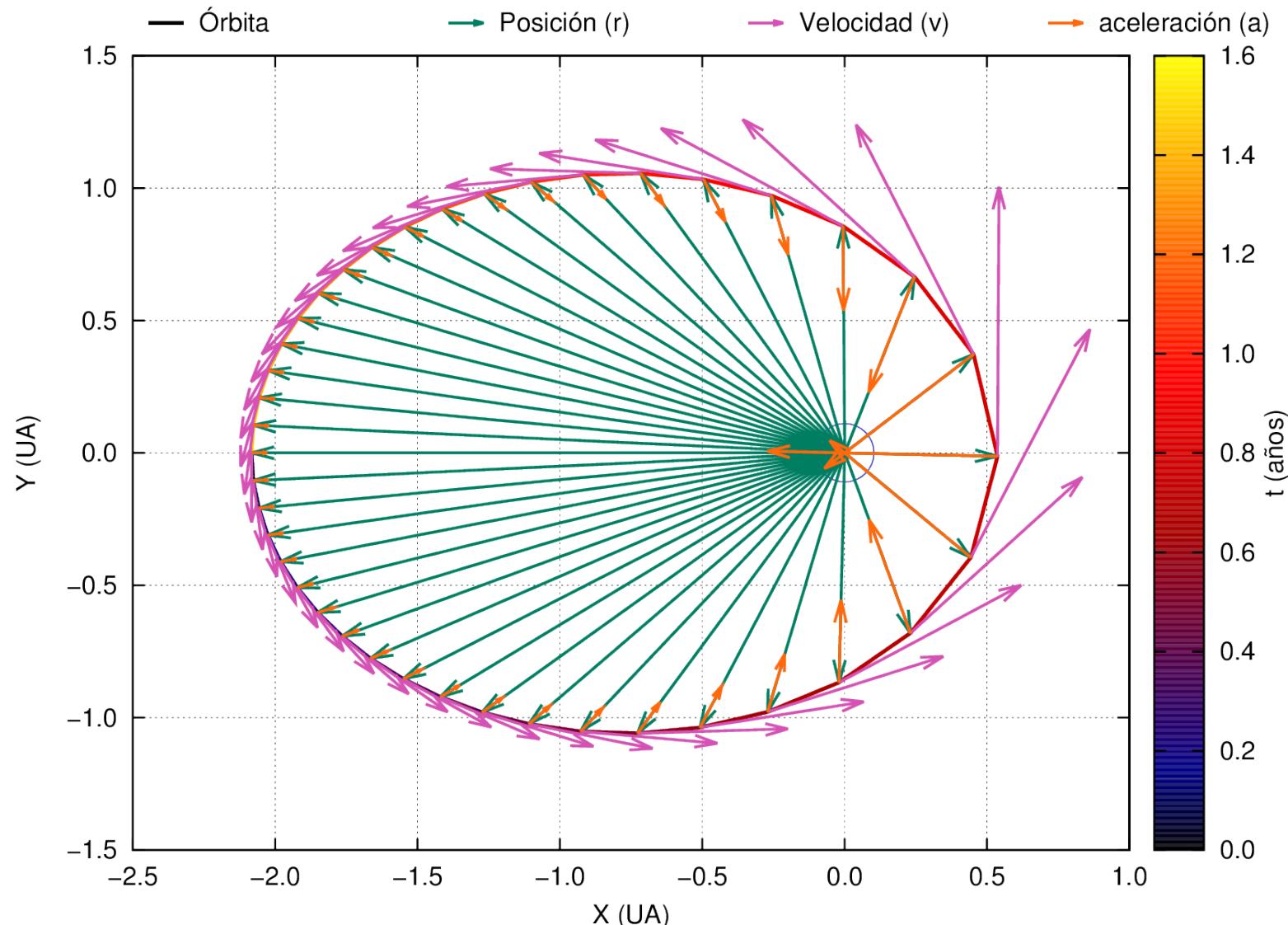
# Órbita+posición



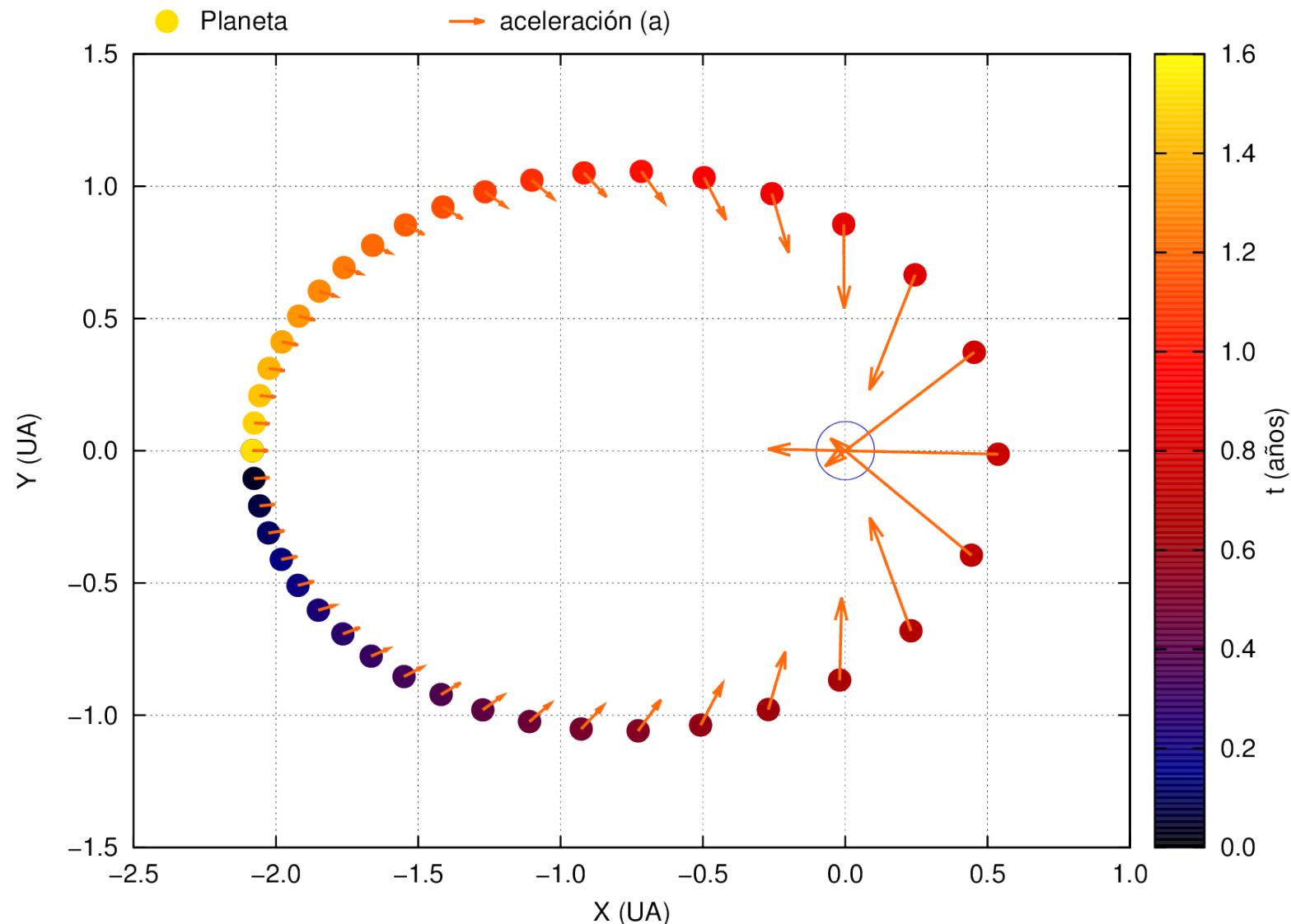
# Órbita+posición+velocidad



# Órbita+posición+velocidad+aceleración

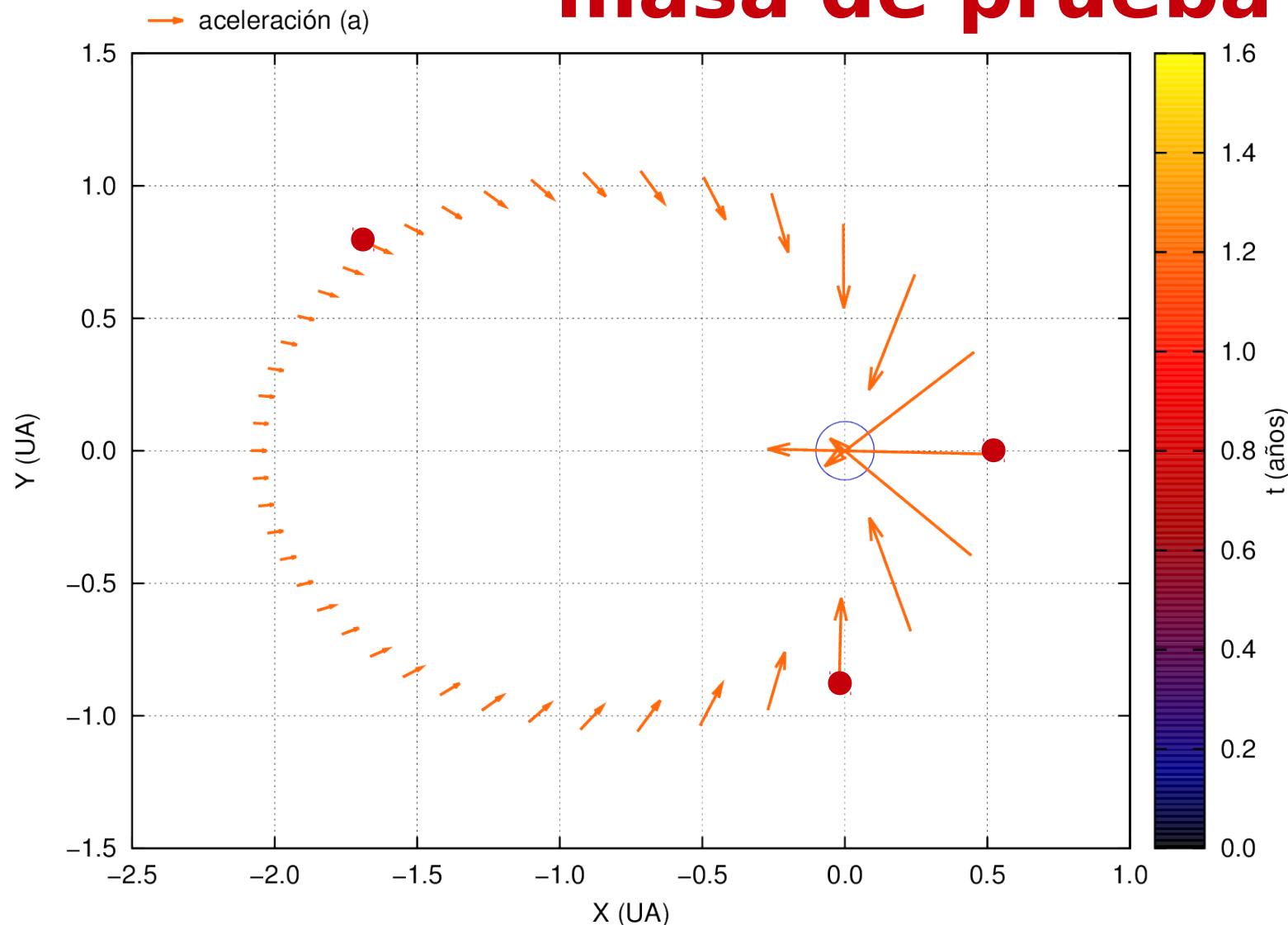


# planeta+aceleración

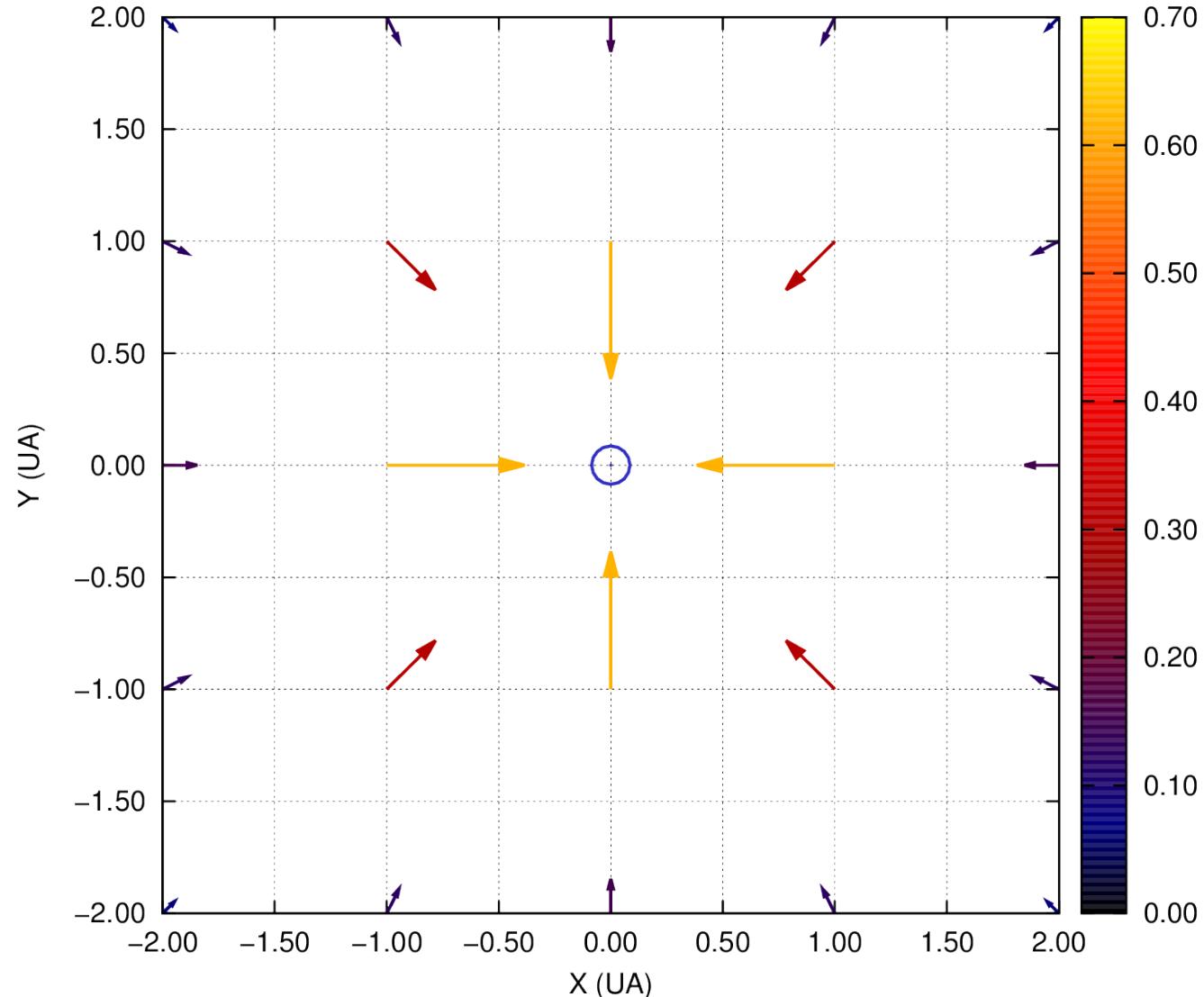


aceleración=Fuerza / masa

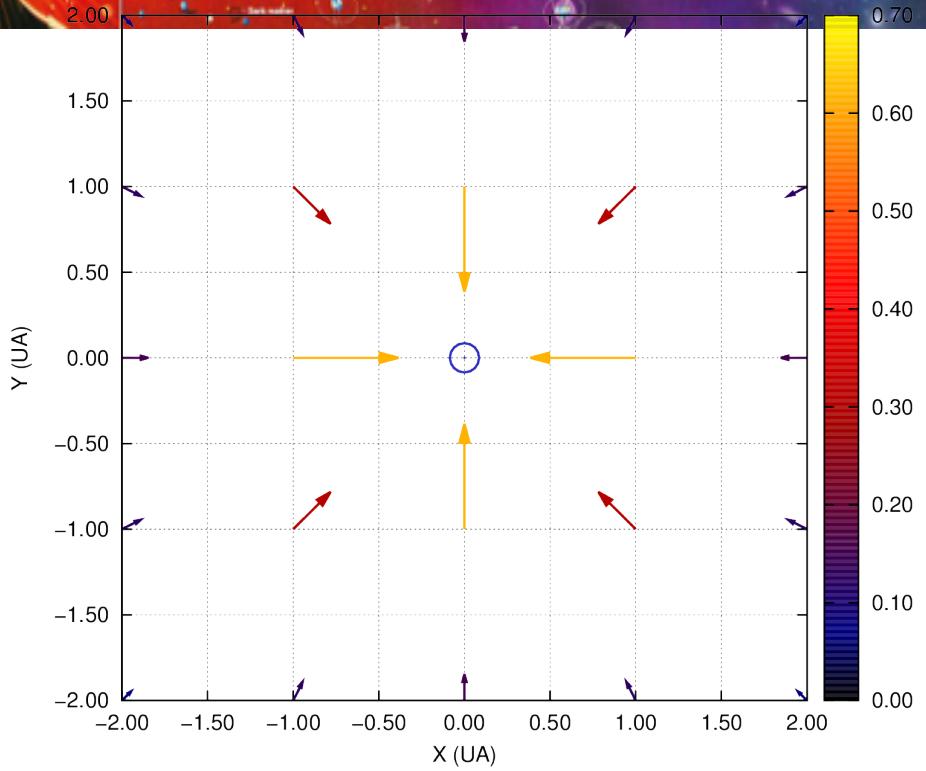
## masa de prueba



# 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  **$\mathbf{g}(\mathbf{r})$**

$$\vec{F}(r) = \frac{GMm}{|\vec{r}|^2} \hat{r}$$

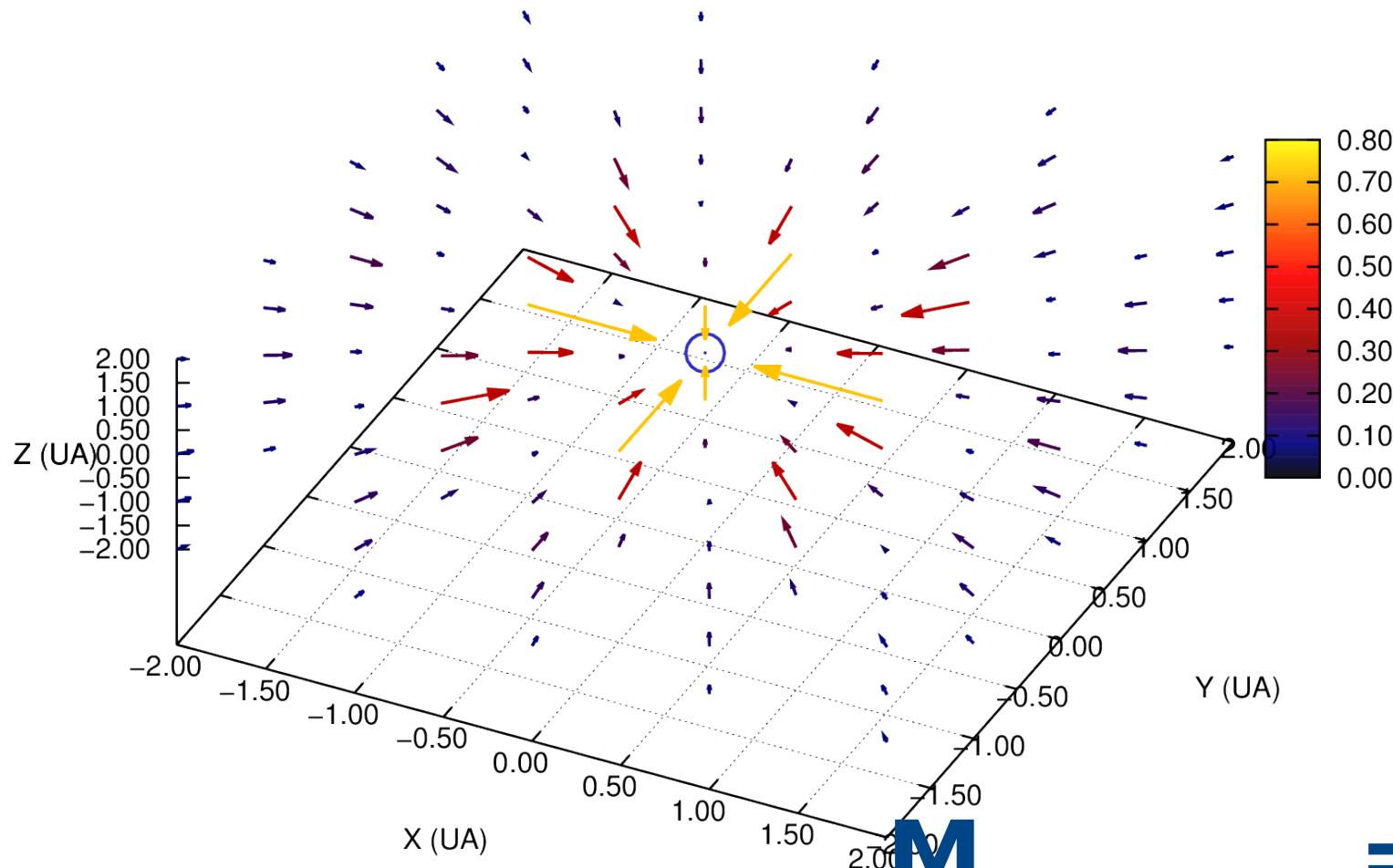
$$\vec{F}(r) = m \left[ \left( \frac{GM}{|\vec{r}|^2} \right) \hat{r} \right]$$

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

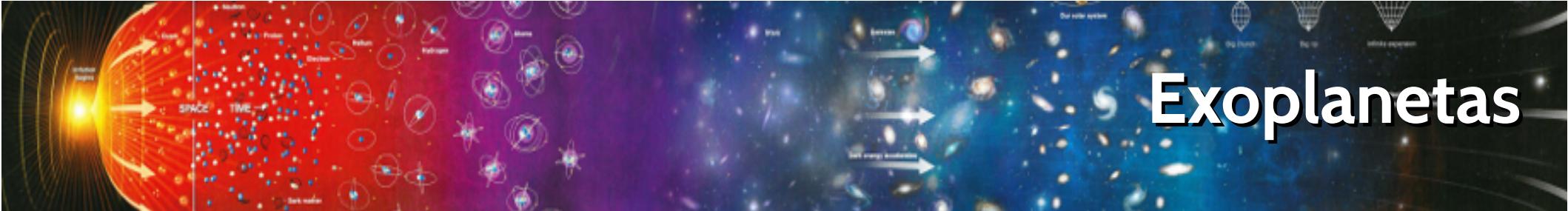
$$\vec{g}(r) = \left( \frac{GM}{|\vec{r}|^2} \right) \hat{r}$$

# Campo gravitatorio

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



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



# Exoplanetas

<http://exoplanets.org/>

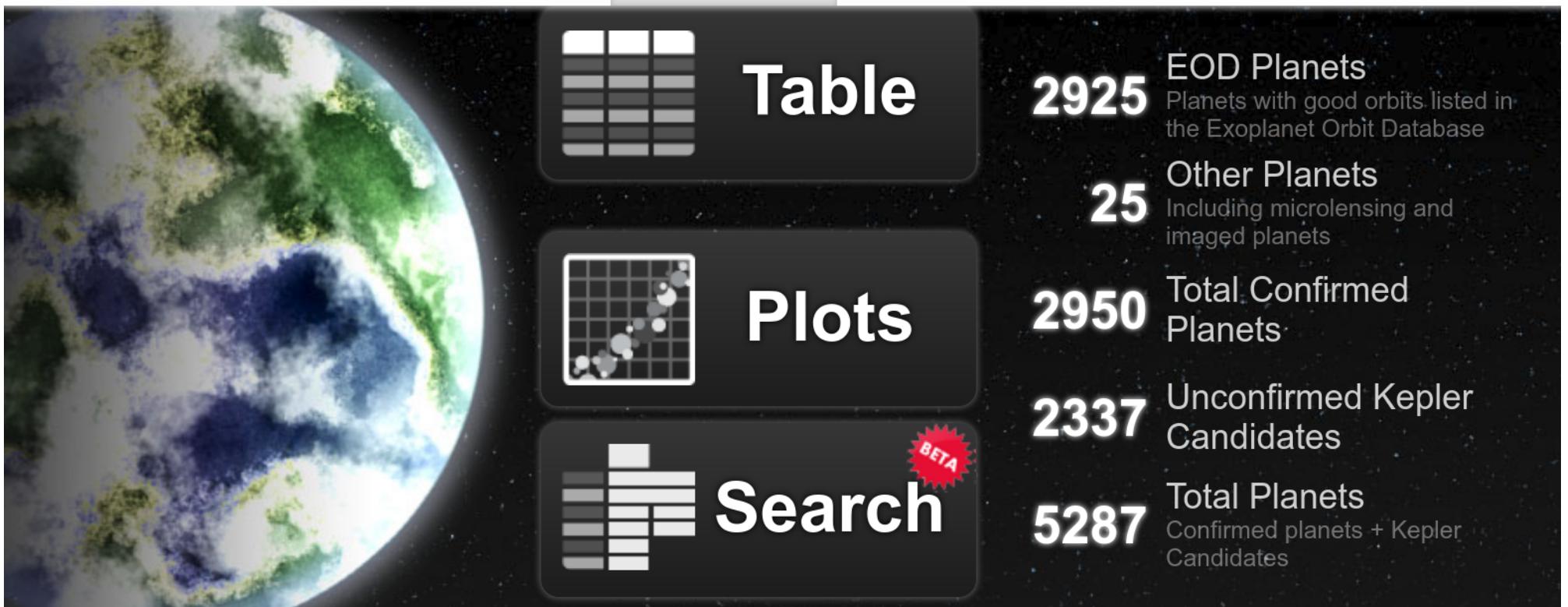
**exoplanets.org**

Exoplanets  
Data Explorer

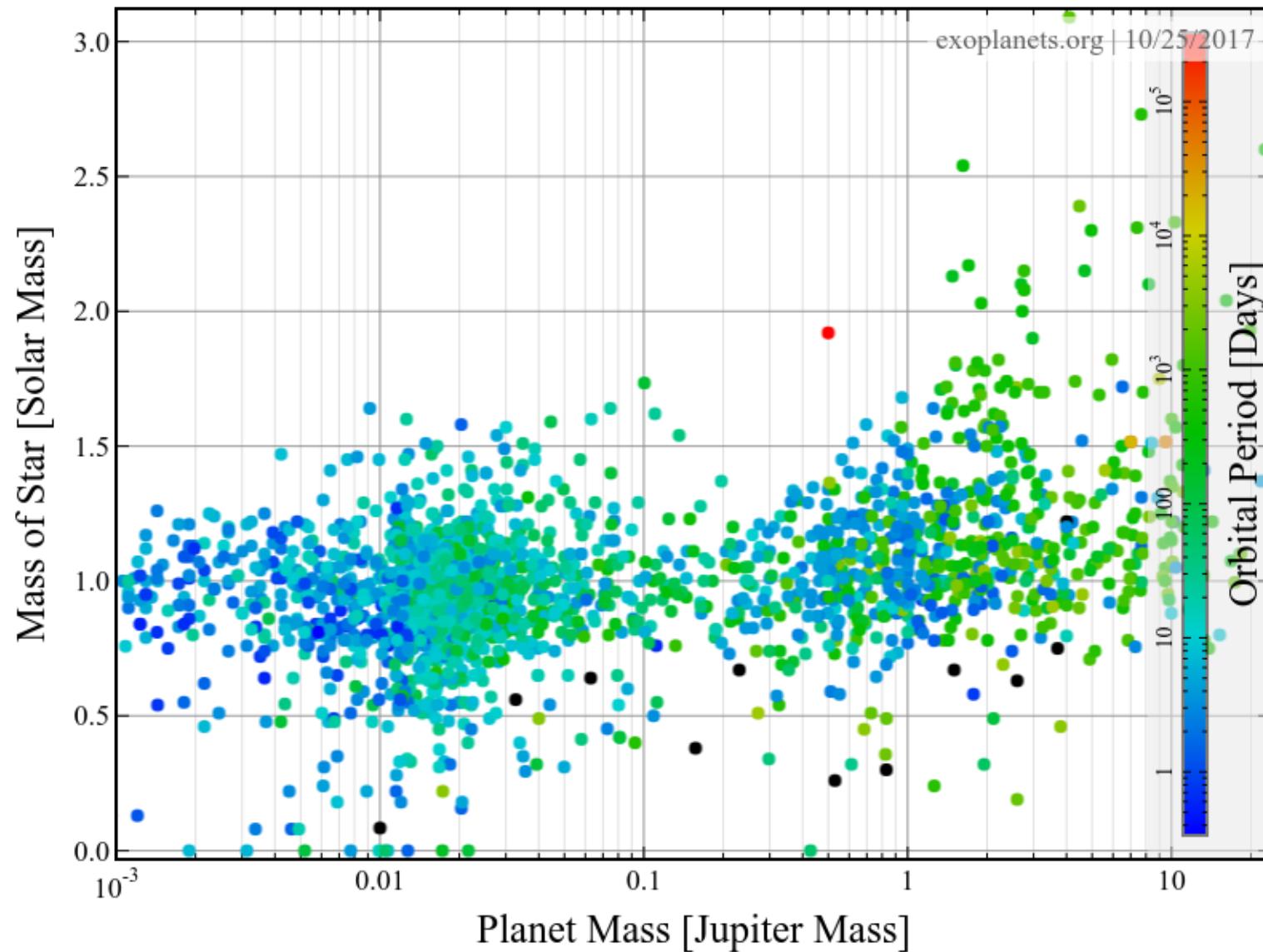
Methodology  
and FAQ

Exoplanets  
Links

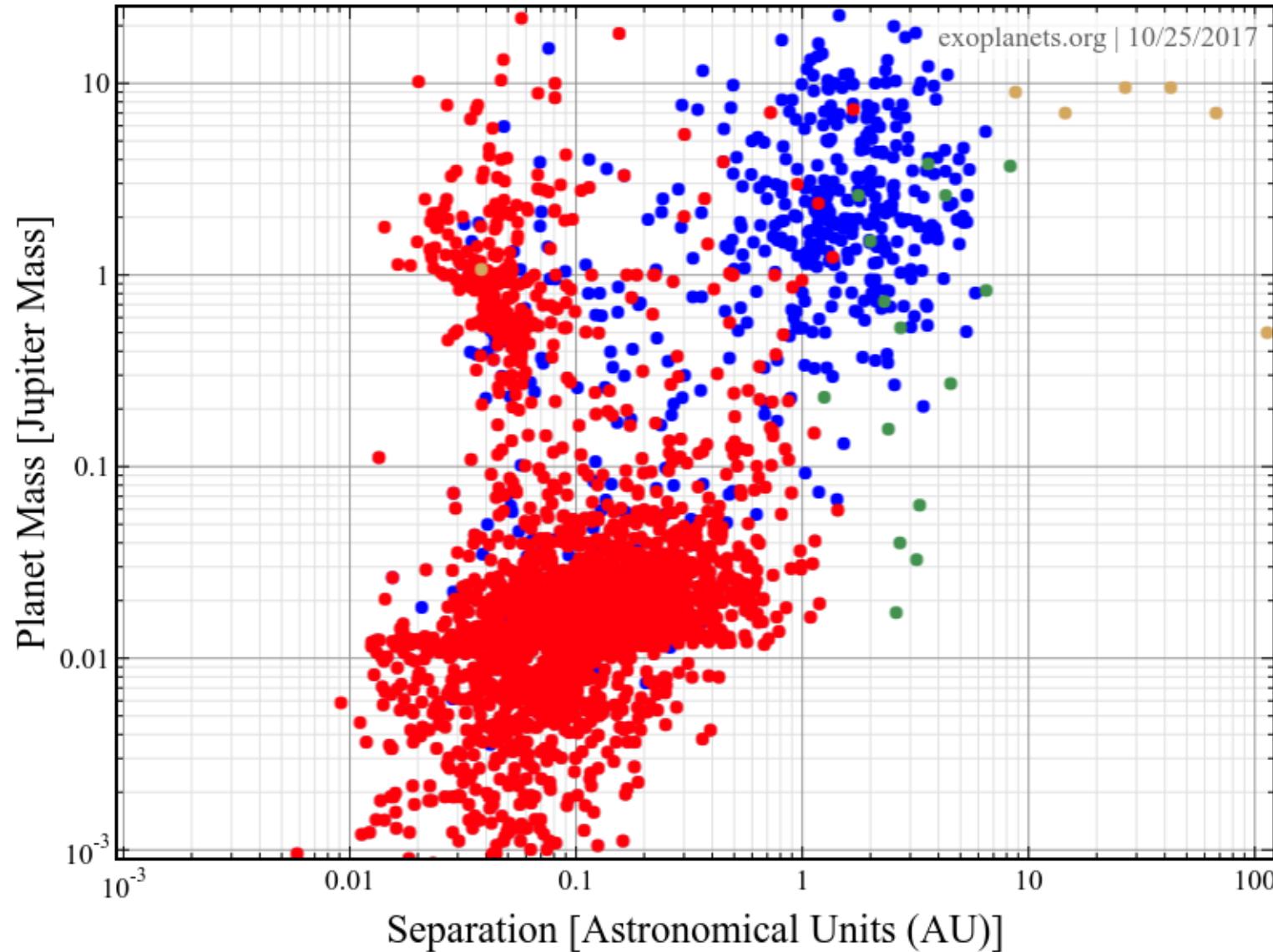
California  
Planet Survey



# Por ejemplo, masas



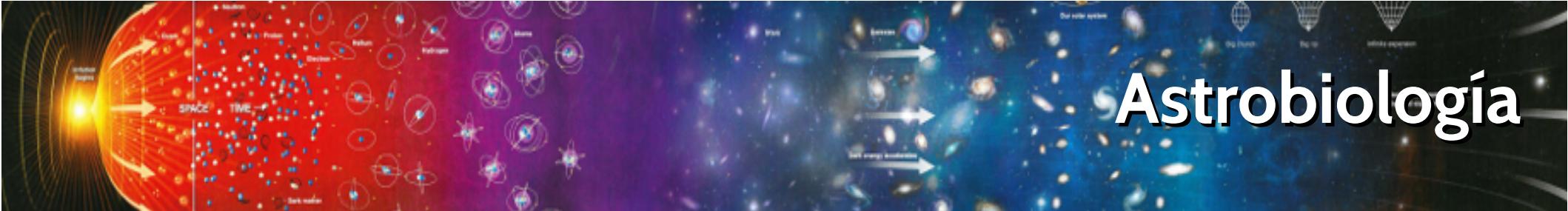
# Masa vs separación





Pero si hay otros planetas, hay vida?





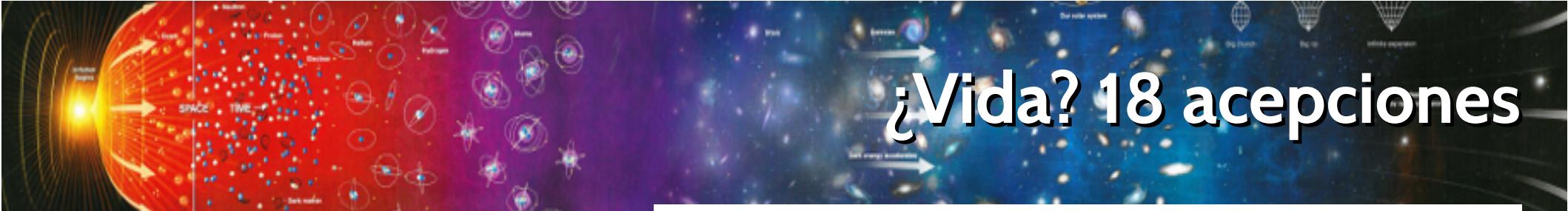
# Astrobiología

- Astrobiología.

## astrobiología

De *astro-* y *biología*.

1. f. Rama interdisciplinar 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.
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 termondinámica, 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



# Temas de monografía para trabajo final algunas ideas, lista no excluyente

- Cosmogonía de los pueblos originarios (elegir alguno)
- Cosmogonía y Constelaciones
- Evolución estelar (vida y obra de las estrellas)
- Objetos compactos (enanas blancas, estrellas de neutrones, agujeros negros)
- Ensayo sobre posibilidades de vida en Europa (luna de Júpiter)
- Vida basada en Amoníaco como disolvente
- El GalaxyZoo: principales resultados
- Otras Tierras: exoplanetas similares a la Tierra
- El impacto de Galileo Galilei en la concepción moderna de la Astronomía
- Spirit, Opportunity y Curiosity: explorando la superficie de Marte
- La sonda Cassini-Huygens: Saturno y Titán
- El Big Bang