

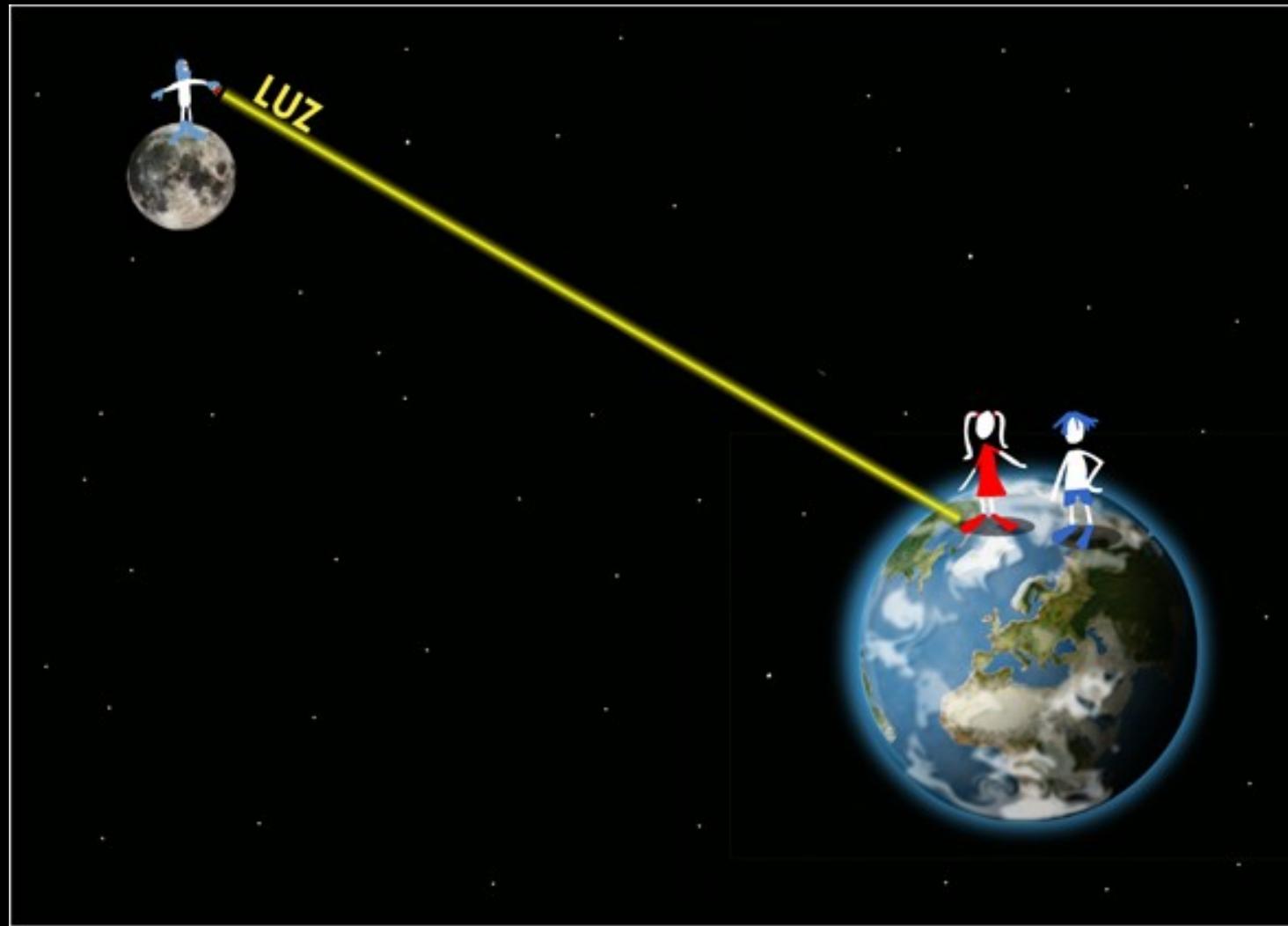
Un paseo por la Relatividad Especial



Alberto Pascual García

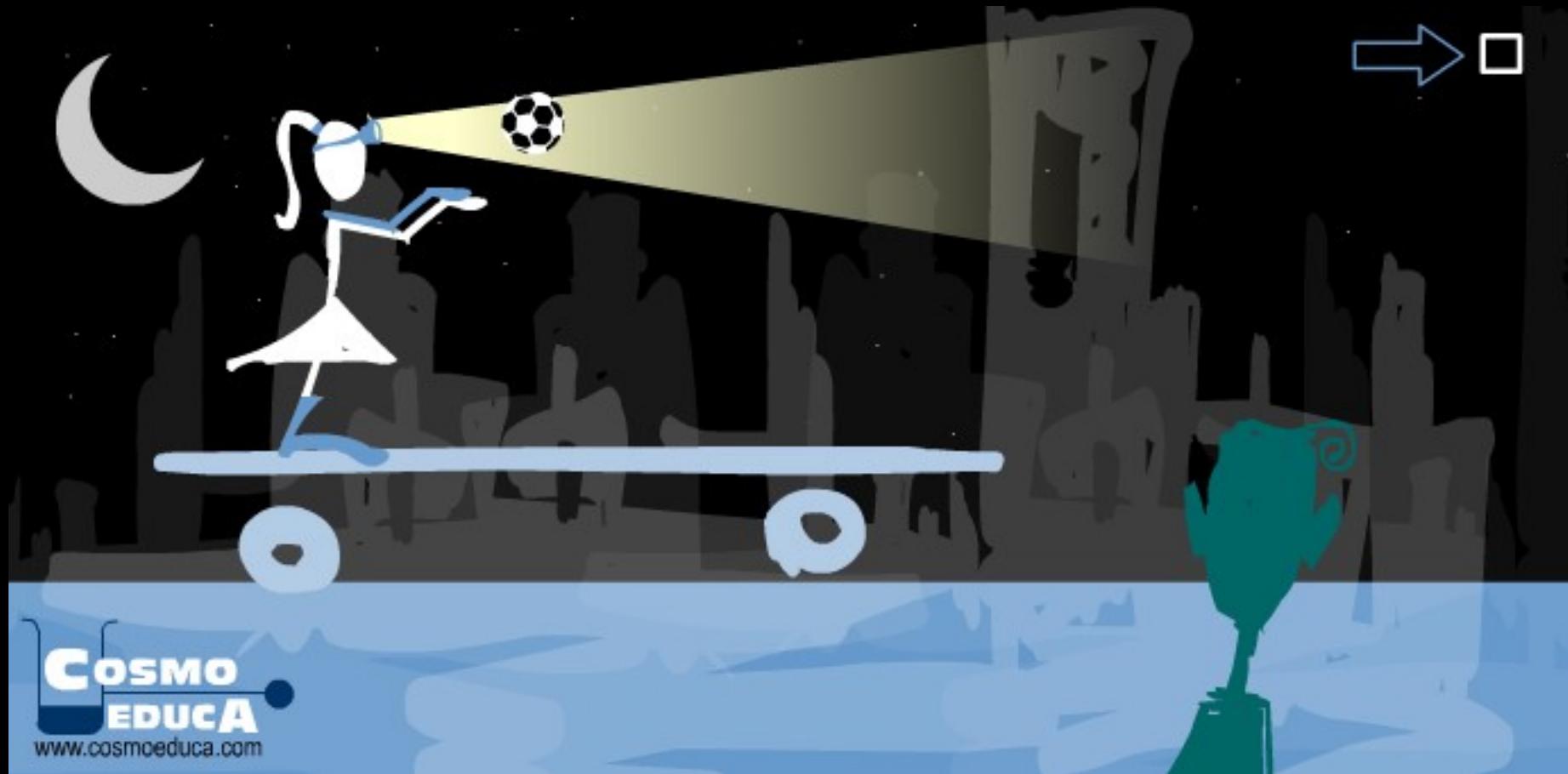
Centro de Biología Molecular “Severo Ochoa” (UAM-CSIC)

¿A qué velocidad viaja la luz en el vacío?



Distancia media de la Tierra-Luna 380.000 km

La velocidad de la pelota **depende** del punto de vista



La velocidad de la luz **NO depende** del punto de vista

El fotón: el más independiente

y el más veloz

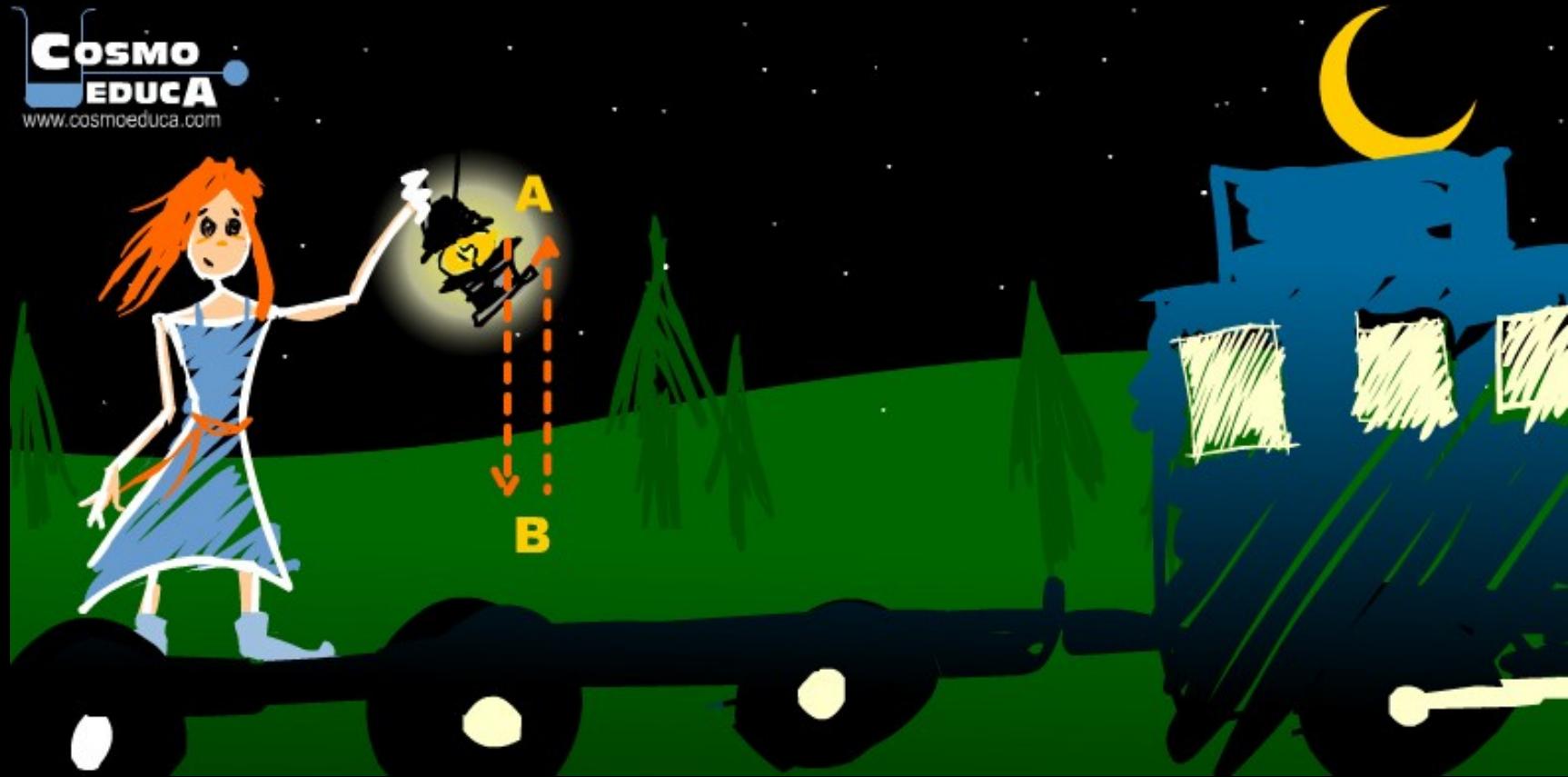


Según la Teoría de la Relatividad Especial, en nuestro Universo nada puede viajar a mayor velocidad que la luz en el vacío.

¿Hay en el Universo un límite de velocidad?



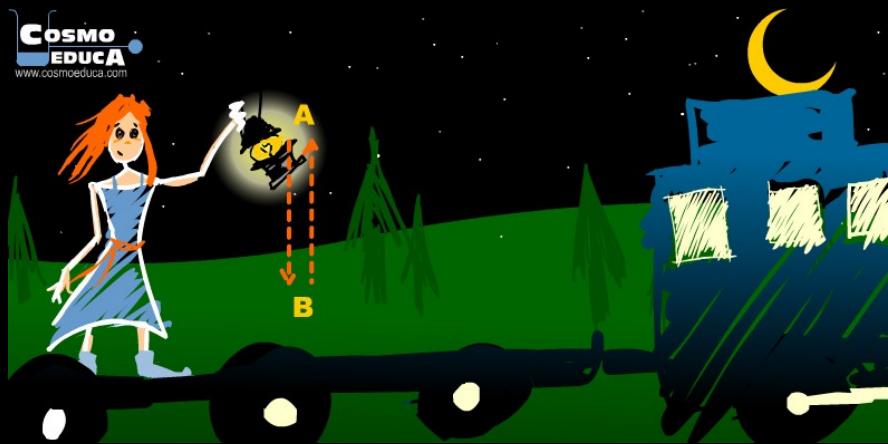
Punto de vista de la viajera



Punto de vista del jefe de estación



¿Qué trayectoria es la real?



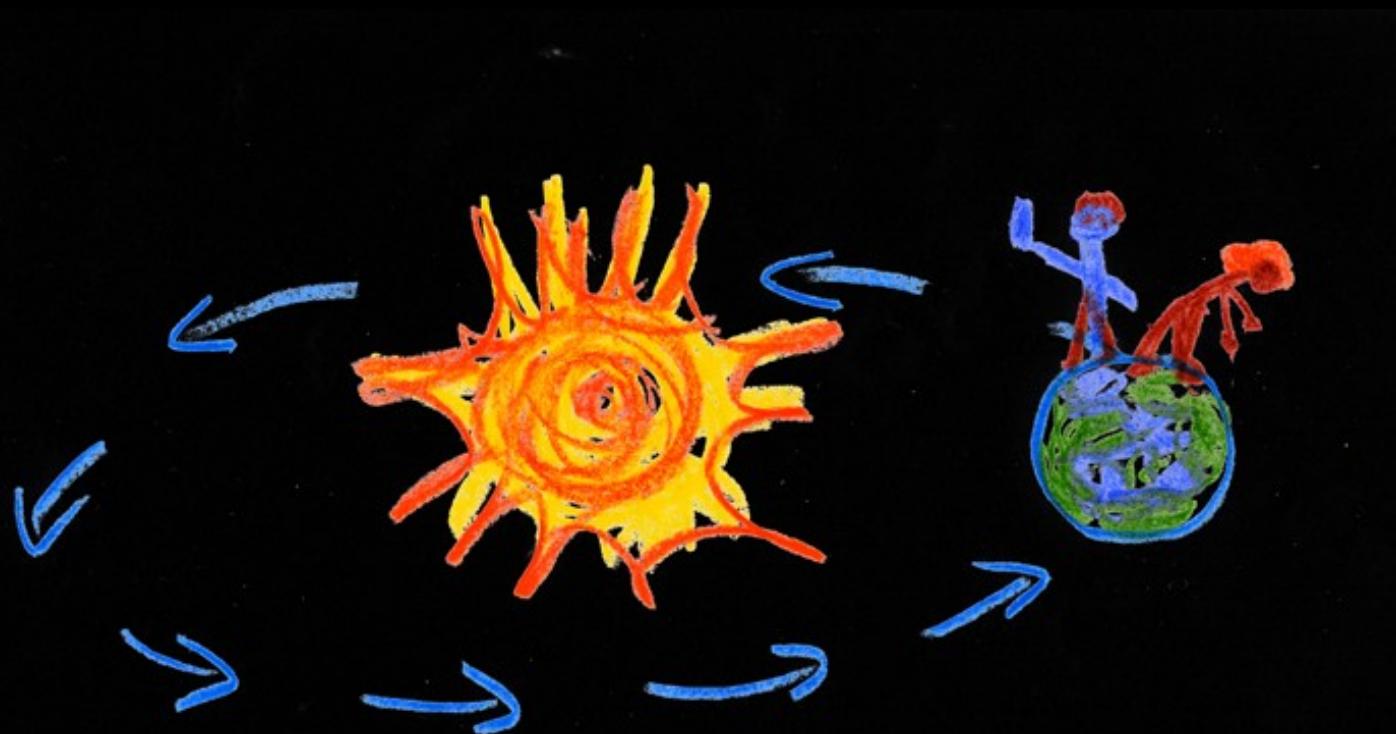
¿El jefe de estación está quieto?

¿Qué significa estar quieto?

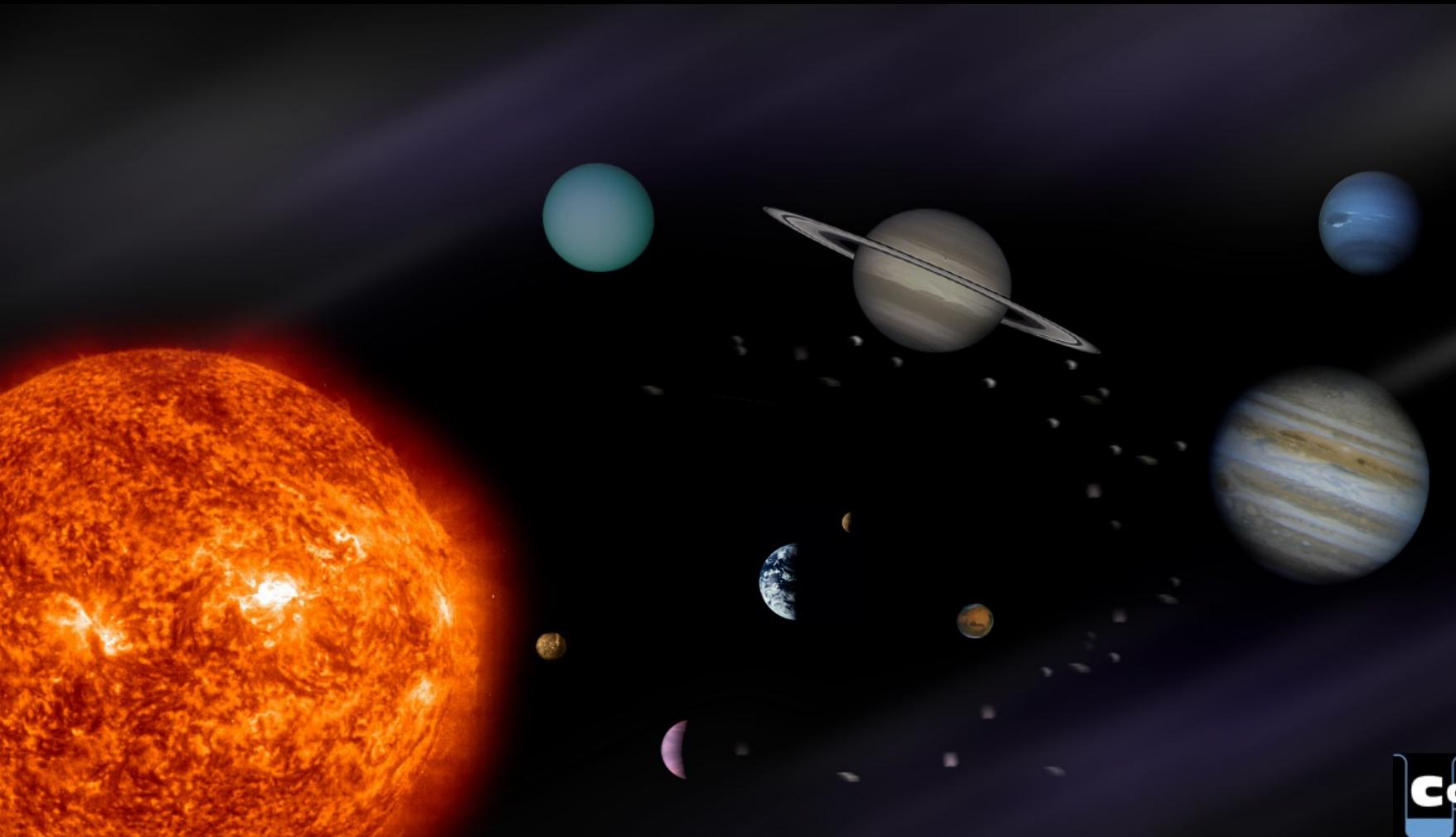


¿La Tierra está quieta?

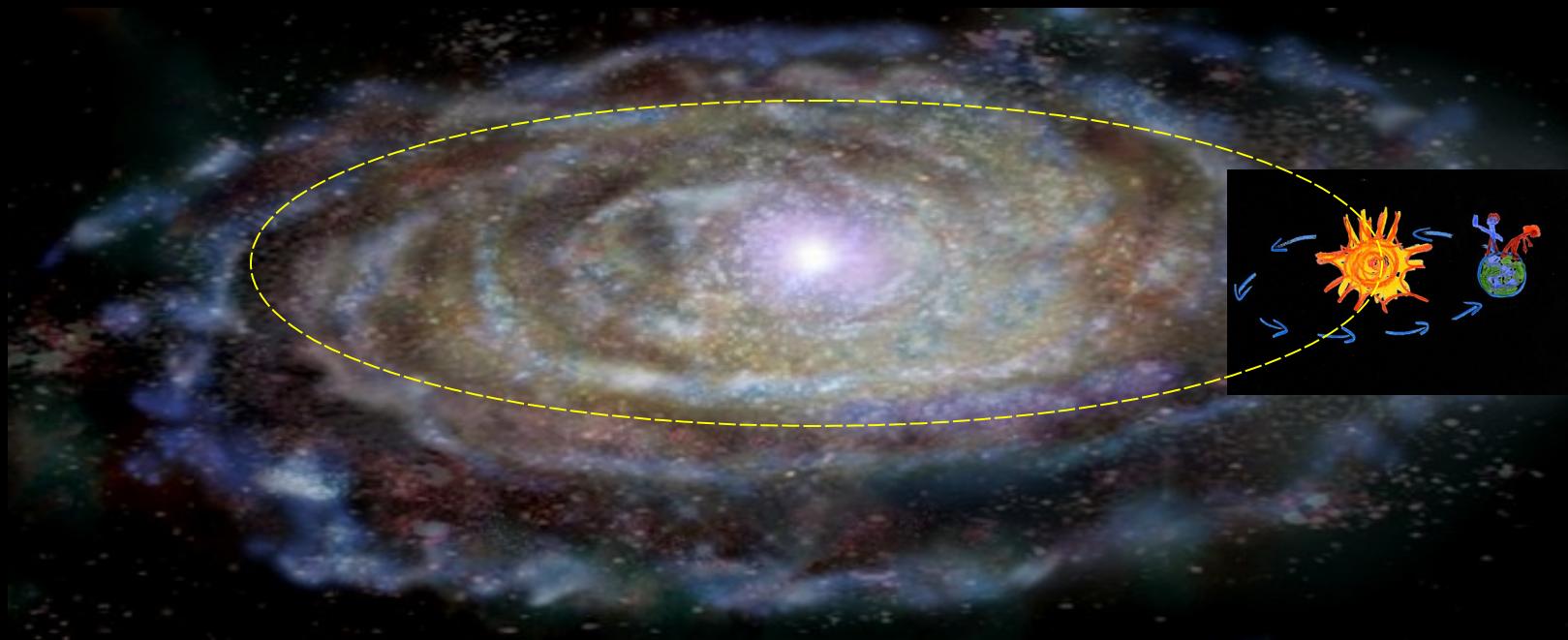
¡Que paren el mundo que yo me bajo!



¿El Sol está quieto?



El Sol da vueltas a la Vía Láctea



A dark, star-filled background representing space, filled with numerous galaxies of various sizes and colors, including blue, yellow, and white. Some galaxies are more prominent than others, creating a sense of depth and vastness.

¿Hay algo quieto en el Universo?

¿Podemos hablar de velocidad sin decir respecto a qué?



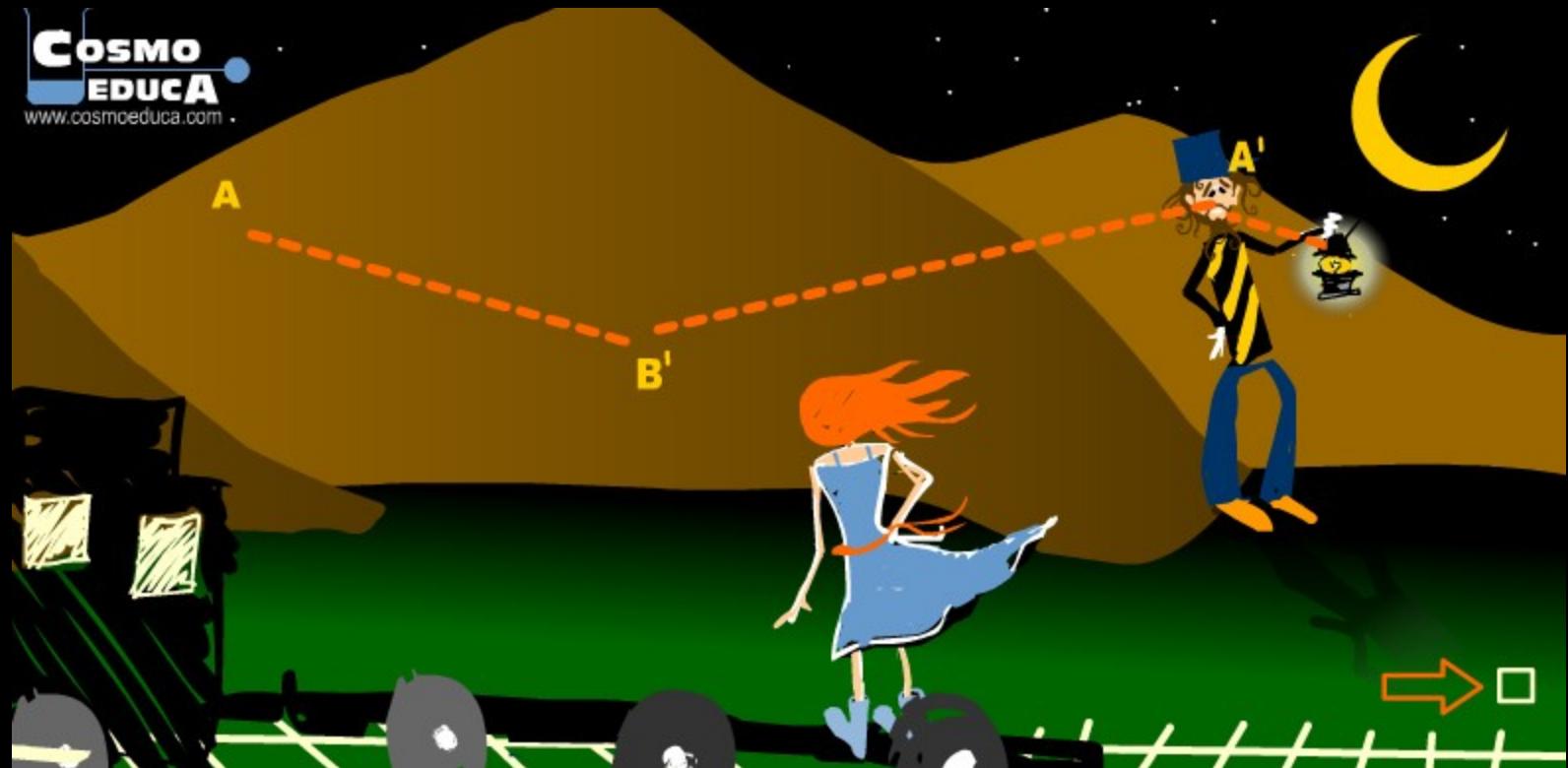
Volvamos a la estación



COSMO
EDUCA
www.cosmoeduca.com

Demos un farol al jefe de estación

¿Cómo verá la viajera la trayectoria del farol?



Las trayectorias dependen del punto de vista

En el siglo XVI, Galileo ya lo sabía.



Transformaciones de Galileo

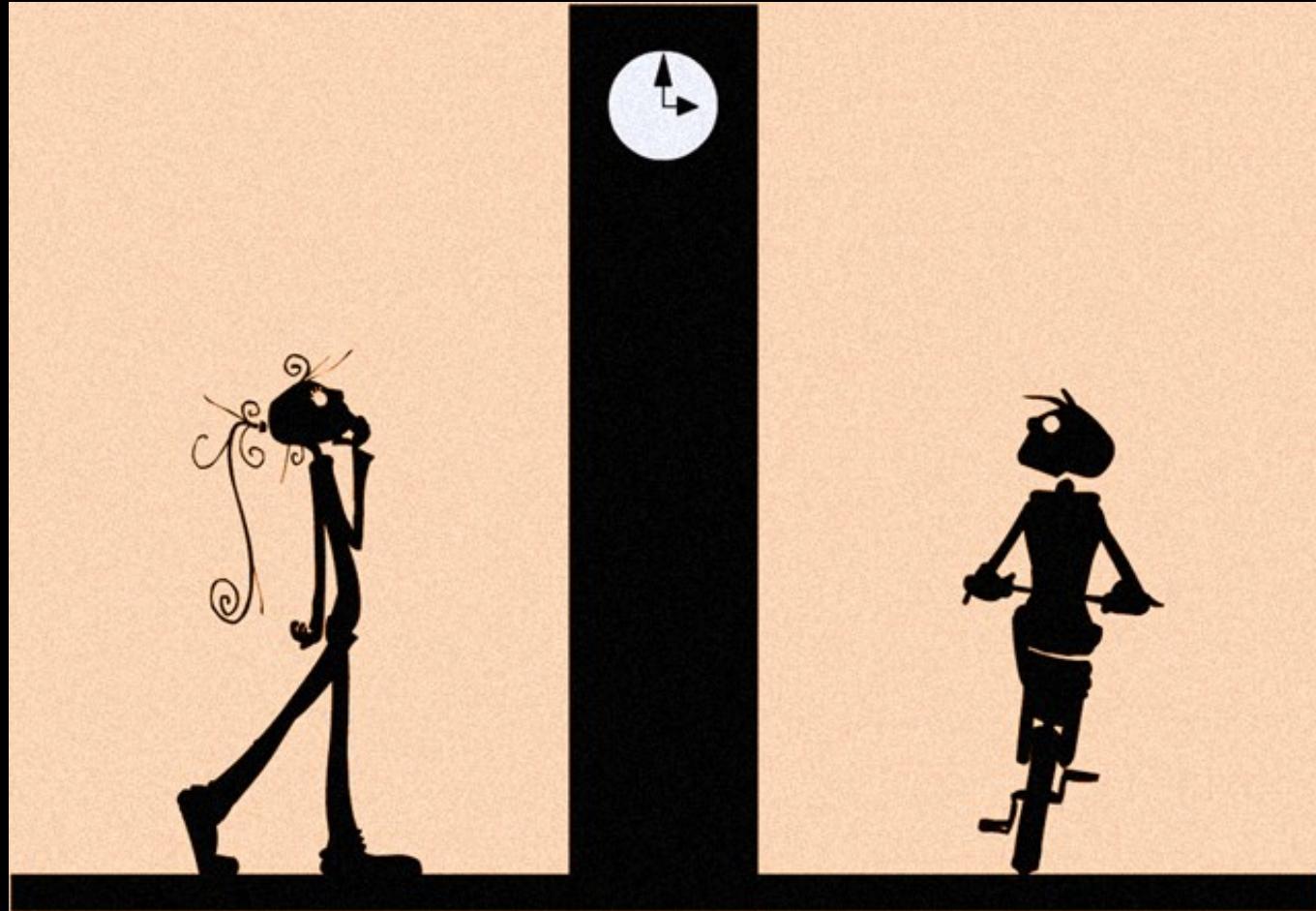
$$x' = x + vt$$

$$y' = y$$

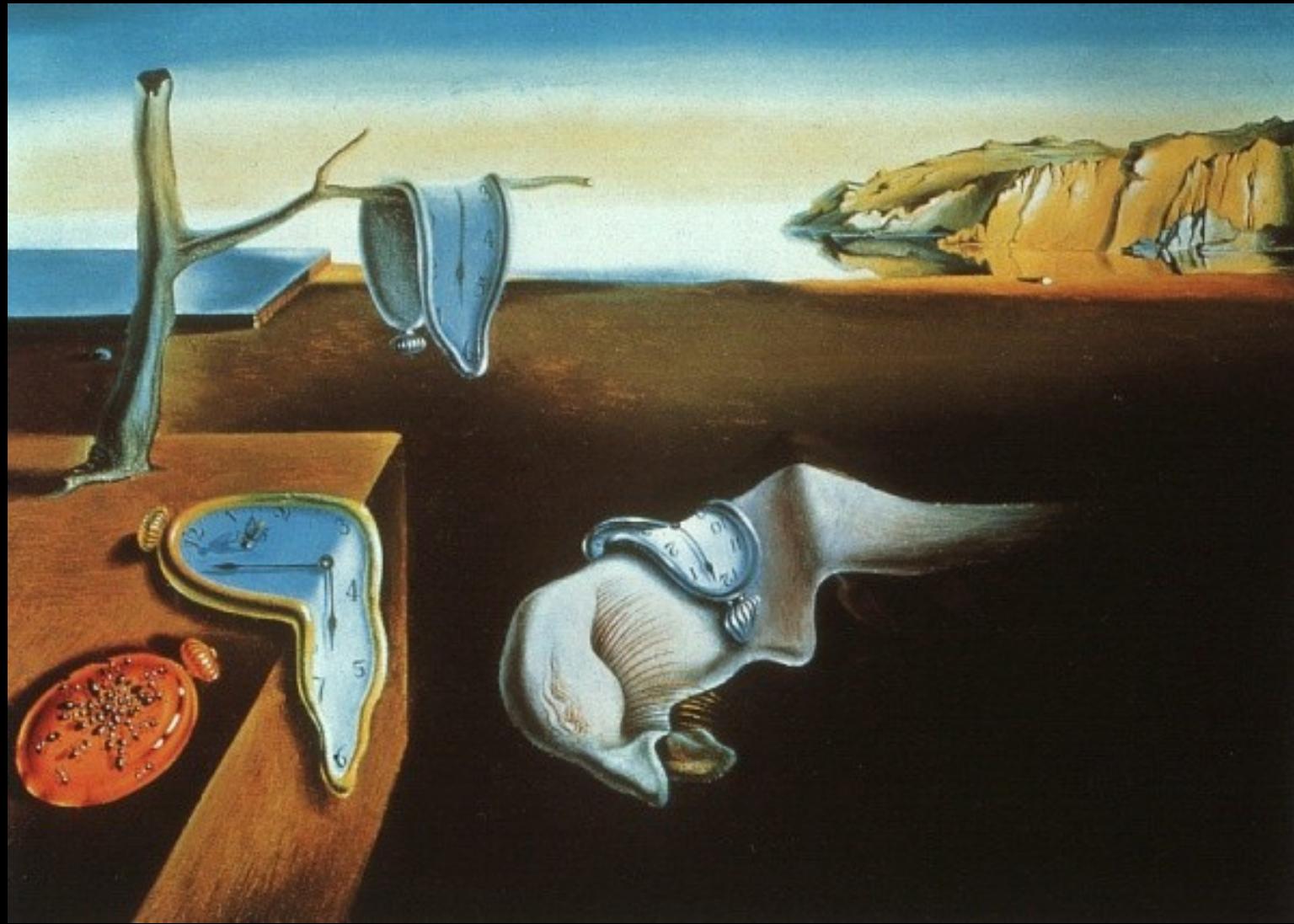
$$z' = z$$

$$t' = t$$

¿Dependerá el tiempo del punto de vista?

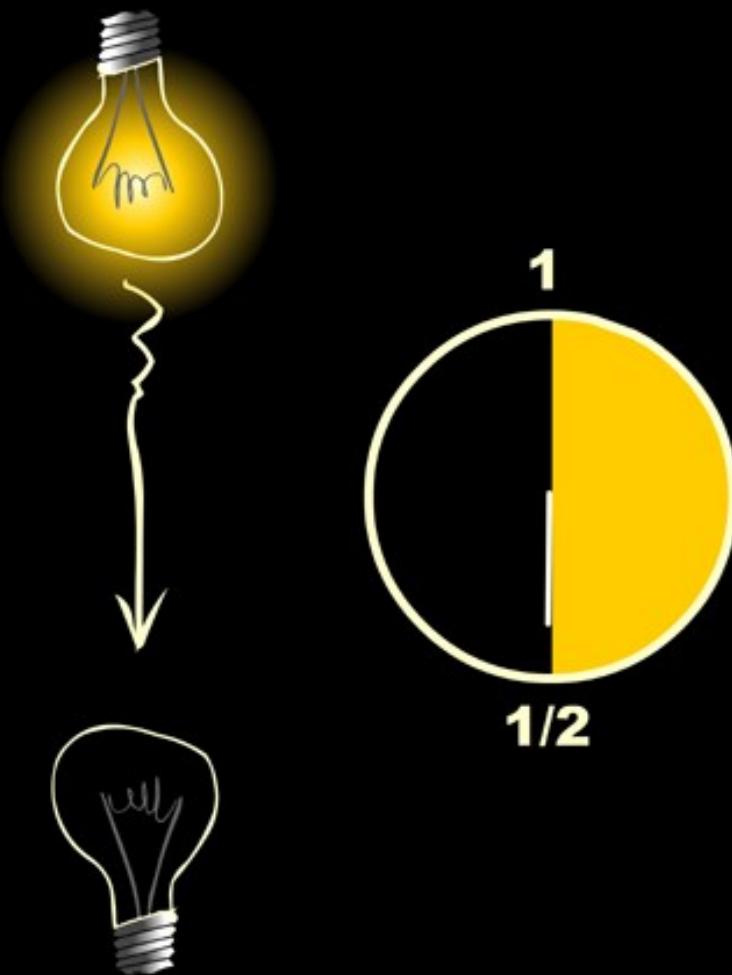


El tiempo depende del observador



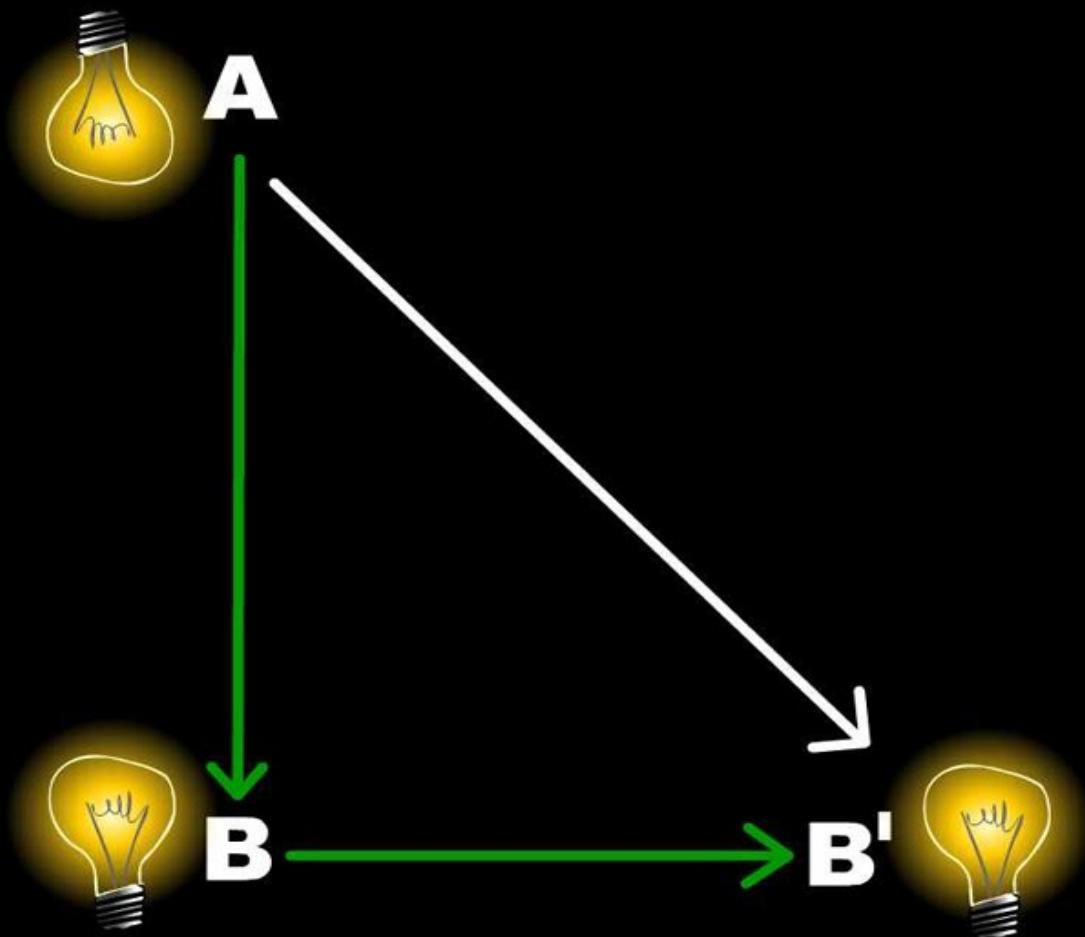
Desde 1905 sabemos que el tiempo no es absoluto

Un experimento mental



Usaremos dos artilugios idénticos.

Mira y responde



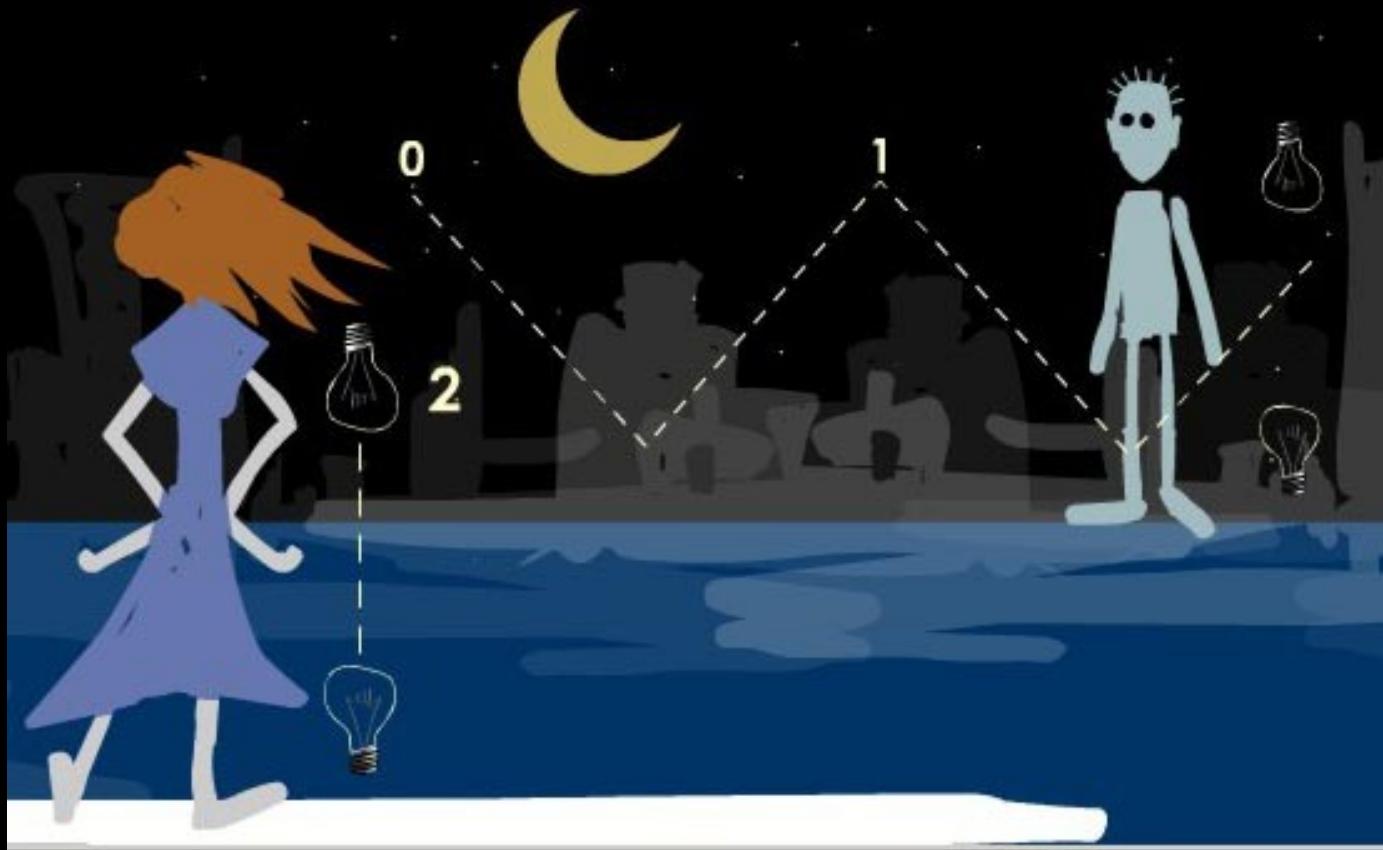
La clave: la velocidad de la luz “c” es siempre la misma.

Lo que ve el jefe de

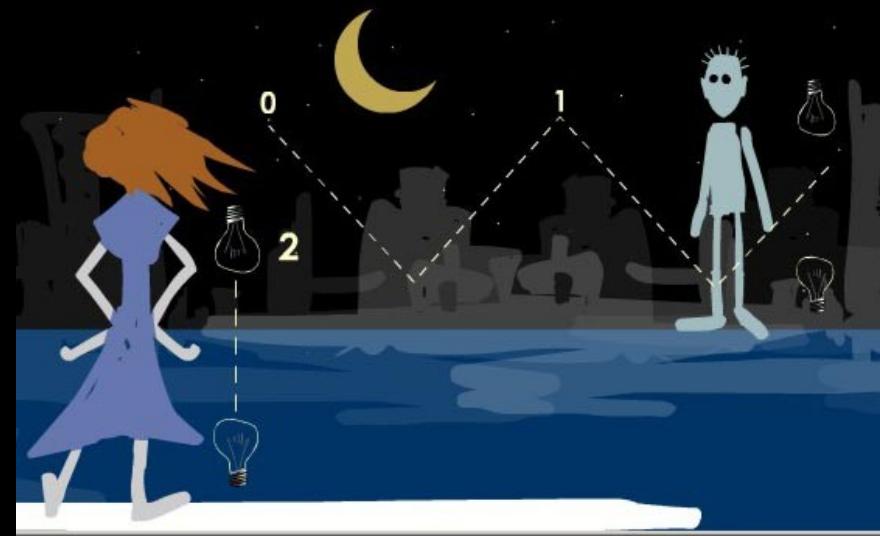
marketing



Lo que ve la viajera



El misterio de los relojes



Cuando dos observadores se desplazan uno respecto a otro a **velocidad constante**, ambos observan que el reloj del otro atrasa.

Transformaciones de Lorentz

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \quad y' = y, \quad z' = z$$
$$t' = \frac{t - \frac{u}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad [15]$$

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Paradoja de los gemelos

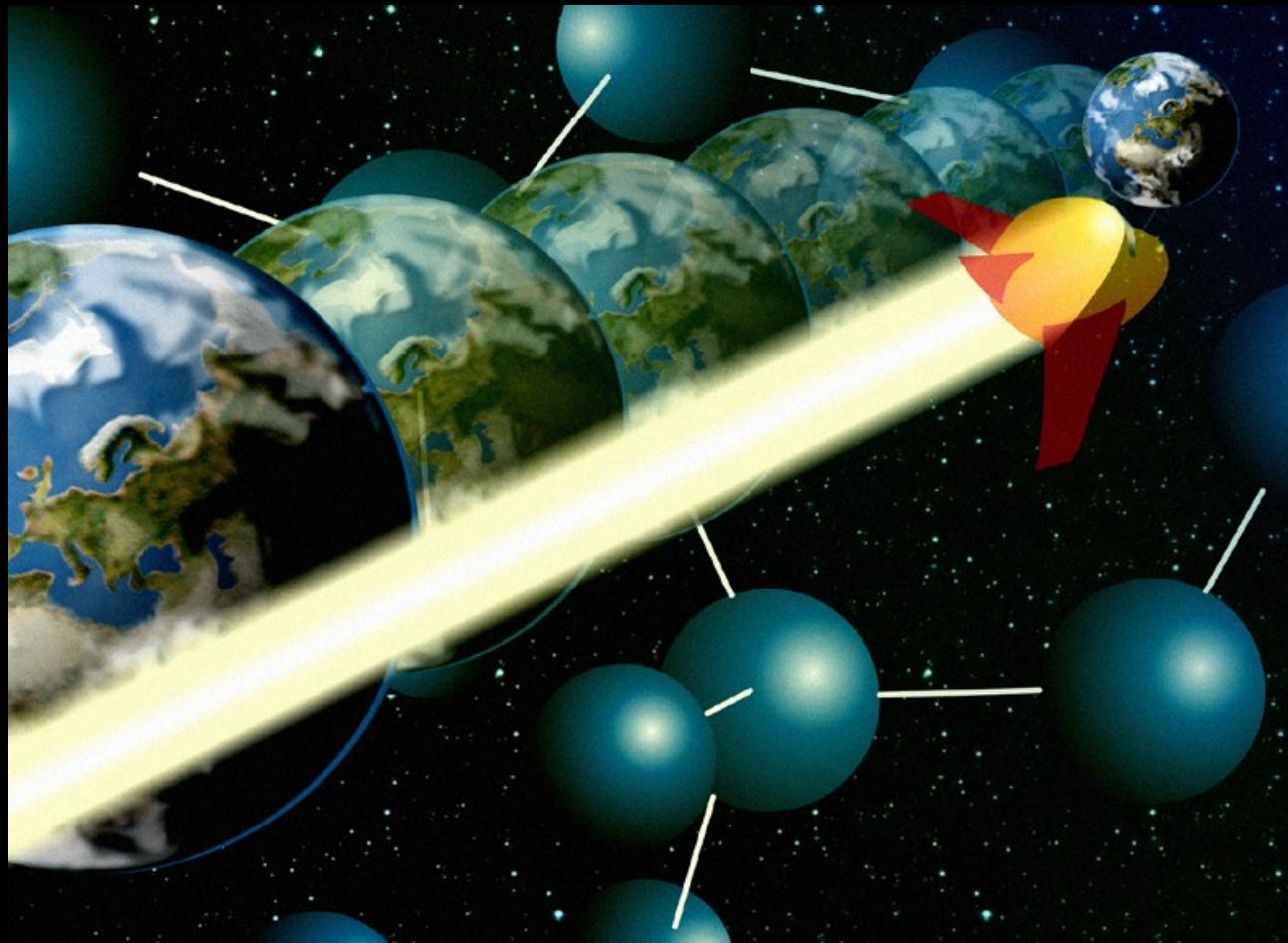


Viajar al futuro



Viajar al futuro es fácil...sólo hay que
espera a que llegue...

Un viaje al futuro de la Tierra



...pero nuestras naves no son tan rápidas

2005

Se celebra centenario de la
Teoría Especial de la Relatividad



Créditos



Esta charla forma parte de la experiencia piloto **COSMOEDUCA**, desarrollada por el Instituto de Astrofísica de Canarias y subvencionada por el anterior Ministerio de Ciencia y Tecnología.

La información completa de esta experiencia se encuentra en www.iac.es/cosmoeduca

Guion original:

www.iac.es/cosmoeduca/relatividad/unpaseoespecial.htm

Evencio Mediavilla (IAC) y María C. Anguita (IAC)

Créditos

Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

1. Animación artística: Puntos de vistas
Inés Bonet (IAC)
2. Imagen: Luz de la Luna a la Tierra:
Composición artística de Inés Bonet (IAC)
Imágenes originales de la Tierra y la Luna (NASA)
3. Animación: Composición de velocidades
Inés Bonet (IAC)
4. Imagen: Carrera de partículas
Inés Bonet (IAC)
5. Imagen: Límite de velocidad
Composición artística Inés Bonet (IAC)
(a partir de originales de Laura Ventura (IAC) y de la NASA)
6. Animación: Trayectoria del farol-viajera desde el tren
Inés Bonet (IAC)
7. Animación: Trayectoria del farol-viajera desde la estación
Inés Bonet (IAC)
8. Imágenes: Trayectorias
Inés Bonet (IAC)

Créditos

Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

9. Imagen: Tierra:
Fuente (NASA)
10. Imagen: que paren el mundo
María C. Anguita (IAC)
11. Imagen: Sistema Solar
Composición artística de Laura Ventura (IAC)
Imágenes originales (NASA)
12. Imágenes originales:
Que paren el mundo: María C. Anguita (IAC)
Simulación de la Vía Láctea: Laura Ventura (IAC)
13. Hubble Deep Field ☰ R. Williams, The HDF Team (STScI),
NASA
14. Imagen: Velocidades respecto a algo
Inés Bonet (IAC)
15. Animación: Trayectoria farol- jefe estación desde la estación.
Inés Bonet (IAC)
16. Animación: Trayectoria farol- jefe estación desde el tren
Inés Bonet (IAC)

Créditos

Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

17. Imagen: Galileo
Composición artística, Laura Ventura (IAC)
Imágenes originales (NASA)
18. Imagen: Reloj y puntos de vista
Inés Bonet (IAC)
19. "La persistencia de la memoria", Dalí, 1931
Museo de Arte Moderno, Nueva York
20. Animación: Artilugio reloj-fotón
Inés Bonet (IAC)
21. Imagen: Triángulo bombillas
Inés Bonet (IAC)
22. Animación: Tiempo en tren y estación según jefe de estación
Inés Bonet (IAC)
23. Animación: Tiempo en tren y estación según la viajera
Inés Bonet (IAC)
24. Imágenes: Tiempo y puntos de vista
Inés Bonet (IAC)
25. Animación: Paradoja de los gemelos
Inés Bonet (IAC)

Créditos

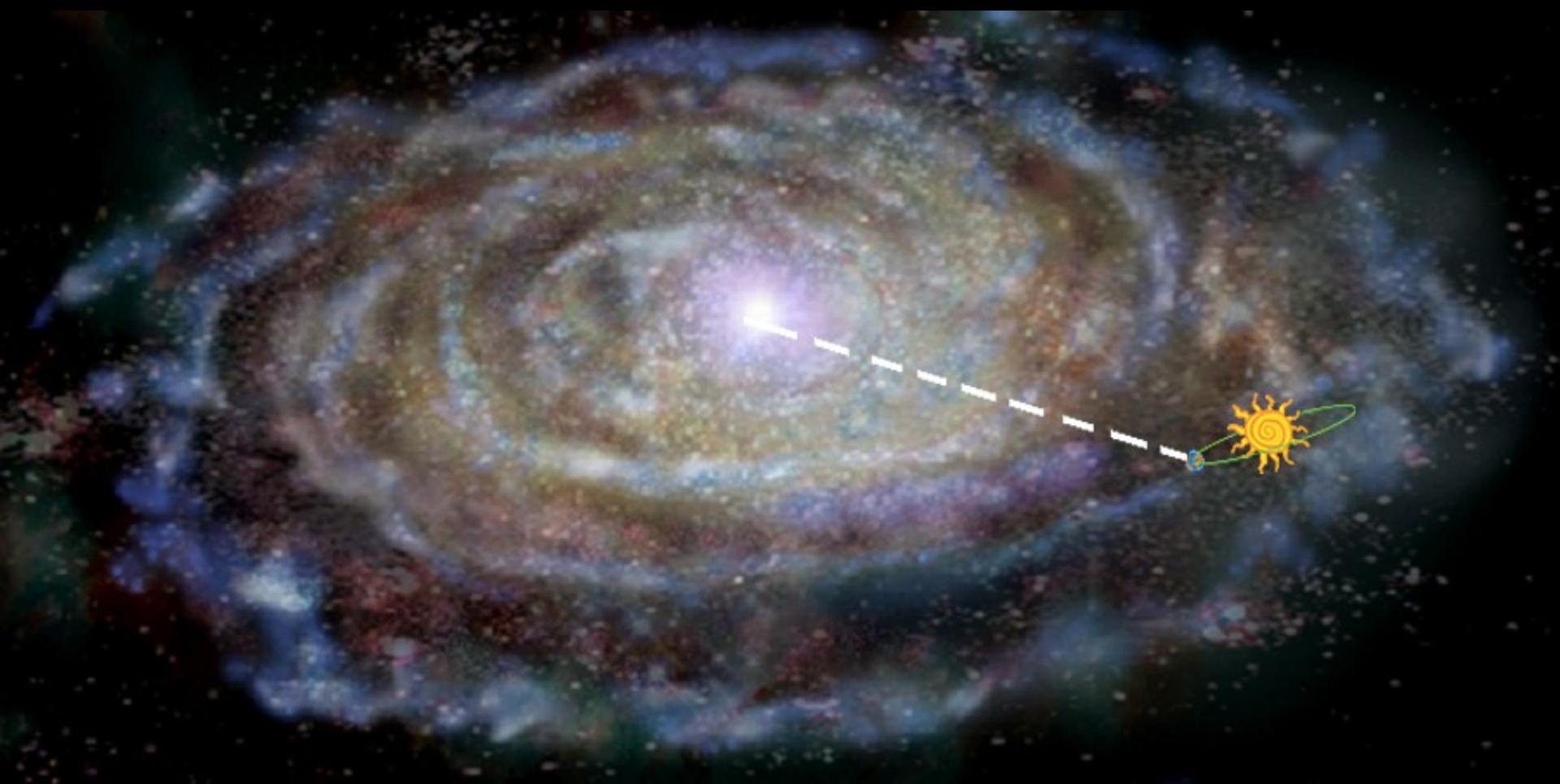
Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

26. Imagen: Siesta al futuro
Inés Bonet (IAC)
27. Imagen: Viaje al futuro
Inés Bonet (IAC)
28. Imagen: Reloj 2005
Tomás Mediavilla

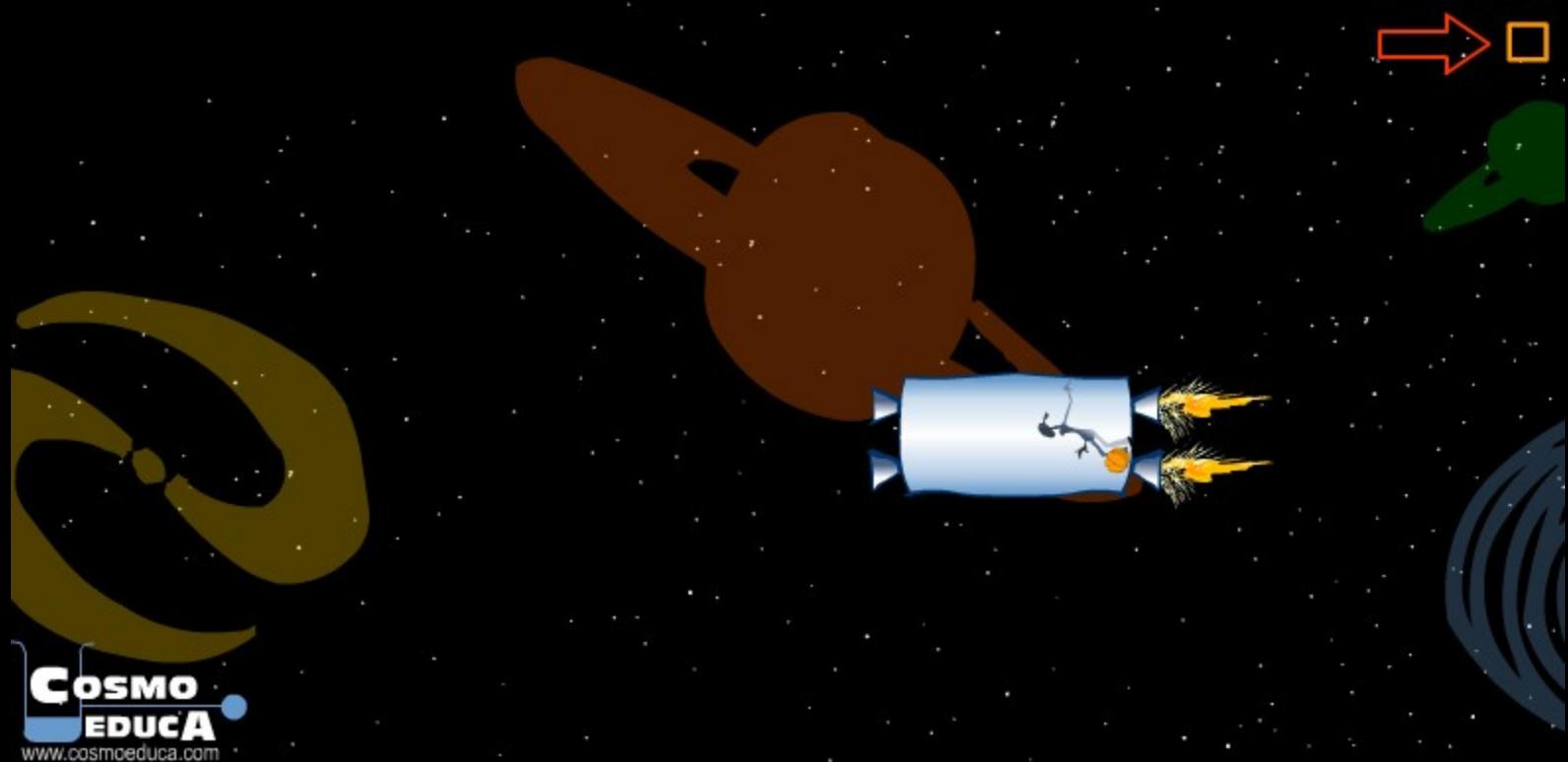
Viajes espaciales, máquinas del tiempo...



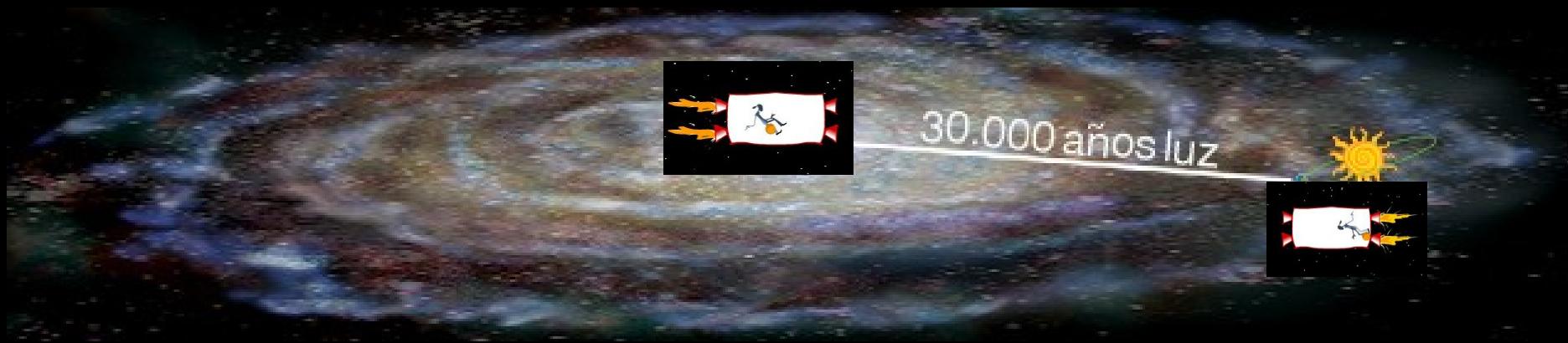
Viaje al centro de nuestra galaxia



Gravedad artificial

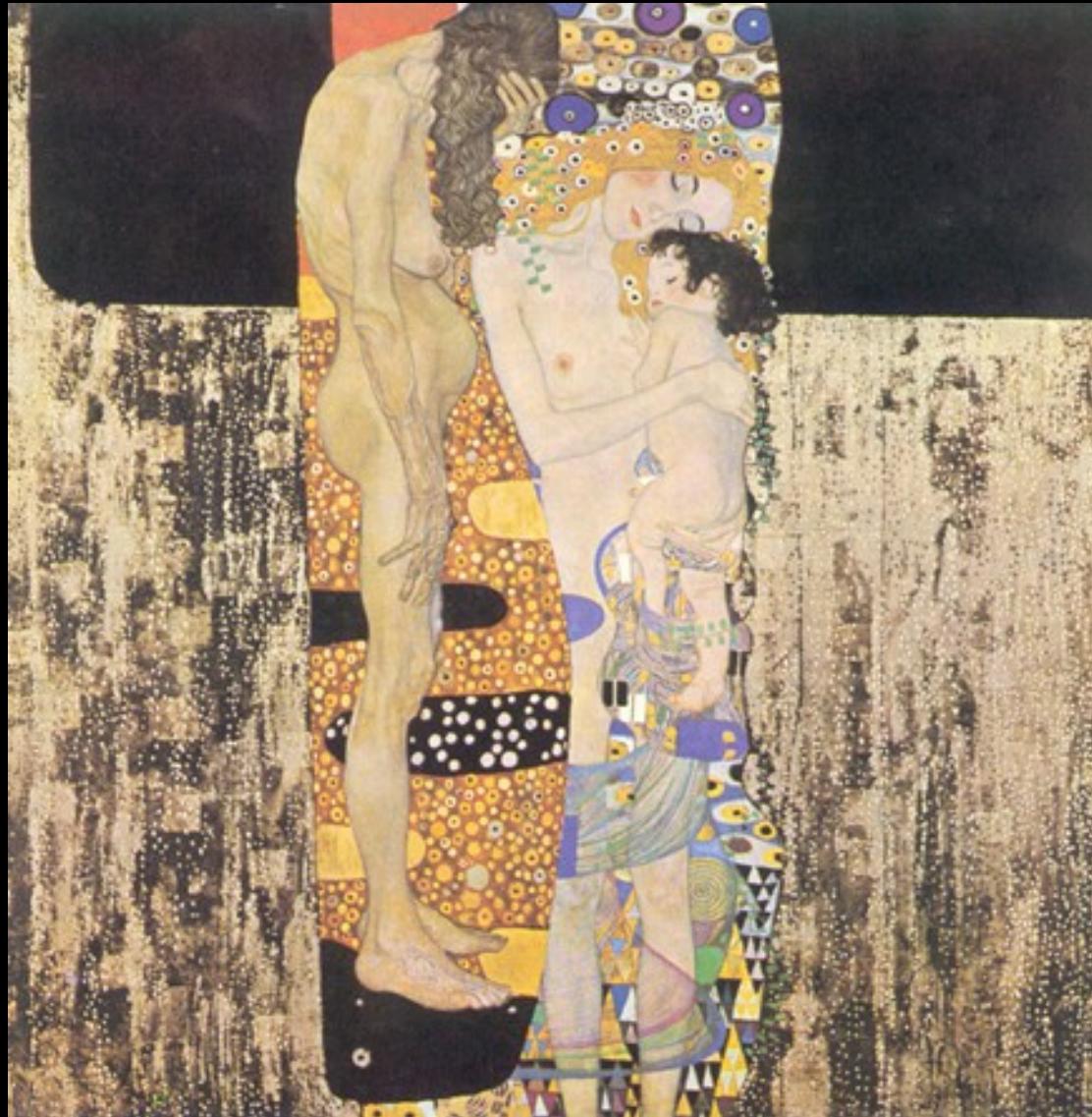


Viaje al centro de nuestra galaxia y al futuro



El centro de la galaxia está a 30.000 años luz
de nuestro sistema solar.

Un viaje de 60.000 años
¿no es demasiado para una vida humana?

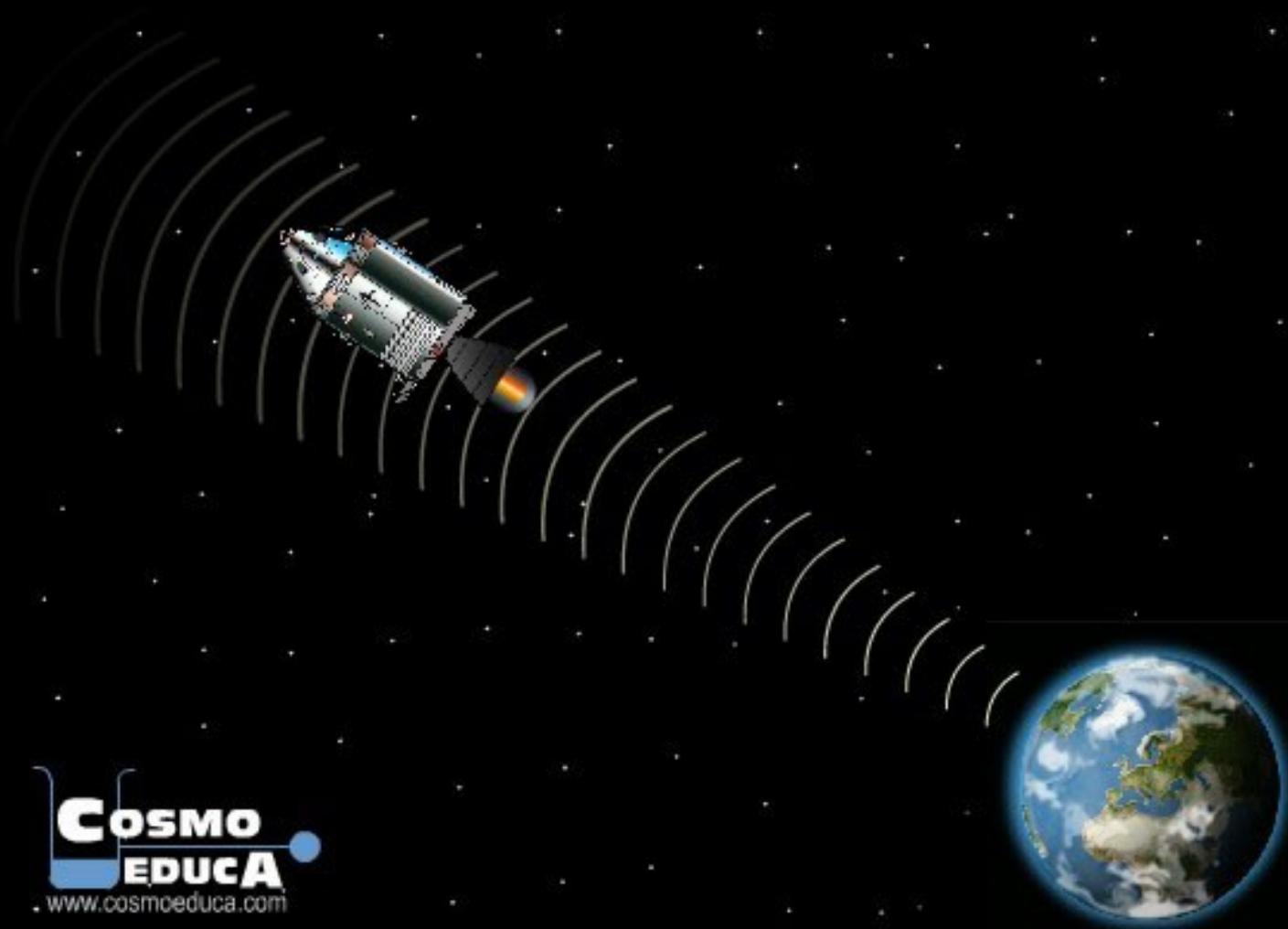


60.000 años ¿para quién?

$$t_{Nave} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t_{Tierra}$$

Tardarían más de 60.000 años terrestres en ir y volver...pero a ellos les parecería mucho menos....

Comunicación con la Tierra



Viaje de ida



	Tiempo en la Tierra	Tiempo en la nave	Velocidad	Aceleración
Salida de la Tierra	0	0	0	g
Salida del S.S.	16 días	16 días	0,02 c	g
Última comunicación	1 año	8 meses	c	g
Estrella más cercana	74 años	4 años	c	g
Inversión de motores	15000 años	10 años	c	-g
Centro de la galaxia	30000 años	20 años	0	-g

Contracción del espacio



Para nuestros navegantes a una velocidad cercana a la de la luz, la distancia que desde la Tierra es de 30.000 años luz años se ha contraído hasta 20 años luz

$$d = v t = c \cdot 20 \text{ años} = 20 \text{ años luz}$$

Velocidad de la nave, Efecto Doppler y aberración de la luz



Viaje de vuelta



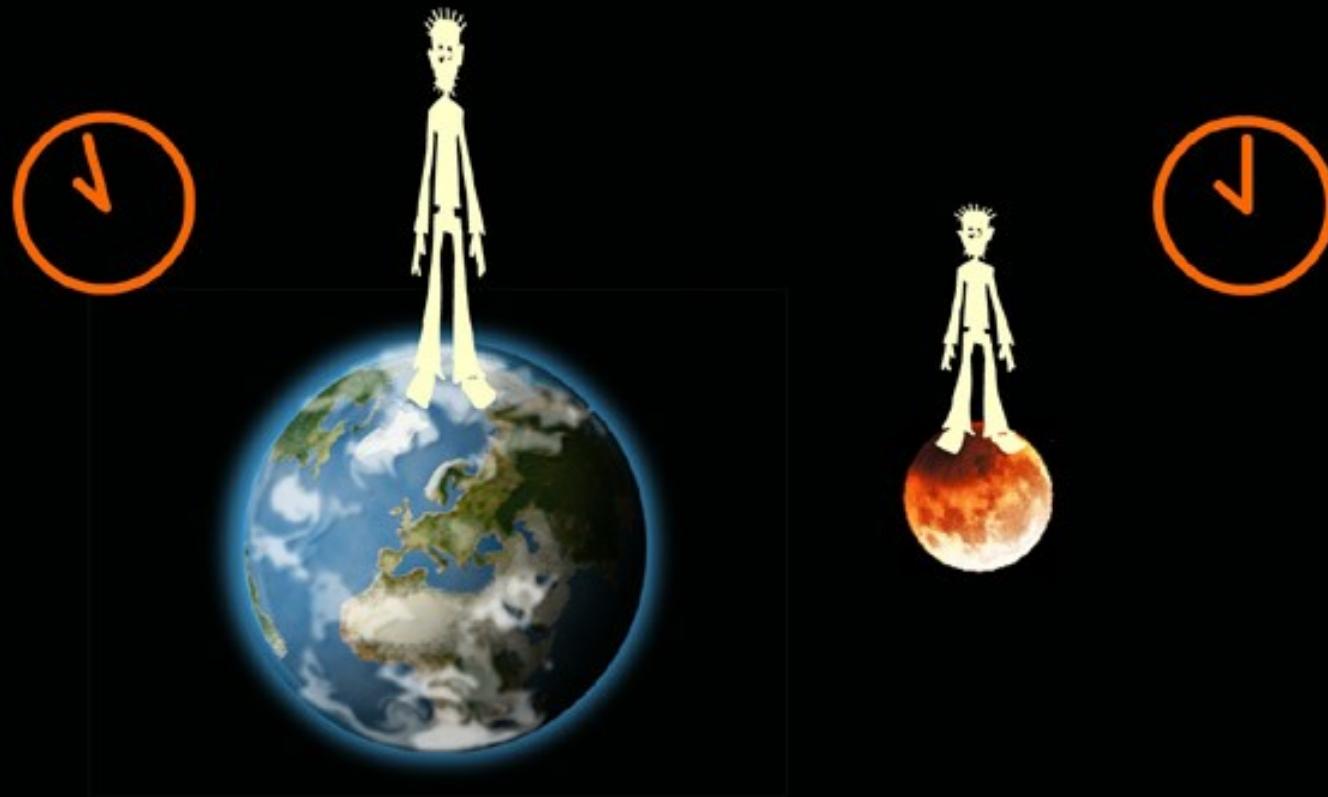
	Tiempo en la Tierra	Tiempo en la nave	Velocidad	Aceleración
Salida del centro de la gal.	30000 años	20 años	0	-g
Inversión de motores	45000 años	30 años	-c	g
Comunicación con la Tierra	59999 años	39 años		
Llegada a la Tierra	60000 años	40 años	0	0

Naves espaciales máquinas de tiempo (al futuro)

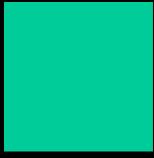


Cuando los astronautas regresen a sus casas habrán transcurrido 60.000 años terrestres, y lo más seguro es que deseen volver a la Tierra que dejaron...pero su nave sólo viaja al futuro...

Observadores en presencia de gravedad



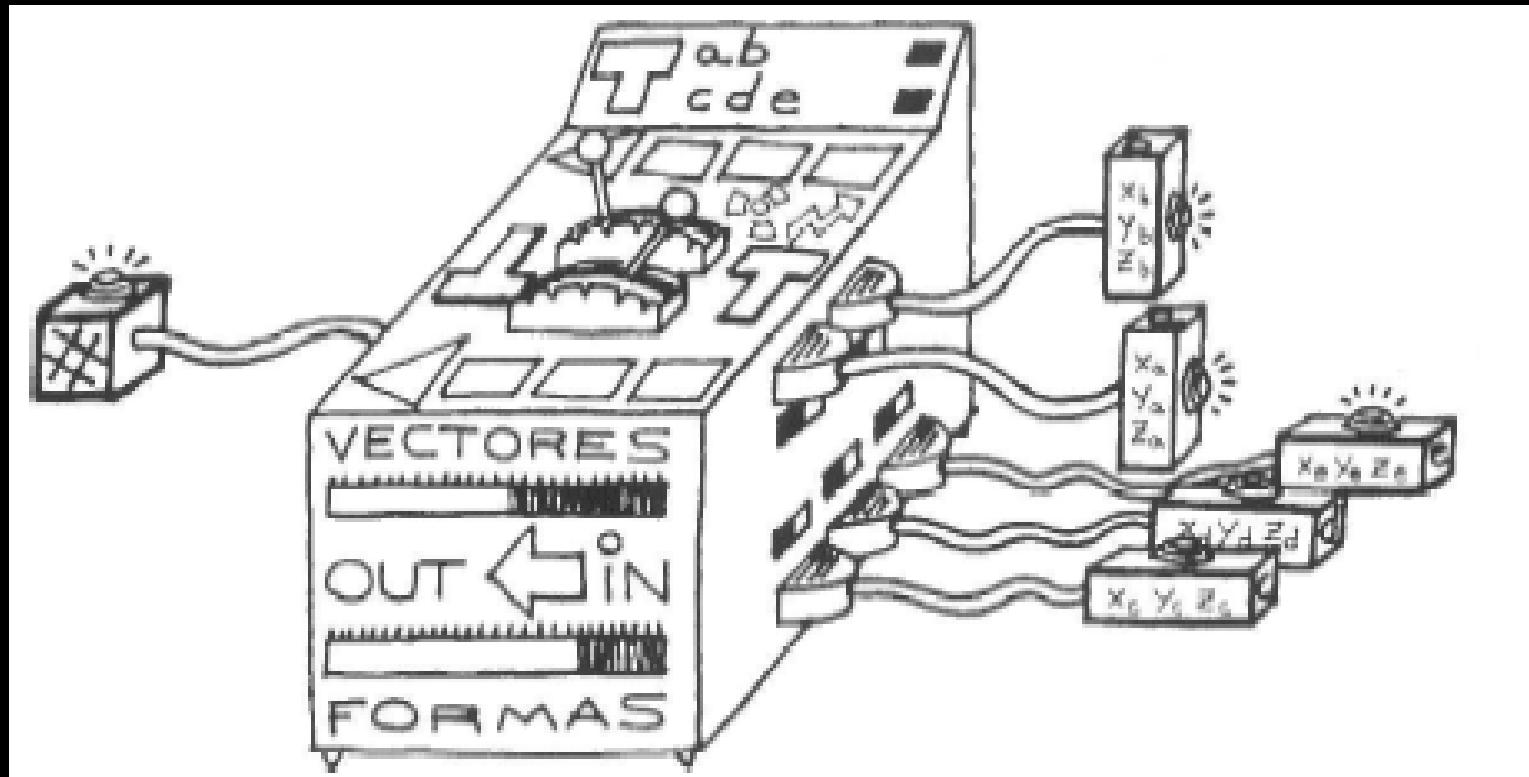
¿De qué espacio hablamos?

- Forma () x Vector () = Número
-  = Elemento Dual () x Métrica ()



= Número
- Si el espacio es euclídeo, la métrica, $G = I$

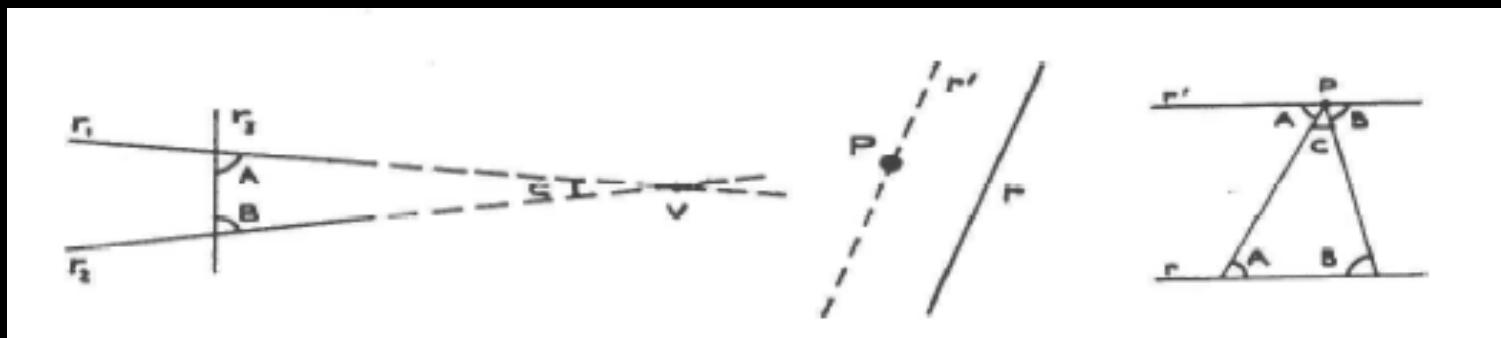
Gráficamente...



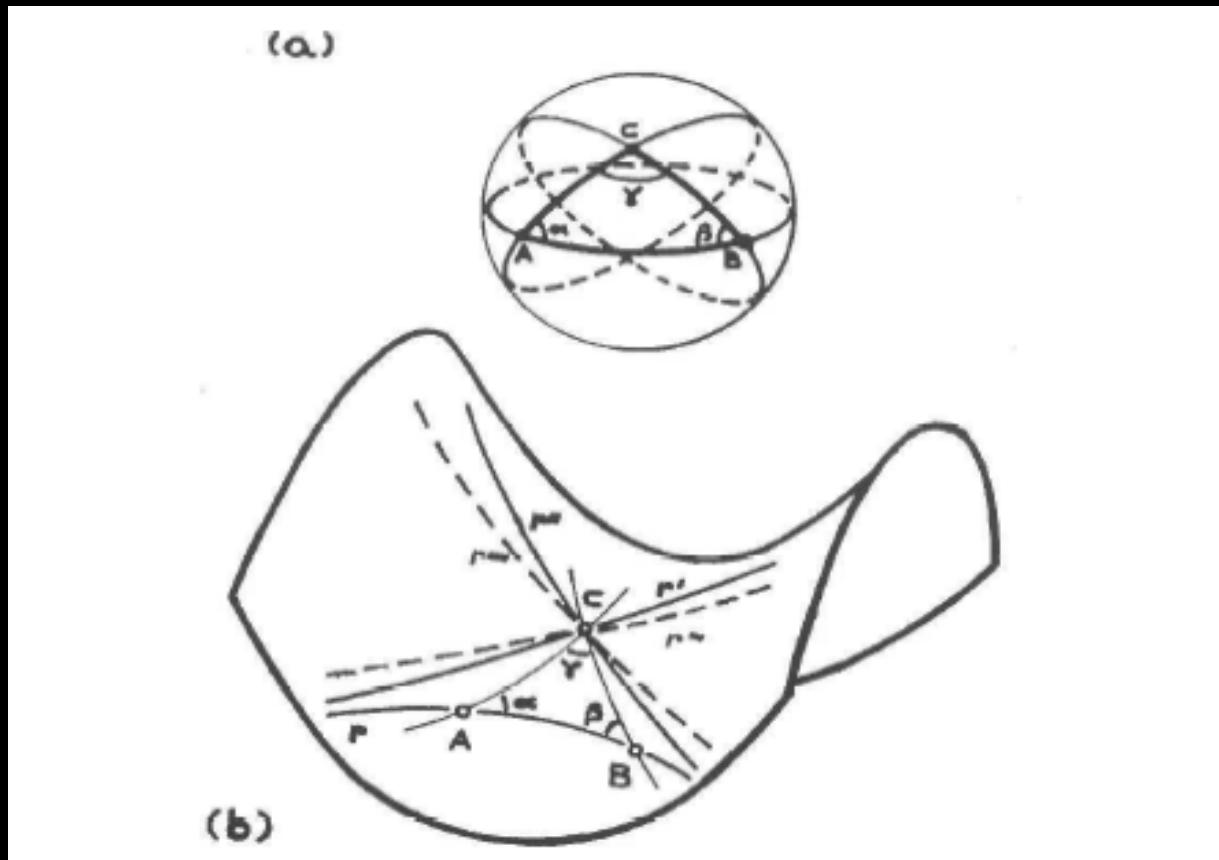
¿Qué ocurre si no es euclídeo?

El V postulado de Euclides

- “Y que si una recta al incidir sobre dos rectas hace los ángulos internos del mismo lado menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente se encontrarán en el lado en el que están los [ángulos] menores que dos rectos”.

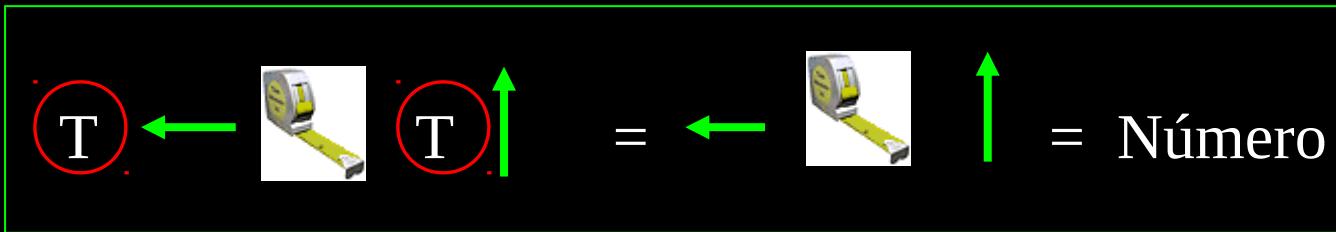


Geometrías no euclídeas



¿Cómo mido ahora?

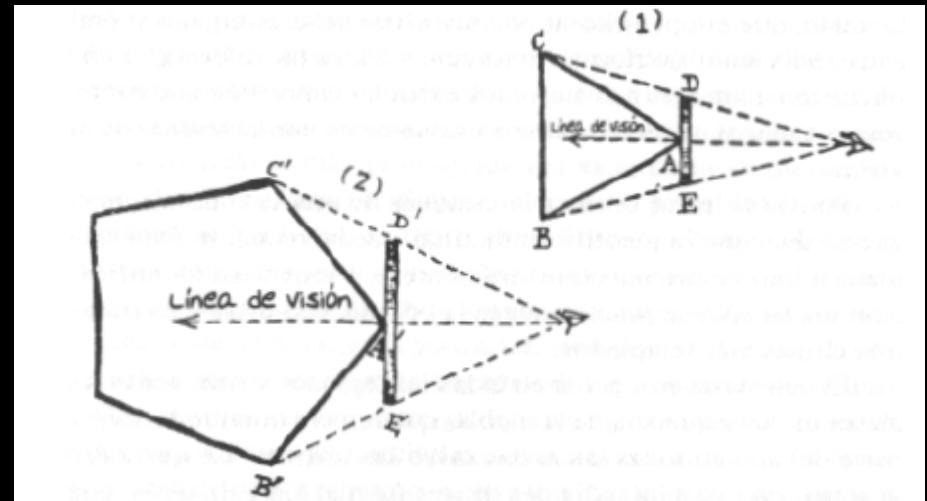
- Primero veo qué elementos tengo...
(Espacio + tiempo) —→ CUADRIECTORES!!
- Después utilizo una métrica que me sirva. ¿Cómo sé qué métrica me sirve?



- Así que busco la G que me conserve las T que quiero.
- $G =$  = $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$

¿Cómo se trabaja ahí?

- Vivimos en planilandia...



GEOMETRÍA DIFERENCIAL AVANZADA

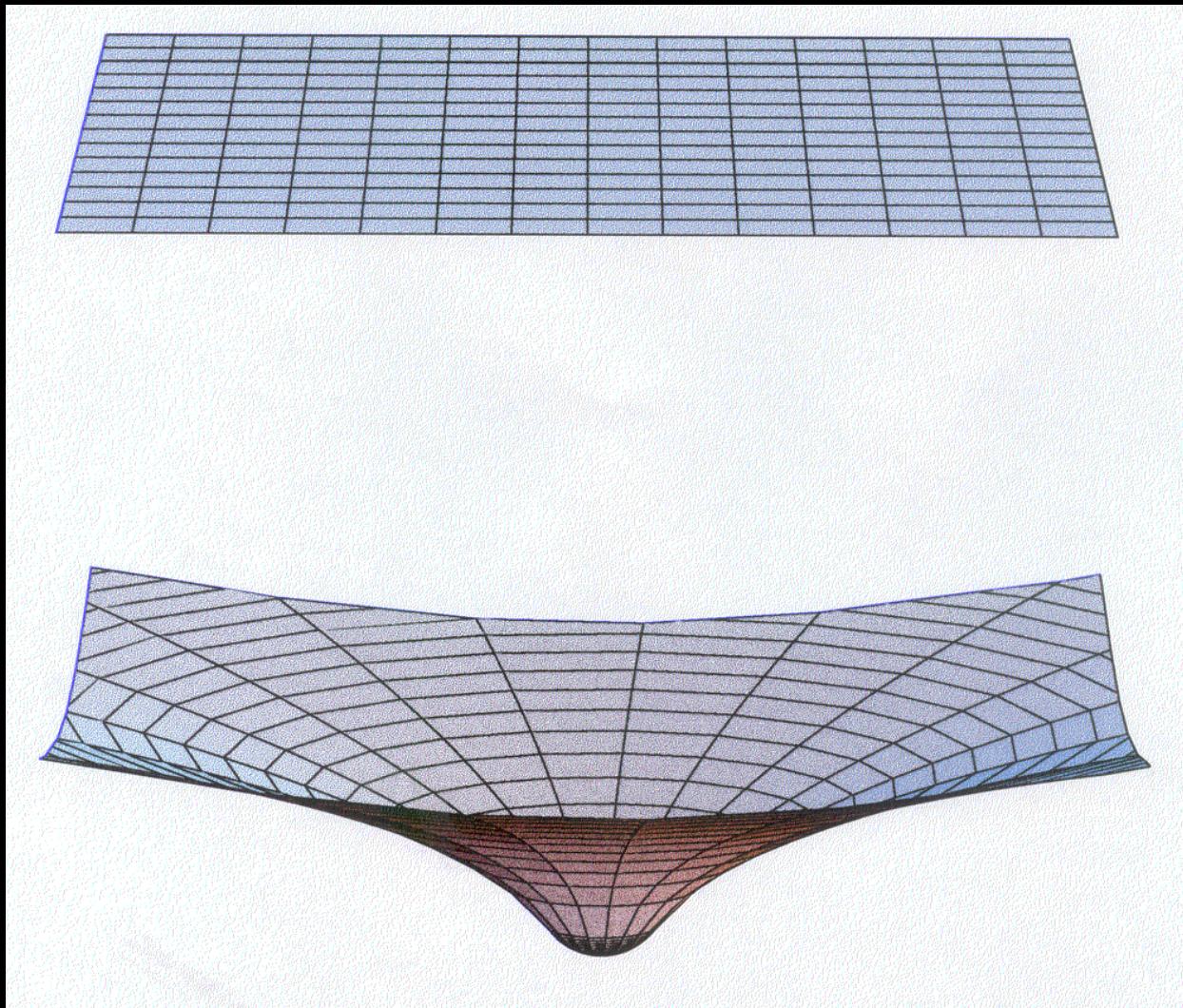
Y por fin llegamos...

- Aquí tienen la famosa ecuación de Einstein:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G_N}{c^4} T_{\mu\nu}$$

¡ALTAMENTE NO LINEAL!

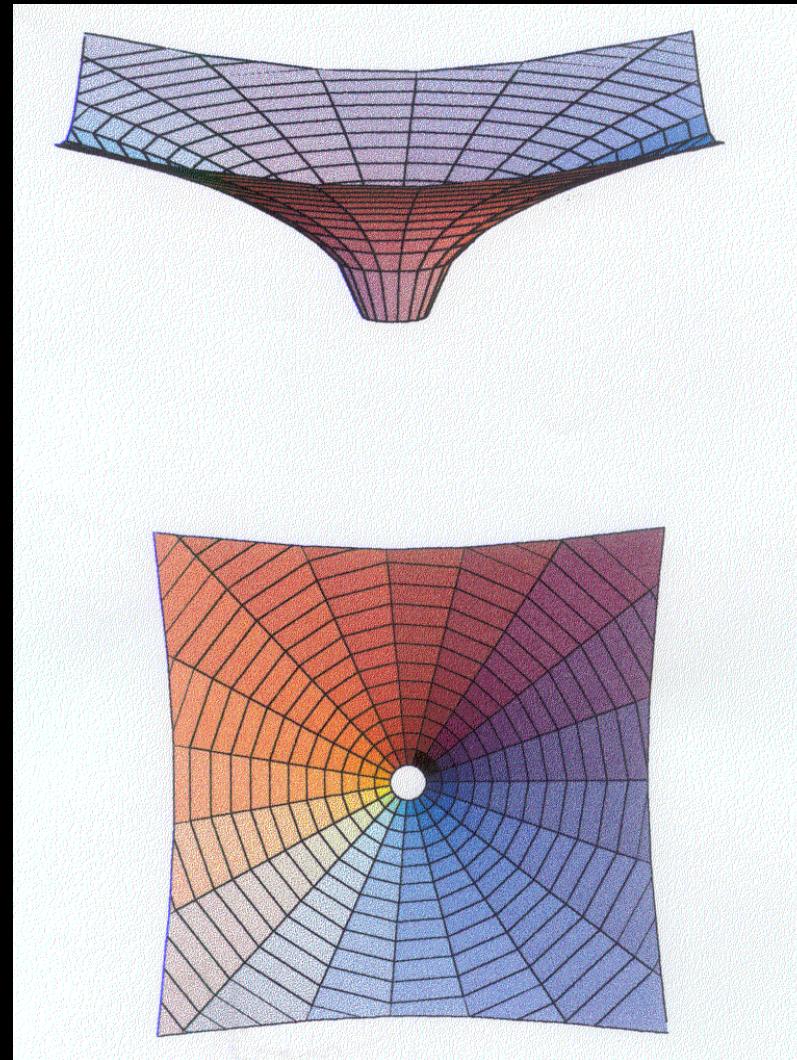
Curvatura del espacio



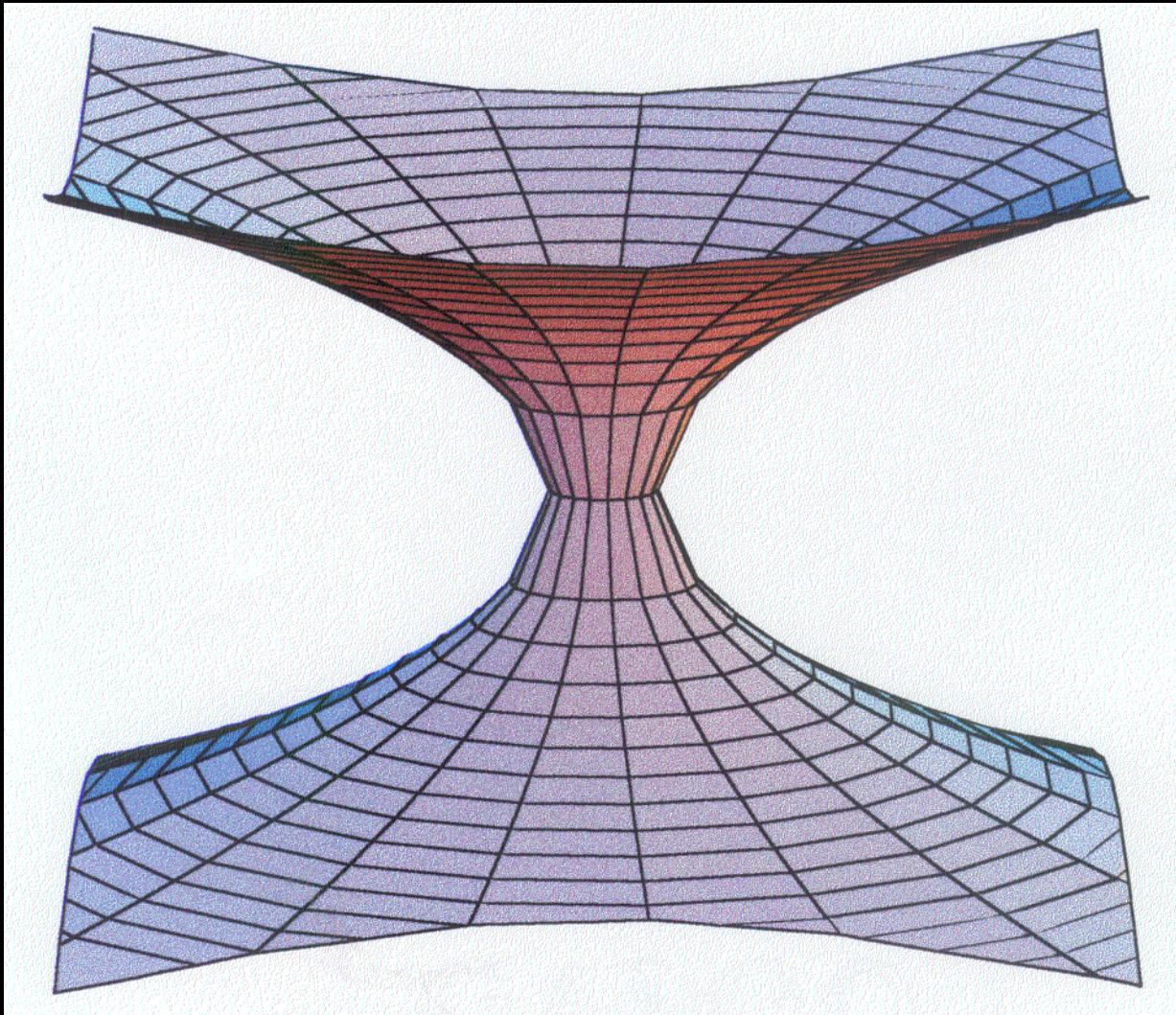
¿Hay al menos alguna solución?

- La solución de Schwarzschild:
 - Simetría esférica (sol esférico)
 - Geometría estática (sol quieto, sin manchas ni nada)
 - Espacio tiempo vacío (salvo en el origen, donde está el sol)
 - Espacio asintóticamente plano (muy lejos del sol, no hay gravedad).

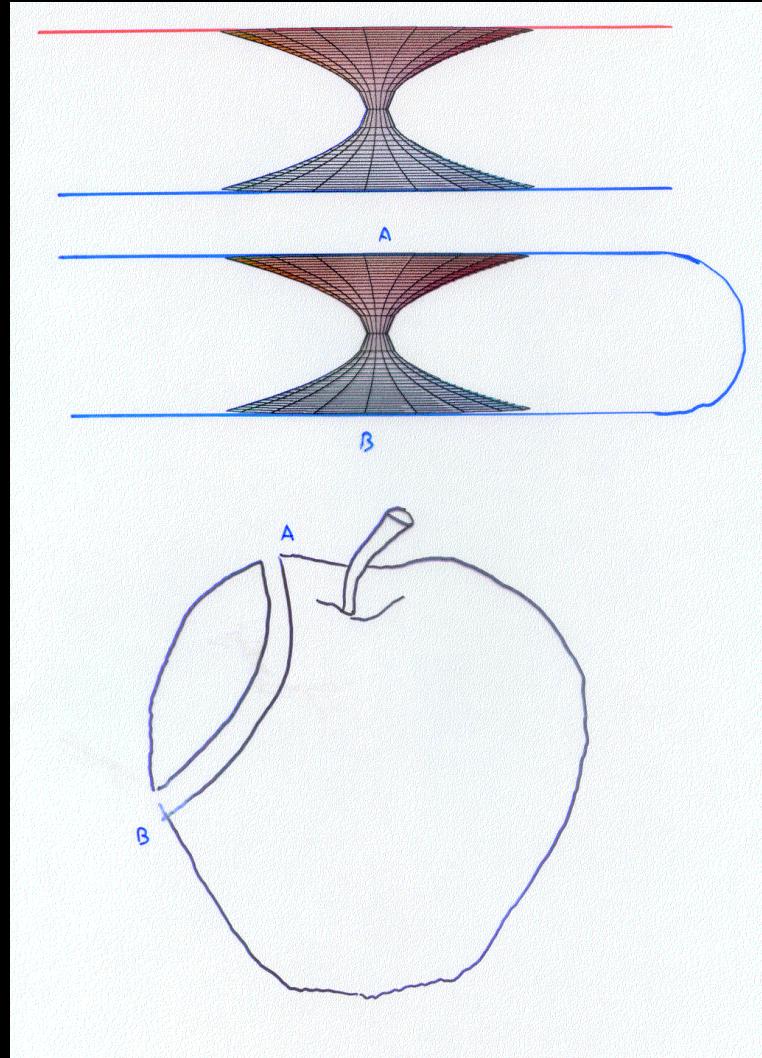
Agujero negro



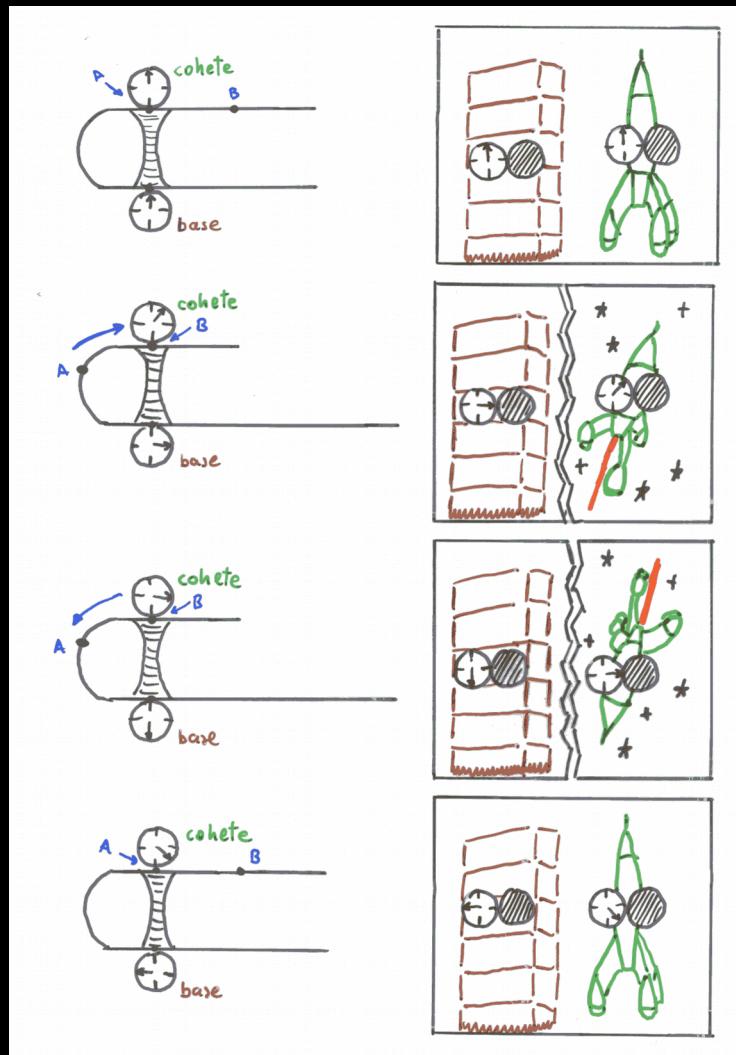
Agujeros negros de dos en dos



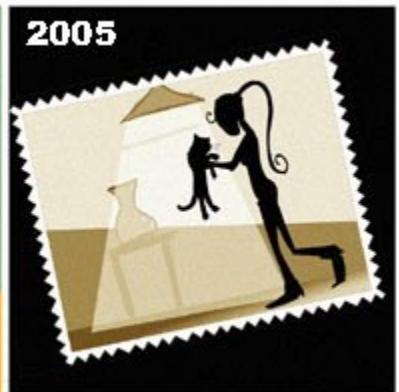
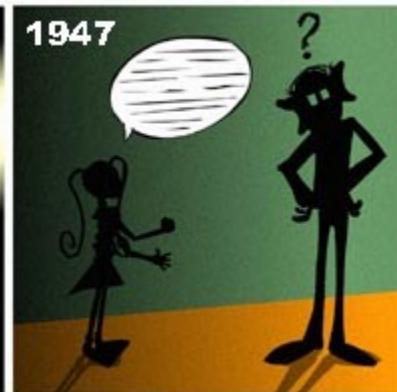
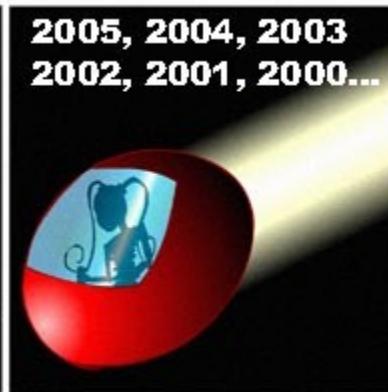
Agujero de gusano



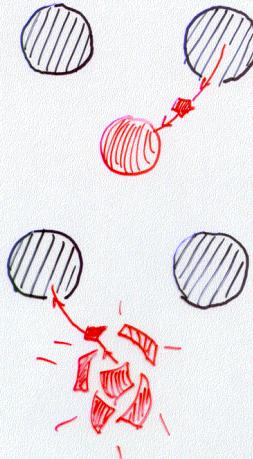
La Máquina del Tiempo



Causalidad



Causalidad



PRINCIPIO DE AUTOCOHERENCIA (CÍCLICA)
¿LIBRE ALBEDRÍO?

"Un hombre puede hacer lo que él quiere
pero no tiene libertad para elegir lo
que quiere"

SCHOPENHAUER

¡Cuidado con las manzanas!



Créditos



Esta charla forma parte de la experiencia piloto **COSMOEDUCA**, desarrollada por el Instituto de Astrofísica de Canarias y subvencionada por el anterior Ministerio de Ciencia y Tecnología.

La información completa de esta experiencia se encuentra en: www.iac.es/cosmoeduca

Guión original: www.iac.es/cosmoeduca/relatividad/maquinastiempo.htm Evencio Mediavilla (IAC)



Créditos

Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

1. Imagen: Naves espaciales
Inés Bonet (IAC)
2. Imagen: Viaje al centro de nuestra galaxia:
Composición de Inés Bonet (IAC)
(imagen artística original: Laura Ventura (IAC))
3. Animación: Gravedad artificial
Inés Bonet (IAC)
5. Imagen: Las tres edades de la vida, 1905
Autor: Gustav Klimt
Museo: Galleria Nazionale d'Arte Moderna di Roma)
7. Animación: Comunicación Tierra-nave
Inés Bonet (IAC)
10. Animación: Efecto doppler y aberración de la luz
Inés Bonet (IAC)
13. Imagen: Gravedad
Inés Bonet (IAC)
- 14 a 19 y 21. Evencio Mediavilla

Créditos

Imágenes y animaciones (numeradas por diapositiva)

20. Imagen: Causalidad

Inés Bonet (IAC)

22. Imagen: Manzana

María Mediavilla