



Relatividad Especial y General para Autómatas

Base de la Presentación de:

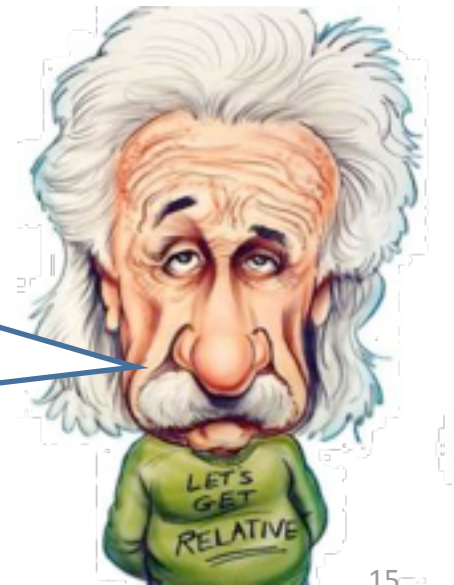


Dos puntos de vista

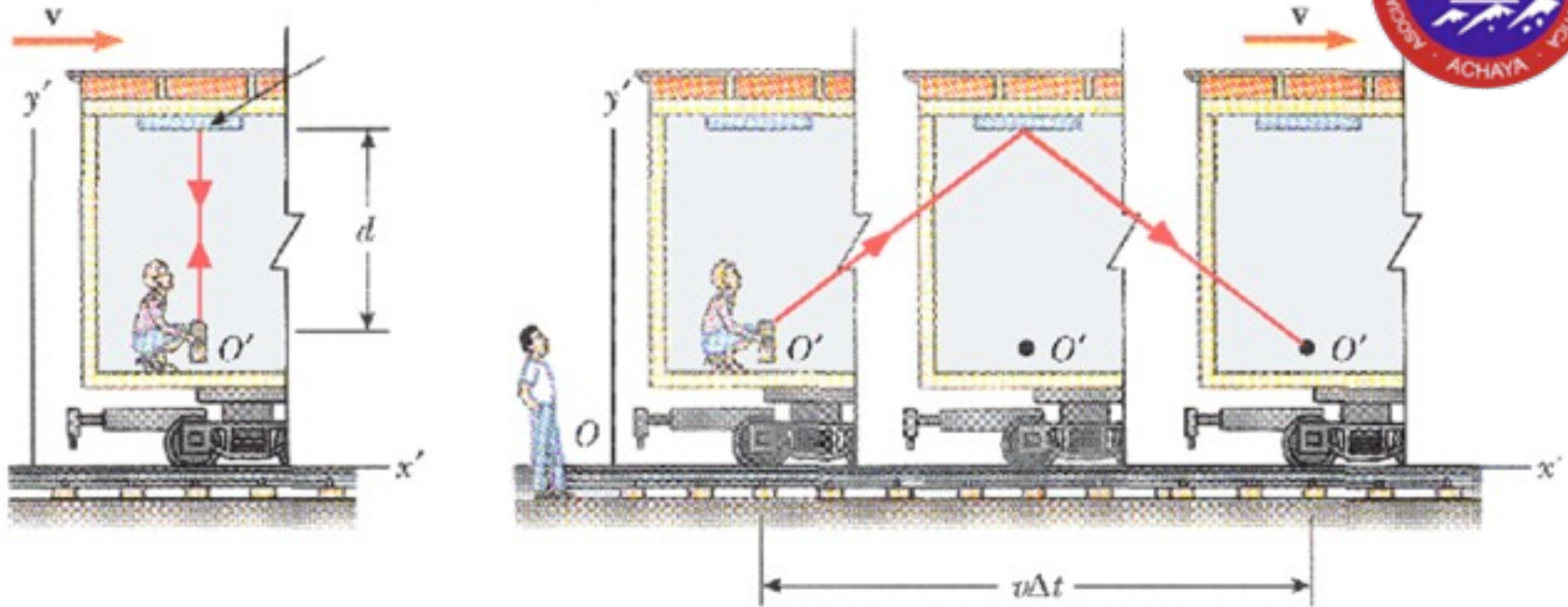


Mismo evento visto primero desde la camioneta y luego visto desde el borde de la calle.

Dos puntos de vista de un mismo evento.



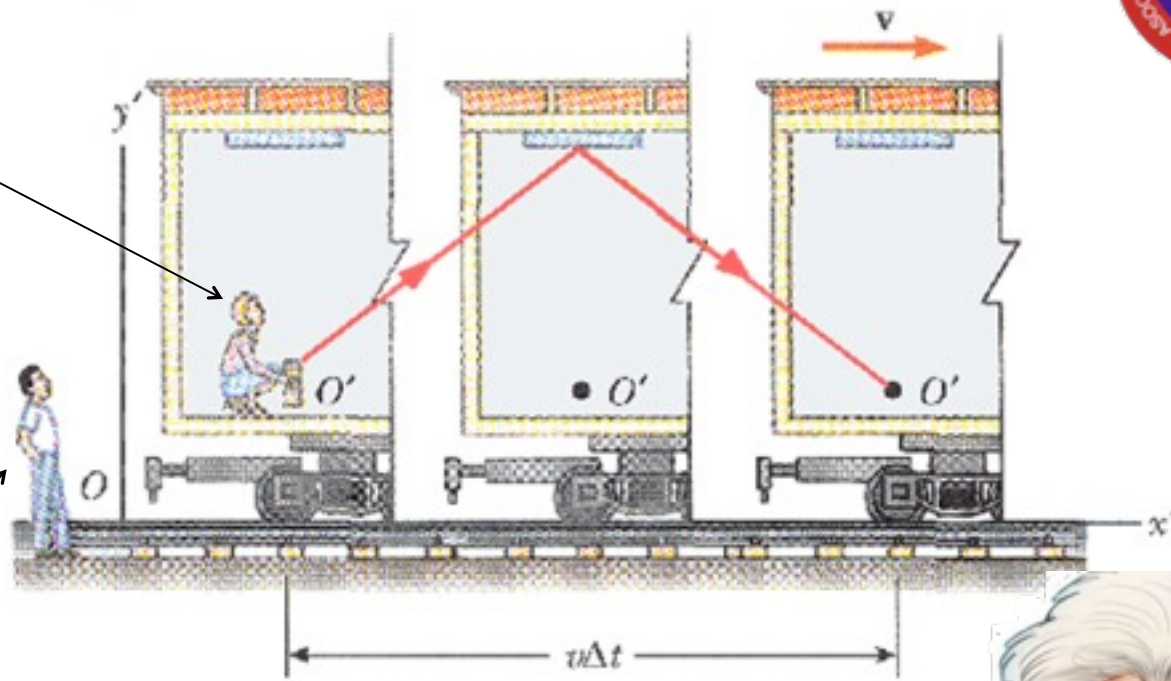
El problema del tiempo



Ahora con luz.

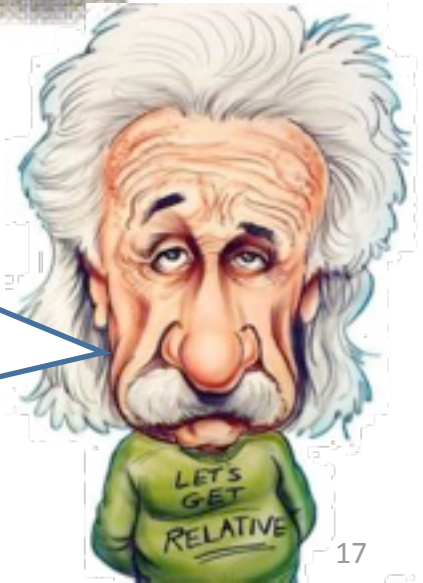
$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Camino}}{\text{Tiempo}}$$

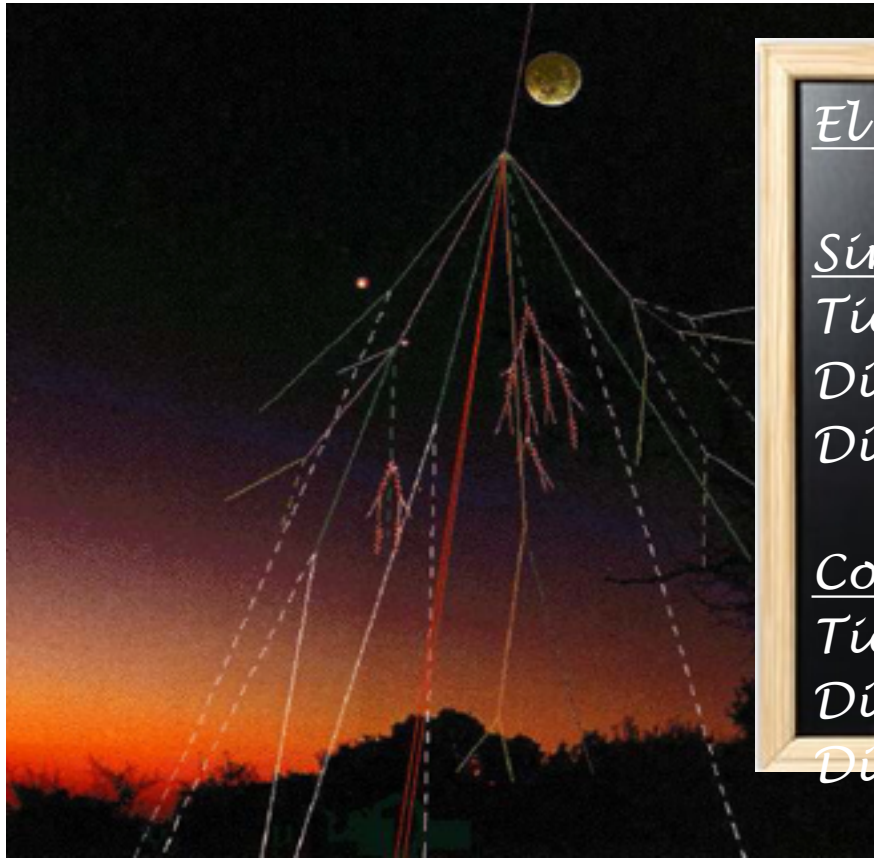
Dilatación del tiempo



Ambos miden tiempos distintos!!!
Para un observador externo el tiempo de los pasajeros avanza mas lento.

OK no queda otra:
El tiempo no es absoluto - se dilata





El Muón viaja a $0.998 c$

Sin dilatación temporal:

Tiempo decaimiento: $2\mu s$

Distancia que viaja:

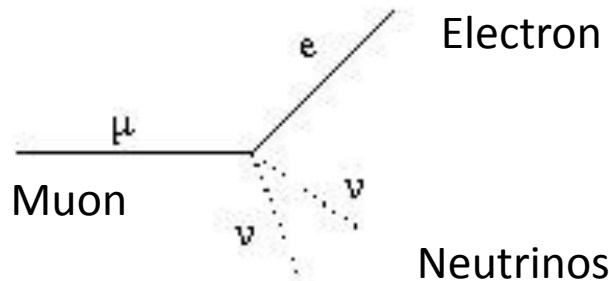
Distancia * Tiempo = $600m$???

Con dilatación temporal:

Tiempo decaimiento: $31.6\mu s$

Distancia que viaja:

Distancia * Tiempo = $9500m$!!!



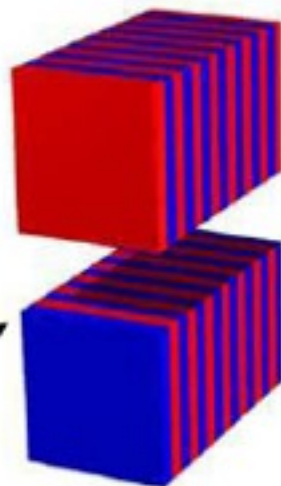
Pero como lo ve el muon?



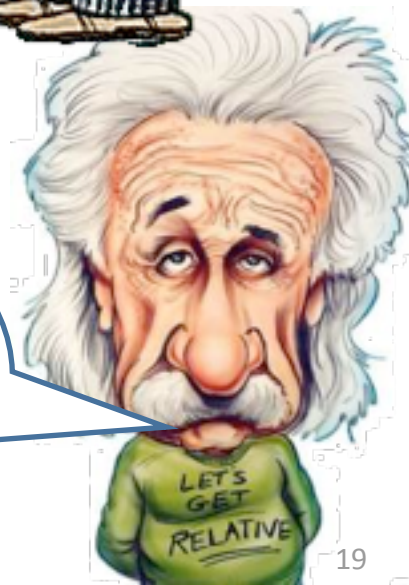
Nuestra troposfera tiene unos 15000m



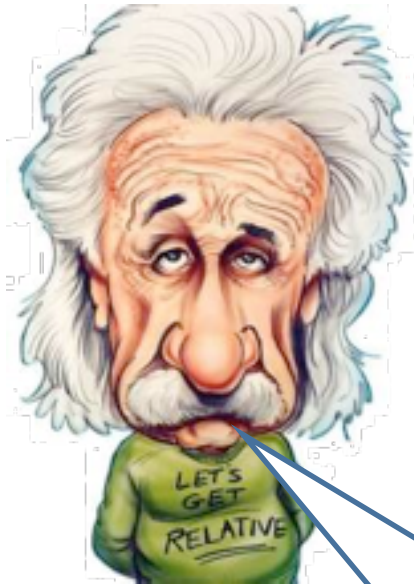
Los terrícolas están locos, su troposfera es de solo 1000m



Ok la distancia se contrae.



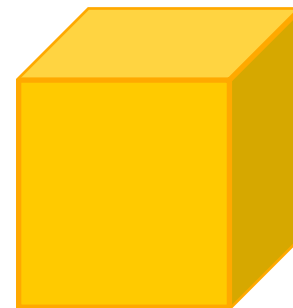
El tiempo se dilata hasta que se detiene cuando la velocidad del sistema es igual a la velocidad de la luz.



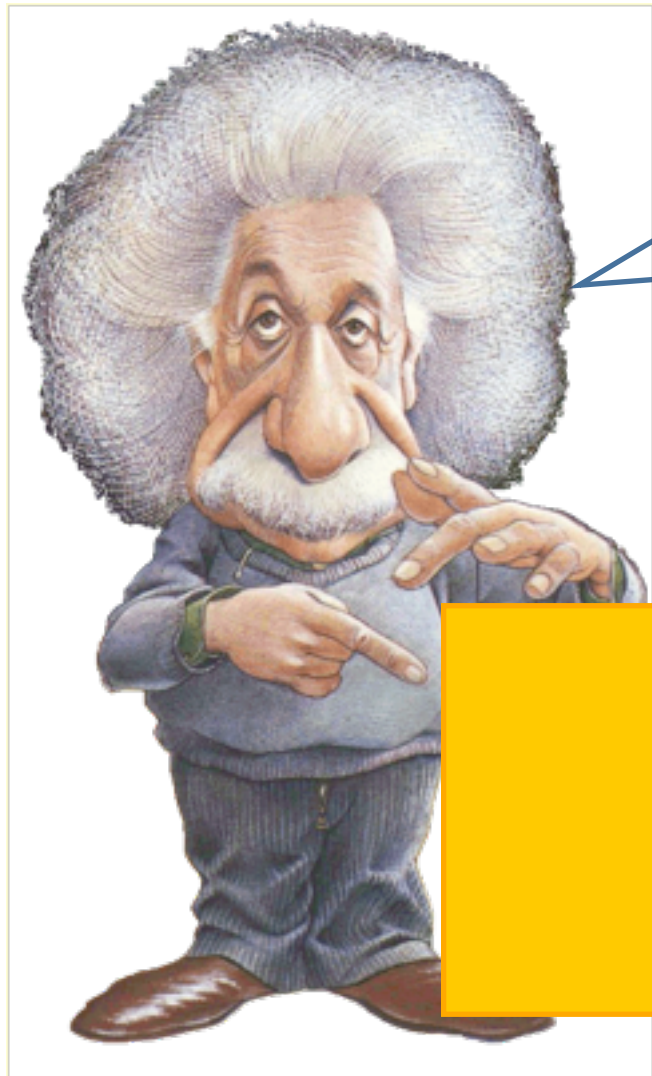
La velocidad de la luz es una barrera natural



Los cuerpos se contraen hasta quedar planos.



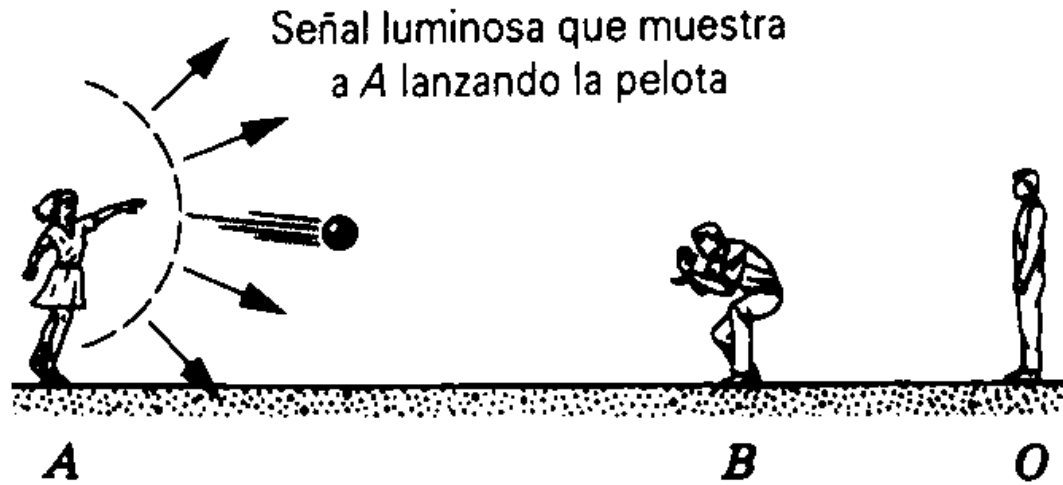
Aquí la próxima conclusión de Einstein:



Tomen nota
muchachos!

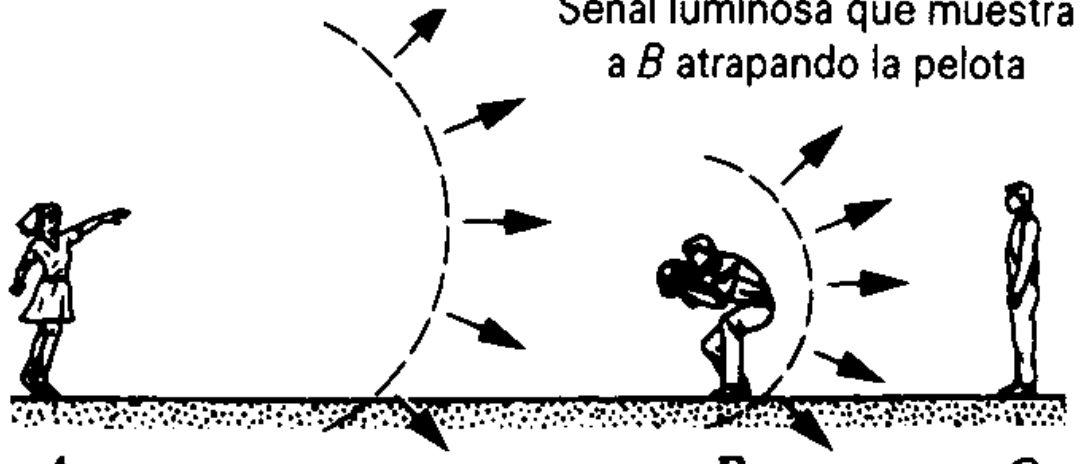
**Nada puede viajar
a la velocidad de la luz.**

¿Noción de tiempo?



(a)

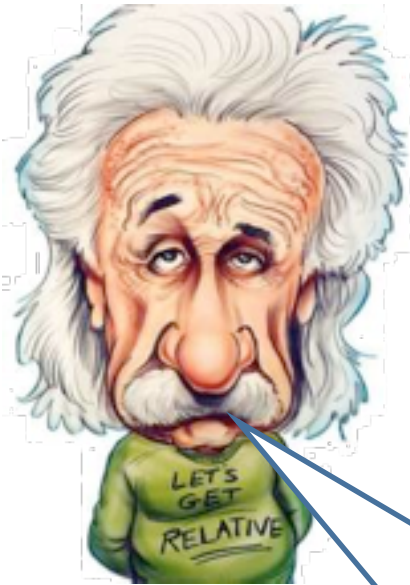
Señal luminosa que muestra a A lanzando la pelota



Limites en el espacio-tiempo

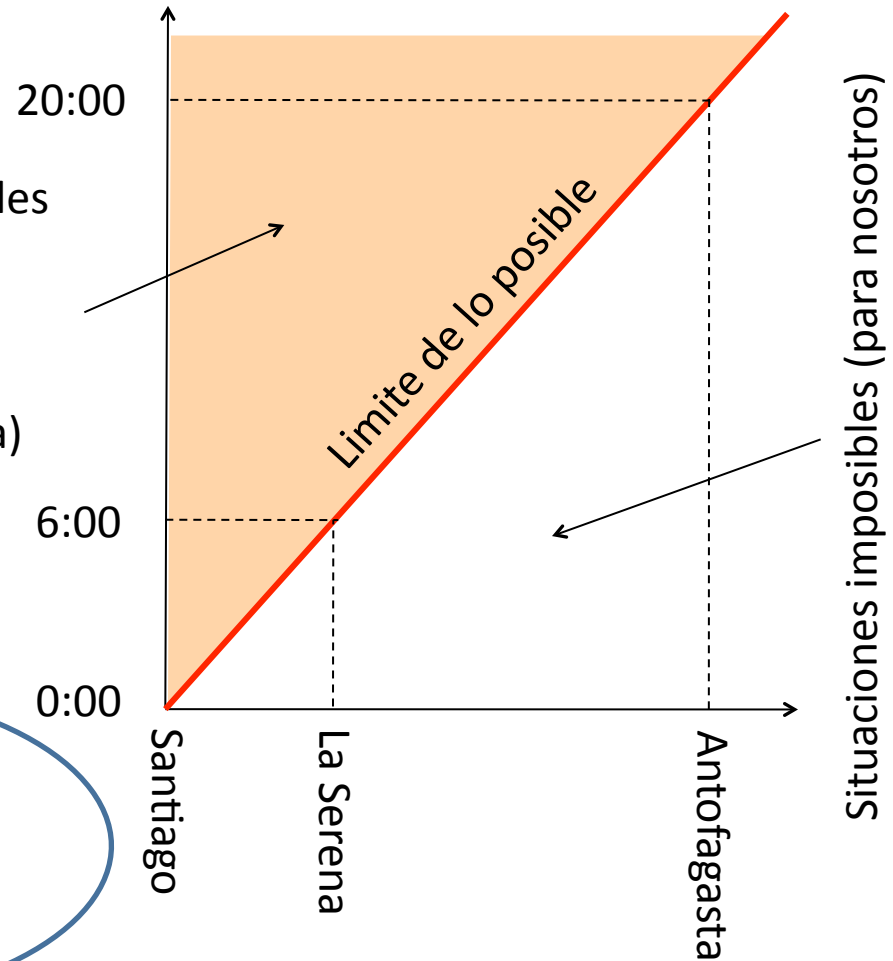


Si se grafica el tiempo vs la distancia recorrida obtendremos un área que es factible de alcanzar y un área “fuera de nuestras posibilidades”:



Situaciones posibles
(lugares a los que
puedo llegar sin
sobrepasar la
velocidad máxima)

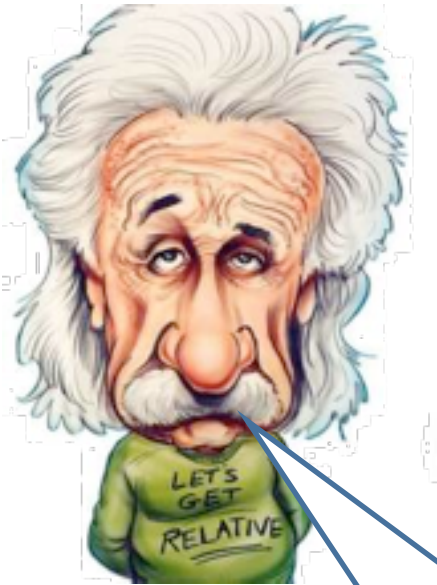
El diagrama
espacio-tiempo



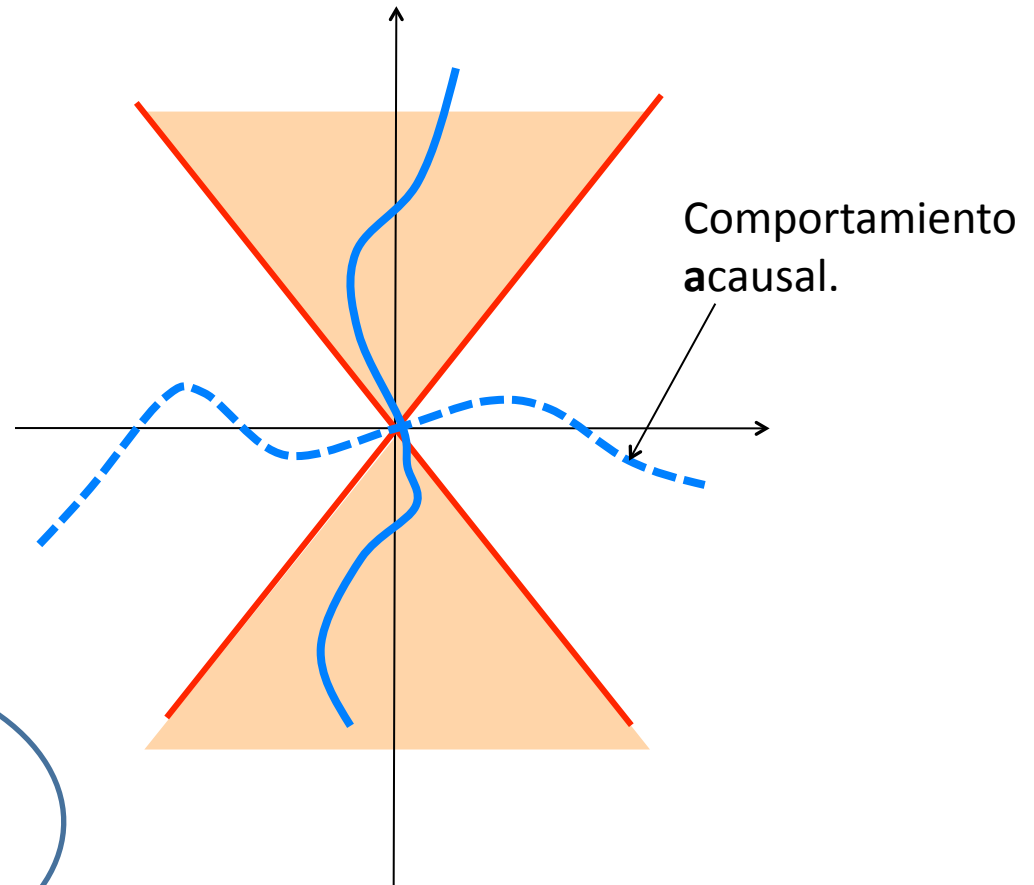
Limites en el espacio-tiempo



Nota: la teoría dice que no es posible viajar a la velocidad de la luz y no excluye la posibilidad de que existan objetos que viajen a mas velocidad que la de la luz.



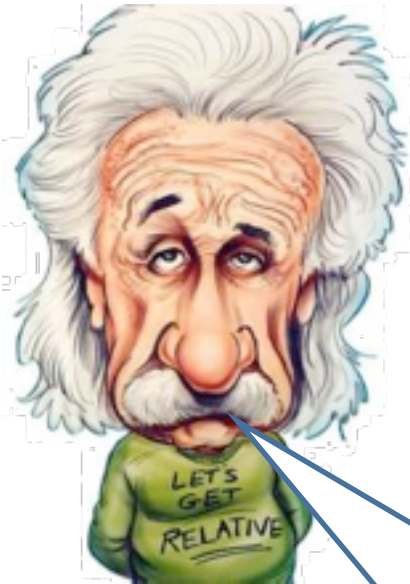
Mmm los "Tacyones"; no creo que existan.



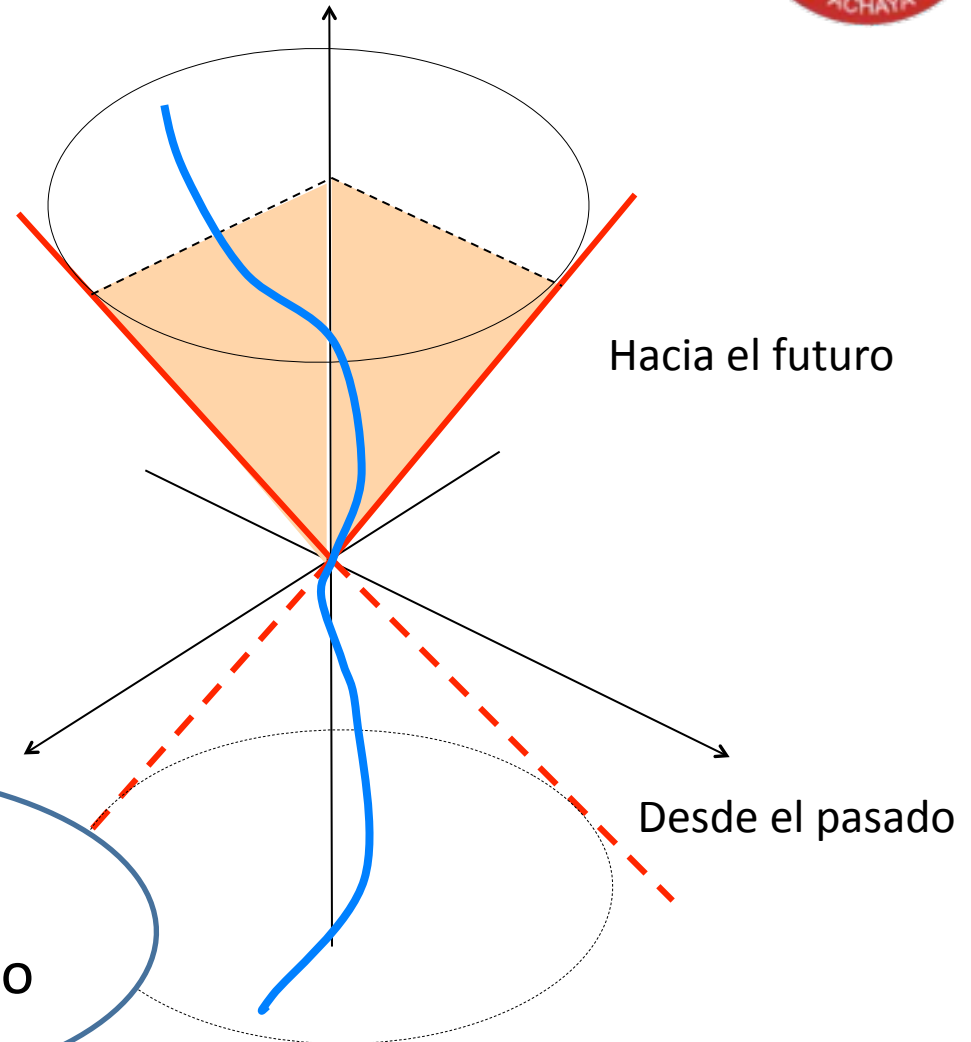
Limites en el espacio-tiempo – en dos dimensiones



El limite de lo posible forma en un espacio de dos dimensiones un cono:



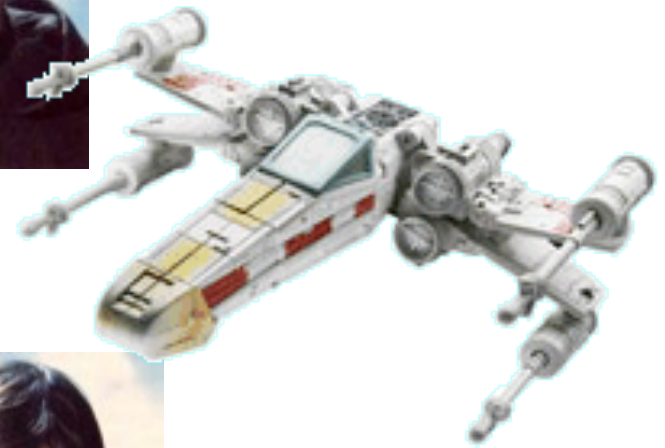
El cono de espacio-tiempo



La paradoja de los mellizos



Como todos sabemos Luke y Leia Skywalker de la Guerra de las Galaxias son mellizos. Se dice que a Luke lo mandaron a Aldebarán viajando en su X-wing a casi la velocidad de la luz, viaje que duro varios años.



Como Luke viaja para el, el tiempo transcurre mas lento

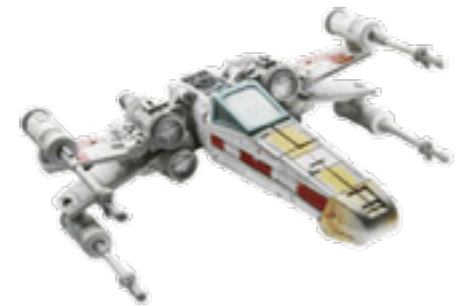
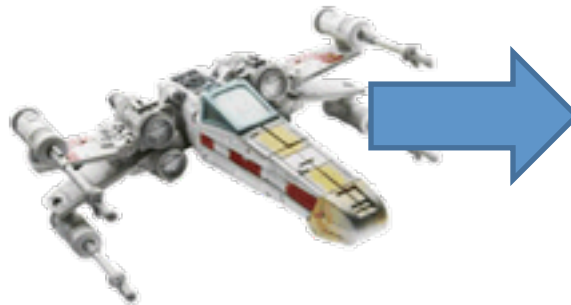


Cuando vuelva Leia será una anciana mientras que el casi no habrá envejecido.

La paradoja de los mellizos



El problema es que existe un movimiento relativo. Ejemplo, cuando dos trenes/buses están lado a lado y uno parte ... como se cual se mueve?



La paradoja de los mellizos



Como a Leia no le gusta la idea de envejecer antes alega que en realidad es un problema de relatividad. Total ella de igual forma puede afirmar que es su nave la que se aleja y vuelve.



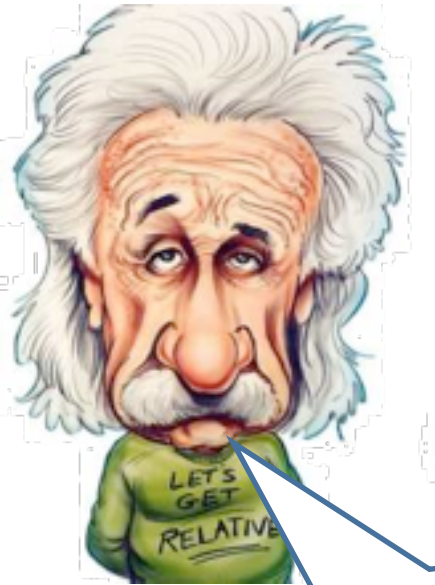
Por ello concluye que es Luck el que envejecerá.

La paradoja de los mellizos

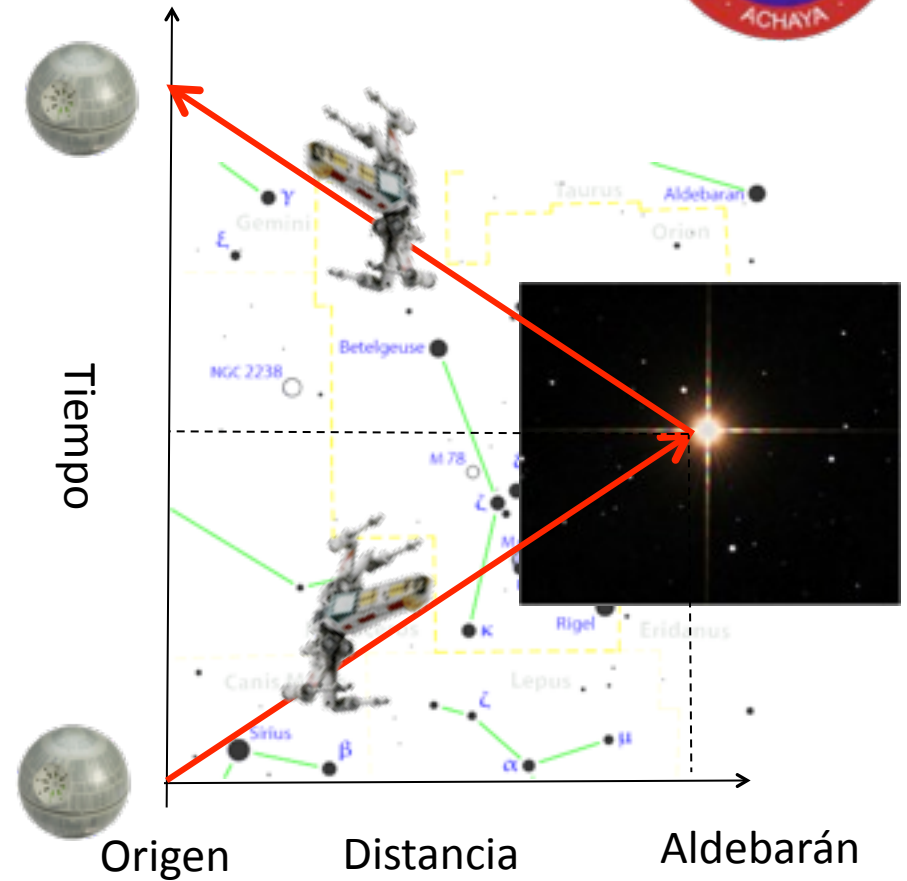


Quien tiene la razón?

La clave esta en que Luck debe frenar y acelerar para volver ... con lo que se dará cuenta que es él, el que va y vuelve.



Dibuja el diagrama espacio-tiempo y lo veras!

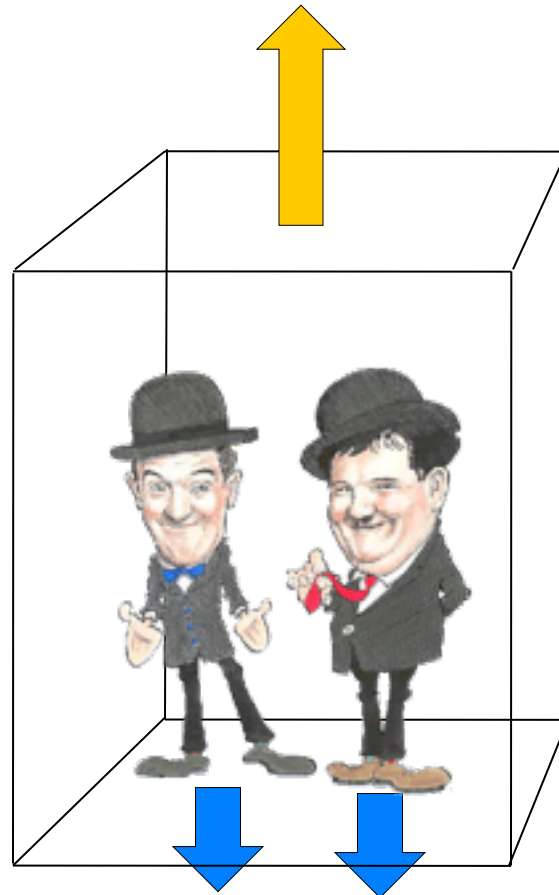
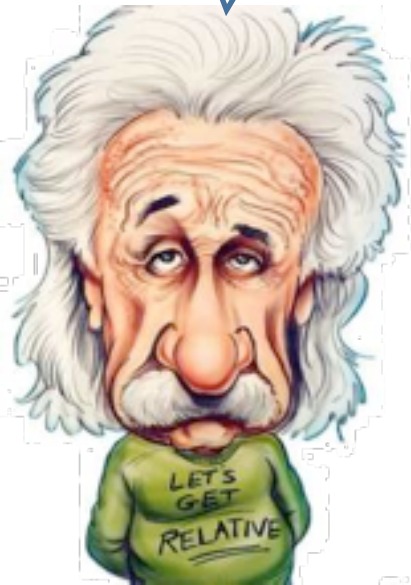


El Gedankenexperiment del ascensor



Vamos ahora al caso en que la aceleración no es cero. Entramos ahora en lo que se denomina **Relatividad General**.

Ahora se pone interesante



Subamos con un ascensor

Al „subir“ ...

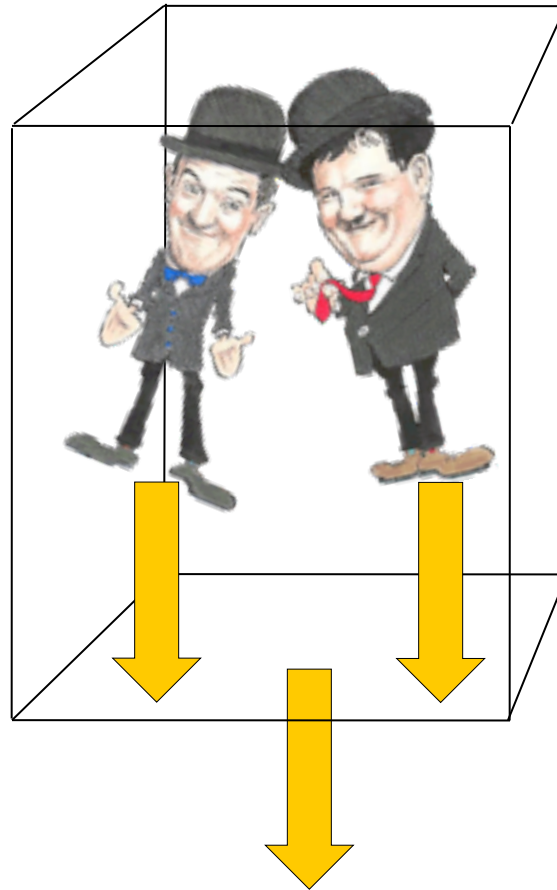
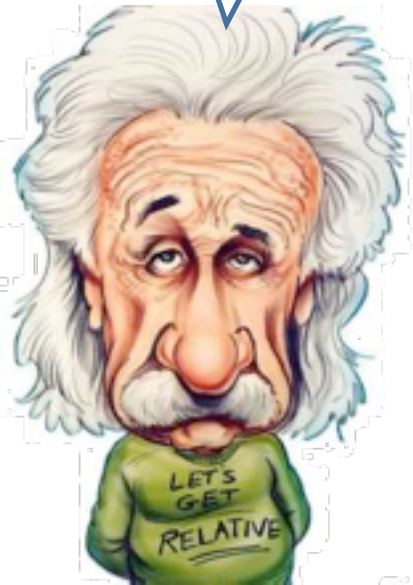
... sienten nuestros amigos la atracción terrestre y la tracción del ascensor.

El Gedankenexperiment del ascensor



Si caer el ascensor ... tanto el gordo como el flaco caen a la misma forma.

Esto es curioso,
no depende de
la masa!



Subamos con un ascensor

La razón es que las masas inerciales y gravitacionales son iguales.

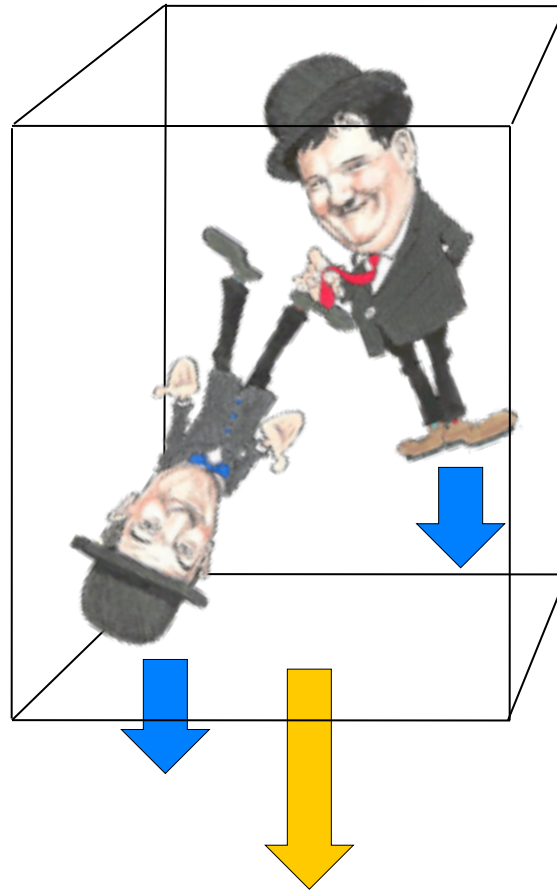
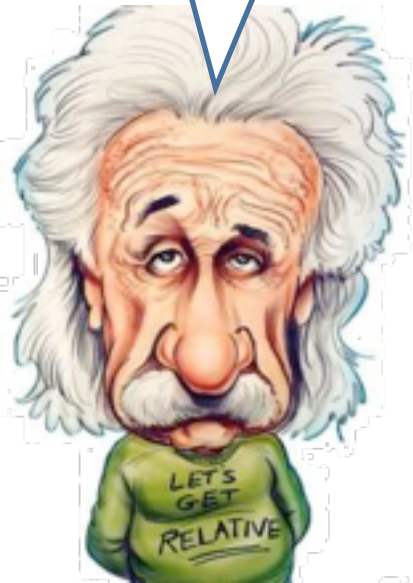
Principio de Equivalencia de Newton.

El Gedankenexperiment del ascensor



Al caer el ascensor ...

O sea al caer para ellos es como que no existe gravedad!



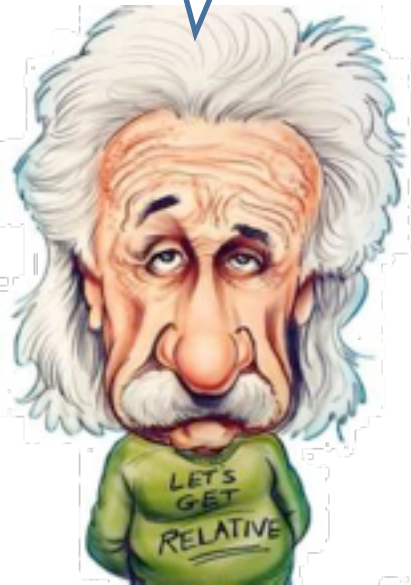
Subamos con un ascensor

... nuestros amigos sienten como que „no hay gravedad“.

El Gedankenexperiment del ascensor



Compare-mos
con esta
nueva
situación



Volemos con un cohete

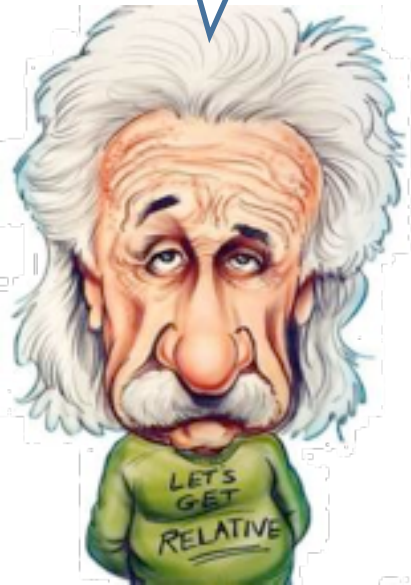
... nuestros amigos
sienten la tracción del
cohete como
si fuera la gravedad.

El Gedankenexperiment del ascensor



Se detiene el cohete en el espacio ...

O sea las
situaciones
son idénticas!

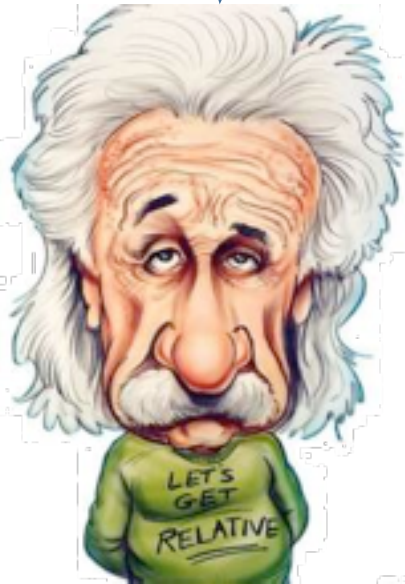


Volemos con un cohete

... nuestros amigos
sienten la falta de
gravedad.

Principio de Equivalencia

Esta es la
esencia de la
relatividad
general

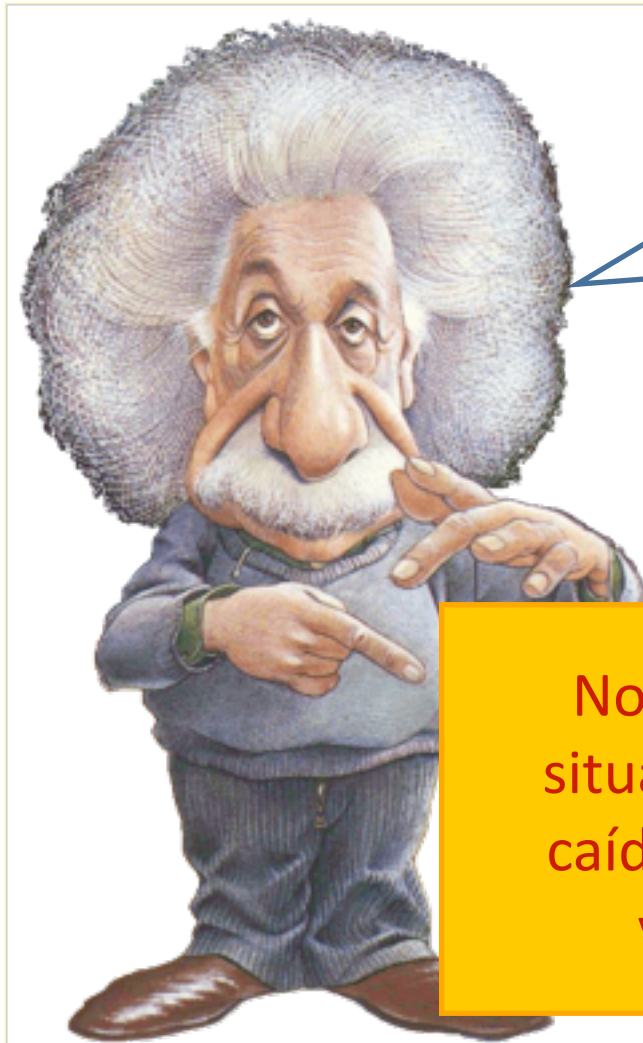


La caída libre en un campo gravitacional se comporta igual que el caso en el espacio sin gravedad.

El Gedankenexperiment del ascensor



Una nueva conclusión de Einstein:



Tomen nota
muchachos!

No podemos diferenciar entre la situación en que nos encontramos en caída libre en un campo gravitacional y el espacio libre de gravedad.



La clave de la Relatividad General de Einstein:

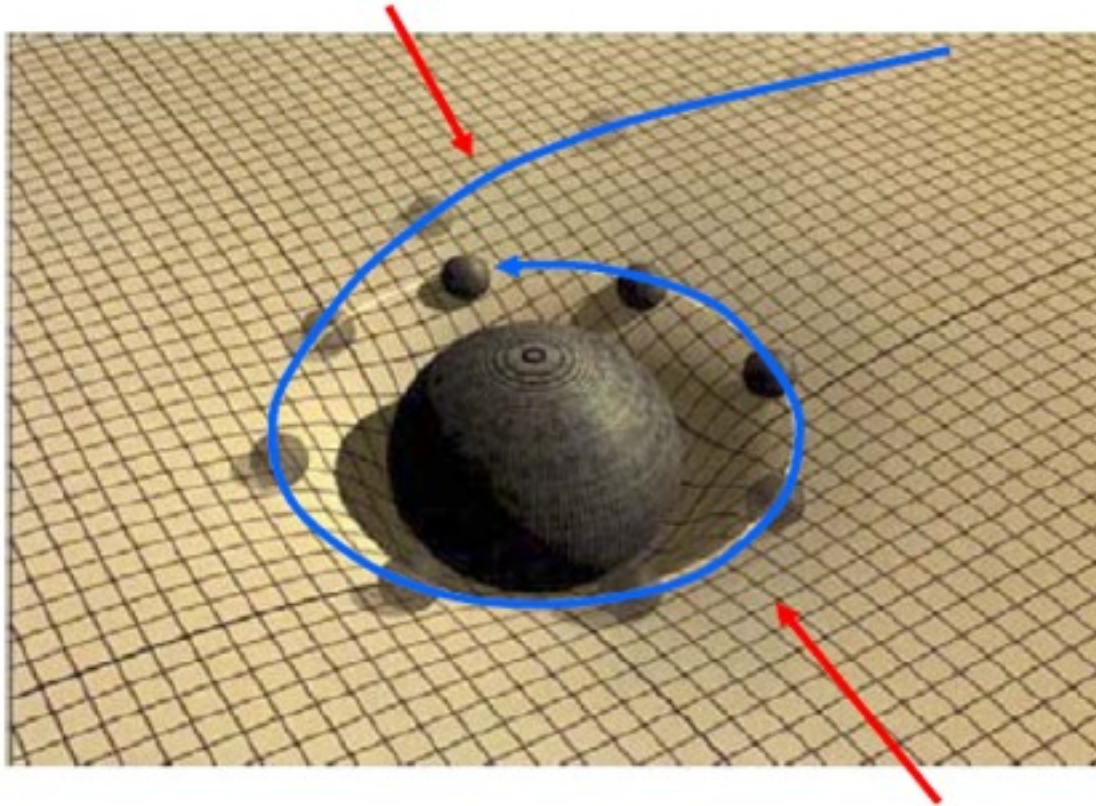
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Curvatura del espacio

Distribución de la masa

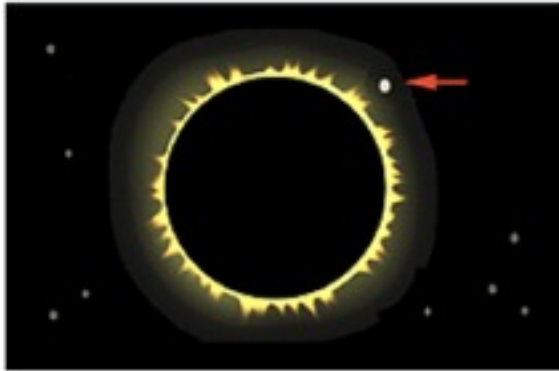
Cada objeto le dice al espacio como curvarse y el espacio curvo le dice al objeto como moverse.

Movimiento a través del espacio curvo

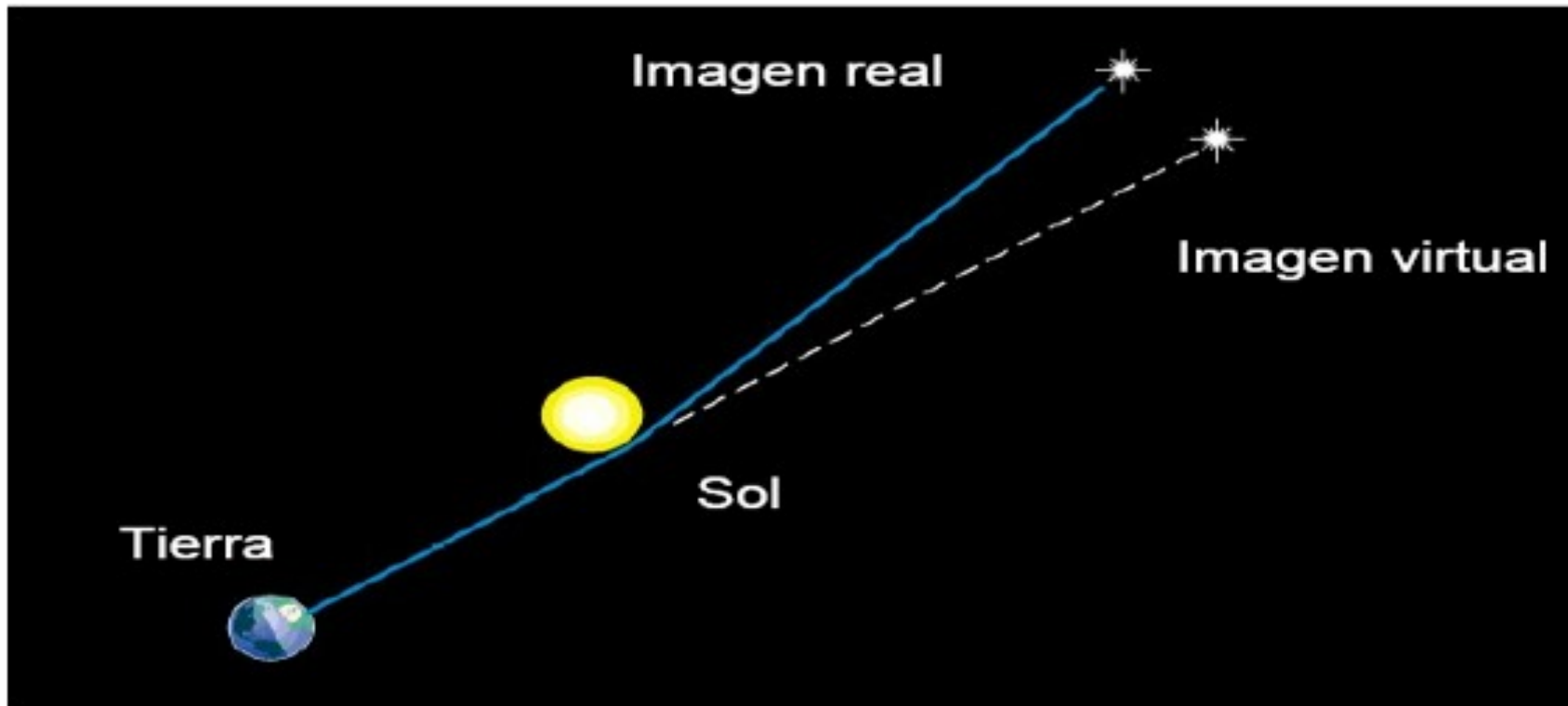


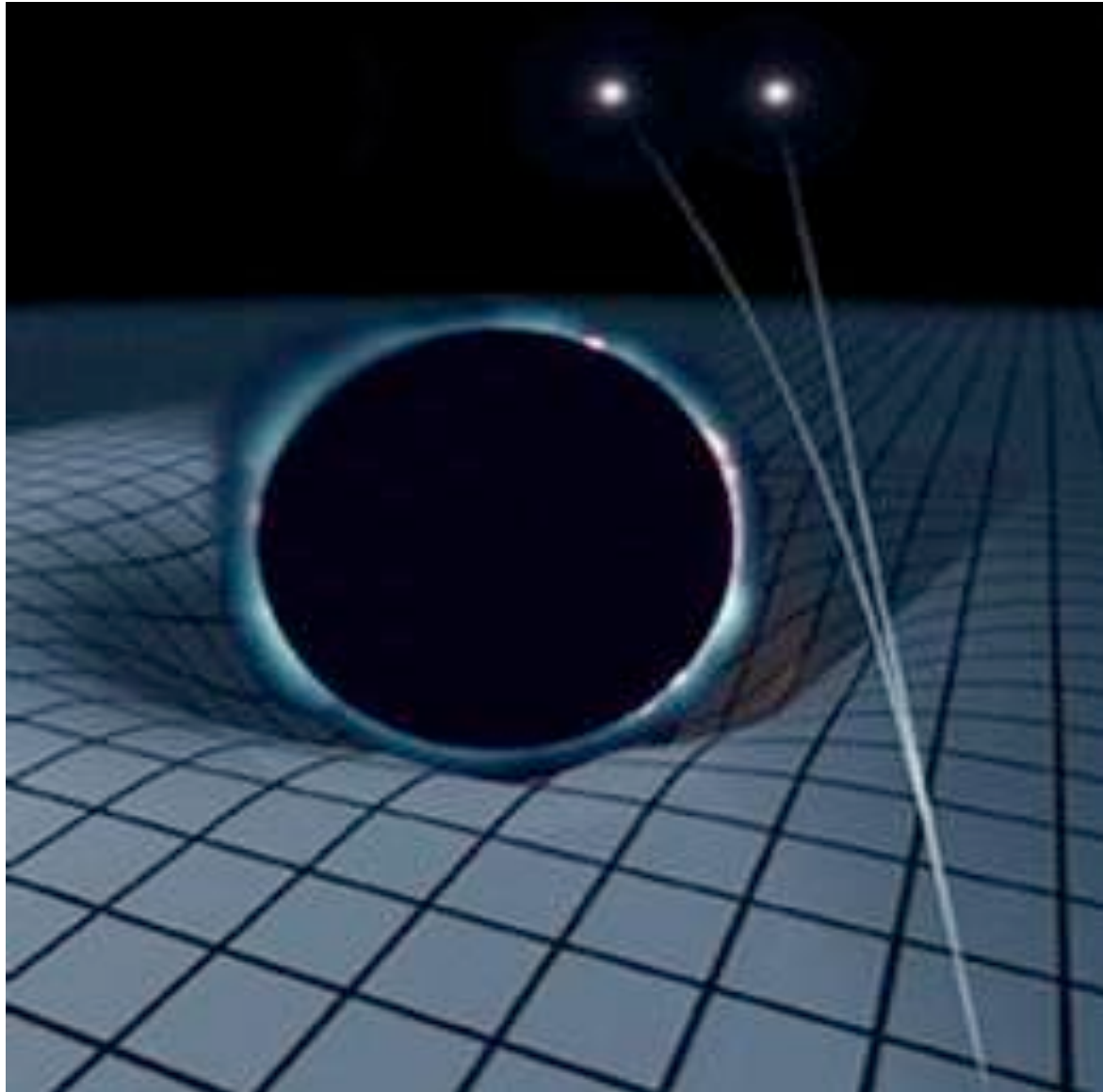
Especial curvo

La luz en el espacio curvo



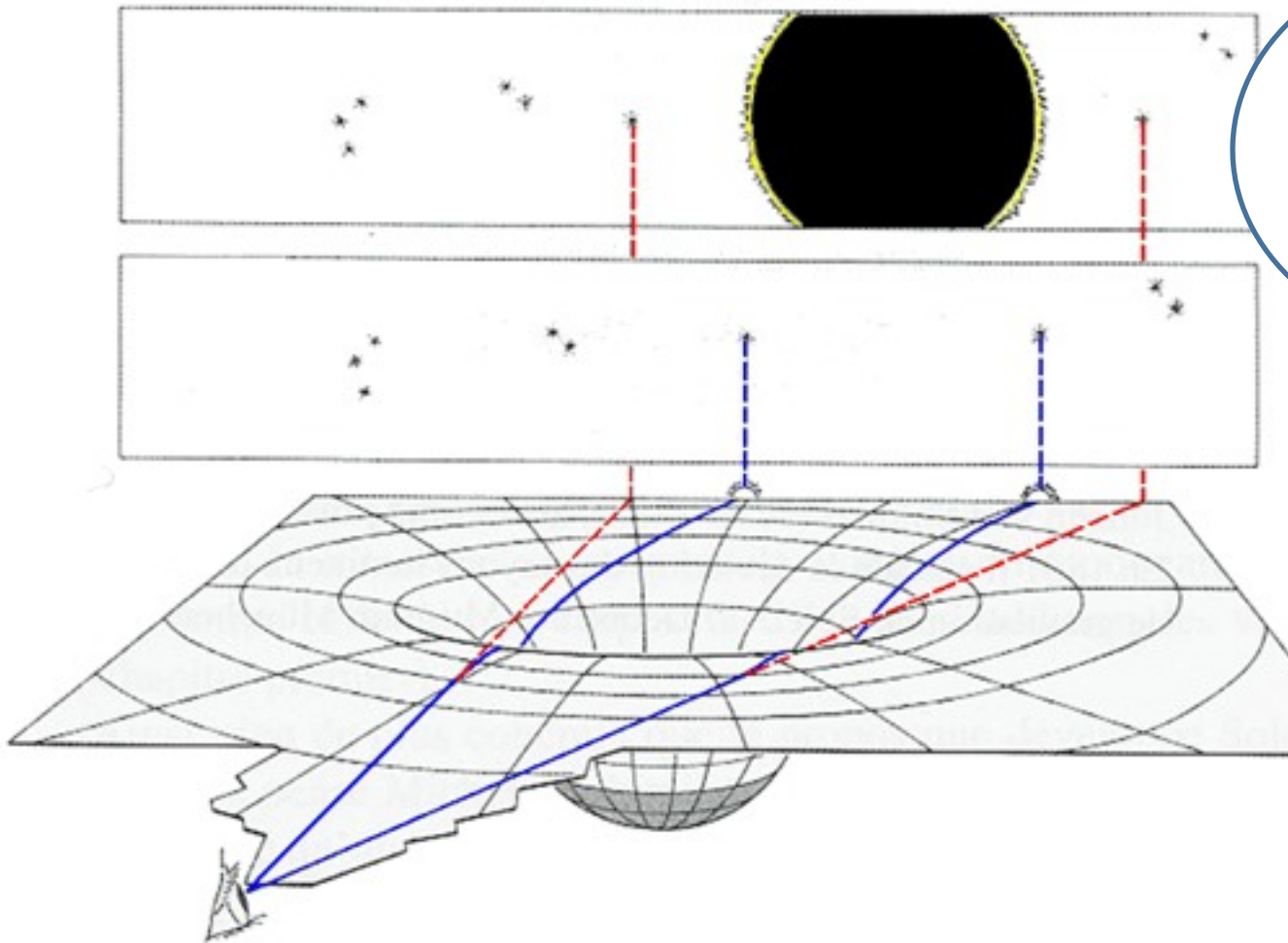
Estrella visible
(Posición detrás del
sol – observado durante
un eclipse solar)



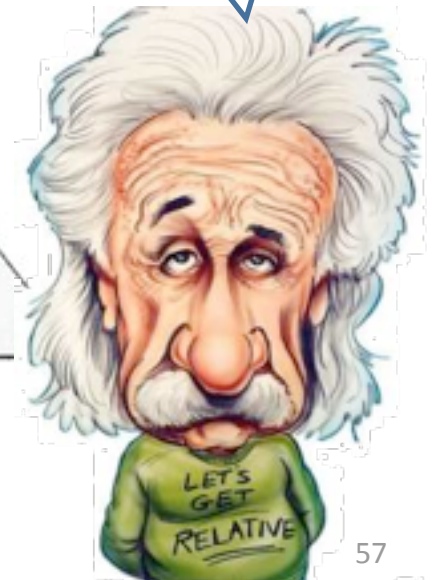


Posición visible

Posición real



El sol actúa como una "lupa gravitacional"

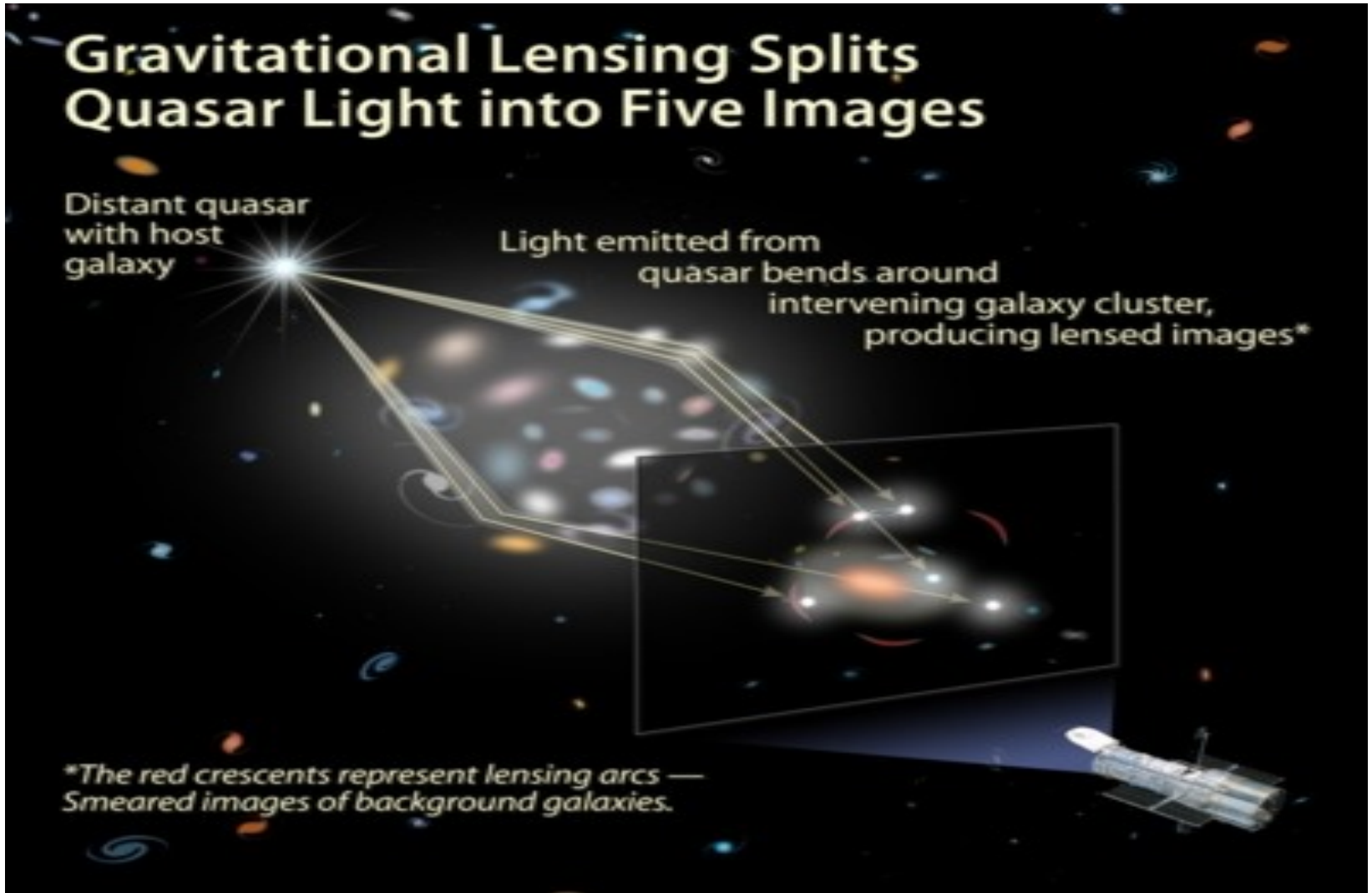


Gravitational Lensing Splits Quasar Light into Five Images

Distant quasar with host galaxy

Light emitted from quasar bends around intervening galaxy cluster, producing lensed images*

**The red crescents represent lensing arcs — Smeared images of background galaxies.*

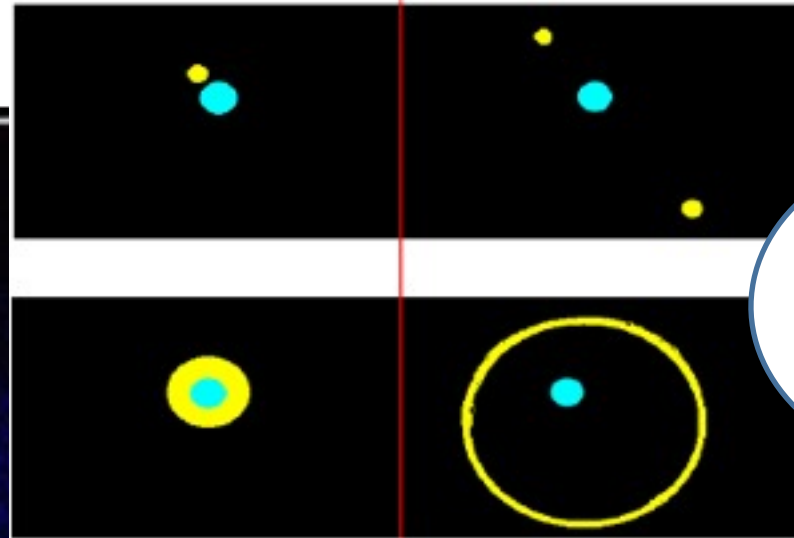


La luz en el espacio curvo

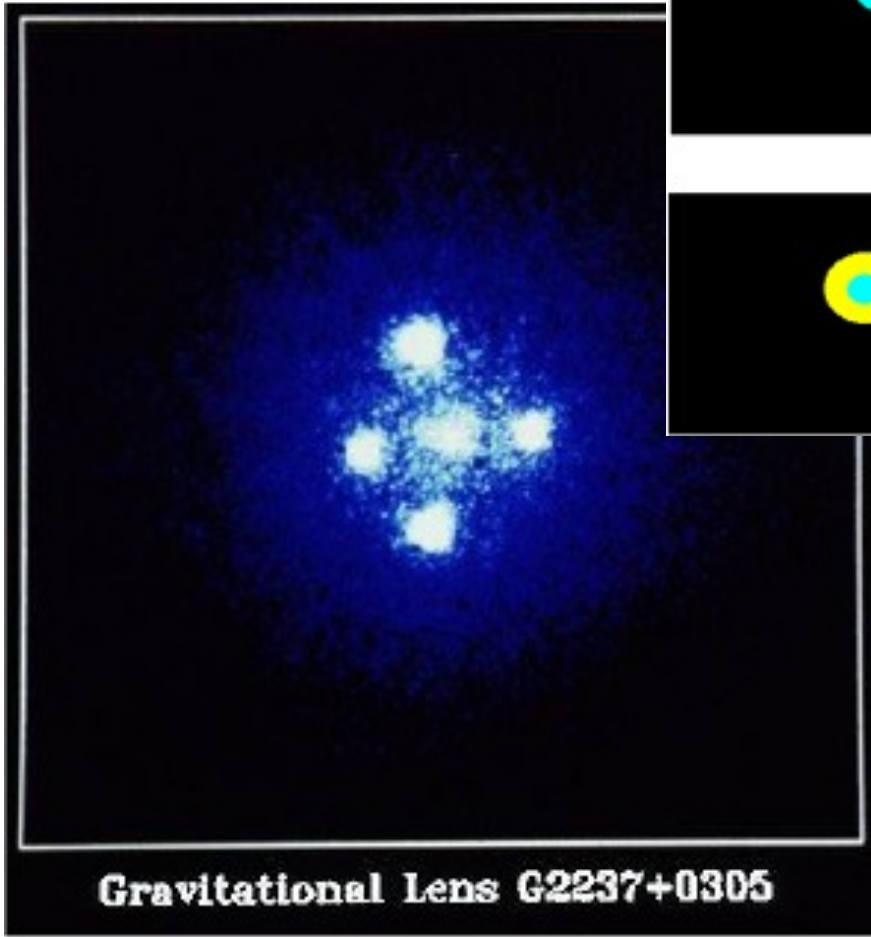


sin Gravitación

con Gravitación

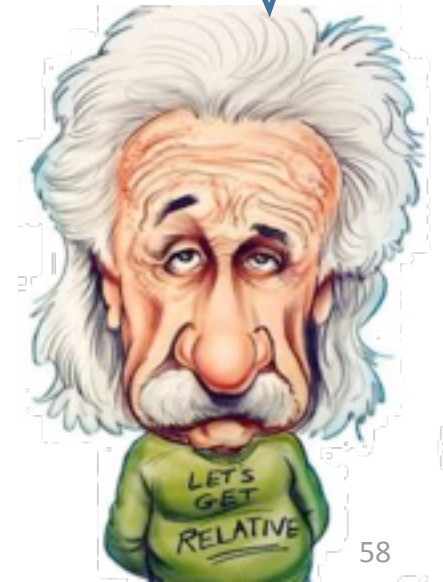


Esto se puede verificar.

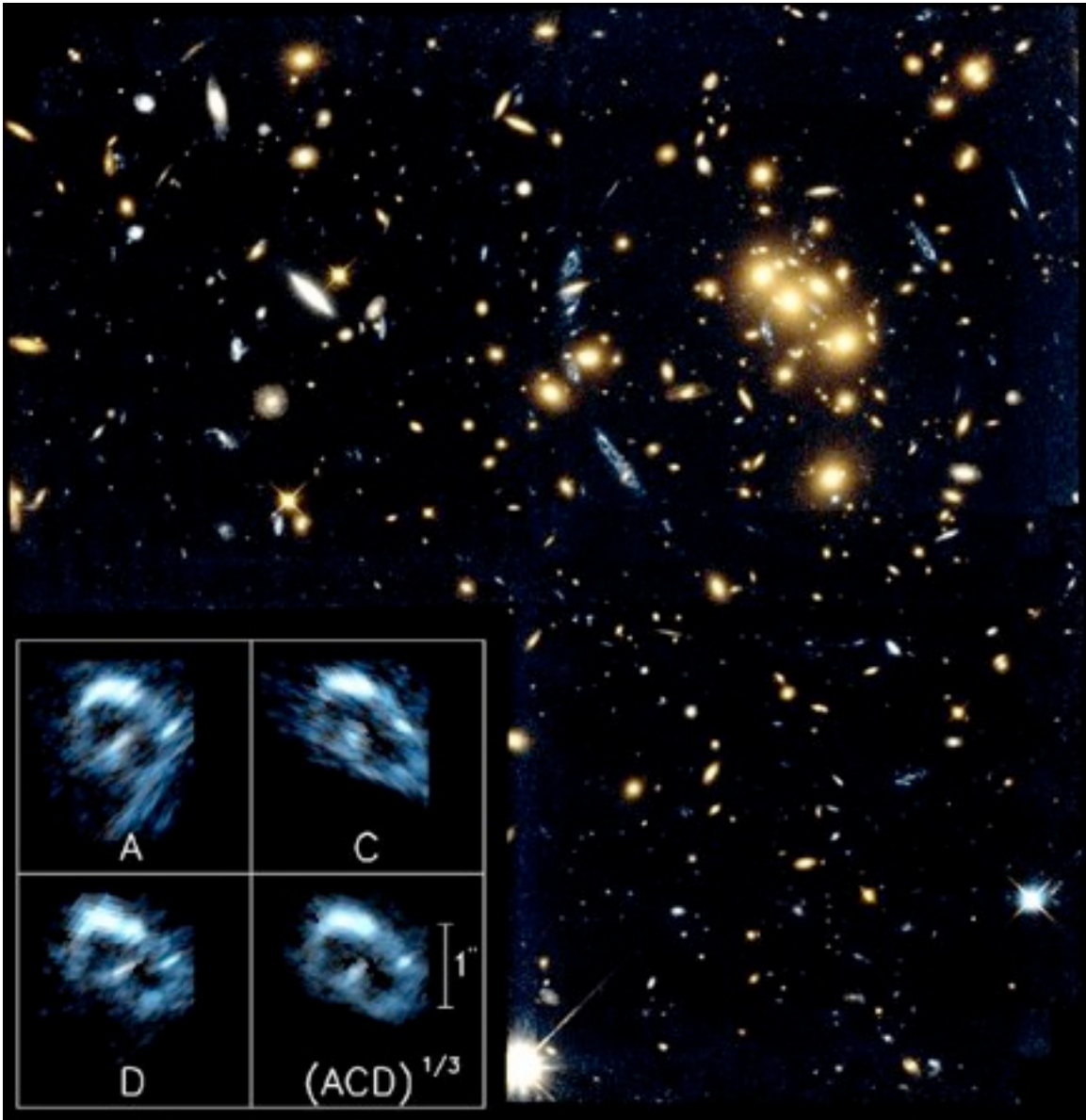


Gravitational Lens G2237+0305

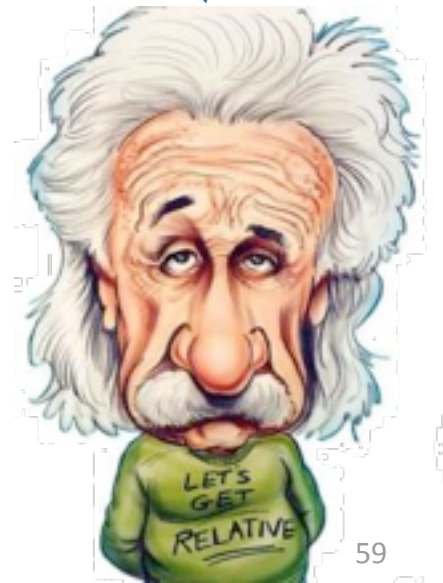
„Cruces de Einstein “ (dos Estrellas)



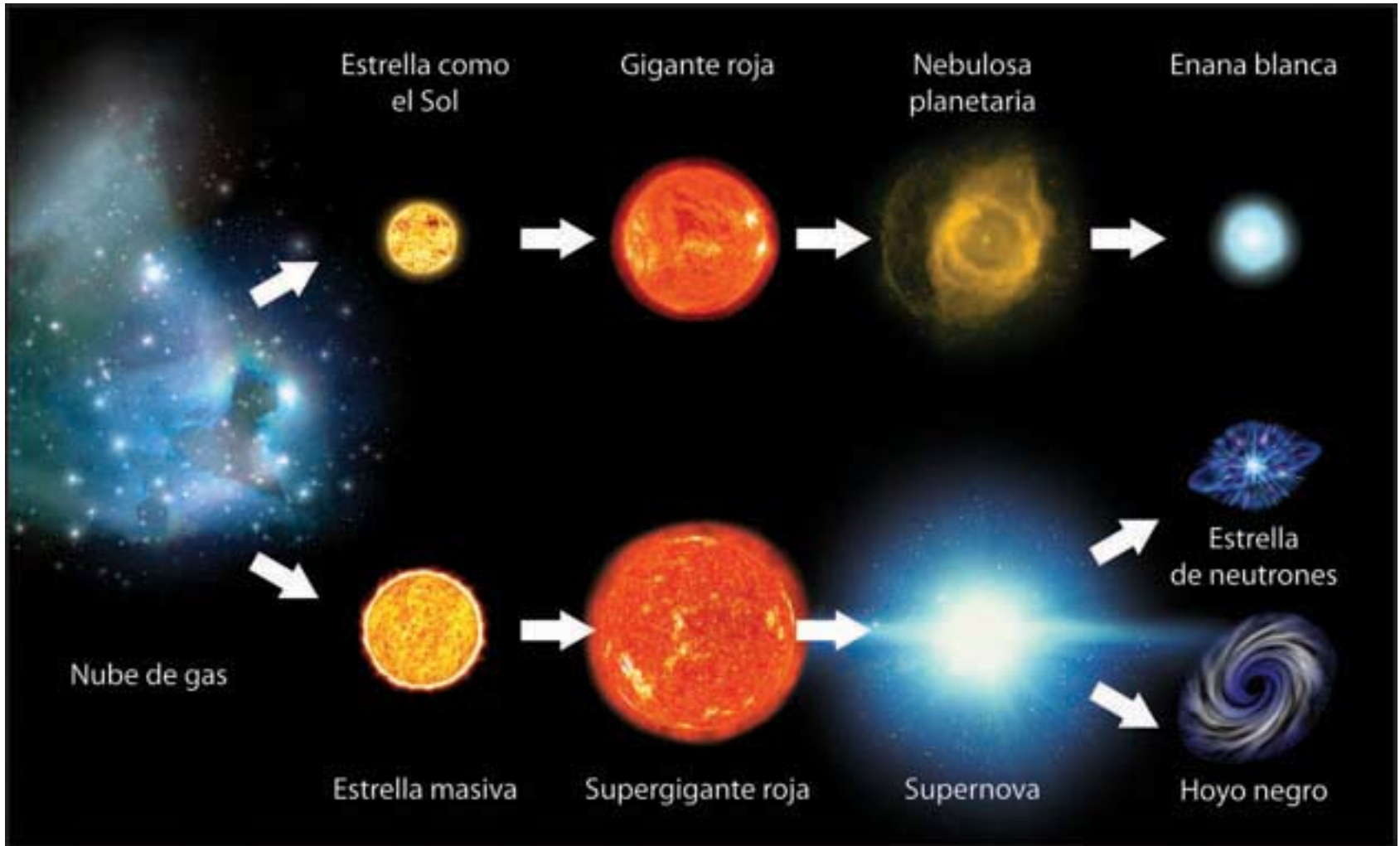
La luz en el espacio curvo



Algunas galaxias que vemos son solo “espejismos”

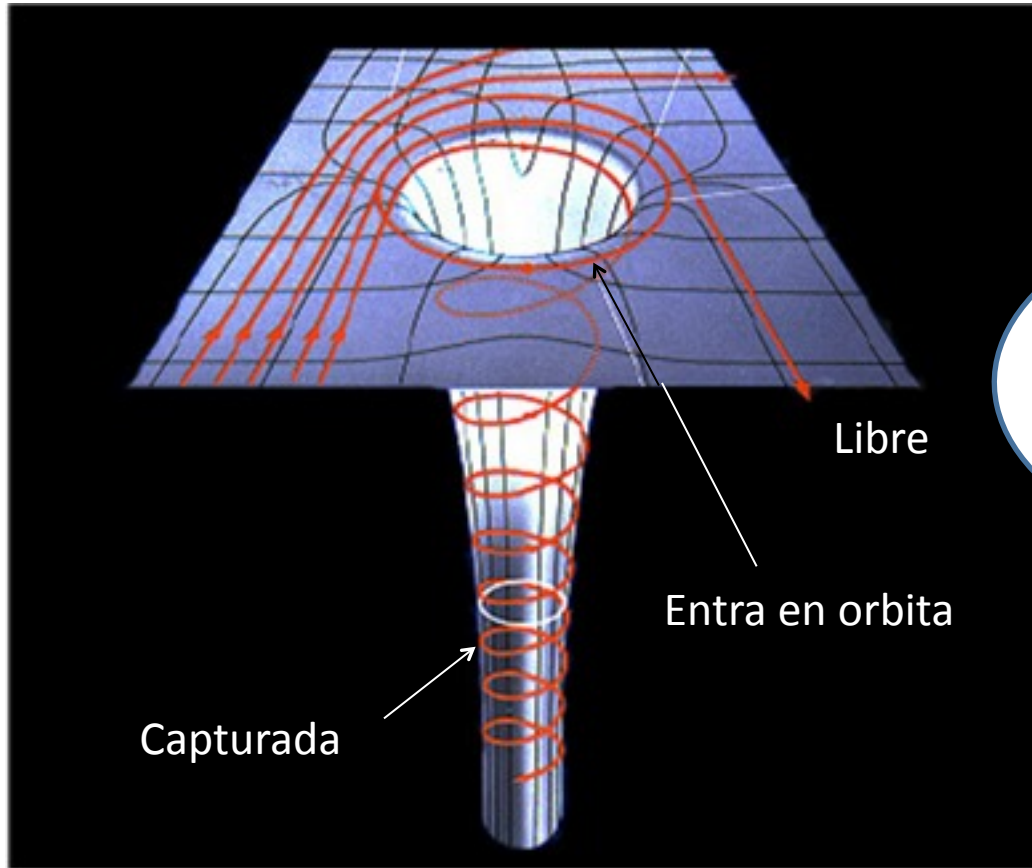


Vida de una estrella



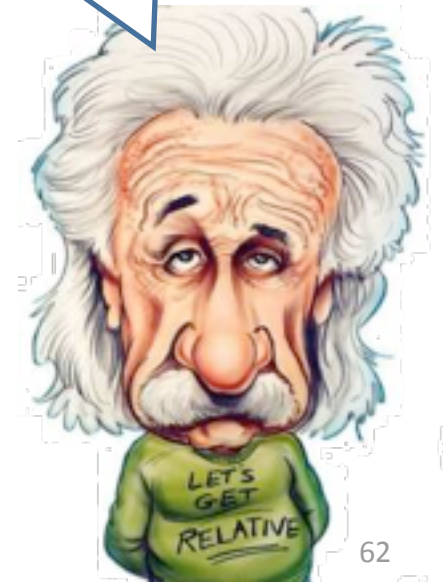


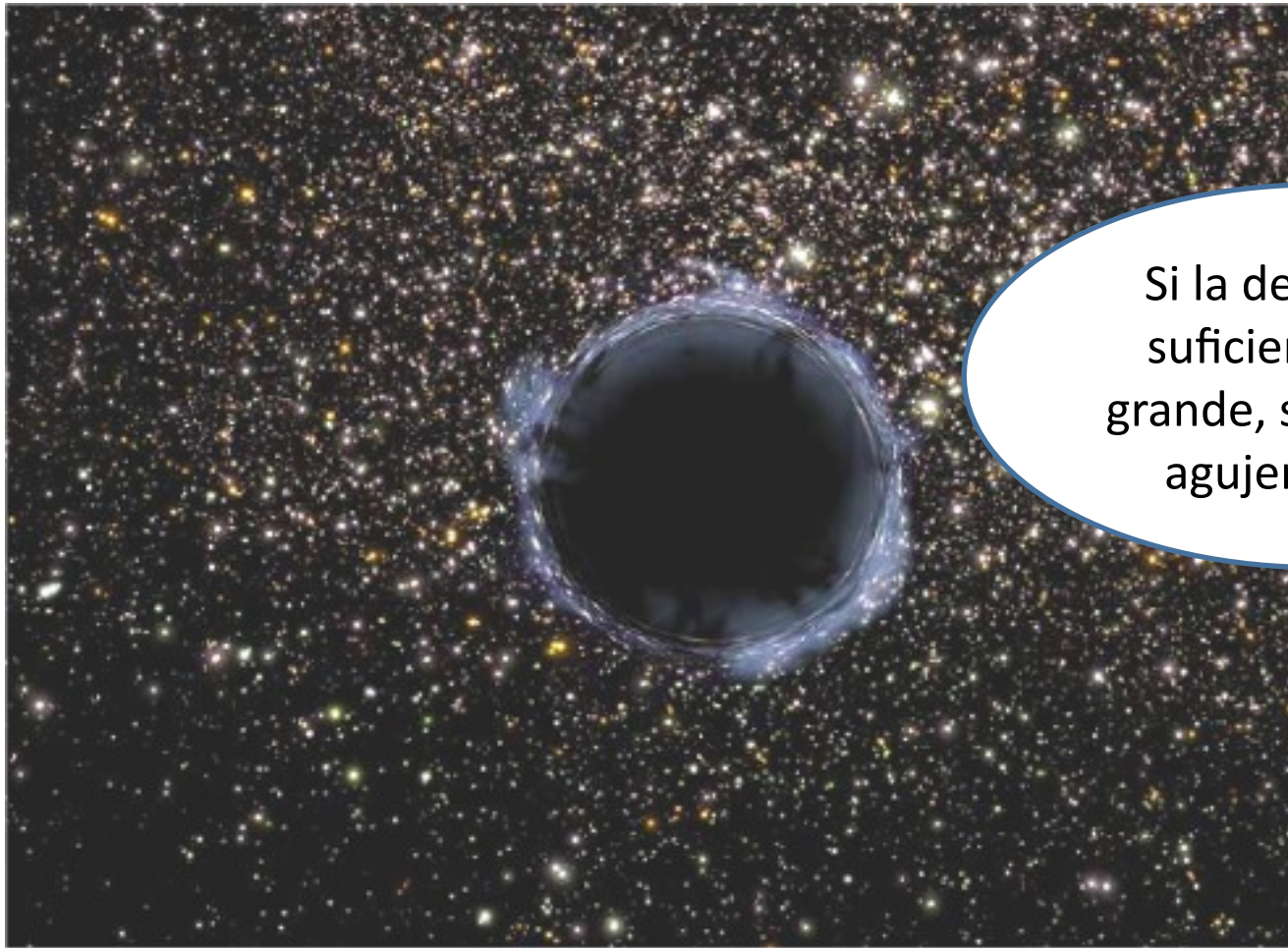
La solución de Schwarzschild



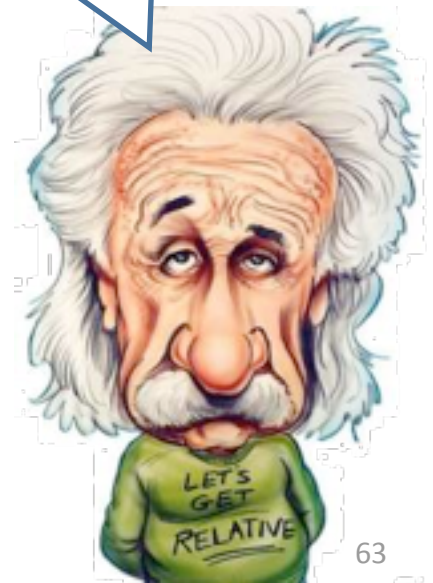
Primera solución de la ecuación de Einstein por Schwarzschild

Esta métrica (solución) tiene un caso límite en que nada puede escapar.





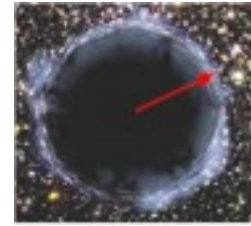
Si la densidad es suficientemente grande, se forma un agujero negro.



Nota: Lente gravitacional al borde en el "horizonte visible"

$$r_s = \frac{2Gm}{c^2},$$

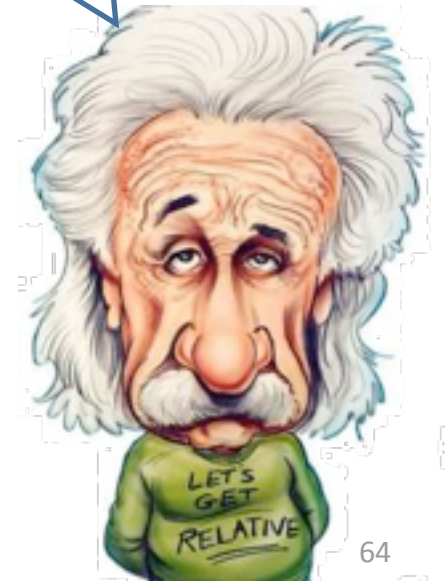
Radio de Schwarzschild



¿Qué tan alta tiene que ser la densidad?



Nuestra tierra
tendría que ser
de pocos
centímetros.



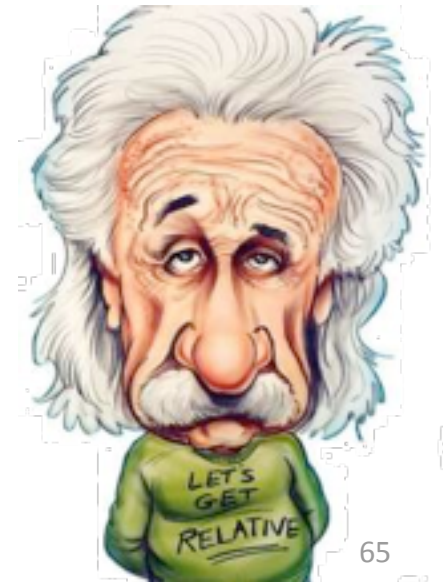
La solución de Schwarzschild



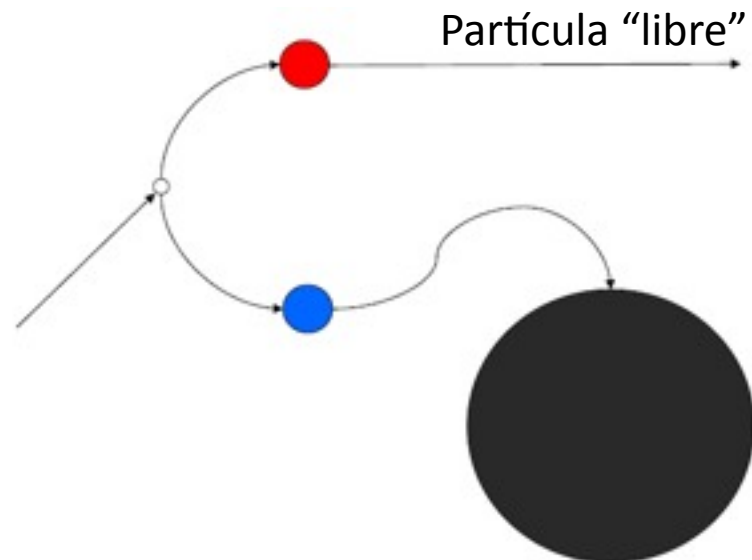
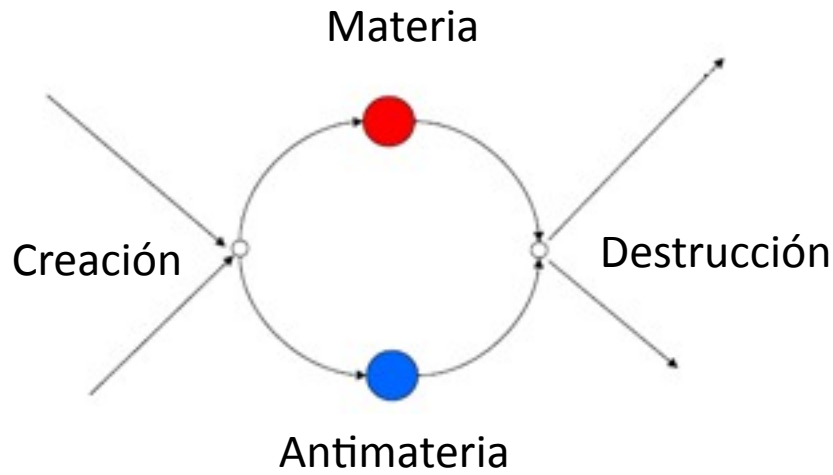
¿Podríamos viajar a un agujero negro?

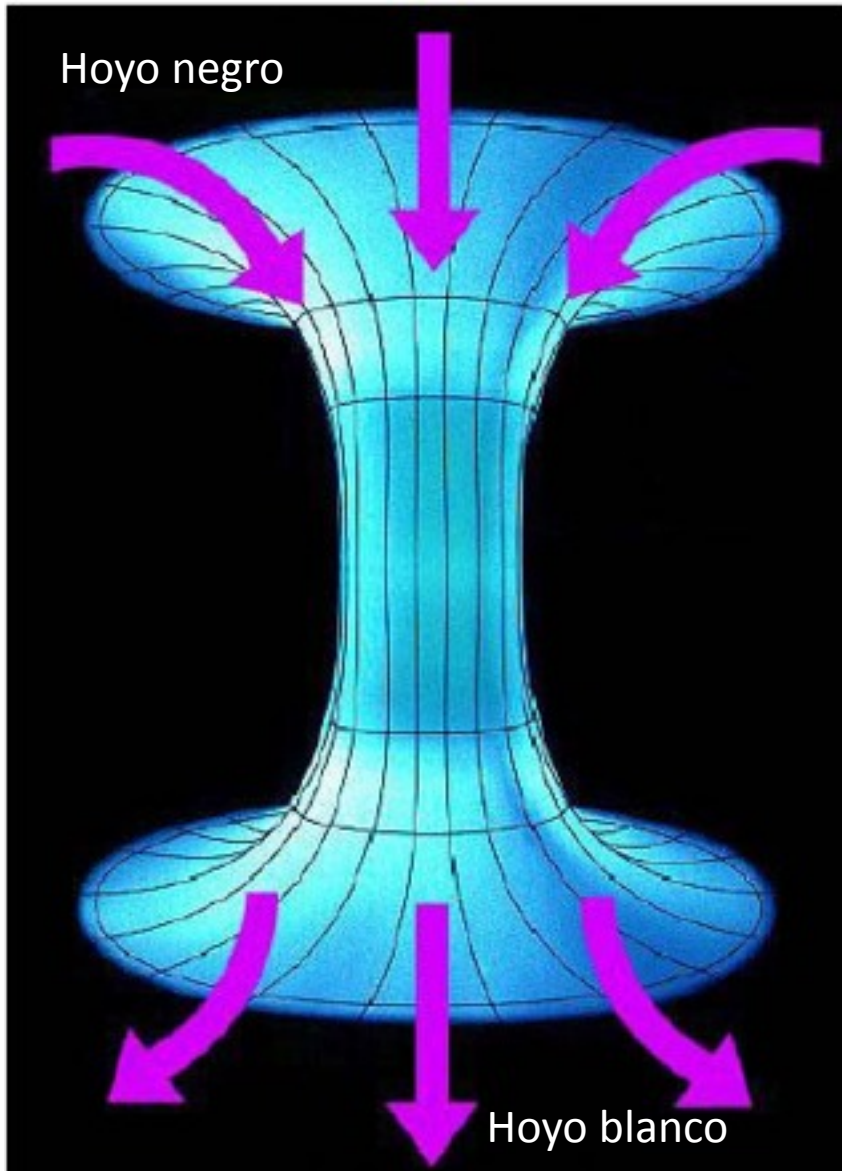


No soportaríamos el gradiente (la espaguetización)









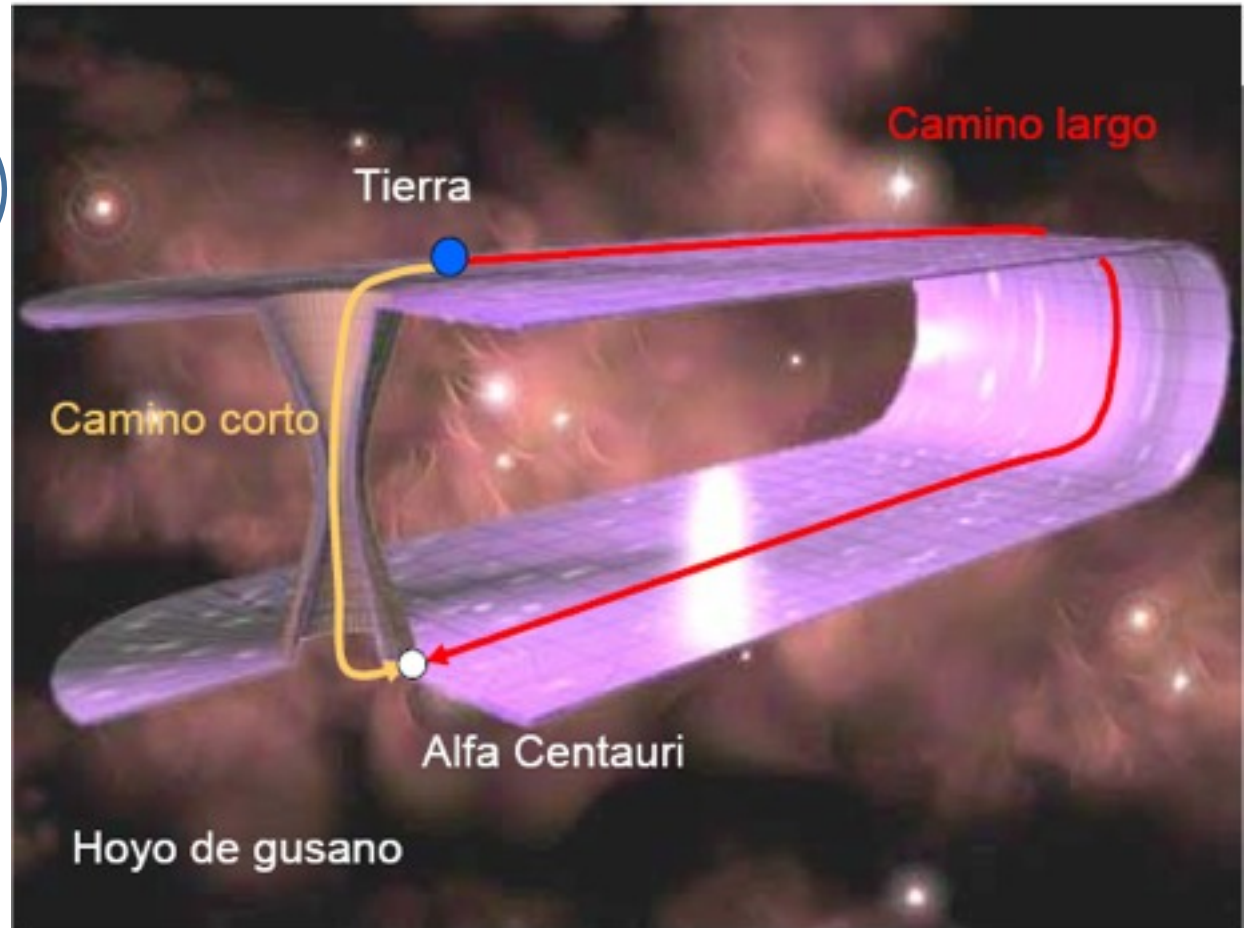
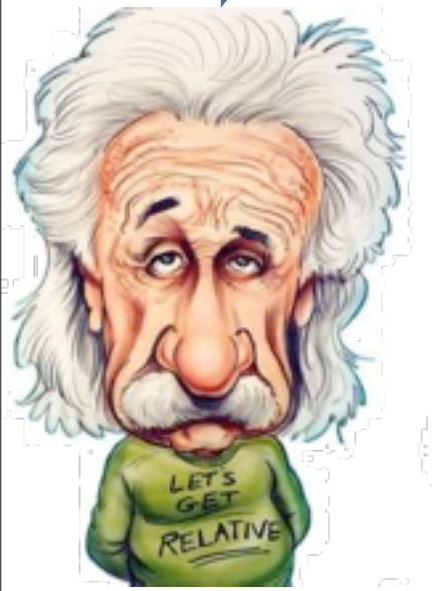
Si se lograra acoplar dos singularidades podría ser que una actúe como agujero negro y la otra como agujero blanco.

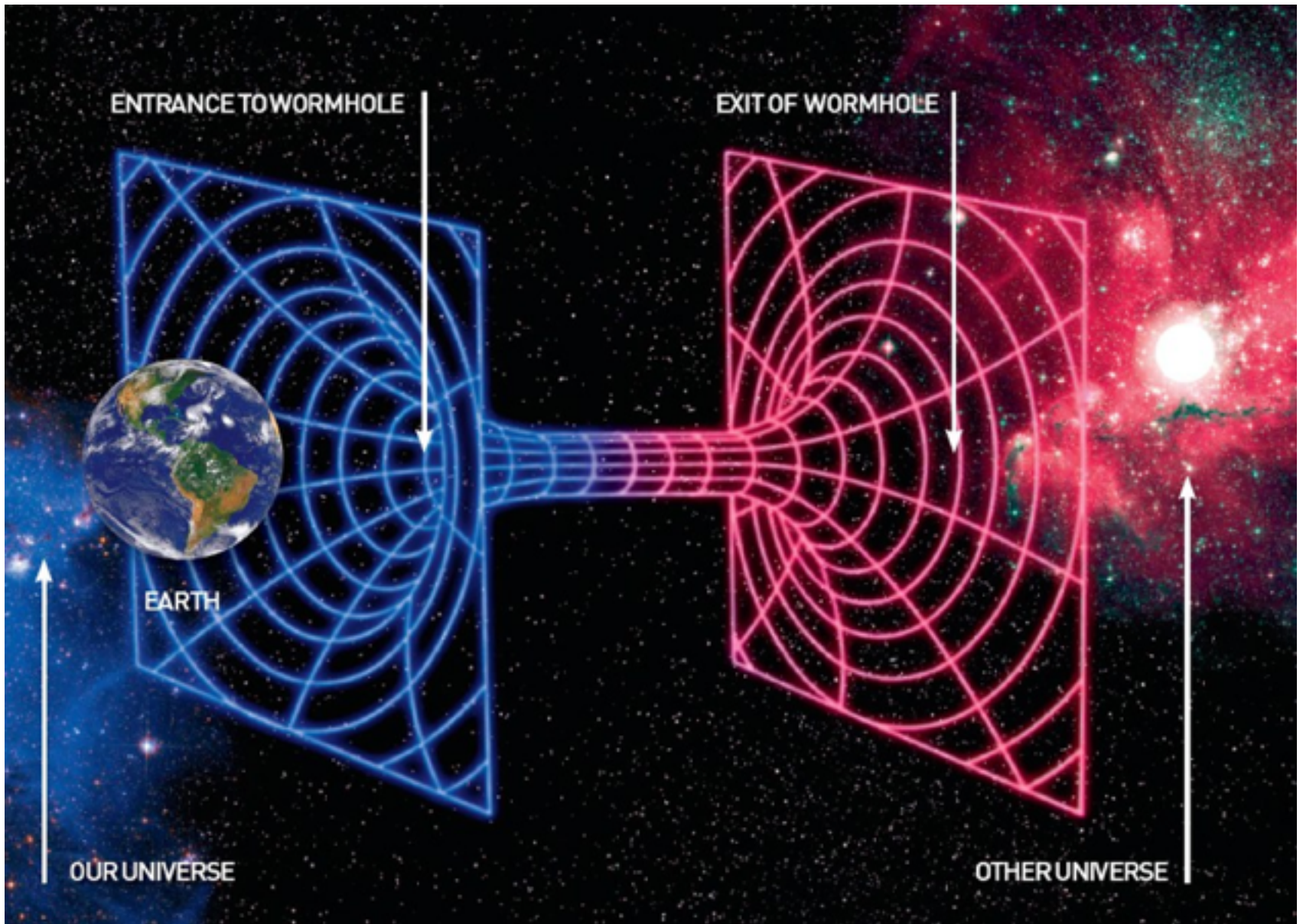
La solución de Schwarzschild



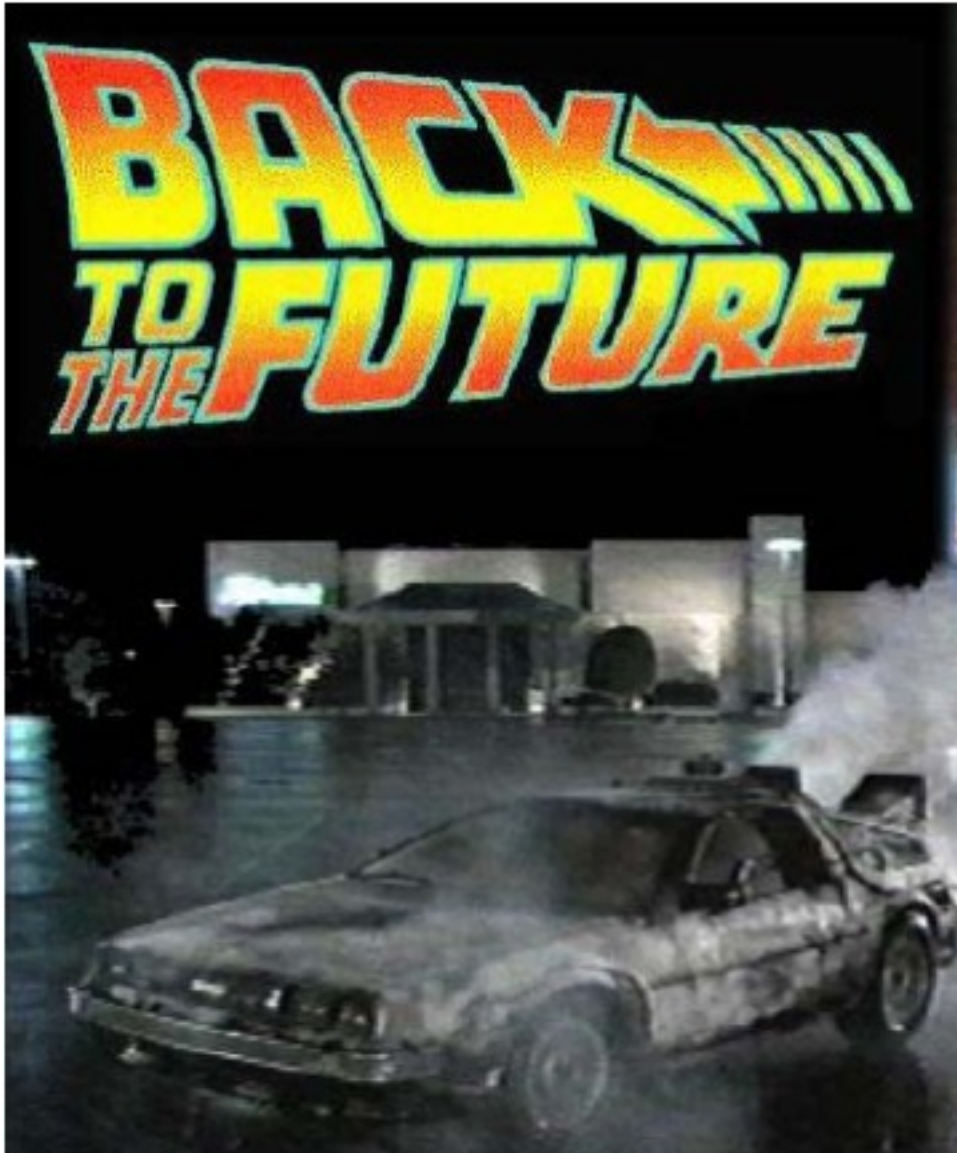
Se especula que estos llamados agujeros de gusano podrían conectar dos puntos lejanos llegando a ser “autopistas intergalácticas”.

Quien sabe.

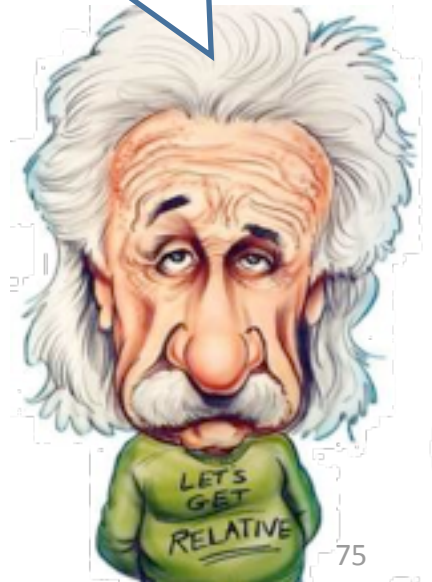
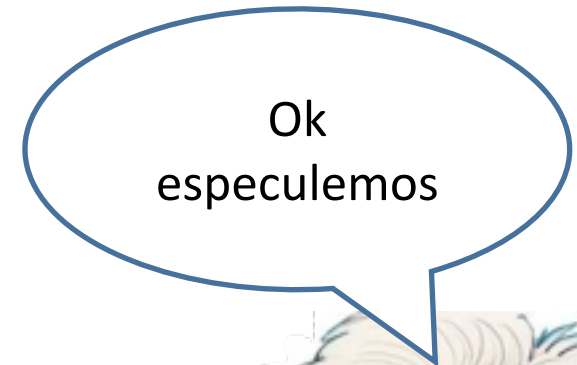


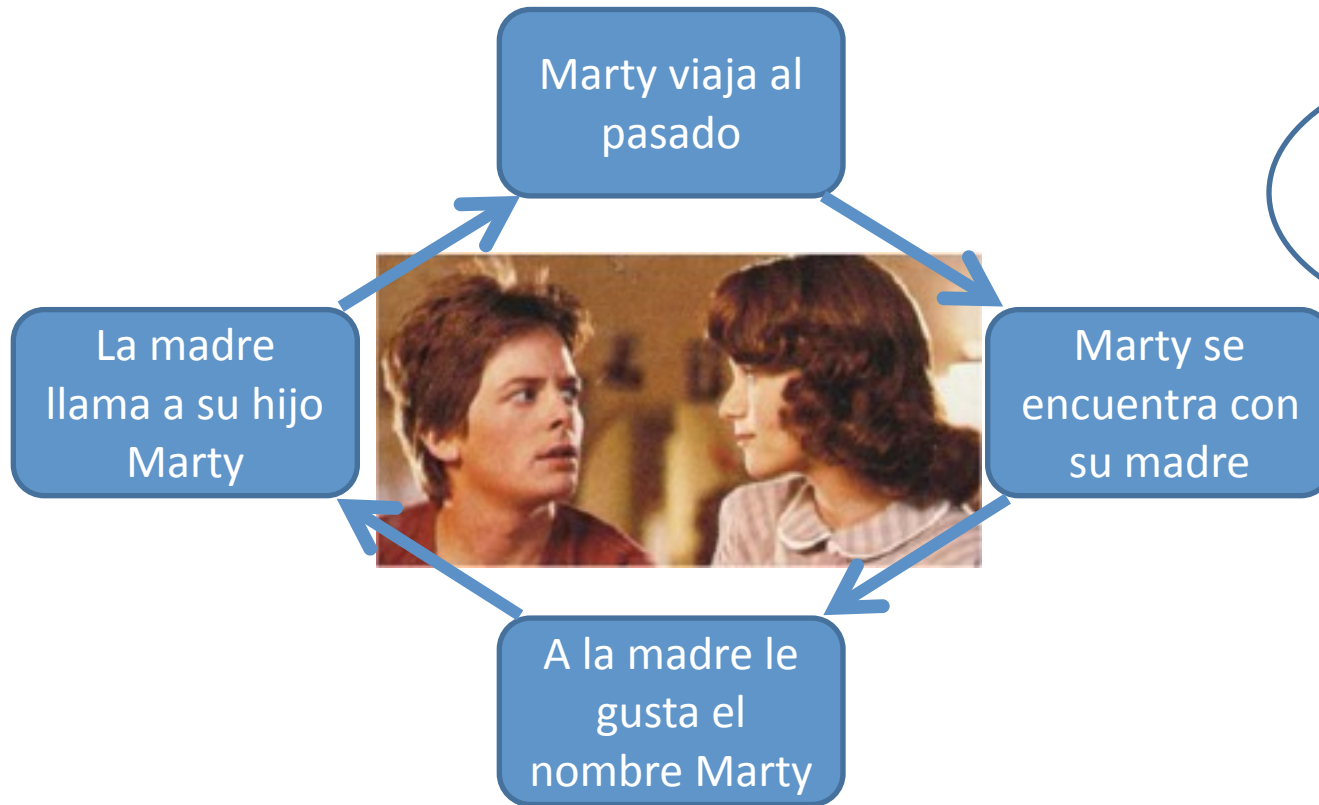


Posibilidades de viajar en el tiempo

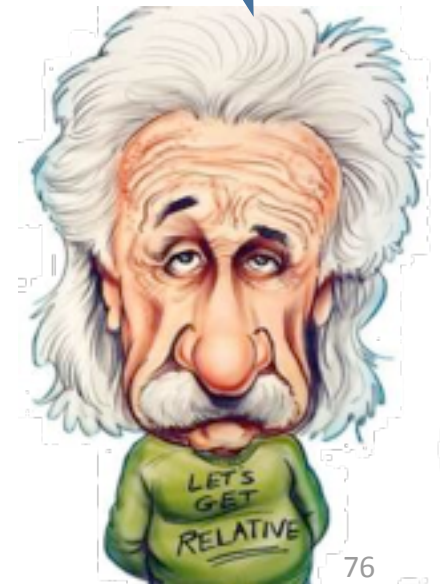


Existen dos situaciones:
Un sistema abierto o
uno cerrado.





Podría ser un sistema cerrado



Posibilidades de viajar en el tiempo



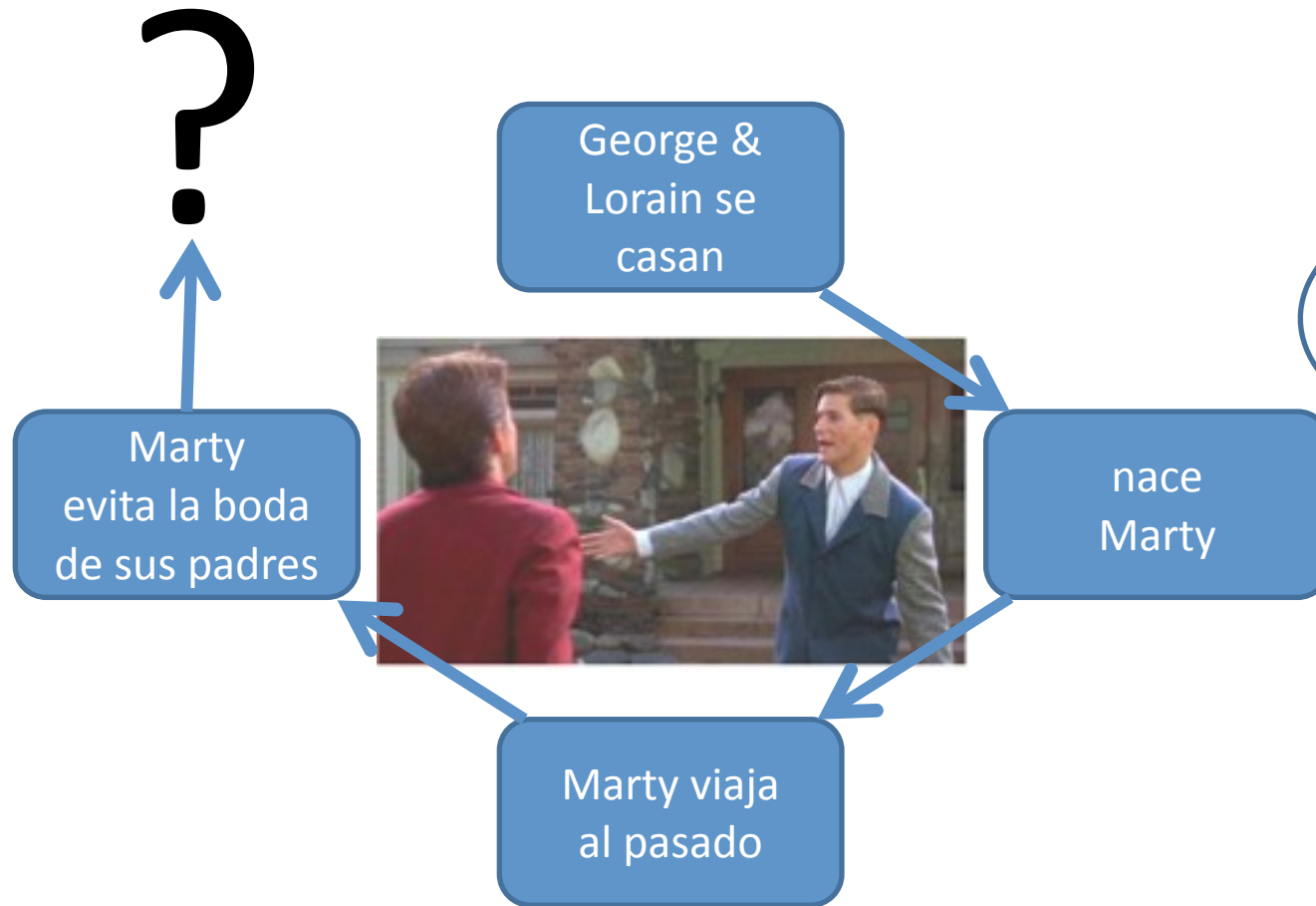
Si los sistemas estarían cerrados la historia estaría escrita y la voluntad humana sería una ilusión.



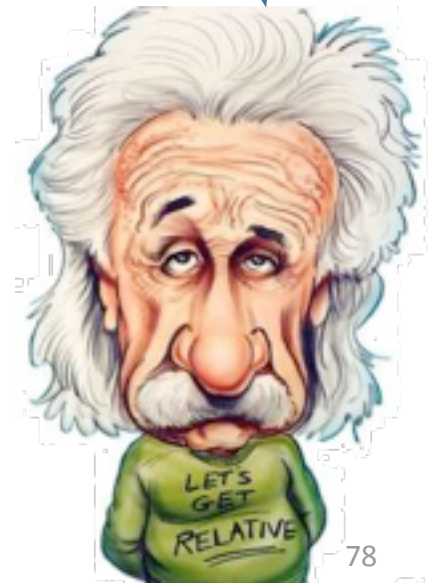
Hawkins, Newton, Data y Einstein en el 2300 jugando Póker

Paradoja de Hawkings

“Porque no vemos a turistas, cazadores de recuerdos, estudiosos de la historia, arqueólogos, fugitivos y criminales que nos visitan del futuro.”



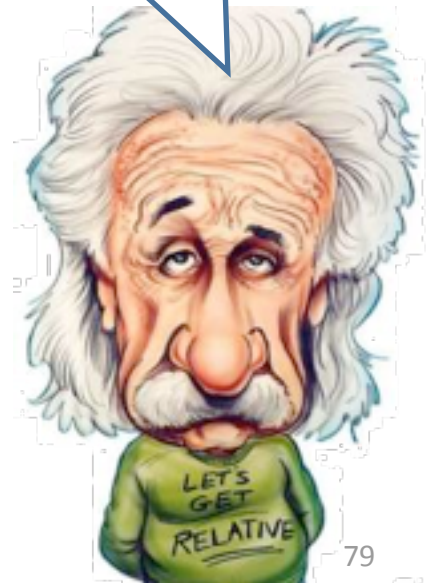
Y si el sistema es abierto?





Si los sistemas fueran abiertos, la historia sería una ciencia experimental. (Carl Sagan)

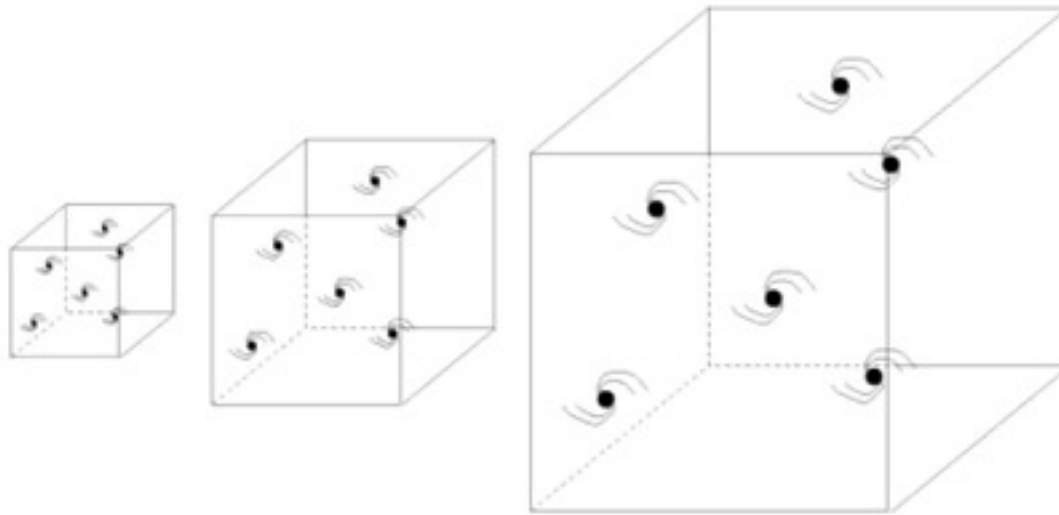
Tendremos que esperar a nuevos estudios.



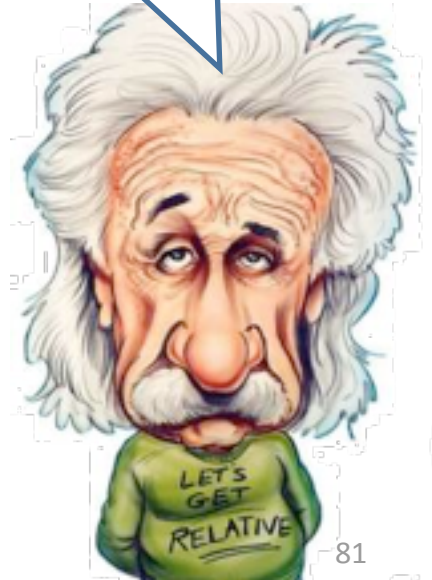
La expansión del universo



Por el corrimiento al rojo sabemos que las galaxias se están alejando entre si. El universo se “infla”

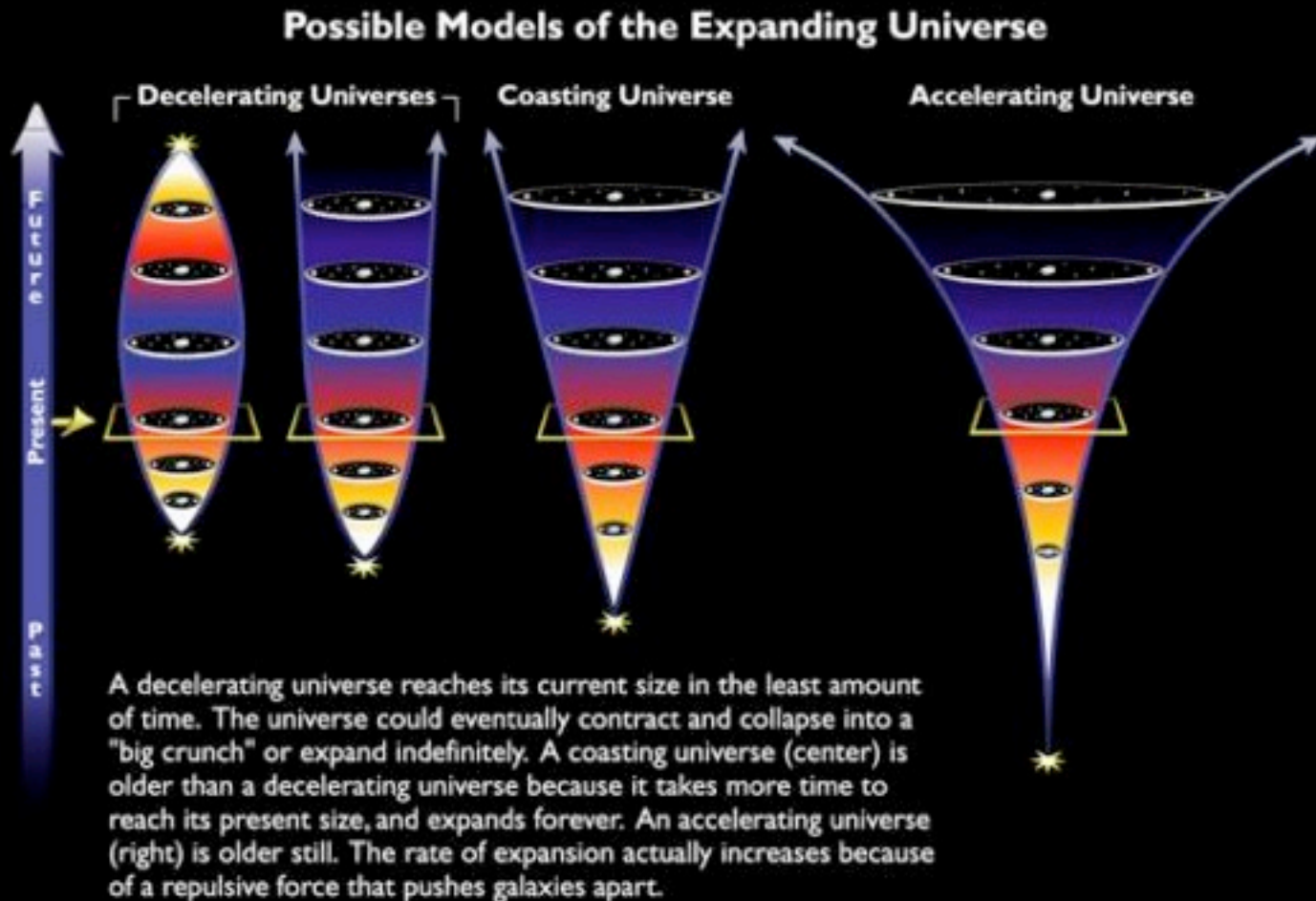


El universo expande.

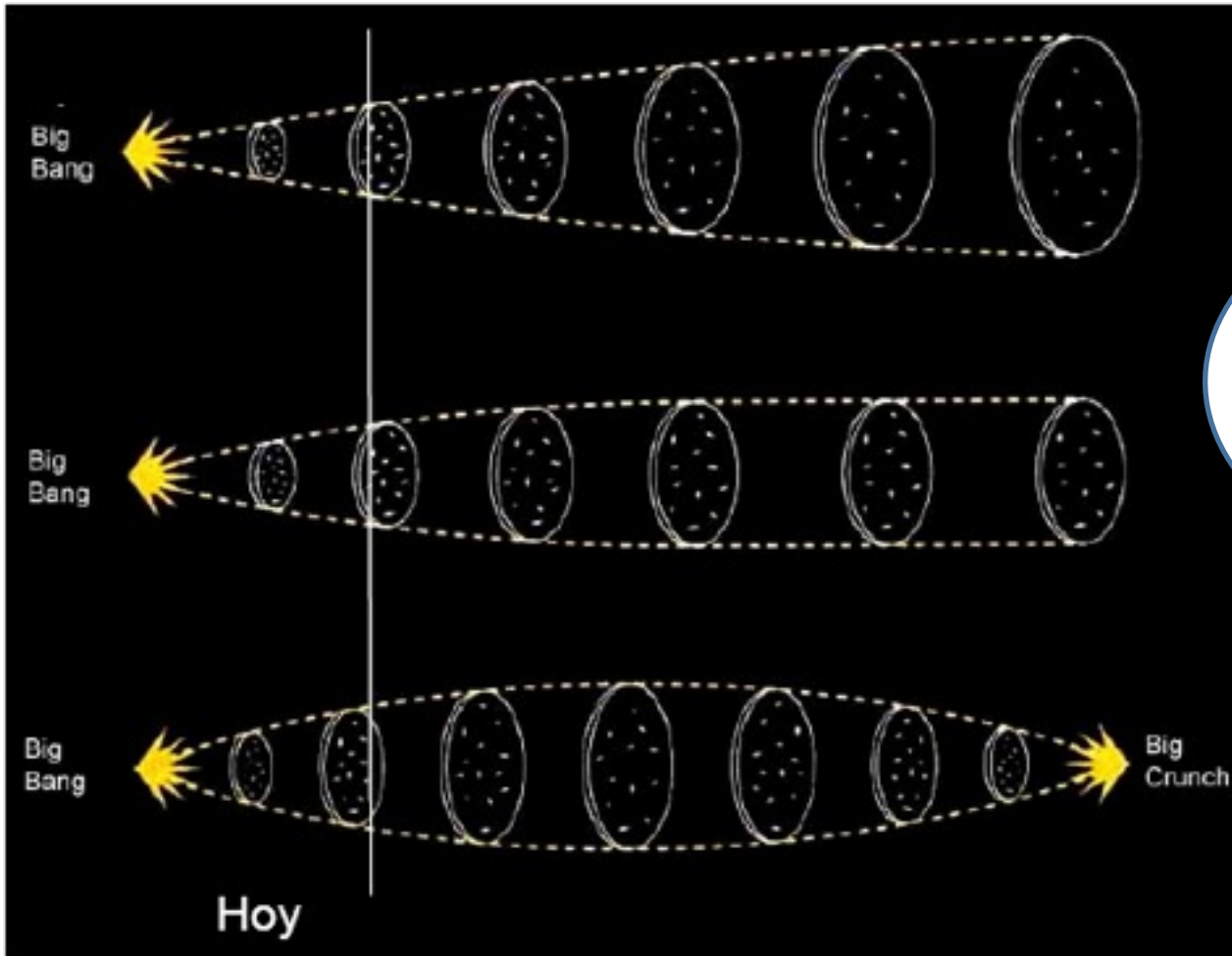


COSMOLOGÍA

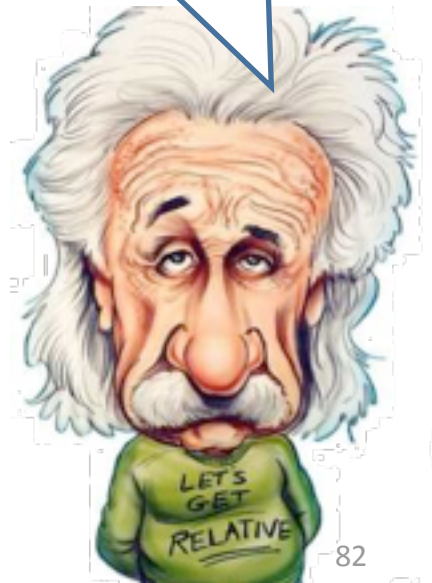
Los modelos cosmológicos



La expansión del Universo



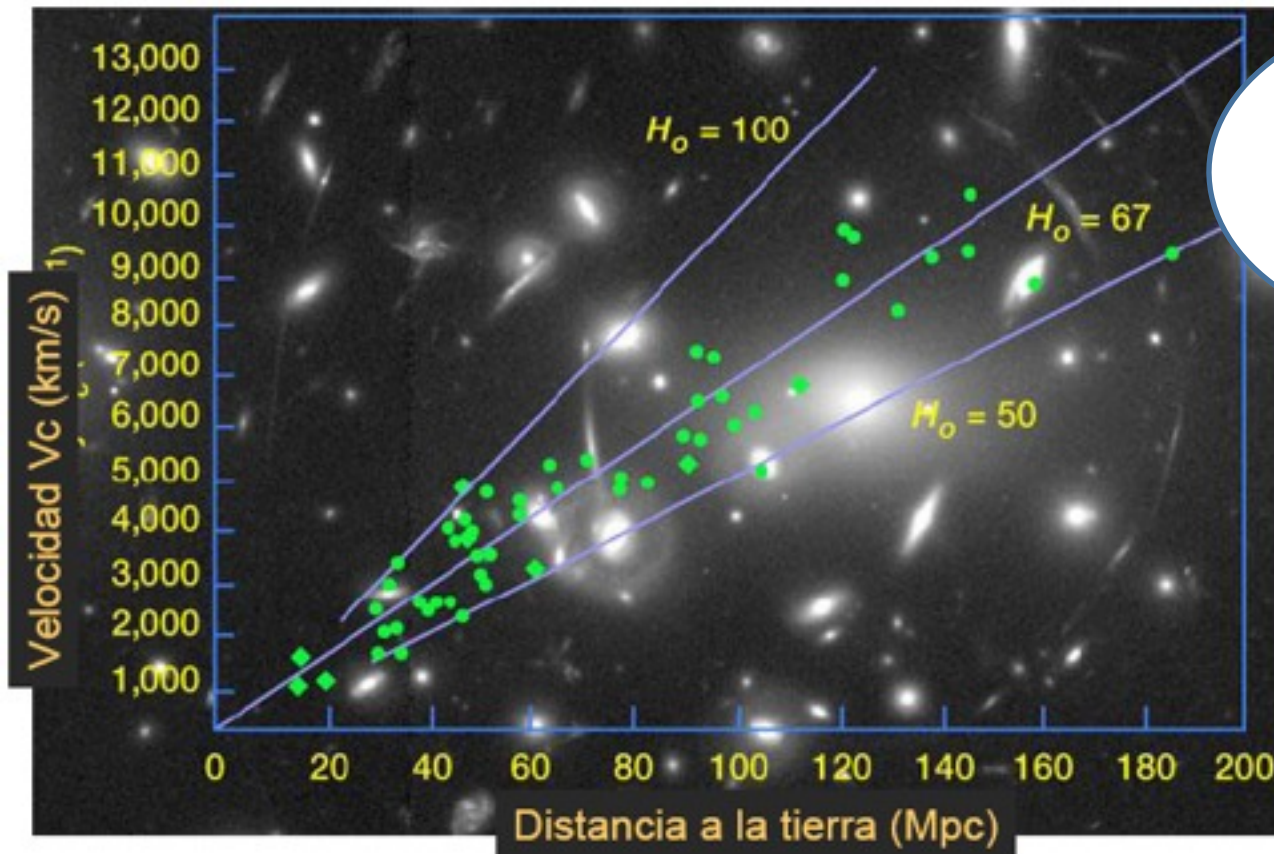
La masa
“observada” no
alcanza para
que sea cerrado



Según la masa que exista el universo volverá a colapsar o se expandirá hasta el infinito.

La expansión es cada vez mas rápida. Pero de donde viene la energía?
En forma análoga se habla de

“Energía Oscura”



Quien sabe.

