

# ¿Escenario o Personaje?

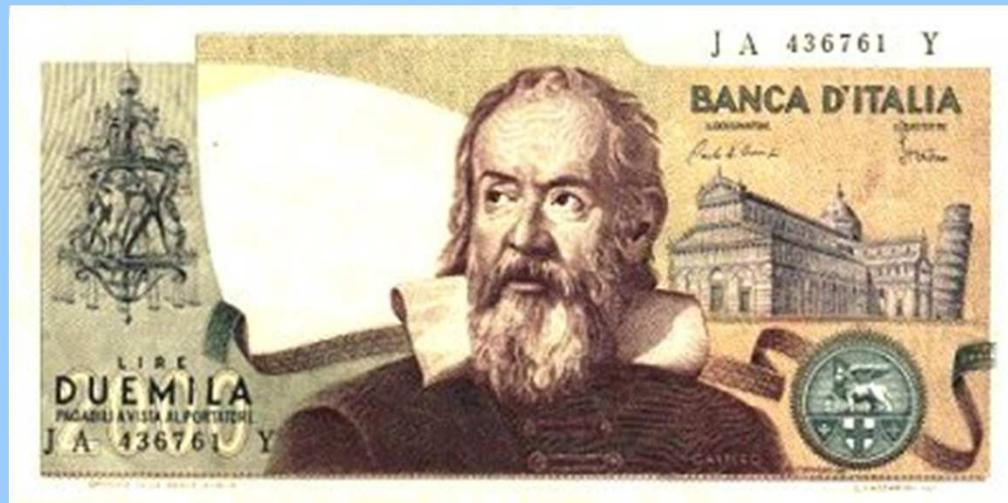
El Universo en expansión  
en las teorías de Einstein

Uno de los aspectos más originales de las teorías de Einstein es el rol del espacio y el tiempo. Antes de Einstein, éstos eran sólo un marco fijo e inmutable para los fenómenos físicos. Según Einstein, en cambio, participan activamente en estos fenómenos: el escenario se convierte en personaje. Esto habilita maneras de mirar el Universo que eran impensables antes de Einstein.

En la física de Galileo y Newton se acepta la existencia de un tiempo y un espacio absolutos. Los observadores que se mueven a velocidad constante respecto del espacio absoluto se llaman *inerciales*.

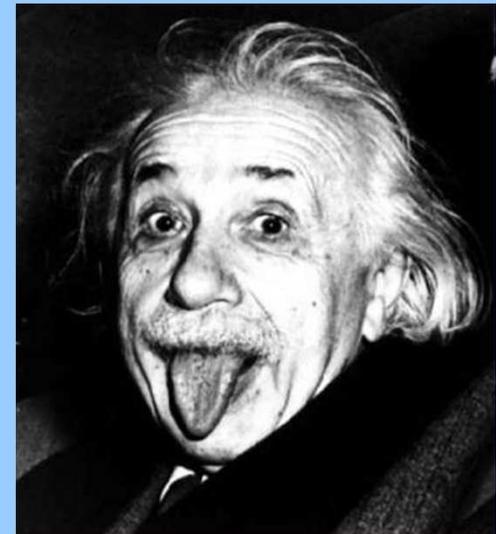


También se acepta que hay dos conjuntos de leyes físicas: uno para los observadores inerciales, y otro para los no inerciales. Sólo los observadores inerciales ven las leyes "verdaderas", los otros tienen que aplicar factores de corrección.

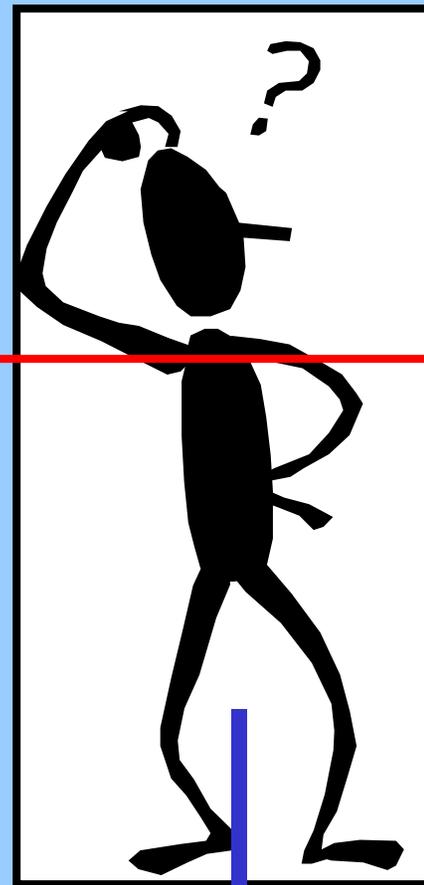
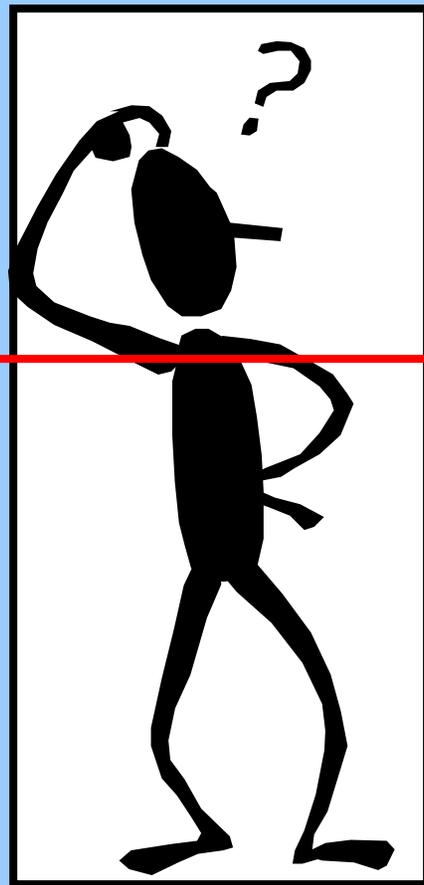
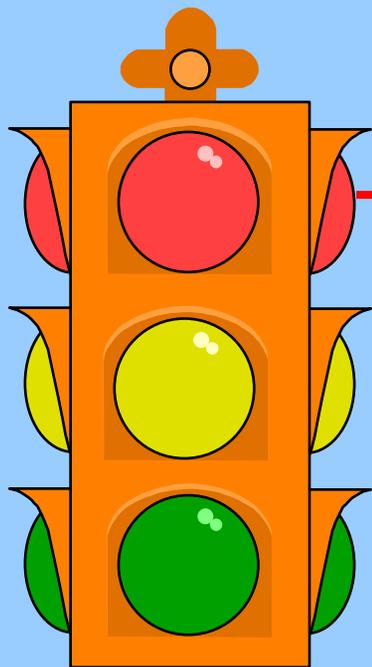


Sin embargo, no existen maneras de *medir* un intervalo de tiempo absoluto o de determinar la posición de un objeto respecto del espacio absoluto.

Einstein va a rechazar ambos conceptos.



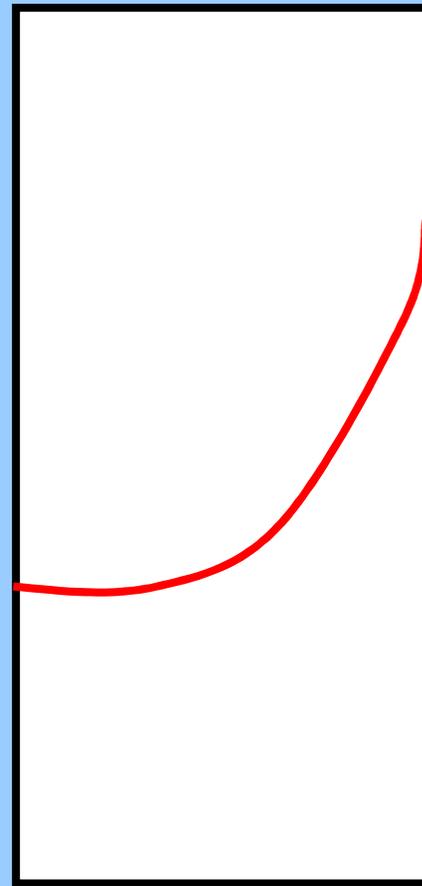
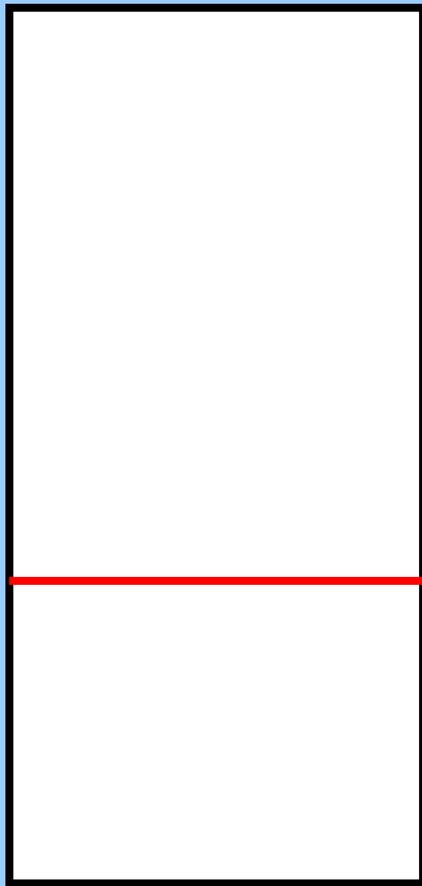
Al no existir un espacio absoluto, no hay una distinción radical entre observadores inerciales y acelerados. ¿Es posible que *todos* los observadores perciban las mismas leyes físicas?



*a*

En el ascensor acelerado, la trayectoria del rayo de luz se curva hacia arriba. En el otro, es una línea recta. ¿Son compatibles estas observaciones?

$$a = 0$$



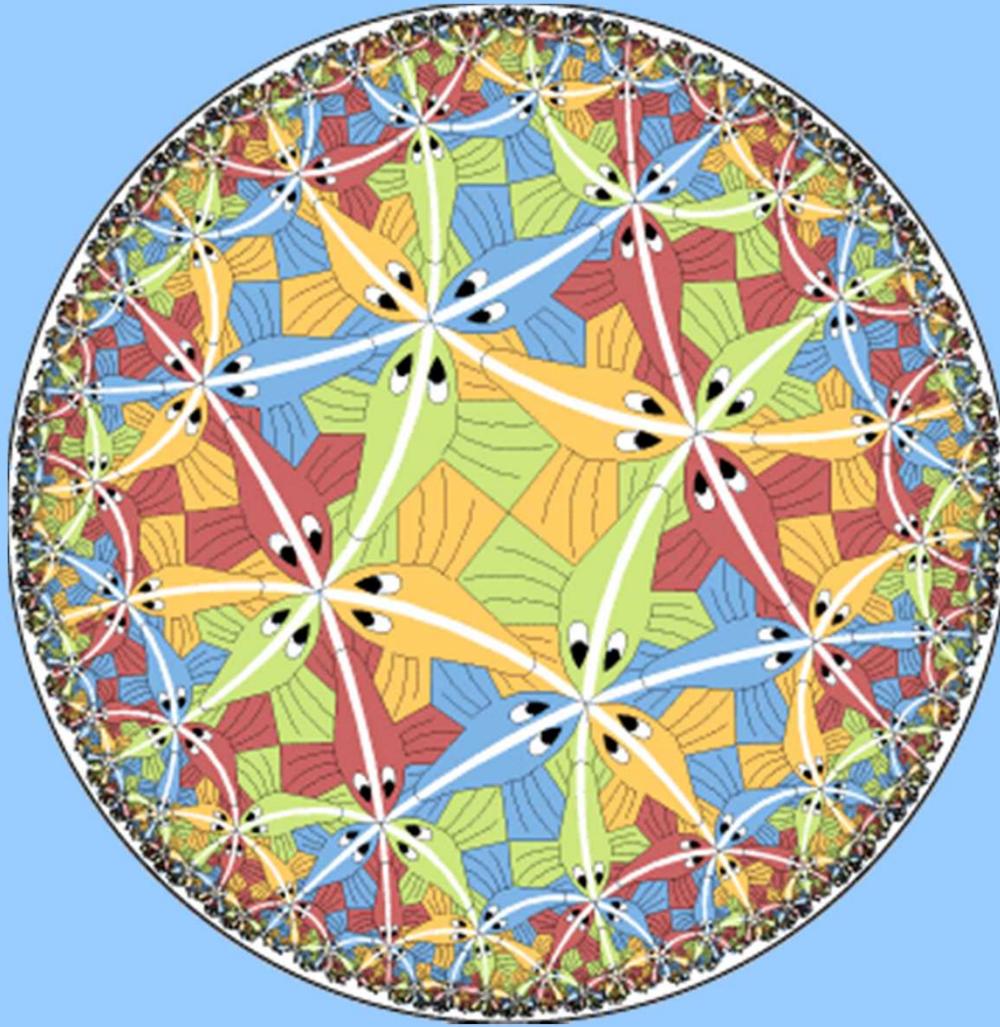
$$a \begin{matrix} \text{⌚} \\ 0 \end{matrix}$$

¿Qué es una línea recta? Si definimos que una recta es la distancia más corta entre dos puntos, entonces qué es una línea recta depende de la geometría.

En una esfera, los círculos máximos son líneas rectas.

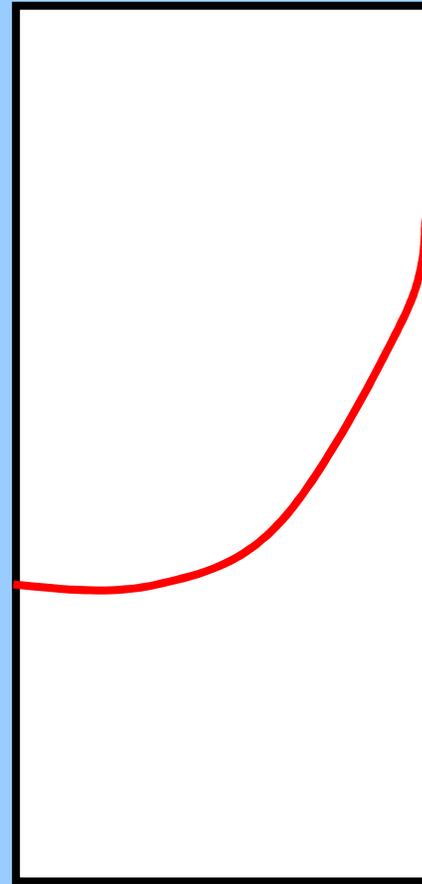
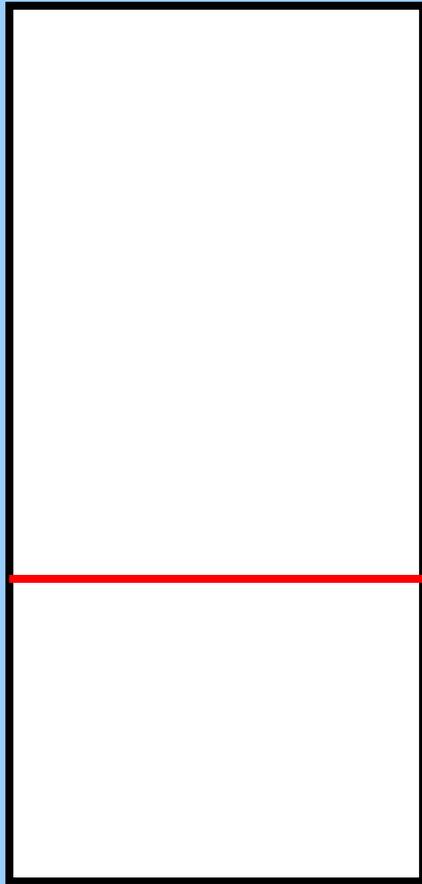


En el plato de Escher, los peces van en línea recta.



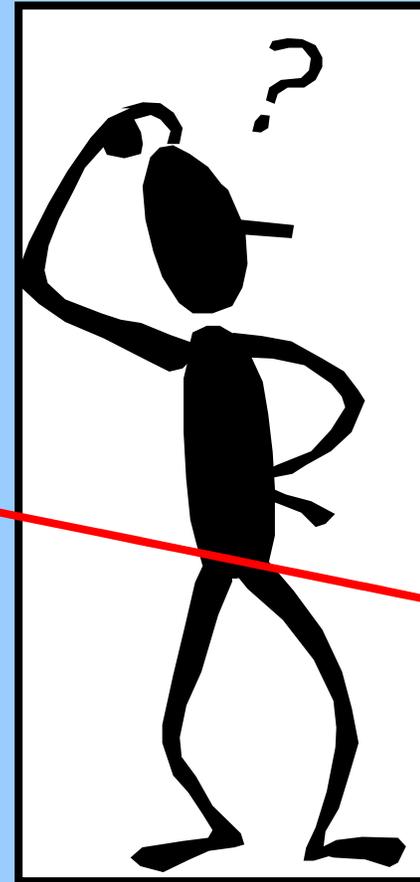
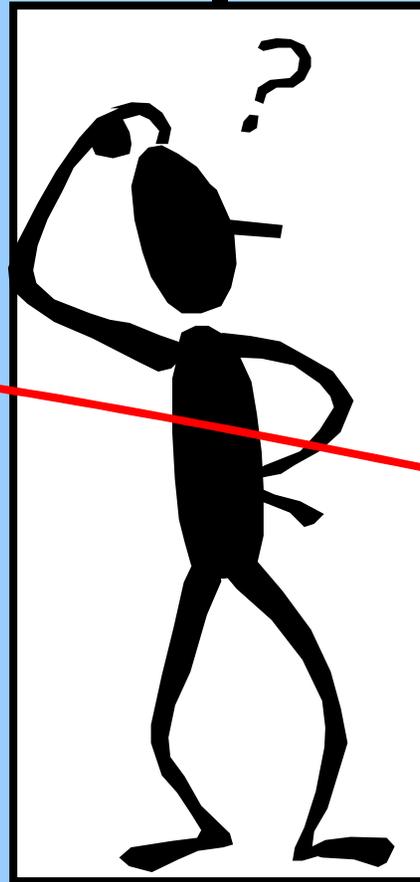
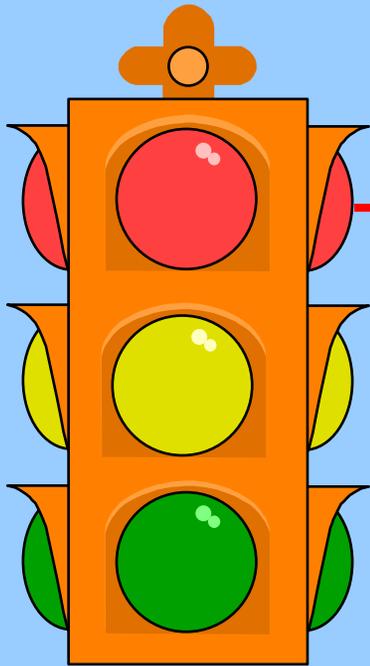
Según Einstein, ambos observadores verifican la misma ley (la luz se propaga en línea recta): *lo que perciben distinto es la geometría del espacio.*

$$a = 0$$

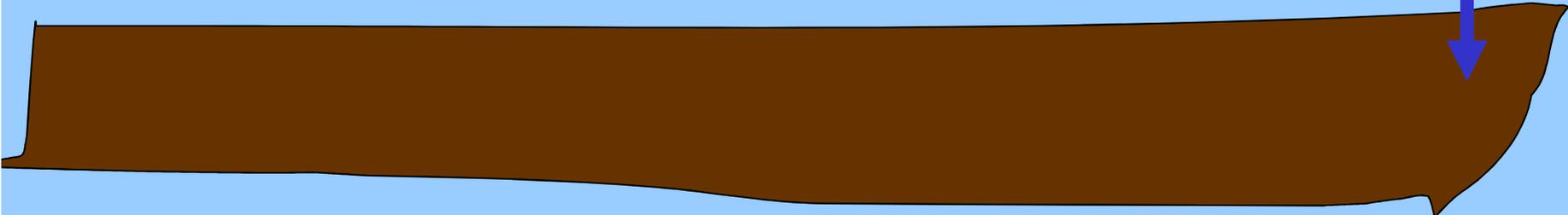


$$a \text{ (clock icon)}$$
$$0$$

¿Qué pasa si encendemos un campo gravitatorio?

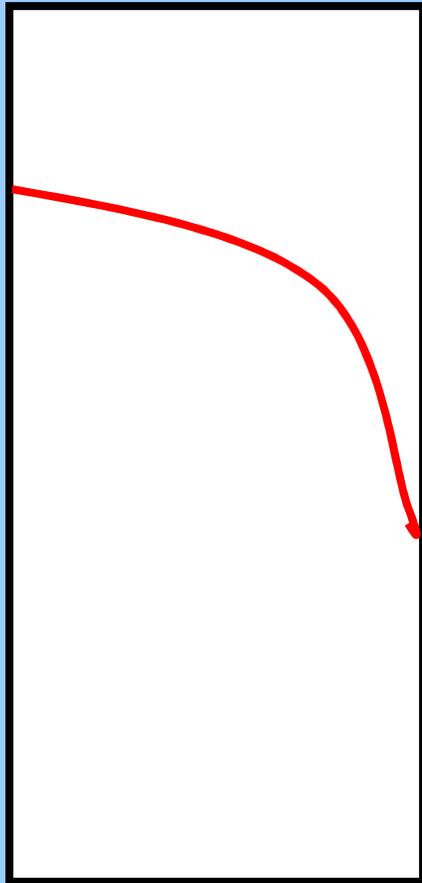


$g$



Ahora el observador estacionario percibe que la trayectoria de la luz se curva en el campo gravitatorio, mientras que el observador en caída libre ve una trayectoria recta. Los efectos de la aceleración y la gravedad se cancelan localmente.

$$a = 0$$



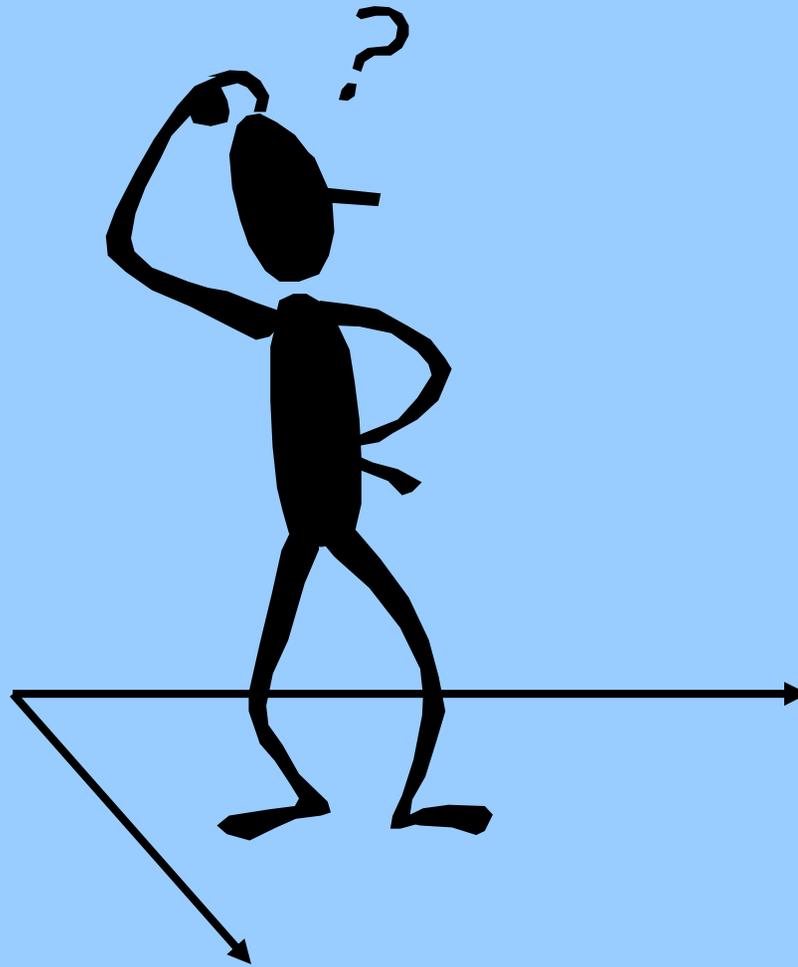
$$a \text{ (clock icon)}$$
$$0$$

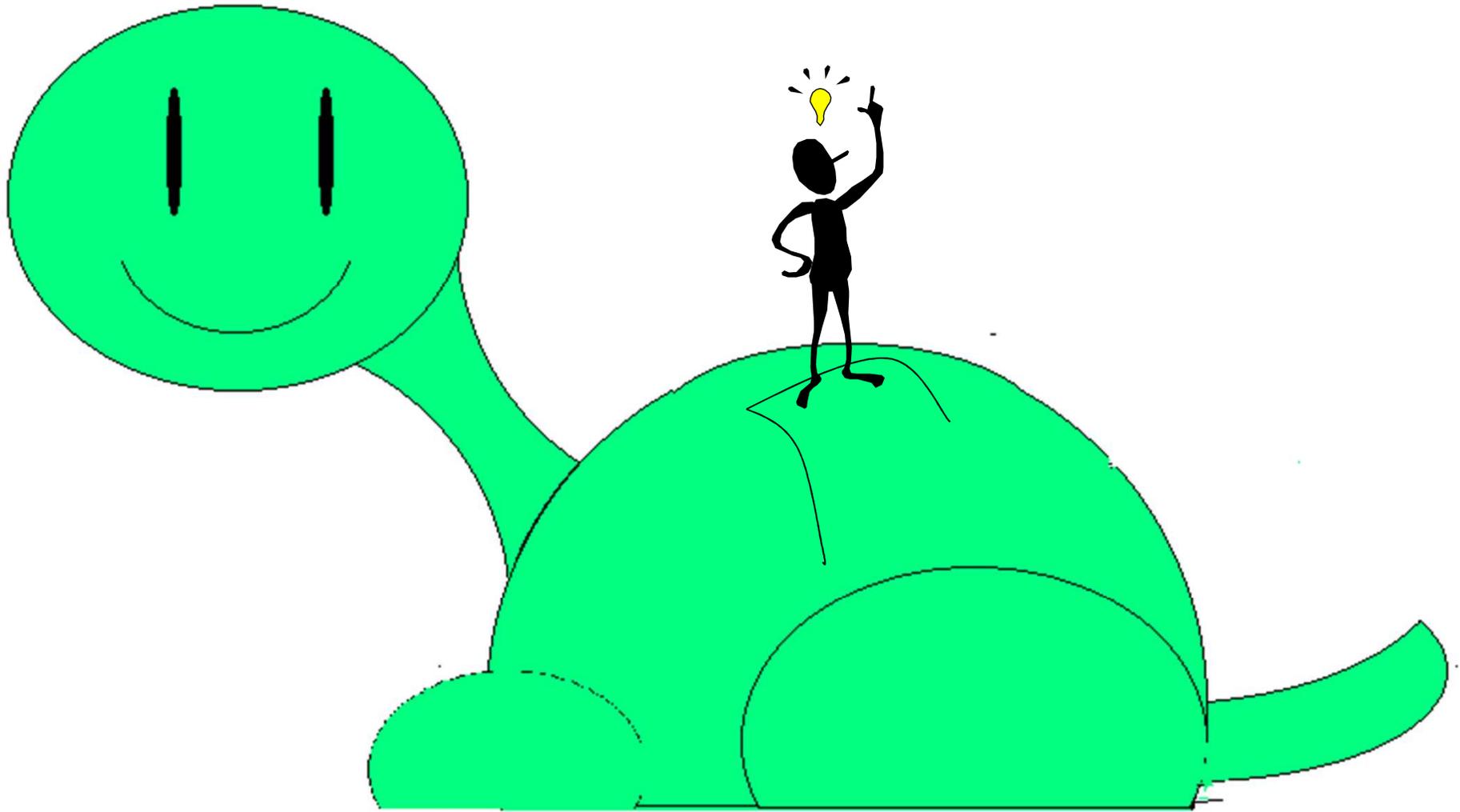


Einstein concluye que no hay tal cosa como una *fuerza gravitatoria*. Hay partículas tratando de moverse a lo largo de las líneas rectas adecuadas a la geometría del espacio.

Por otro lado, lo que determina la forma de la geometría es precisamente la presencia de materia. La relación entre materia y geometría es un diálogo: la geometría le dice a la materia cómo moverse, y la materia le dice a la geometría cómo *curvarse*.

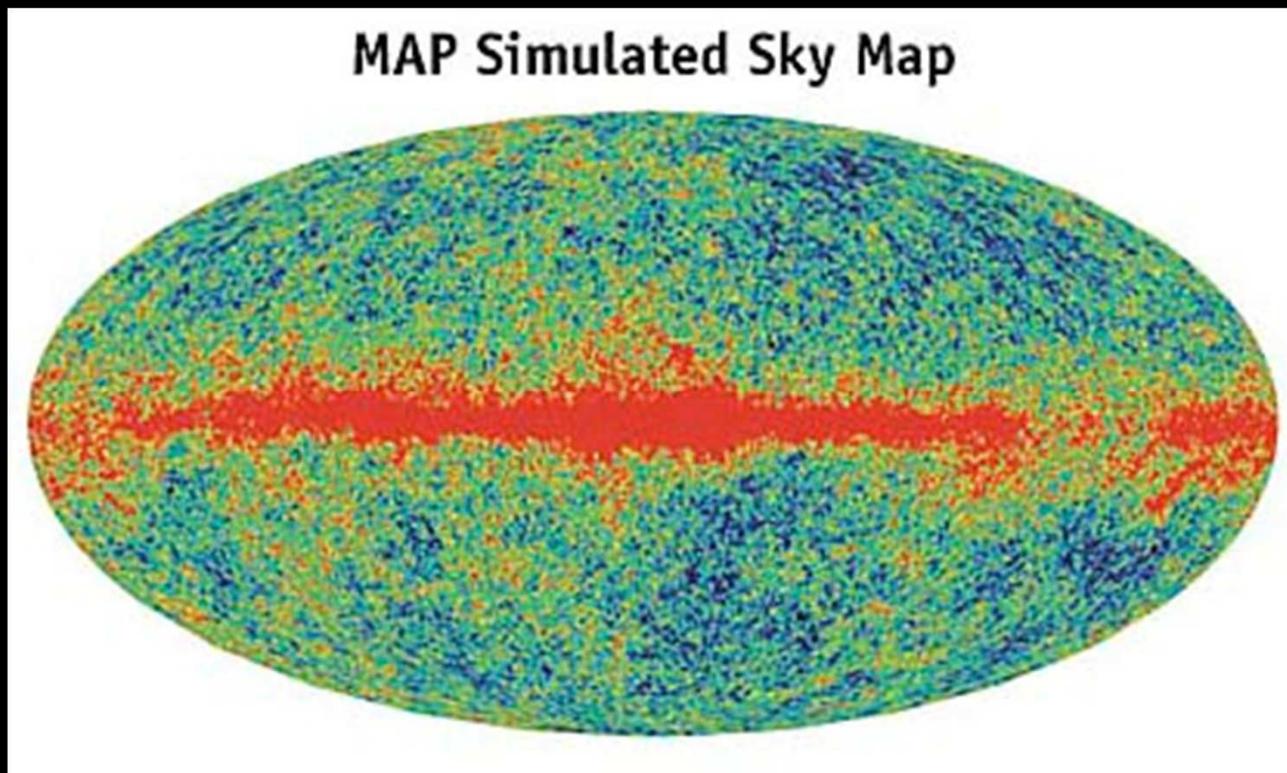
El espacio y el tiempo dejan de ser un puro escenario...





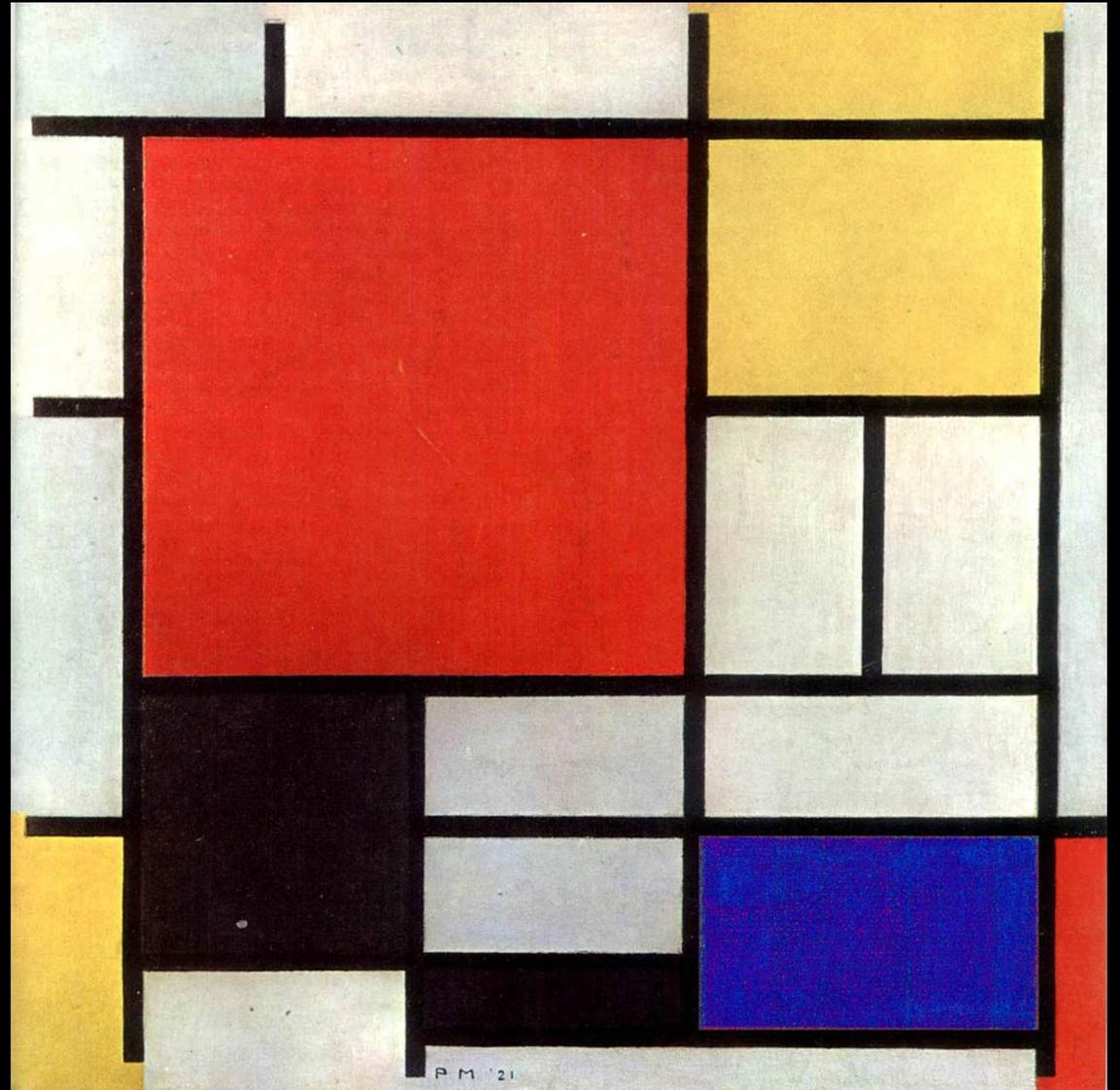
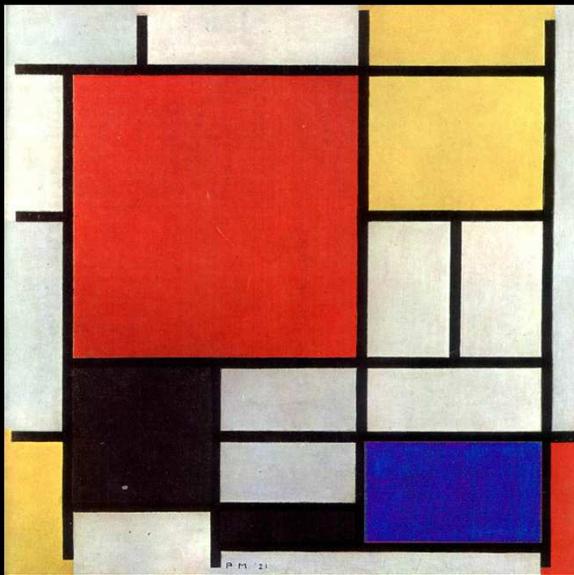
...para convertirse en actores de los fenómenos físicos!

¿Cuál es la geometría de nuestro Universo?



Observaciones realizadas sobre la radiación cósmica de fondo indican que nuestro Universo posee una geometría homogénea, isótropa y *plana*. Pero eso no es todo.

Para describir la geometría del espacio, también hay que dar el *factor de escala*.



El Universo se expande porque el factor de escala que describe su geometría es cada vez más grande: por lo tanto, la distancia entre dos puntos cualesquiera aumenta con el tiempo.

Estudiando la historia del factor de escala podemos aprender de qué está hecho el Universo. Esta conexión de sentido hubiera sido imposible antes de Einstein.

Para determinar experimentalmente la evolución del factor de escala necesitamos observar la luz de objetos cuya distancia sea conocida. El problema es encontrar objetos que sean visibles desde muy lejos.



AAT 49



Supernovae tipo Ia



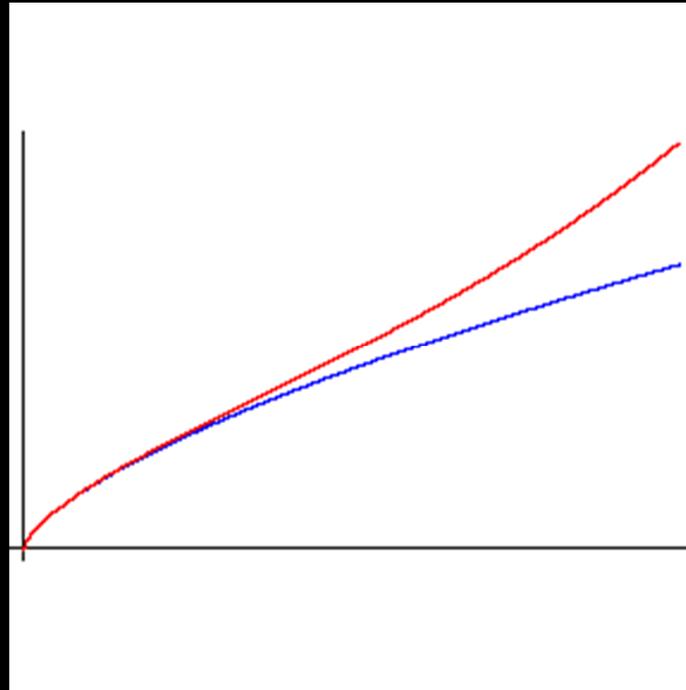






Y ahora el resultado observacional:

*factor de  
escala*



*tiempo*

El factor de escala no sólo aumenta con el tiempo, lo hace de forma acelerada.

Todas las formas de materia conocidas llevan a curvas que se aplanan, de manera que para explicar este resultado tenemos que aceptar que el Universo está lleno de otra cosa. A falta de un nombre mejor, se la llama "energía oscura".

En un Universo lleno de materia ordinaria, la expansión cuesta energía, y por eso tiende a frenarse. En cambio, la "energía oscura" aumenta con la expansión, lo que lleva a un proceso explosivo.



- \* Antes de Einstein, se pensaba que el espacio y el tiempo proveían un marco para los fenómenos físicos, pero no participaban en ellos.
- \* Con Einstein, el espacio y el tiempo adquieren una dinámica propia, y se convierten en un actor más en los fenómenos físicos.
- \* Esto habilita conexiones que eran inconcebibles antes de Einstein, por ejemplo determinar la composición del Universo a partir de su geometría.
- \* El resultado ha sido completamente inesperado, y muestra que todavía queda mucho por hacer para entender nuestro Universo.