

# Evolución del universo

**Ricardo Moreno, Susana Deustua,  
Rosa M. Ros, Beatriz García**

*Colegio Retamar de Madrid, España*

*Space Telescope Science Institute, Estados Unidos*

*Universidad Politécnica de Cataluña, España*

*ITeDA and Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*



# Objetivos

- ❑ Comprender qué es la expansión del universo
- ❑ Comprender que no hay un centro del universo
- ❑ Comprender la Ley de Hubble-Lemaître
- ❑ Analizar cómo se detecta la materia oscura



# Presentación

Este Taller trata sobre:

- El origen del universo: el Big Bang.
- Las Galaxias: no se “mueven” a través del espacio, es el espacio el que se dilata.
- La Constante de Hubble:  $v = H \cdot d$
- No hay un centro del universo, como no hay un país central.
- El fondo cósmico de microondas.
- Las lentes gravitacionales.



# Modelos, predicciones, verificación: Experimento del mantel



**Predicción:** si tiramos rápido de un mantel en una mesa servida, nada de lo que hay sobre la mesa caerá. Si verificamos, la predicción se cumple.

El experimento funciona porque la física es una disciplina que permite predecir lo que va a suceder: si se tira rápido del mantel, no hay tiempo para que las fuerzas de fricción actúen sobre los objetos y por eso no se caen.

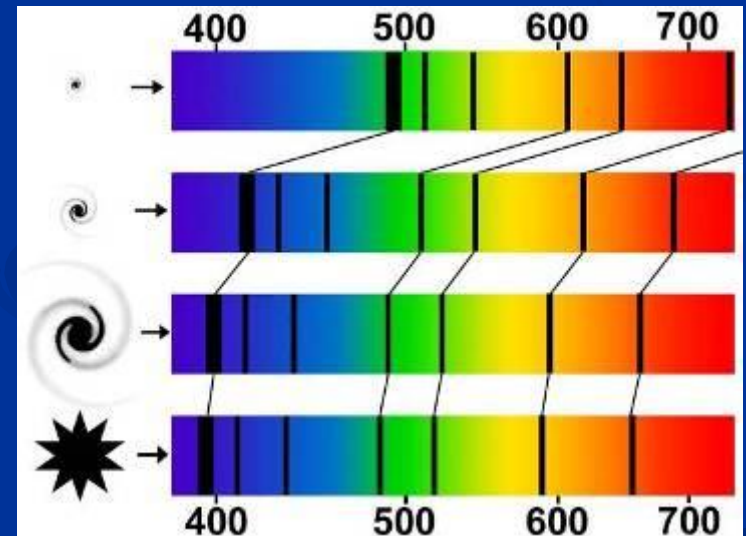
**La física que se ha desarrollado en la Tierra es la que los astrónomos aplican al resto del universo.**



# Corrimiento al rojo 1/3

La absorción de la luz es distinta para cada elemento químico. El espectro de absorción presenta líneas características para cada elemento.

- Al observar la luz de las galaxias, se observa que las líneas de los elementos, se desplazan hacia el rojo, y que cuanto más lejos está la galaxia, tienen mayor corrimiento.
- Se interpreta como consecuencia de su movimiento de alejamiento de nosotros.



# Corrimiento al rojo 2/3

- Las galaxias cercanas tienen movimientos relativos pequeños e irregulares: la *Gran Nube de Magallanes* +13 km/s, la *Pequeña* -30 km/s, *Andrómeda* -60 km/s, M 32 +21 km/s.
- En el cúmulo de *Virgo*, (50 millones de a.l.), todas se alejan de nosotros a velocidades entre 1.000 y 2.000 km/s.
- En el supercúmulo de *Coma Berenice*, (300 millones de a.l.) las velocidades son entre 7.000 y 8.500 km/s.



# Corrimiento al rojo 3/3

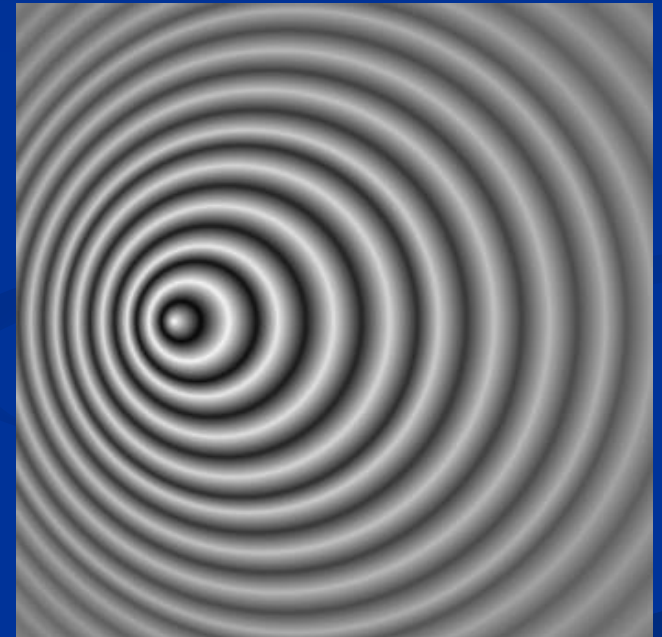
- Pero en la dirección opuesta, M 74 se aleja a 800 km/s y M 77 a 1.130 km/s.
- Si observamos galaxias más lejanas y débiles, la velocidad de recesión es aún mayor: NGC 375 se aleja a 6.200 km/s, NGC 562 a 10.500 y NGC 326 a 14.500 km/s.
- Miremos hacia donde miremos, todas, excepto las muy cercanas, se alejan de nosotros.



# Efecto Doppler

Del mismo modo que en el ejemplo del mantel, podemos aplicar otros principios físicos al estudio del universo.

- Una ambulancia, una moto, un tren que se acerca lo oímos con un sonido más agudo que cuando se aleja.
- Agudo  $\rightarrow$  la onda se acorta
- Grave  $\rightarrow$  la onda se alarga





# Actividad 1: Efecto Doppler



- El Efecto Doppler se puede verificar haciendo girar en un plano horizontal un despertador.
- Cuando se acerca al espectador, la  $\lambda$  se acorta y el sonido es más agudo. Cuando se aleja, la  $\lambda$  se alarga y el sonido es más grave.
- Pasa igual en el sonido de una carrera de motos, una ambulancia, un tren...



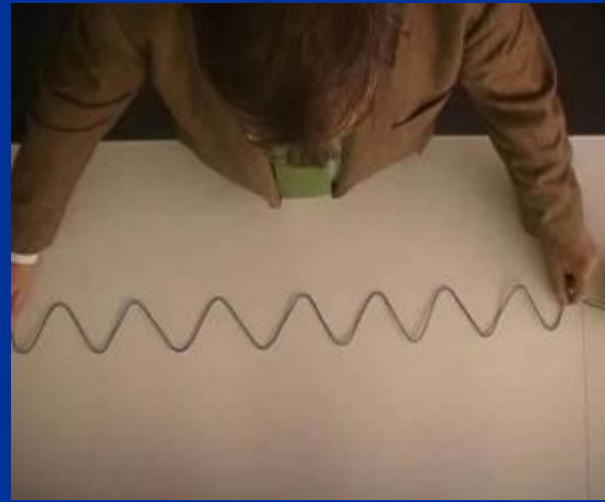
En el experimento, el efecto Doppler se al desplazamiento relativo de fuente-receptor y es resaltado con sonidos.

En el caso de la expansión del Universo, el efecto ocurre con ondas electromagnéticas..



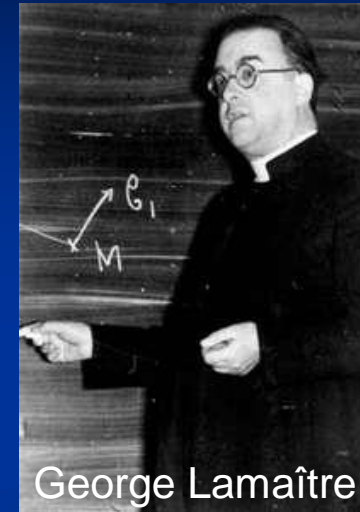
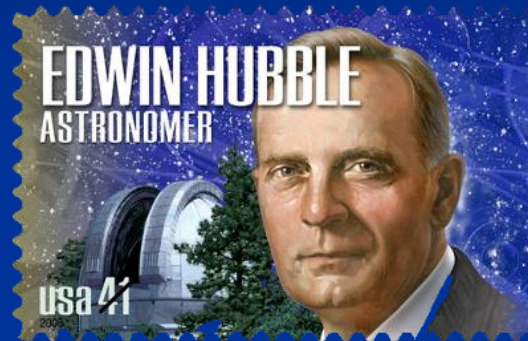
## Actividad 2. Estiramiento de los fotones

- El universo, al expandirse, “estira” los fotones que hay en él.
- Se puede hacer mostrar ese estiramiento con un cable semirrígido, del que se usa en las instalaciones eléctricas empotradas de las casas.
- Cuanto más tiempo dura el viaje del fotón, más estiramiento sufre.



# Ley de Hubble-Lemaître

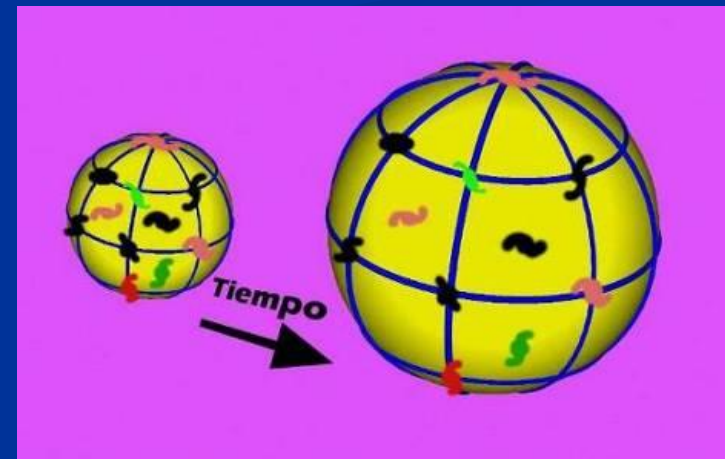
Entre 1920 y 1930, George Lemaître y Edwin Hubble se dieron cuenta que las galaxias más distantes se alejan más de prisa.



Ley de Hubble-Lemaître:

$$v = H_0 \cdot d$$

Las galaxias no se mueven a través del espacio: es el espacio el que las arrastra.



# Actividad 3: El universo en una goma



# Actividad 4: El universo en un globo



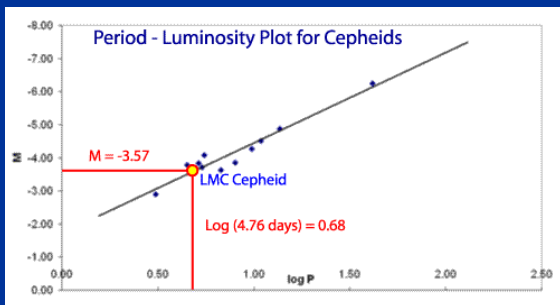
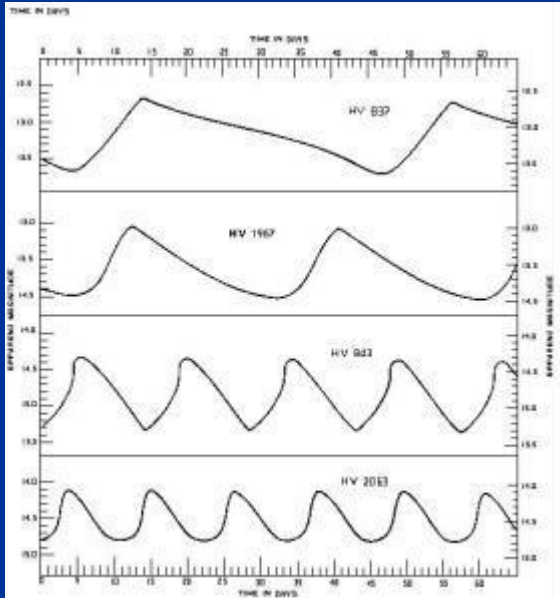
- La distancia entre las “galaxias” aumenta con la expansión.
- Las “galaxias” no se mueven a través del globo.
- Ubicándonos en cualquier “galaxia” sobre el globo vemos que las demás se alejan de ella.





# Expansion del universo

1) La distancia a las galaxias cercanas se deduce de la relación período -luminosidad de variables Cefeidas (descubierta por Henrietta Leavitt, en Harvard, a inicios del XX)



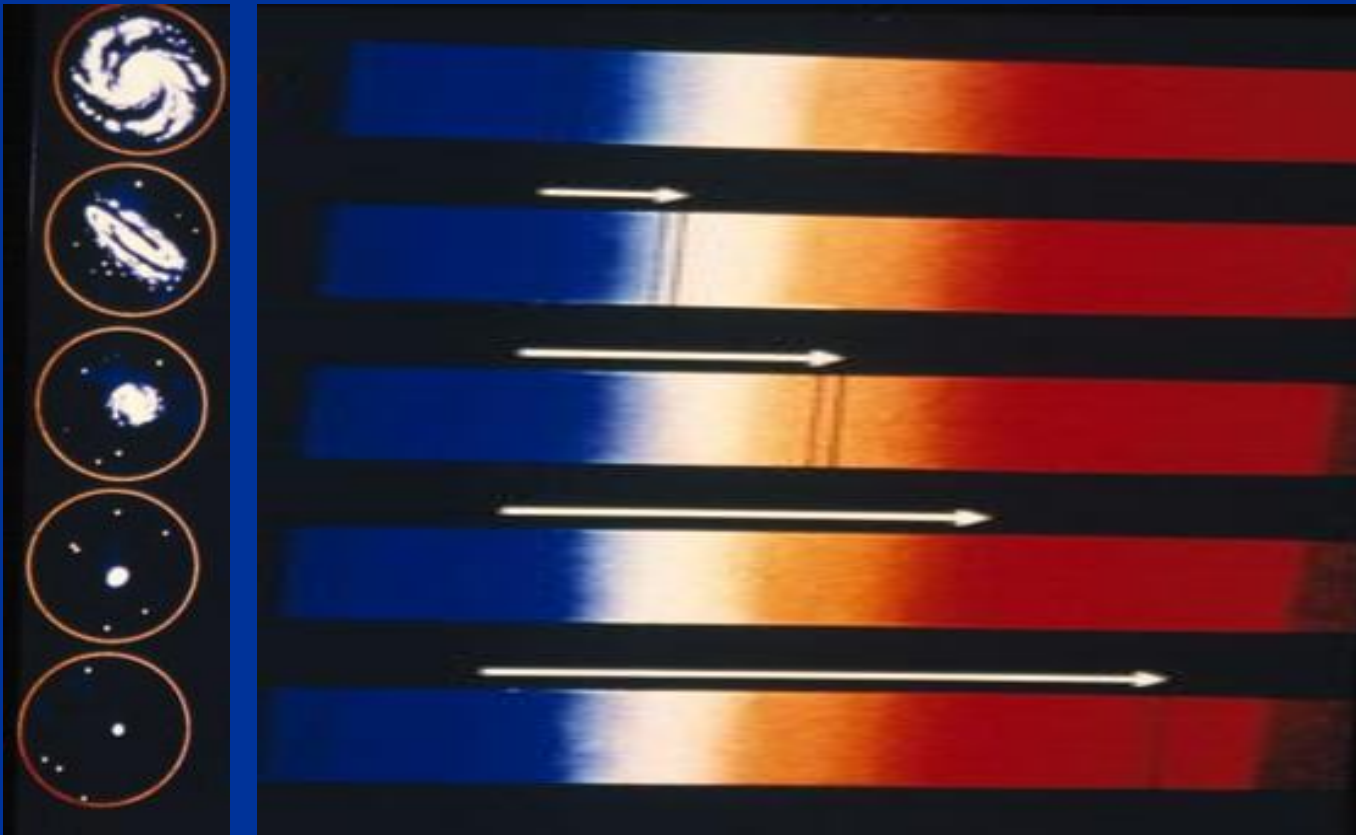
- A partir de la curva de luz se obtiene el período P.
- De la relación período-luminosidad se obtiene la magnitud absoluta M
- Sabiendo m y M se calcula la distancia:  $d=10^{(m-M+5)/5}$  pc
- Para determinar distancias de galaxias más lejanas, se usa un tipo de supernova (tipo Ia), todas de brillo similar.



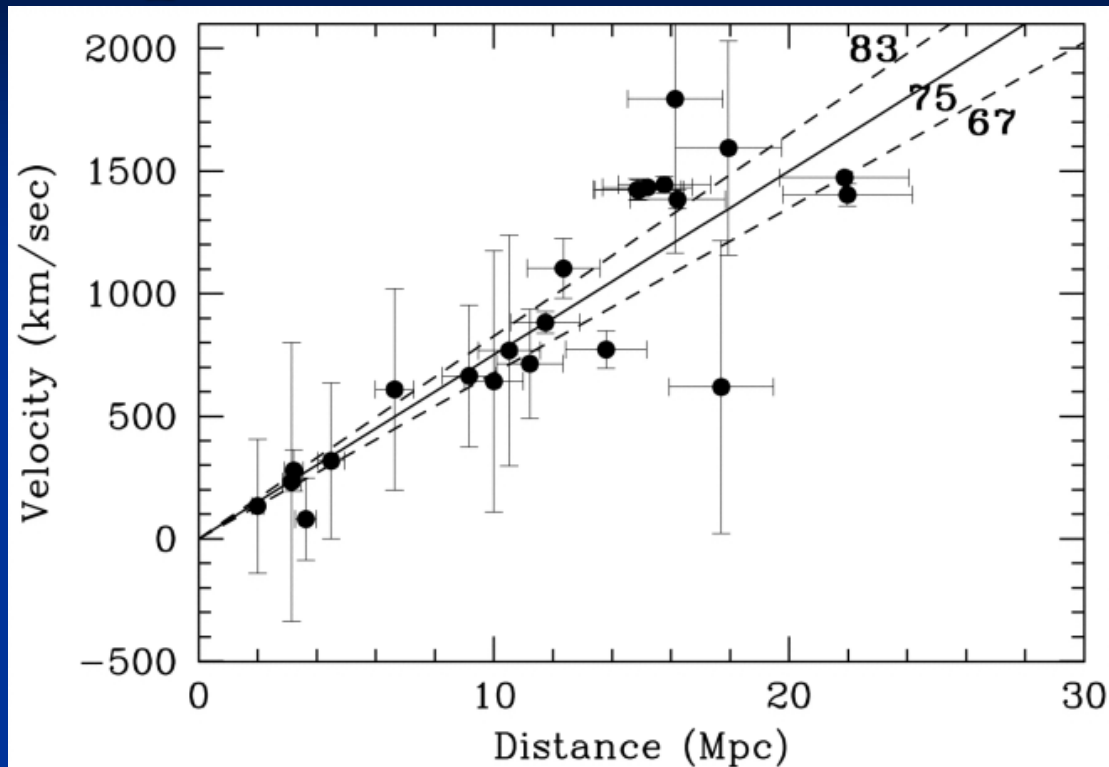
# Expansion del universo

2) La velocidad de recesión se mide en e espectro aplicando la ecuación:

$$v = (\Delta \lambda / \lambda) * c$$



# Expansion del universo

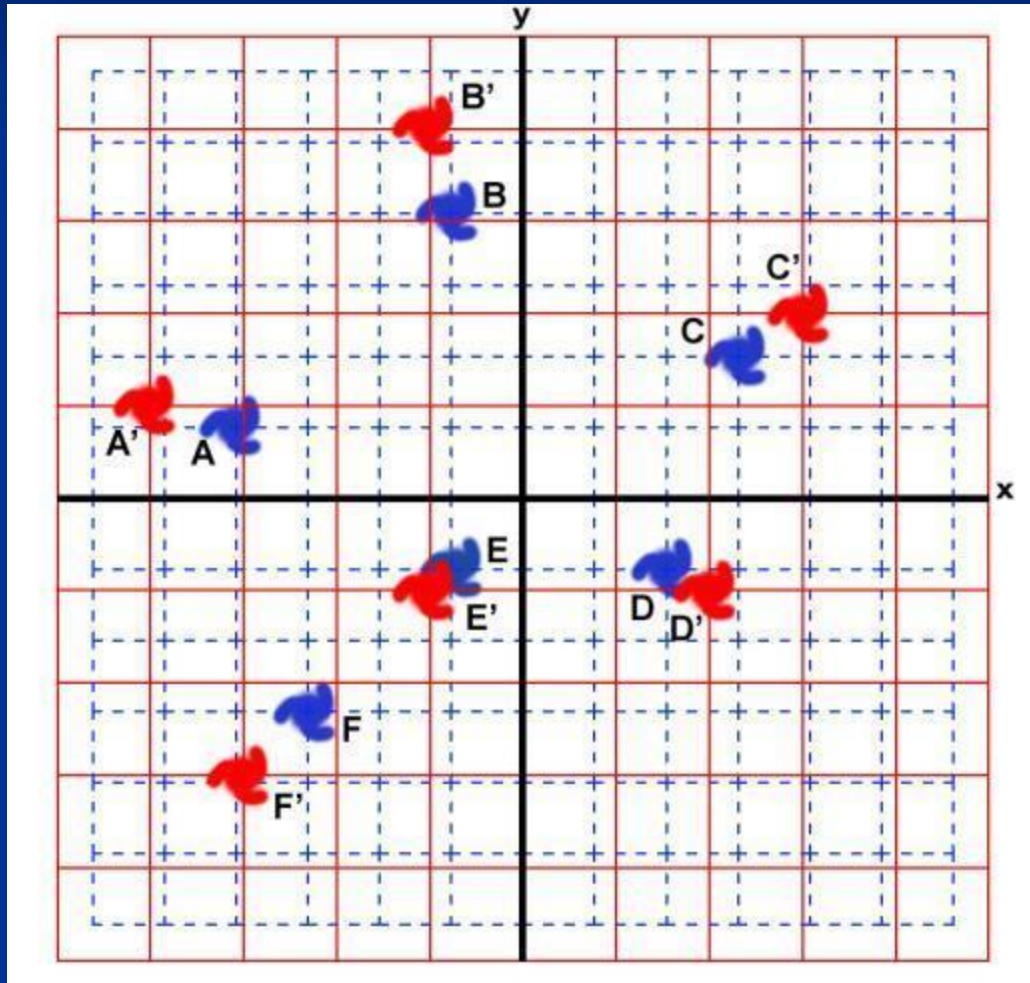


( from Freedman et al, 2001, ApJ, vol 553, p47).

3) La constante de Hubble es la pendiente de la recta:  $v = H_0 \cdot d$ , siendo  $H_0$  la tasa de expansión del universo:  $H_0 = 72 \text{ km/s/Mpc}$



# Actividad 5: Cálculo de la constante de Hubble -Lemaître

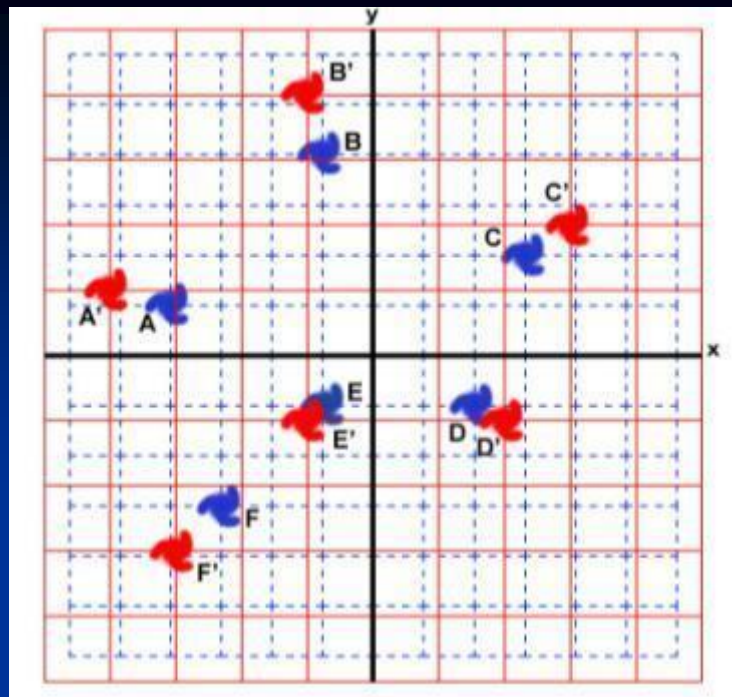


Azul = Universo  
antes de expandirse

Rojo = Universo  
después de  
expandirse

# Actividad 5: Cálculo de la constante de Hubble-Lemaître

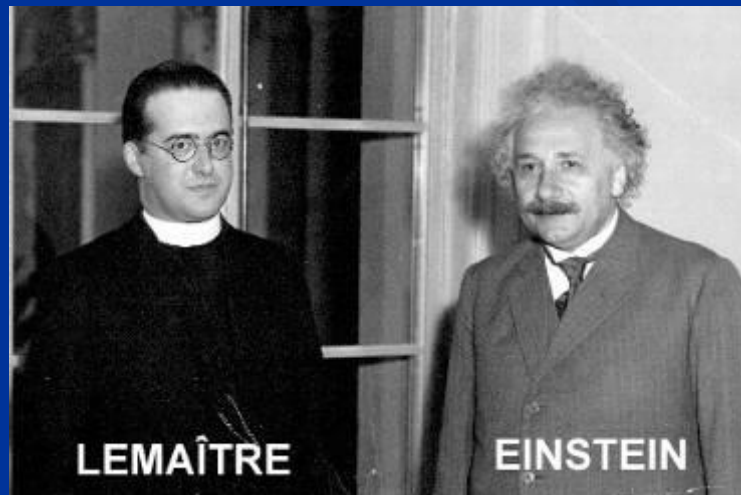
<i>Galaxia</i>	<i>Coordenadas x,y</i>	<i>d=distancia al origen</i>	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
<i>A</i>					
<i>A'</i>					
<i>B</i>					
<i>B'</i>					
<i>C</i>					
<i>C'</i>					
<i>D</i>					
<i>D'</i>					
<i>E</i>					
<i>E'</i>					
<i>F</i>					
<i>F'</i>					



Galaxia	Coordenadas $x,y$	$d$ =distancia al origen	$\Delta d$	$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$	$H = \frac{v}{d}$
A	(-4, 1)				
A'	(-4, 1)				
B	(-1, 4)				
B'	(-1, 4)				
C	(3, 2)				
C'	(3, 2)				
D	(2, -1)				
D'	(2, -1)				
E	(-1, -1)				
E'	(-1, -1)				
F	(-3, -3)				
F'	(-3, -3)				

# Big Bang

- Si vamos hacia atrás en el tiempo, hubo un momento en que todo estaba unido: universo en expansión.
- Georges Lemaître, resolviendo las ecuaciones de la relatividad, llegó a proponer un universo en expansión que empezó como un “huevo cósmico”.



# Big Bang

- Nombre de Big Bang: gran explosión.
- Fred Hoyle se lo puso despectivamente, por sus prejuicios antirreligiosos: le sonaba demasiado a la idea de un Creador.
- S&T hizo un concurso para cambiar el nombre. 12.000 propuestas. Ninguna fue mejor.



# Big Bang

- ¿Antes del Big Bang? No sabemos nada.
- ¿Qué lo produjo? ¿por qué ocurrió? ¿por qué tiene estas leyes físicas?
- La Física trata de cómo funcionan las cosas que existen, no de por qué existen.
- La Física estudia la materia desde que existe (desde el Big Bang), no antes, ni estudia la razón o finalidad del por qué existe. Esas son cuestiones filosóficas, religiosas, no científicas.



# Big Bang

- ¿Fluctuación del vacío cuántico?
- Vacío no es la nada, existe.
- ¿Múltiples universos?: indemostrable por definición.



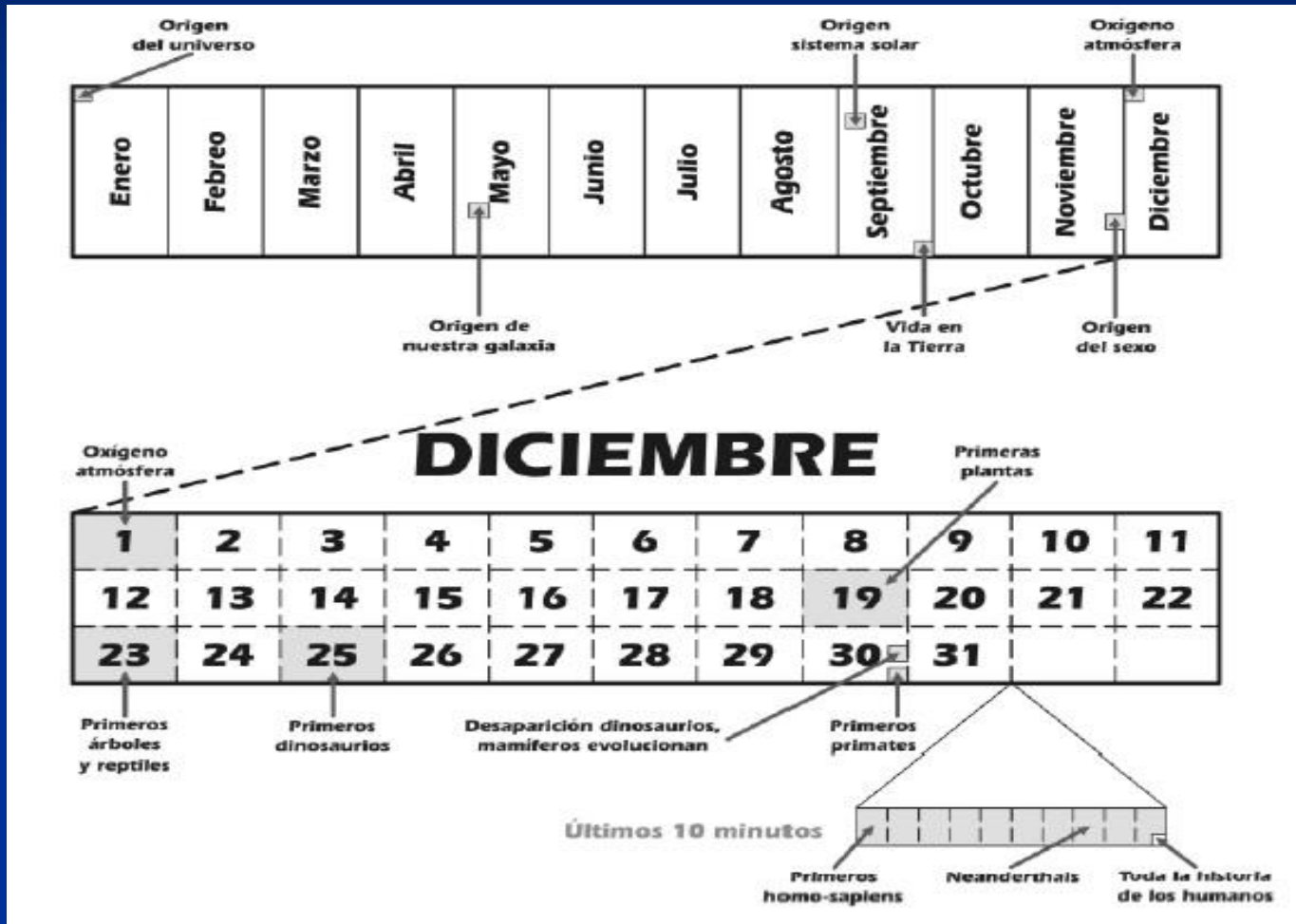


# Evolución del universo





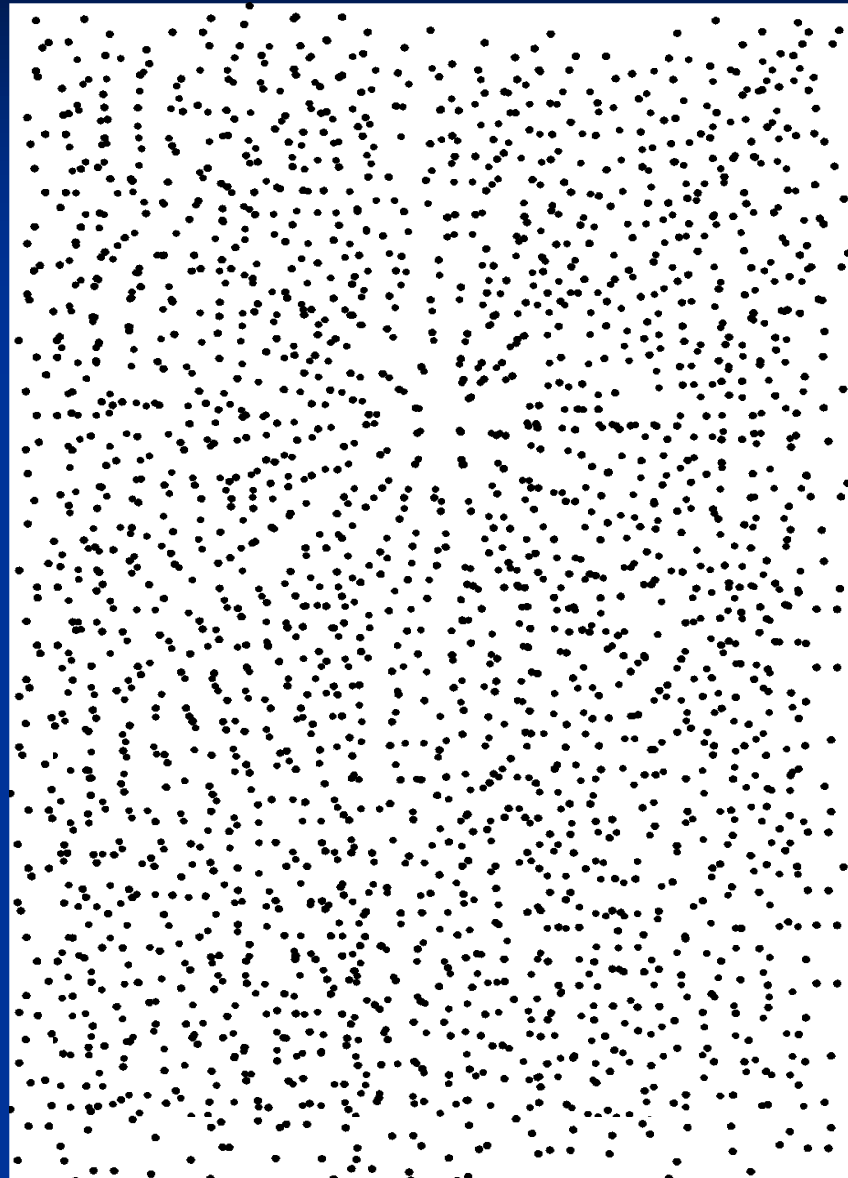
# Evolución del universo en un año



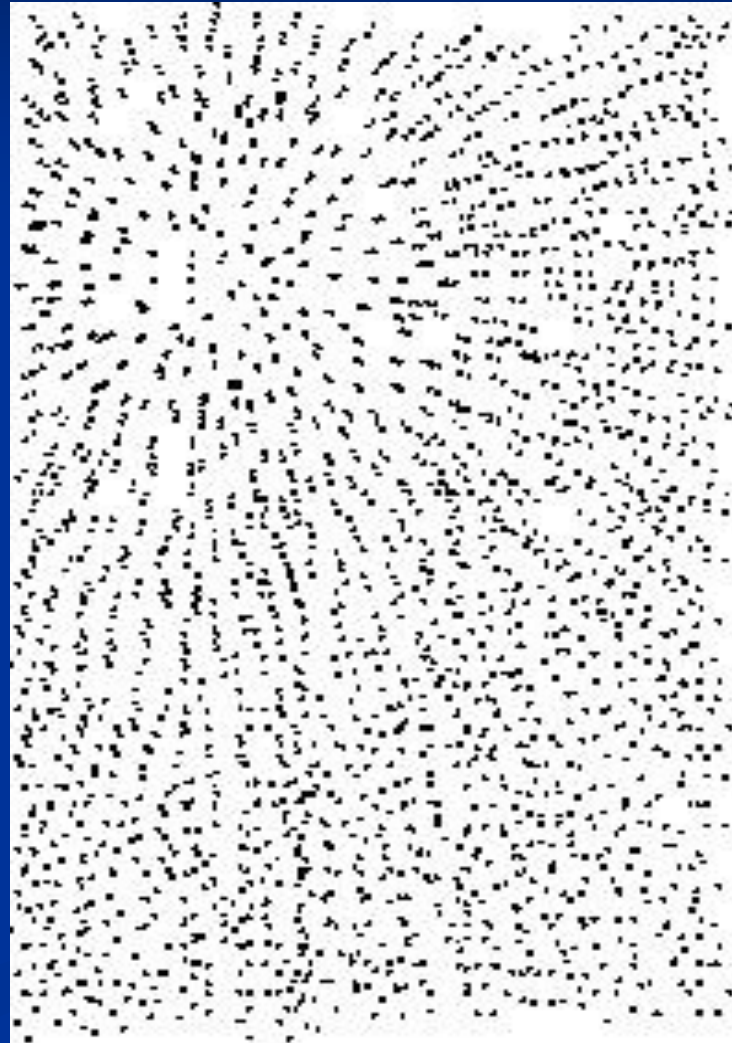
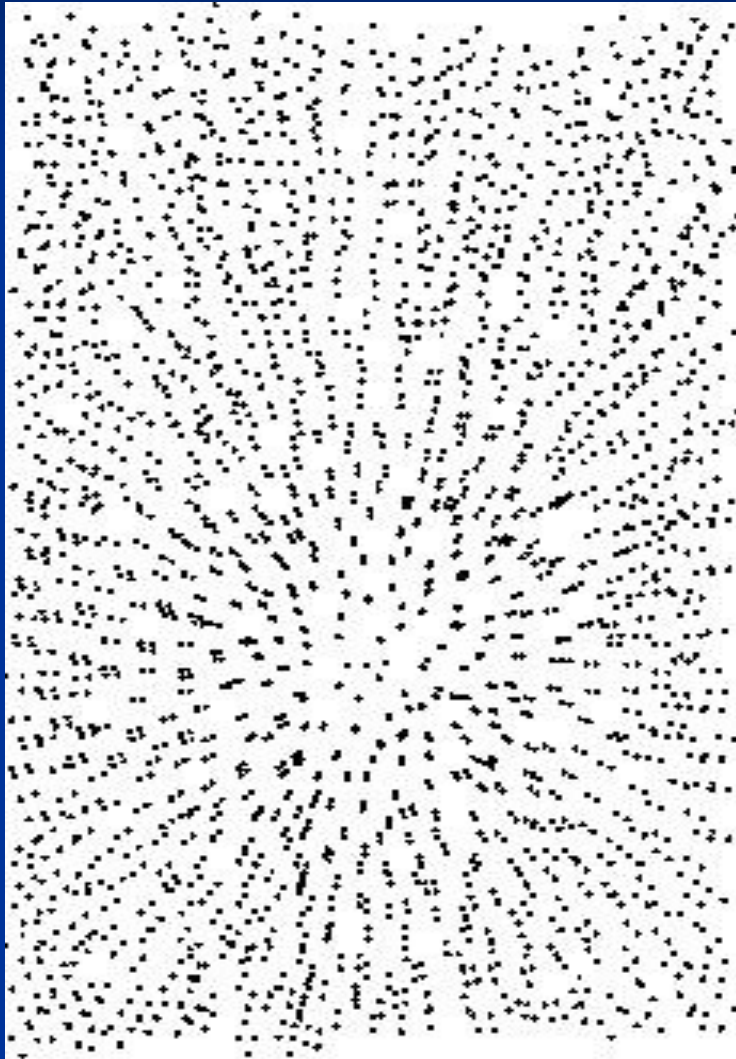
# Actividad 6: No hay un centro de expansión

100%

105%



# Actividad 6: No hay un centro de expansión



# Radiación de fondo de microondas

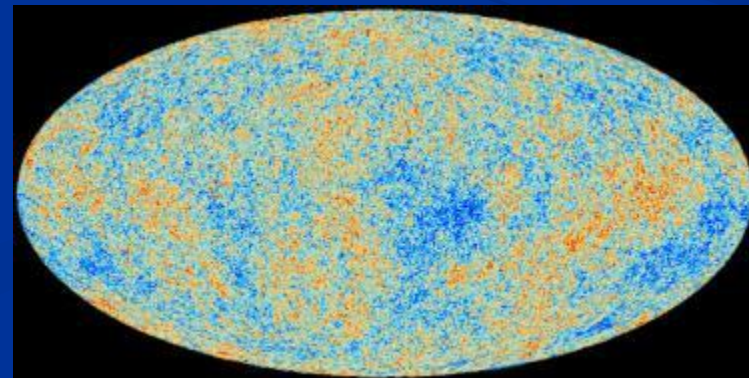
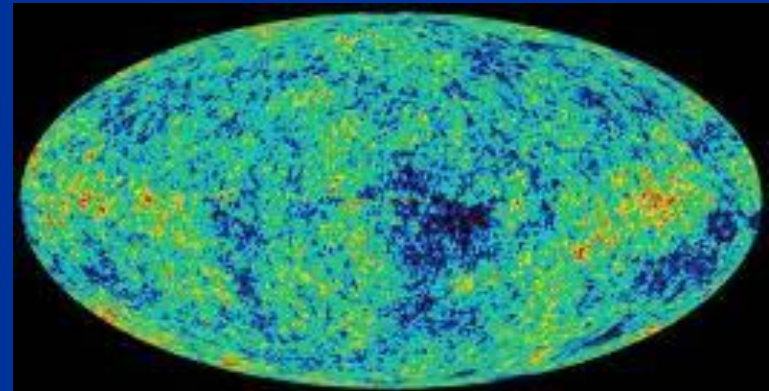
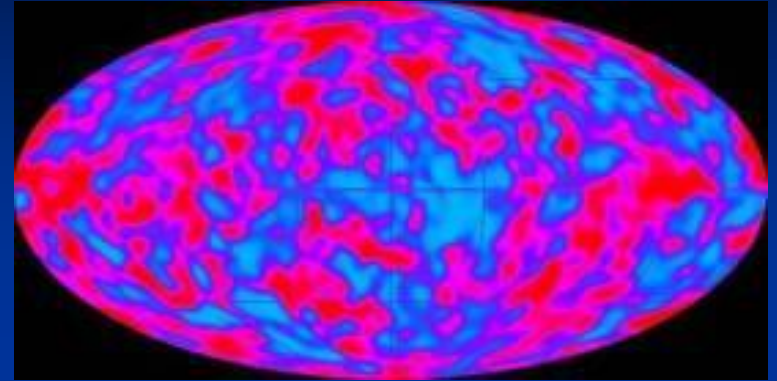
- Radiación que quedó libre a los 380.000 años después del Big Bang.
- Al pasar el tiempo, la expansión del espacio hizo que se fuese alargando su longitud de onda.
- Ahora está en la región de las microondas





# Radiación de fondo de microondas

- El COBE, el WMAP y el PLANCK hicieron un mapa del cielo de esa radiación, cada vez con más detalle, de las pequeñas diferencias entre unas zonas y otras: eran los grumos de donde surgirían las galaxias.



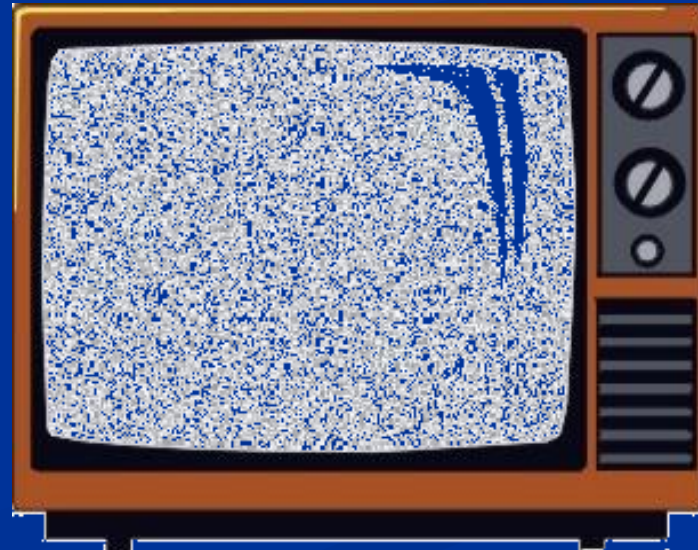
# Actividad 7: Radiación cósmica de fondo

- 300.000 años después del Big Bang, los fotones se separaron de la materia y empezaron a viajar libres por el universo.
- Al expandirse el espacio, fotones ampliaron su longitud de onda, actualmente es  $\lambda=2$  mm, equivalente a  $T = 2,7$  K = -270 °C.



# Actividad 7: Radiación cósmica de fondo

- Podemos detectarla con un TV analógico. En un canal vacío, uno de cada diez puntos procede de esa radiación de fondo.



# Materia oscura: Tabla de giro que compensa la atracción gravitacional terrestre

Los agujeros negros no se ven, pero sabemos que están allí porque su atracción gravitacional obliga a girar a los grupos estelares en torno de ellos.



Aunque la materia oscura es invisible, una manera de detectarla es observando su acción, por ejemplo en las galaxias.





# Una manera de detectar la materia oscura: lentes gravitacionales



La lente gravitacional actúa como una lente óptica, su masa distorsiona el espacio circundante y desvía la luz de un objeto distante.



# Lentes gravitacionales

- La luz sigue siempre el camino más corto.
- Si la superficie es curva, la línea es curva.

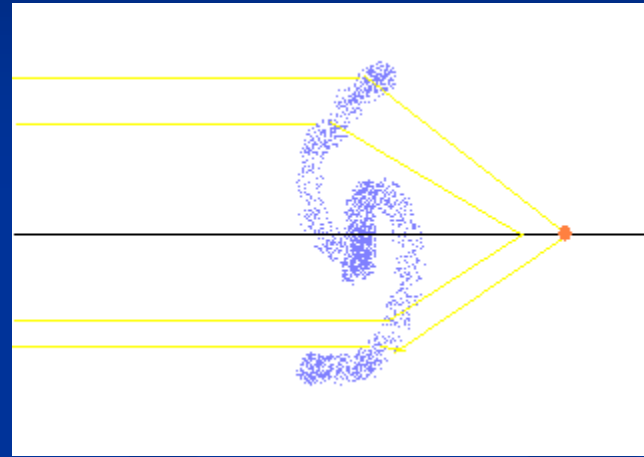
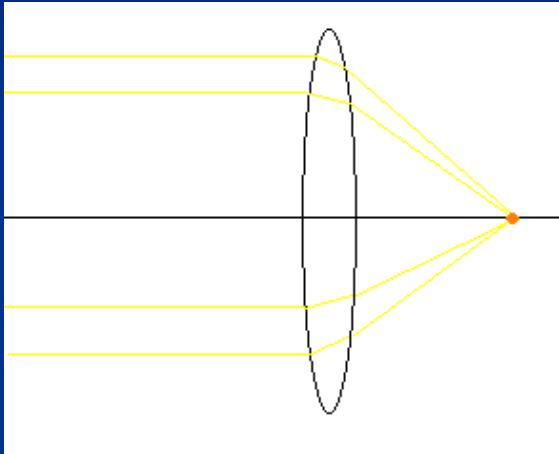


# ¿Por qué se desvía la luz al pasar cerca de una masa?

- Si hay una masa en el espacio, éste se curva y el camino más corto entre dos puntos es una curva.
- Se da una situación similar sobre el globo terrestre.

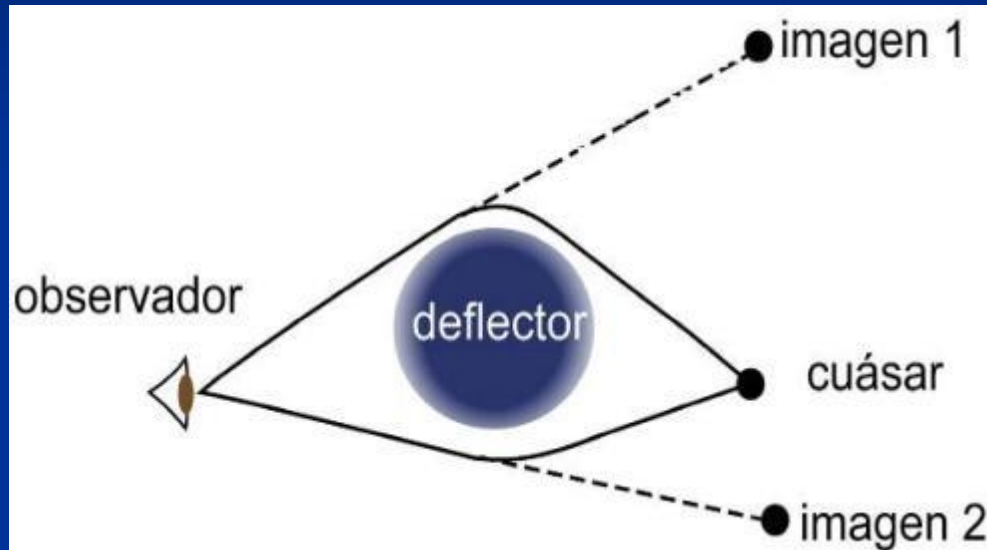


# ¿Cómo trabajan las lentes gravitacionales?



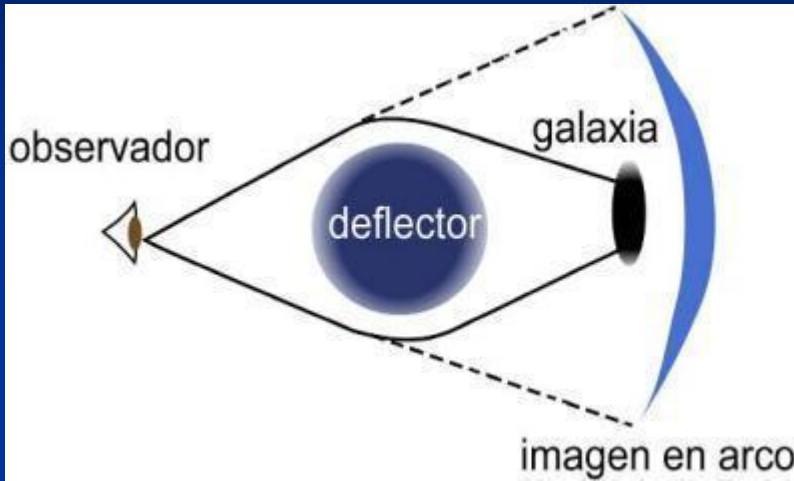
- Una lente óptica convexa enfoca los rayos de luz paralelos en un punto: el foco.
- Con una lente gravitacional, los rayos de luz se enfocan en una línea en lugar de un punto, este hecho introduce diversas distorsiones en las imágenes.

# Cambios de posición y multiplicación



- La deflexión de la luz motiva dos posiciones aparentes de la estrella, galaxia o cuásar.
- Las lentes gravitacionales no son perfectas, las mayores, pueden producir imágenes múltiples.

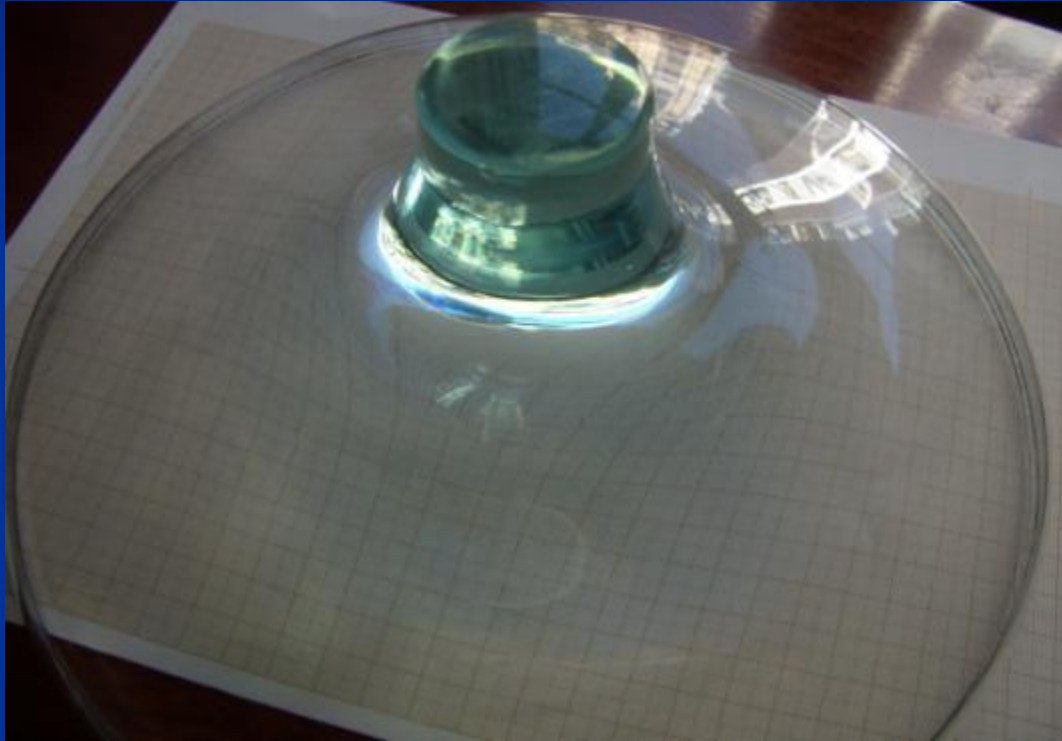
# Deformación



- Si el cuerpo deflecionado es un objeto extenso, las imágenes obtenidas son varios arcos brillantes.
- Si el sistema de lentes es perfectamente simétrico, los rayos convergen y el resultado es un anillo.
- Si el cuerpo deflecionado es una estrella o un cuásar la imagen obtenida es un punto, a veces múltiple.



# Actividad 8: Simulando la deformación con la base de una copa



Si colocamos la base sobre papel milimetrado, también podemos ver la deformación.



## Activity 8: Mirando a traves de una “base de copa”



También se puede cortar el pie de la  
copa y mirar a su través.





+



=



Fragmento de arco

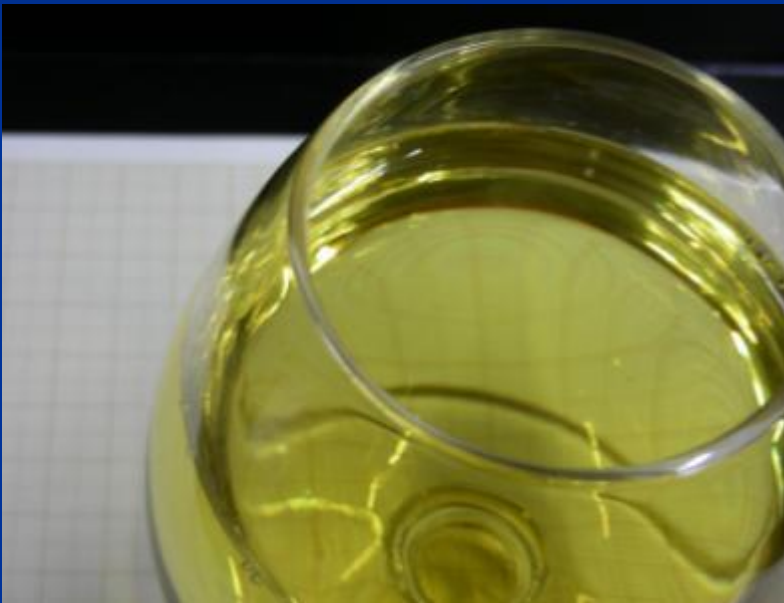


Cruz de Einstein



Anillo de Einstein

# Actividad 9: Simulando la deformación del espacio con una copa de vino



Copa con vino blanco sobre papel milimetrado: observamos a través del vino, podemos ver la deformación.

# Actividad 9: Fijamos una linterna y nos movemos lentamente observando a través de la copa de vino



Este simple modelo muestra que “la materia” puede reproducir distorsiones en las imágenes observadas a “través” de ella.

(El vino puede ser reemplazado por otro líquido traslúcido)



# Actividad 9: Fijamos una linterna y nos movemos lentamente observando a través de la copa de vino



Fragmento de arco



Figura amorfa



Cruz de Einstein

# Un t3pico fuera del taller: ¿Por qu3 es oscura la noche?

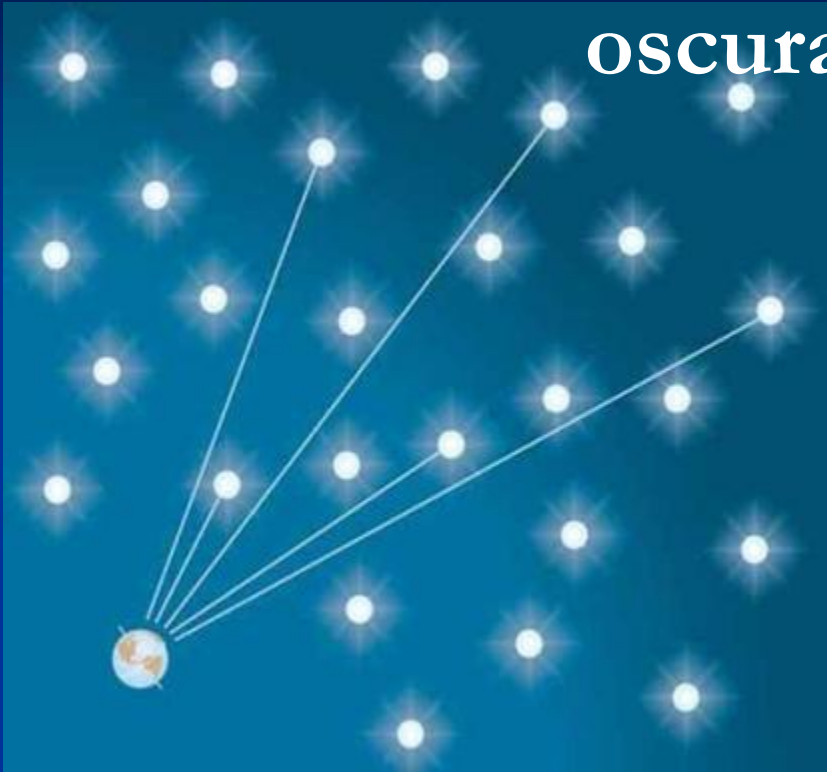
En 1823 Olbers plante3 que si:

- El universo tiene una extensi3n infinita.
- El n3mero de estrellas se distribuye uniformemente a lo largo del universo.
- Todas las estrellas tienen una luminosidad similar en todo el universo, entonces....





# Un tópico fuera del taller: ¿Por qué es oscura la noche?



..un universo infinito tendría un número infinito de objetos y la noche debería ser brillante.



# ¿Por qué es oscura la noche?

Entonces:

- ❑ Cualquier punto del cielo se vería con luz, no negro, ya que al final habría una estrella distante.
- ❑ El número de estrellas en cada “capa de cebolla” del cielo es proporcional a  $r^2$ , y su luz inversamente proporcional a  $r^2$ , luego cada capa aportaría una cantidad de luz constante a la Tierra. Si hay infinitas capas, el cielo se vería luminoso.



# ¿Por qué es oscura la noche?

Pero, hay fallos en este razonamiento:

- Las estrellas se ven más rojizas cuanto más lejanas, por la expansión y menos luminosas, por la distancia.
- Pero sobre todo, el universo no tiene una extensión infinita, ya que no tiene una edad infinita y por lo tanto no hay infinitas capas de estrellas.

Edgar Alan Poe fue quien explicó correctamente el tema en su ensayo “Eureka”, publicado en 1848.



¡Muchas gracias  
por su atención!

