

La expansión del Universo

Ricardo Moreno Luquero, Colegio Retamar (Madrid)
rmluquero@gmail.com

Abstract

Este Taller contiene seis actividades sencillas de realizar, en las que vamos a trabajar los conceptos clave de la expansión del Universo: en la primera construiremos un espectroscopio para observar espectros de gases, en la segunda, tercera y cuarta experimentaremos cualitativamente con la expansión de una goma, de un globo y de una superficie de puntos respectivamente. En la quinta actividad veremos de forma cuantitativamente la expansión de una superficie e incluso calcularemos la constante de Hubble para ese caso. En la sexta detectaremos la radiación de fondo de microondas.

Presentación

La teoría sobre el origen del Universo más aceptada hoy día se conoce con el nombre de Big Bang: hubo una gran explosión original, que inició una expansión del propio espacio. Pero no son las galaxias las que se mueven “a través del espacio”, sino que es el espacio entre ellas el que se expande, arrastrando a las galaxias. Por esa razón no se puede hablar de un centro del Universo, como no se puede hablar de un país que esté en el centro de la superficie terrestre.

La velocidad de recesión de una galaxia y la distancia a la que están de nosotros es proporcional. La constante que las relaciona es la llamada **constante de Hubble**. La ley de Hubble relaciona de forma lineal la distancia de una galaxia con la velocidad con que se aleja.

La primera prueba del Big Bang vino con la observación del corrimiento al rojo en los espectros de las galaxias. Y la prueba que dio el espaldarazo definitivo a la teoría del Big Bang fue la detección de la radiación de fondo de microondas.

Objetivos

- Comprender qué es la expansión del Universo.
- Comprender que no hay un centro del Universo.
- Comprender qué es la Ley de Hubble.

Definiciones

Corrimiento al rojo

Si en el laboratorio miramos con un espectroscopio la luz que nos llega de una gas caliente, por ejemplo Hidrógeno, veremos unas líneas de colores que son típicas de ese gas, a unas longitudes de onda fijas. Si hacemos lo mismo con la luz que nos llega desde una remota galaxia, vemos esas líneas pero desplazadas (fig.1). Es el llamado *corrimiento al rojo*, pues la mayoría de las galaxias el desplazamiento es hacia ese color.

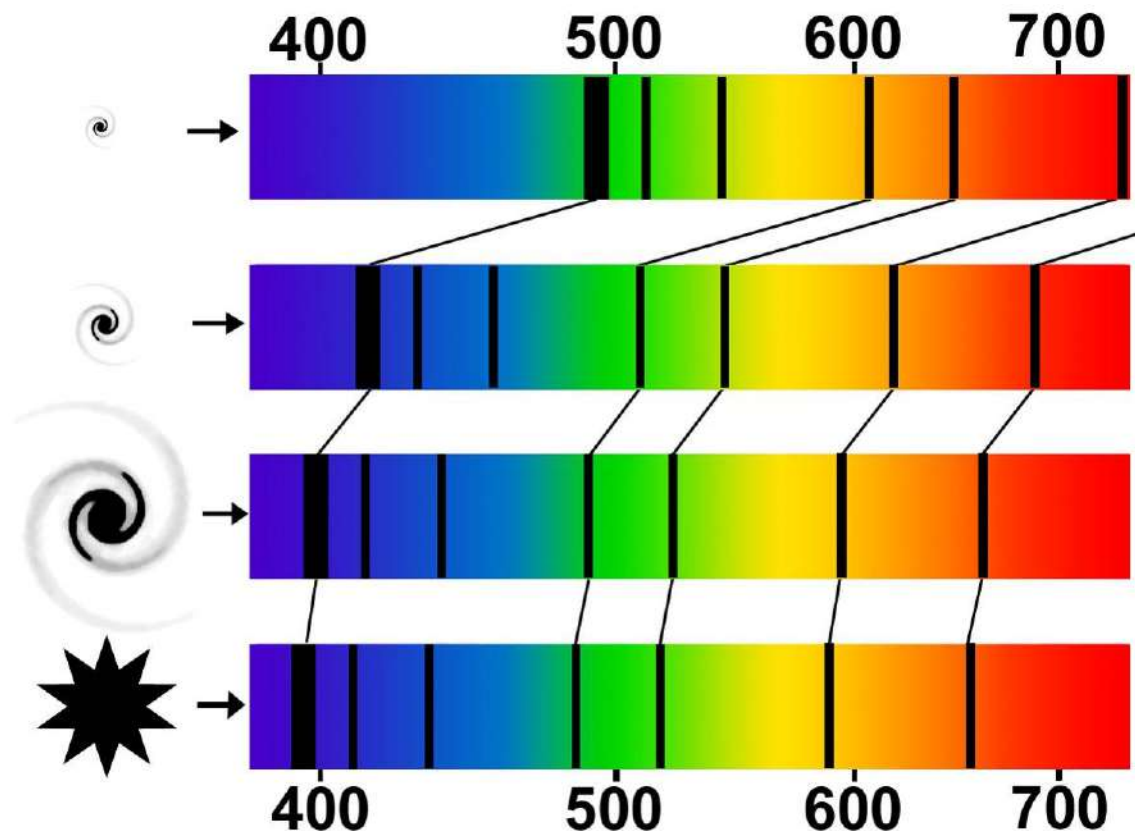


Fig.1: Cuanto más alejada está la galaxia, su espectro se desplaza más hacia el rojo, lo que nos dice que se aleja a mayor velocidad de nosotros.

Ese *corrimiento al rojo* de la luz es debido al alejamiento de la galaxia respecto a nosotros, de forma similar a como un silbido de una locomotora o de una moto cambia su tono según se acerque o se aleje de nosotros. Y cuanto mayor sea ese corrimiento, mayor será la velocidad.

Estudiando el espectro de las galaxias de nuestro grupo local, se obtiene que la *Gran Nube de Magallanes* se aleja de nosotros a 13 km/s, y la *Pequeña* se acerca a 30 km/s. *Andrómeda* se acerca a 60 km/s mientras que M 32 se aleja a 21 km/s. En otras palabras, las galaxias cercanas tienen movimientos relativos pequeños y de forma irregular.

Pero si vamos al cúmulo de *Virgo*, a una distancia media de 50 millones de a.l., veremos que todas se alejan de nosotros a velocidades entre 1.000 y 2.000 km/s. Y en el supercúmulo de *Coma Berenice*, a 300 millones de a.l., las velocidades de alejamiento oscilan entre 7.000 y

8.500 km/s. Pero si miramos en dirección opuesta, obtenemos que M 74 se aleja de nosotros a 800 km/s y M 77 a 1.130 km/s. Y si apuntamos a 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. ¿Estarán enfadadas con la nuestra?

Ley de Hubble

Fue *Edwin Hubble* (fig.2) quien se dio cuenta en 1930 de este hecho, y estableció la ley que lleva su nombre: cuanto más lejana está una galaxia, más de prisa se aleja de nosotros. Esto indica que el Universo se expande en todas direcciones, por lo que todos los cuerpos que están en él se van alejando unos de otros. El que veamos alejarse de nosotros a todas las galaxias no significa que estemos en el centro: lo mismo observaría un habitante extraterrestre desde cualquier lugar del Universo, como pasa en una explosión de unos fuegos artificiales: todas las partículas luminosas se van separando entre sí movidas por la explosión de la pólvora.

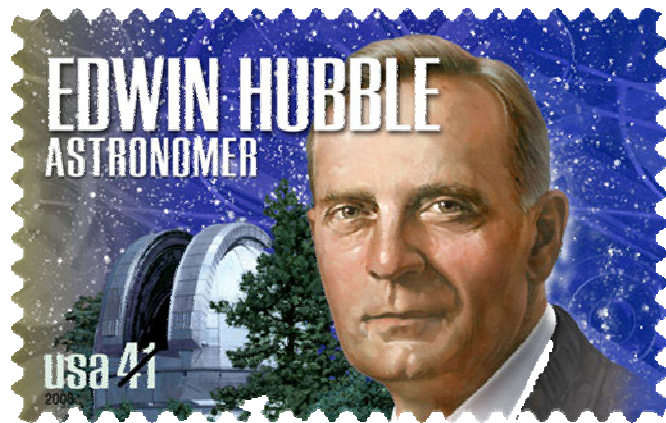


Fig.2: Edwin Hubble

Sin embargo, el modelo real no es el de unas galaxias moviéndose a través del espacio, sino que es el espacio entre ellas el que se expande, arrastrando a las galaxias.

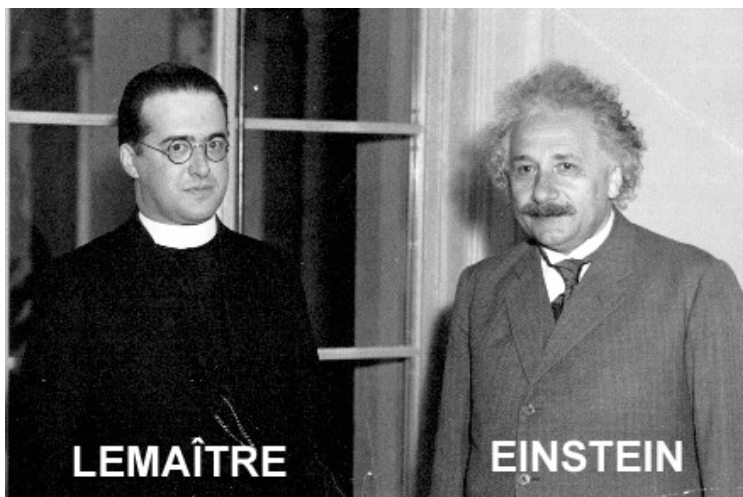


Fig.3: George Lemaître y Albert Einstein

Si el espacio se expande en todas direcciones, significa que dando marcha atrás al tiempo, la materia debió estar concentrada en algún momento inicial en el que todo empezó.

Así fue como George Lemaître (fig.3) estableció el modelo del Universo más aceptado hoy día: hubo una gran explosión original y en ella estamos montados todavía. En esa expansión es el propio espacio el que va dilatándose. Para entender esto imaginemos un globo de goma

con una serie de puntos dibujados en su superficie, que representan las galaxias (fig 4). Según lo vamos hinchando, el espacio de goma elástica entre las motas va aumentando. De igual forma según pasa el tiempo, el espacio va expandiéndose, y la materia contenida en él va separándose entre sí.

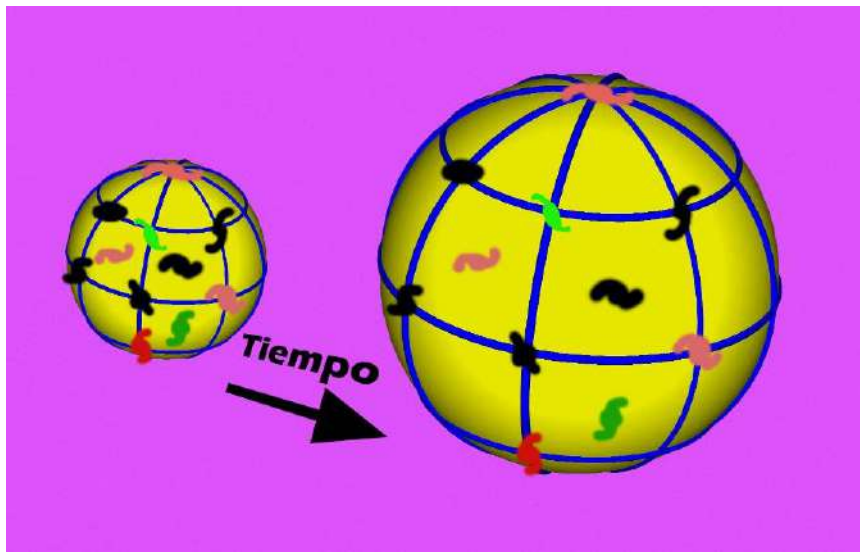


Fig 4: según pasa el tiempo, el espacio va expandiéndose, y la materia contenida en él va separándose entre sí

Por tanto, la velocidad de recesión de una galaxia y la distancia a la que están de nosotros parece que es proporcional. La constante que las relaciona es la llamada **constante de Hubble**. La ley de Hubble relaciona la distancia de una galaxia con la velocidad con que se aleja:

$$v=H \cdot d$$

Para determinar su valor bastaría saber la velocidad y la distancia

de algunas galaxias. La velocidad con que una galaxia se aleja es fácil de medir con precisión por el corrimiento al rojo, pero la distancia a la que está, especialmente en el caso de las más lejanas, es más difícil. Los científicos no se ponen de acuerdo en el valor de la constante de Hubble. Según se use un método u otro salen unos valores, que en general oscilan entre 50 y 100 km/s por *Megaparsec*. El valor más aceptado actualmente es aproximadamente 70, lo que indica una edad del Universo de 13.700 millones de años.

El Big Bang

Actualmente, la teoría del origen del Universo como una gran explosión es la más aceptada en la comunidad científica, aunque no faltan quienes la ponen en duda porque aún hay detalles que quedan sin explicación. En 1.994 la revista americana *Sky & Telescope* hizo un concurso para bautizarla de nuevo. Se recibieron 12.000 propuestas, pero ninguna consiguió desbancar a la que ya tenía: teoría del **Big Bang** o de la **Gran Explosión**. El nombre se lo puso despectivamente el astrónomo Fred Hoyle, a quien, con ciertos prejuicios antirreligiosos, le sonaba demasiado acorde con la idea de un Creador.

De la observación de un Universo en expansión se deduce que, dando marcha atrás al tiempo, hubo un principio en el que se produjo la explosión, dando origen al espacio y al tiempo tal como ahora lo conocemos. Y cabe preguntarnos ¿qué fue lo que la produjo? ¿por qué ocurrió? La ciencia no da respuesta, ya que sólo trabaja con el funcionamiento de lo ya existente. La ciencia sí intenta explicar cómo se produjeron los hechos a partir del Big Bang, pero no por qué existe la materia. Ese tipo de preguntas corresponde responderlas a los filósofos, que tratan de la *meta-física* (más allá de la física).

Algunos intentos de explicar la causa por parte de algunos físicos recurriendo a conceptos como *fluctuaciones cuánticas de la nada* confunden el vacío con la nada: el vacío cuántico existe, pues tiene espacio y cierta energía. El concepto de *nada* no es científico, es metafísico, y significa ausencia de toda existencia, por lo que ni siquiera hay en ella espacio. En la nada, nada puede ni existir ni fluctuar. Otras teorías hablan de multi-universos, pero por definición,

son imposibles de comprobar (si pudiésemos observar de alguna forma otro universo, entraría a formar parte del nuestro, ya que nuestro universo es toda la materia que está a nuestro alcance de alguna manera). Por esa razón, esas teorías tampoco son científicas.

Volvamos a la ciencia. En el instante inicial toda la materia y energía estaban en una singularidad infinitamente pequeña y densa. El Big Bang fue la explosión del espacio al comienzo del tiempo. Y a partir de ese momento la materia empezó a funcionar con unas leyes que estaban escritas en su interior, y que condujeron al Universo a la situación actual.

¿Por qué es oscura la noche?

Este era el título de un interesante artículo que el alemán Heinrich Olbers publicó en 1823. Anteriormente ya se lo había planteado Kepler en 1610 como demostración de que el universo no podía ser infinito. Edmund Halley, un siglo después, encontró en el firmamento algunas zonas especialmente brillantes y propuso que el cielo no brilla uniformemente durante la noche porque -a pesar que el Universo es infinito- las estrellas no se distribuían de manera uniforme. Incluso el escritor Edgar Allan Poe (1809-49), escribió sobre el tema¹. Sin embargo el tema pasó a la historia como la Paradoja de Olbers.



Kepler



Halley



Olbers



Edgar Allan Poe

La respuesta parece trivial, pero no es así después de leer el artículo del alemán. El razonamiento que apuntaba Olbers llevaba a la paradoja de que el cielo nocturno debía ser tan brillante como el más esplendoroso día. Veamos su argumento.

Olbers partía de los siguientes principios:

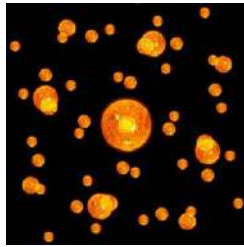
- 1.- El Universo tiene una extensión infinita.
- 2.- El número de estrellas se distribuye más o menos uniformemente a lo largo de todo el Universo.
- 3.- Todas las estrellas tienen una luminosidad media similar a lo largo y ancho del Universo.

Miremos al Universo desde la Tierra. Supongamos una primera capa esférica de estrellas en la bóveda celeste, a una distancia R_1 . El número de estrellas que contiene será N_1 . Supongamos una segunda capa esférica a una distancia mayor R_2 . Cada una de sus estrellas

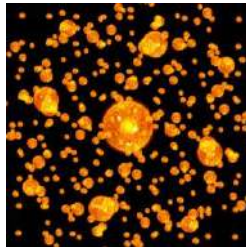
¹ En "Eureka", ensayo científico publicado en febrero de 1848, daba la siguiente explicación a los "vacíos" oscuros observados entre las estrellas: "Podríamos comprender los vacíos que nuestros telescopios encuentran en innumerables direcciones suponiendo que la distancia hasta el fondo invisible es tan inmensa que ningún rayo de luz procedente de allí ha sido todavía capaz de alcanzarnos".

nos ilumina menos por estar más lejos, pero a la vez esa capa es mayor y contiene más estrellas, según el principio nº 2, y se contrarresta la menor iluminación (la intensidad de la luz disminuye proporcionalmente a $1/R^2$, y el área de la capa, y por tanto el número de estrellas, aumenta proporcionalmente a R^2). La conclusión es que la segunda capa ilumina a la Tierra exactamente igual que la primera. Y como según el principio nº 1 hay infinitas capas, la conclusión es que el cielo debería aparecer brillante durante la noche.

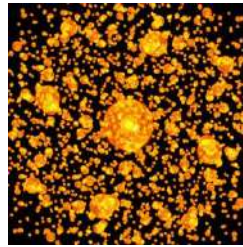
Otra forma de plantearlo: si observamos de noche el cielo, como hay infinitas estrellas, miremos hacia donde miremos, nuestra visual siempre debería acabar topando con la superficie de una estrella, y por lo tanto deberíamos ver allí un punto brillante. Y si eso ocurre en todo el cielo, debería aparecer totalmente brillante.



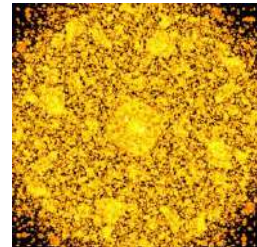
La luz que nos llega desde estrellas cercanas



Pero más lejos también hay estrellas que nos envían su luz



Cuanto más lejos, hay más estrellas



Desde cualquier punto del cielo debería llegar la luz de una estrella

(de wikimedia commons)

Evidentemente esto no es así. Esta paradoja de Olbers desató muchas controversias y no se pudo resolver correctamente hasta comienzos del siglo XX, con la teoría del Big Bang. El razonamiento en sí es correcto, pero fallan los principios de los que parte. En efecto, la luz de las estrellas lejanas, al estar el Universo en expansión, sufren un corrimiento hacia el rojo tanto más intenso cuanto más lejos están. Eso conlleva un debilitamiento en la intensidad de su radiación, por lo que el principio nº 3 de Olbers no es correcto. Pero sobre todo, también sabemos que cuanto más lejos esté una estrella, la luz que nos llega partió antes, es decir, la vemos como era hace tiempo. Las más lejanas que podríamos observar son las que se formaron poco después del Big Bang, pero más allá no podemos observar nada más, por lo que no hay infinitas capas de estrellas, o sea, también es falso el principio nº 1 de Olbers.

En el siglo XX, la solución a la paradoja de Olbers quedó resuelta con la expansión y sobre todo con la edad no infinita del Universo. ¡Afortunadamente, la noche podía seguir siendo oscura!

Radiación de fondo de microondas

En el comienzo, a temperaturas elevadísimas, las cuatro fuerzas que ahora conocemos estaban unificadas. La gravedad, la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la débil —estas dos últimas sólo actúan en el interior de los átomos, y por tanto son menos *famosas* entre la gente— estaban unidas. Enseguida se separaron y se formaron los fotones, los electrones, los protones y las demás partículas elementales. A la vez que se expandía, el Universo se iba enfriando. Al cabo de 300.000 años la



Fig. 5: Al pasar el tiempo, el espacio se expande, y los fotones que viajaban por él en el inicio, han dilatado mucho su longitud de onda. Es la **radiación de fondo** de microondas.

temperatura bajó lo suficiente para poderse formar los átomos, principalmente hidrógeno y helio. La densidad bajó y los fotones quedaron libres para poder moverse en todas direcciones: se hizo la luz. Los científicos dicen que el Universo se volvió transparente. Esos fotones siguen viajando por el espacio actualmente, aunque éste se ha enfriado y dilatado tanto que la longitud de onda ha aumentado muchísimo (fig. 5) y se han convertido en fotones mucho más fríos, que transmiten una energía de sólo 2'7 grados Kelvin. Es la llamada **radiación de fondo** de microondas (Cosmic Microwave Background o CMB).

Esta radiación de fondo fue detectada por primera vez en 1964 por *Penzias y Wilson*, en Estados Unidos. Estaban intentando eliminar todos los ruidos parásitos en su radiotelescopio cuando captaron una emisión de 7'35 cm de longitud de onda que siempre estaba presente, independientemente de la zona hacia la que apuntara la gigantesca antena. Se revisó toda la instalación, e incluso se pensó en que unos pájaros que anidaron en la antena podían ser los causantes, pero no se pudo eliminar ese *ruido* de fondo. Se llegó a la conclusión de que procedía de un cuerpo emisor que tenía una temperatura de 2'7° Kelvin —la temperatura actual del Universo— y que no se encontraba en ningún lugar determinado, sino en todos: era el Universo mismo el que emitía aquella radiación de fondo, como una reliquia del Big Bang. Cualquiera puede detectarla sintonizando una TV analógica en un canal que no emita nada: aproximadamente uno de cada diez puntos que se ven en la pantalla procede de esa radiación de fondo. Son emisiones en el campo de las microondas, similares a las de los hornos caseros, pero con muy poca energía: sólo podría calentar los alimentos a 2'7° K.

Aunque parecía una radiación extraordinariamente uniforme, *G. Smoot* y otros colegas suyos lograron apreciar ligerísimas variaciones en las mediciones que hizo el satélite COBE (fig. 6a), del orden de millonésimas de grado. De forma simultánea se detectaron esas

fluctuaciones desde tierra en el llamado experimento de Tenerife, en el Instituto de Astrofísica de Canarias. Y en el año 2001 la NASA lanzó el telescopio WMAP, para estudiar esa radiación de fondo con bastante más resolución (fig. 6b).

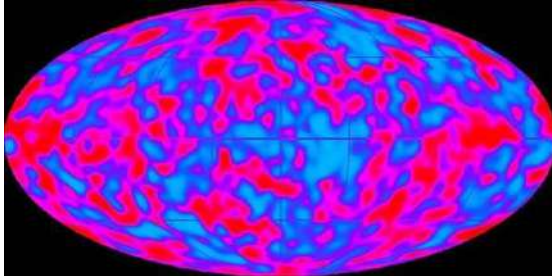


Fig. 6a: Imagen del COBE

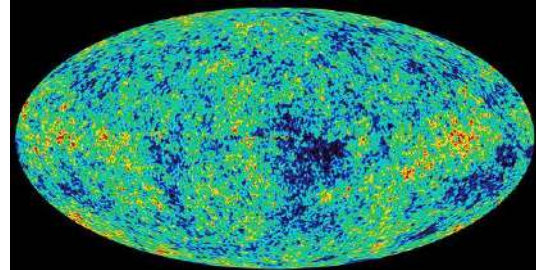


Fig. 6b: Imagen del WMAP

Aunque pequeñas, esas ligeras variaciones son las huellas de los grumos de materia a partir de los cuales se empezaron a formar las galaxias. Aún no sabemos qué fue lo que originó esas fluctuaciones de densidad. Lo que sí podemos afirmar es que esas *arrugas* en la materia se produjeron, y empezaron a producirse las condensaciones de las proto-galaxias, cuando habían pasado sólo unos cientos de millones de años desde el Big Bang. Casi a la vez se debieron formar las primeras estrellas en esas galaxias primitivas.

Desarrollo del Universo

Para hacernos una idea de la historia posterior supongamos que todo el tiempo desde el Big Bang hasta ahora lo comprimimos en un año, del 1 de enero al 31 de diciembre (fig 7). Hasta abril no se formó nuestra *Vía Láctea*. En agosto se formó el Sol, y la Tierra tuvo forma esférica a finales de ese mes. Pero no es hasta octubre cuando el oxígeno se hace presente en nuestra atmósfera. Aunque unas células vivas muy sencillas aparecen enseguida sobre la Tierra, las células con núcleo como las actuales aparecen el 2 de diciembre mes y el día 12 los primeros organismos pluricelulares. El 19 aparecen los primeros peces, y el 21-22 las plantas, insectos y anfibios. El 25 aparecen los dinosaurios, que duran hasta el 28. En el día 30 los mamíferos viven ya sobre la Tierra, pero no es hasta el 31, a las 11 de la noche, cuando aparece el hombre. A las 11 h. y 57 minutos es cuando vive el hombre de Neanderthal y en el último minuto cuando se pintan las cuevas de Altamira. Cinco segundos antes de las doce de la noche es cuando nace Jesucristo. El último siglo serían las últimas dos décimas de segundo.

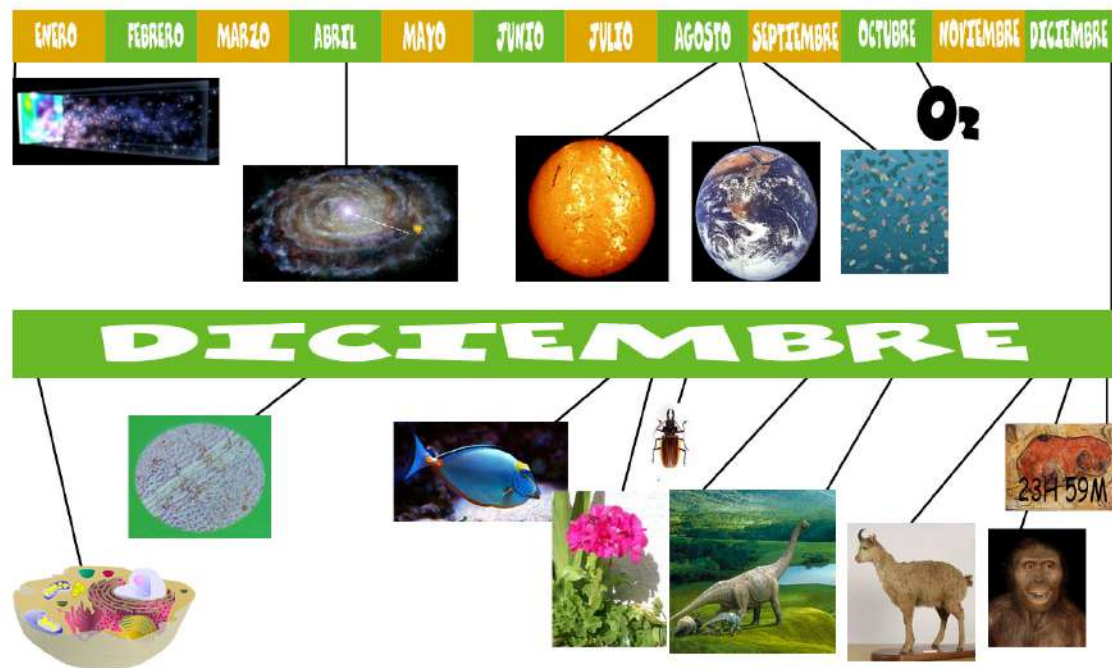


Fig 7: La historia del Universo en un año

Actividad 1. Construcción de un espectroscopio.

Un espectroscopio es un aparato que separa los colores de la luz. Se compone de una rendija fina, un prisma o una red de difracción y un visor.

La luz blanca de una bombilla con filamento está compuesta de todos los colores. En las bombillas que tienen gas (tubos fluorescentes, bombillas de bajo consumo y de farolas) la luz sólo contiene unos colores determinados. Si separamos los colores de la luz, obtenemos su espectro, que en el caso de los gases está formado por un conjunto de líneas de colores. Cada tipo de gas tiene un espectro propio, que es como la huella digital de los compuestos que hay en el gas. Si observamos con un espectroscopio la luz de una galaxia lejana, las rayas propias del hidrógeno y el resto de gases se ven desplazadas hacia el rojo, tanto más cuanto más lejos esté la galaxia.

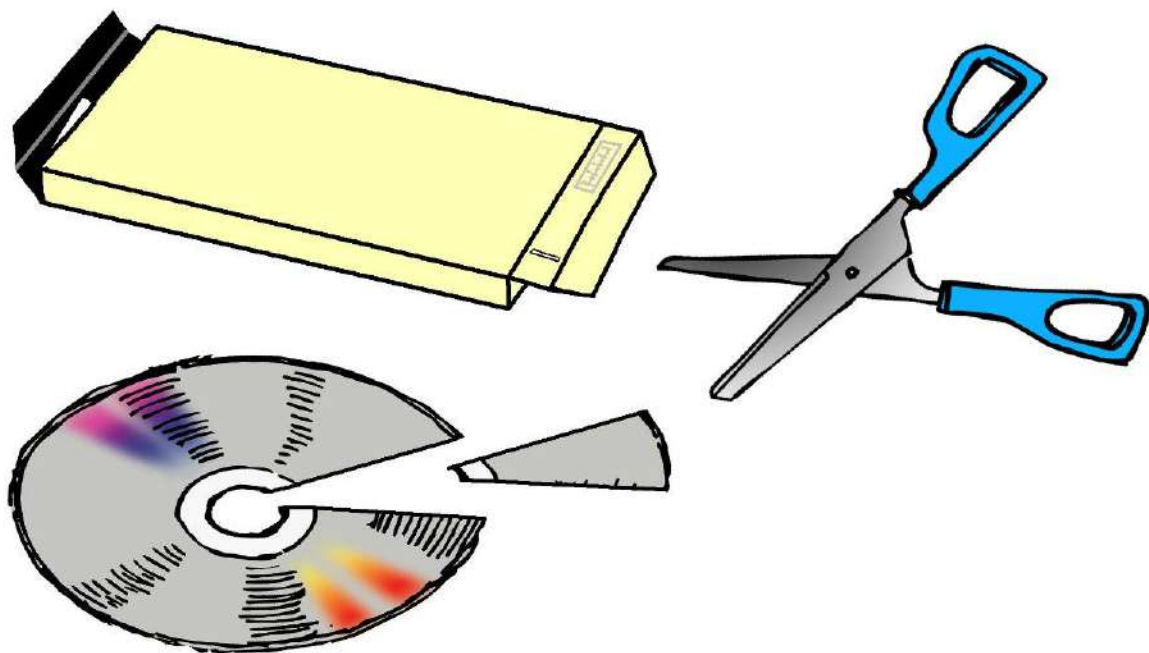


Fig. 8: Material necesario: DVD, tijeras y caja de papel hecha con la platilla

Toma un CD o de un DVD (fig.8). Con unas tijeras fuertes corta de forma radial un trozo. Si usas un CD, debe ser plateado por la cara que no se graba, es decir, no debe estar impreso, ni ser blanco ni de otro color. Debes desprender la capa metálica con cuidado, ayudándote con un cúter, sin rayarlo. Si usas un DVD, en el trozo cortado separa la capa de plástico superior de la inferior doblándolo ligeramente o con la ayuda de un destornillador, y tendrás la red de difracción preparada.

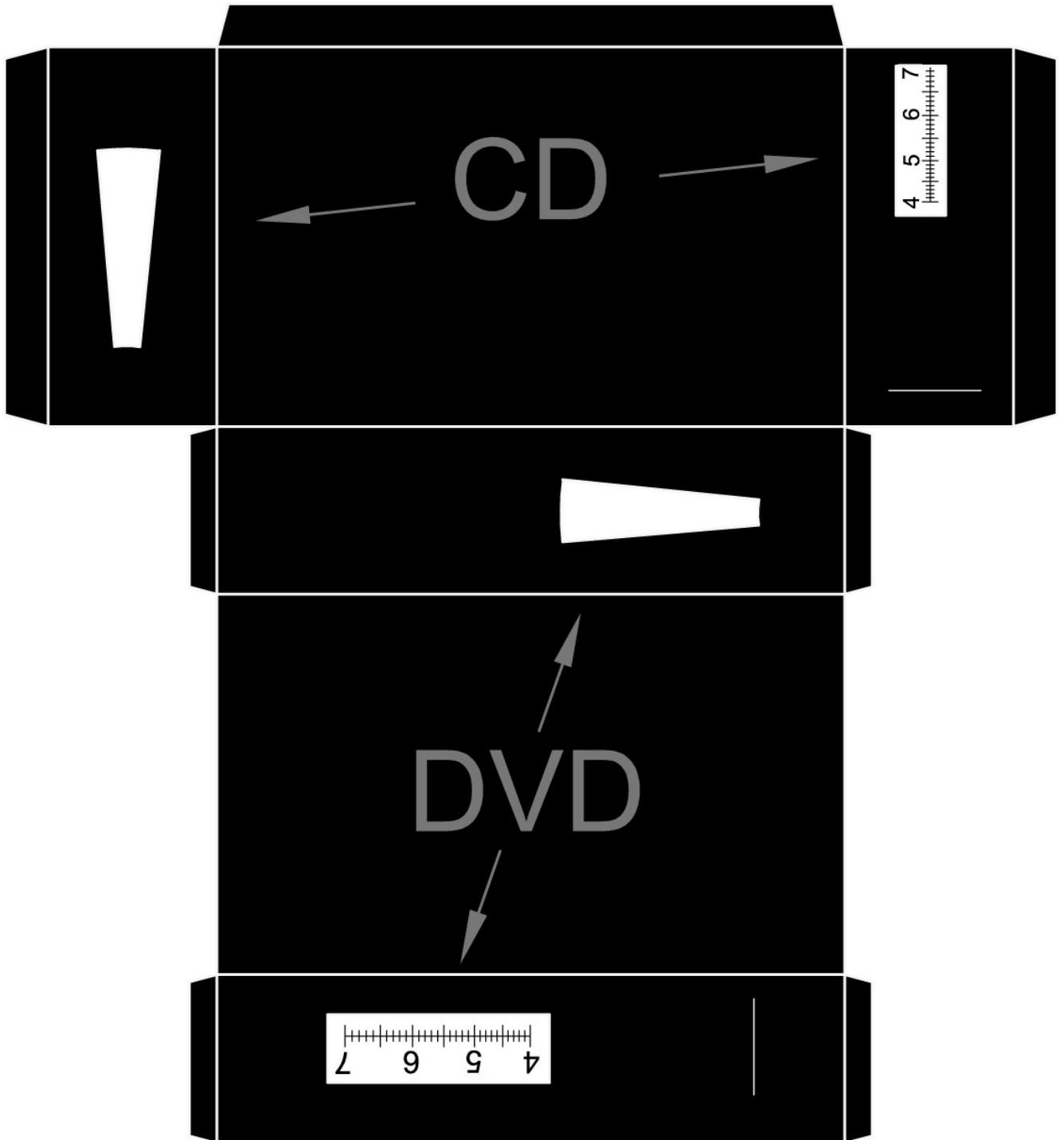
Haz una fotocopia en papel de la plantilla de la página siguiente. Si lo haces en tamaño A3 será más preciso. Recorta la plantilla, incluyendo la parte blanca en forma de sector circular, y

haz una rendija fina en la raya cercana a la escala graduada. Esta escala NO hay que recortarla. Arma la caja dejando la parte negra en el interior, y pega las solapas. En el hueco dejado por el sector circular, pega el trozo de CD o DVD que hemos preparado. Está impreso “CD” y “DVD”, para recortar uno u otro sector circular y rendija, según tengas uno u otro tipo de disco.

Mira a través del trozo de disco, dirigiendo la rendija de la caja (no la escala) a una lámpara de bajo consumo o un tubo fluorescente, verás claramente sobre la escala las líneas de emisión de los gases que contienen esas bombillas. Si no las ves, mueve el espectroscopio lateralmente hacia la derecha hasta que aparezcan las líneas. La escala está graduada en cientos de nanómetros, es decir, la marca 5 indica 500 nm ($500 \cdot 10^{-9}$ m). Cuanto más fina sea la rendija, con mayor precisión podrás medir la longitud de onda de las rayas.

Puedes hacer la caja con cartulina. En ese caso deberás recortar el rectángulo de la escala y pegar sobre ese hueco una copia de la escala hecha en papel normal, para que se pueda transparentar la escala.

Se pueden mirar las farolas de las calles, tanto las naranjas (de sodio) como las blancas (de vapor de mercurio). Las bombillas incandescentes tradicionales ofrecen un espectro continuo.



Actividad 2. El universo en una goma elástica

Edwin Hubble descubrió que todas las galaxias se alejan de nosotros. Cuanto más lejos están, más rápidamente lo hacen. La llamada Ley de Hubble establece que la velocidad de alejamiento de una galaxia respecto a nosotros es proporcional a su distancia. Es una consecuencia lógica de la expansión del Universo. Y aunque todas las galaxias se alejen de nosotros, no significa que estamos en el centro del Universo.

Con un rotulador, haz unas marcas sobre la goma cada cm. Cada una representará una galaxia (la A, B, C, etc.). Nuestra galaxia será la primera.



Fig 9 a: Goma sin estirar.



Fig 9 b: Goma estirada.

Sitúa la goma cerca de la regla (fig 9 a). Haz que nuestra galaxia coincida con la marca de 0 cm. Las otras galaxias A, B, C,... coincidirán con las marcas 1, 2, 3, 4...cm.

Estira la goma (fig 9 b) de tal forma que nuestra galaxia se mantenga en la marca de 0 cm, y que la siguiente (la A) se sitúe sobre la de 2 cm. La distancia de esta galaxia a la nuestra se ha duplicado. ¿Qué ha pasado con la distancia entre las demás galaxias B, C, D y la nuestra?, ¿también se han duplicado?

Supón que el tiempo que ha durado el estiramiento de la goma ha sido 1 seg. Las velocidades de alejamiento de las galaxias respecto de la nuestra ¿son todas iguales o unas se alejan más deprisa que otras?

Para simular lo que vería un habitante de una "galaxia" vecina, puedes mantener fijo en el estiramiento la galaxia B. ¿Cómo verá la nuestra y las otras galaxias? ¿También se alejan todas de la suya?

Actividad 3. El Universo en un globo

En la expansión del Universo, es el espacio entre las galaxias el que se expande. Las propias galaxias no se expanden, si nuestra casa se expande. Lo que está unido fuertemente por la gravedad, no aumenta su tamaño.

Hay un sencillo experimento que permite mostrar este aspecto. Basta usar un globo que lo inflamos un poco al principio. Después pegamos sobre su superficie con cinta adhesiva unos cuantos trocitos de algodón (también valen monedas). A continuación seguimos inflando el globo hasta llegar al máximo que podamos. Los trocitos de algodón se irán separando unos de otros (fig. 10 a y 10 b). Algunos parecerán alejarse más que otros, pero ninguno se acercará. Es un modelo muy sencillo de la expansión del universo.



Fig. 10 a: Los trozos de algodón pegados en el globo a medio hinchar



Fig. 10 b: Los trozos de algodón se alejan cuando el globo está más hinchado

Actividad 4. Modelo de expansión del Universo

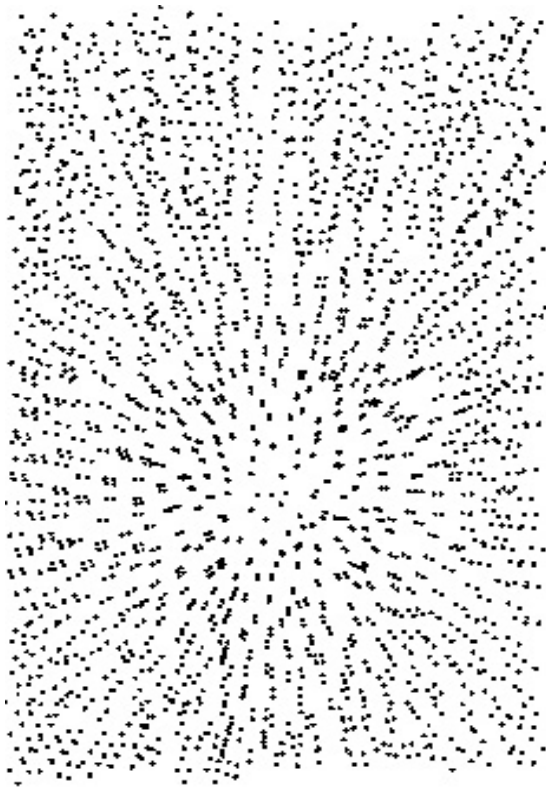


Fig 11: Superposición de dos transparencias una de ellas ampliada un 105 %.

Pero si el punto coincidente es otro (fig 12), ocurre lo mismo. Así pasa en el espacio: desde nuestra galaxia vemos que todas se alejan de nosotros, y más rápido cuanto más lejos esté del observador. Nos parece que estamos en el centro del Universo, pero no es así, ya que un observador situado en otra galaxia vería lo mismo y le parecería estar él en el centro. Realmente no hay ningún centro.

El hecho de que las galaxias se alejen más rápido cuanto más lejos estén de nosotros ya hemos dicho que se conoce como Ley de Hubble.

En la página siguiente hay un dibujo² (fig 13) con muchos puntos, que simulan las galaxias en un momento determinado. Hagamos de él una primera fotocopia en papel transparente y luego otra en otro papel transparente, ligeramente ampliada (por ejemplo un 105%). Si las superponemos en un retroproyector de transparencias (fig 11), obtenemos una imagen que representa significativamente el espacio al expandirse con el tiempo: hay un punto en el que coinciden las dos transparencias, y se observa muy bien el desplazamiento de todos los demás puntos que es radial, y tanto mayor cuanto más alejado esté del punto coincidente. Parecería como si los puntos se alejaran más deprisa cuanto más lejos estén del punto coincidente.

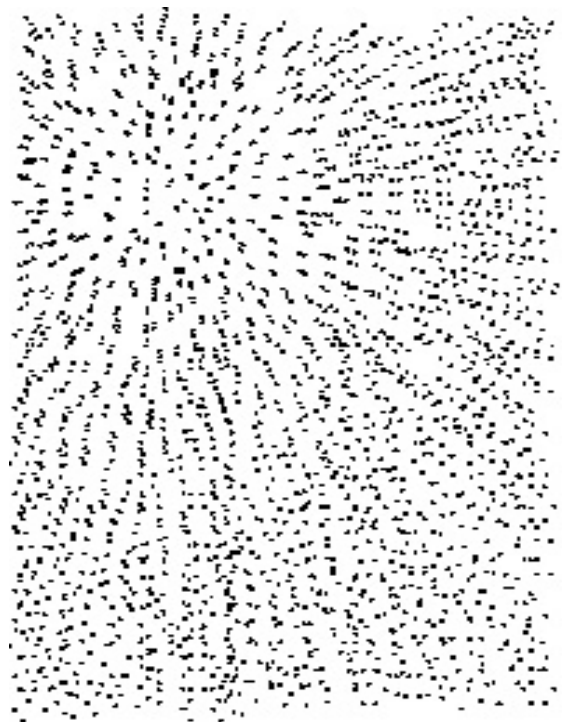


Fig 12: A un observador situado en otro punto, también le parece que todo se aleja de él: no hay un centro del Universo.

² La idea es de Vincent Icke.

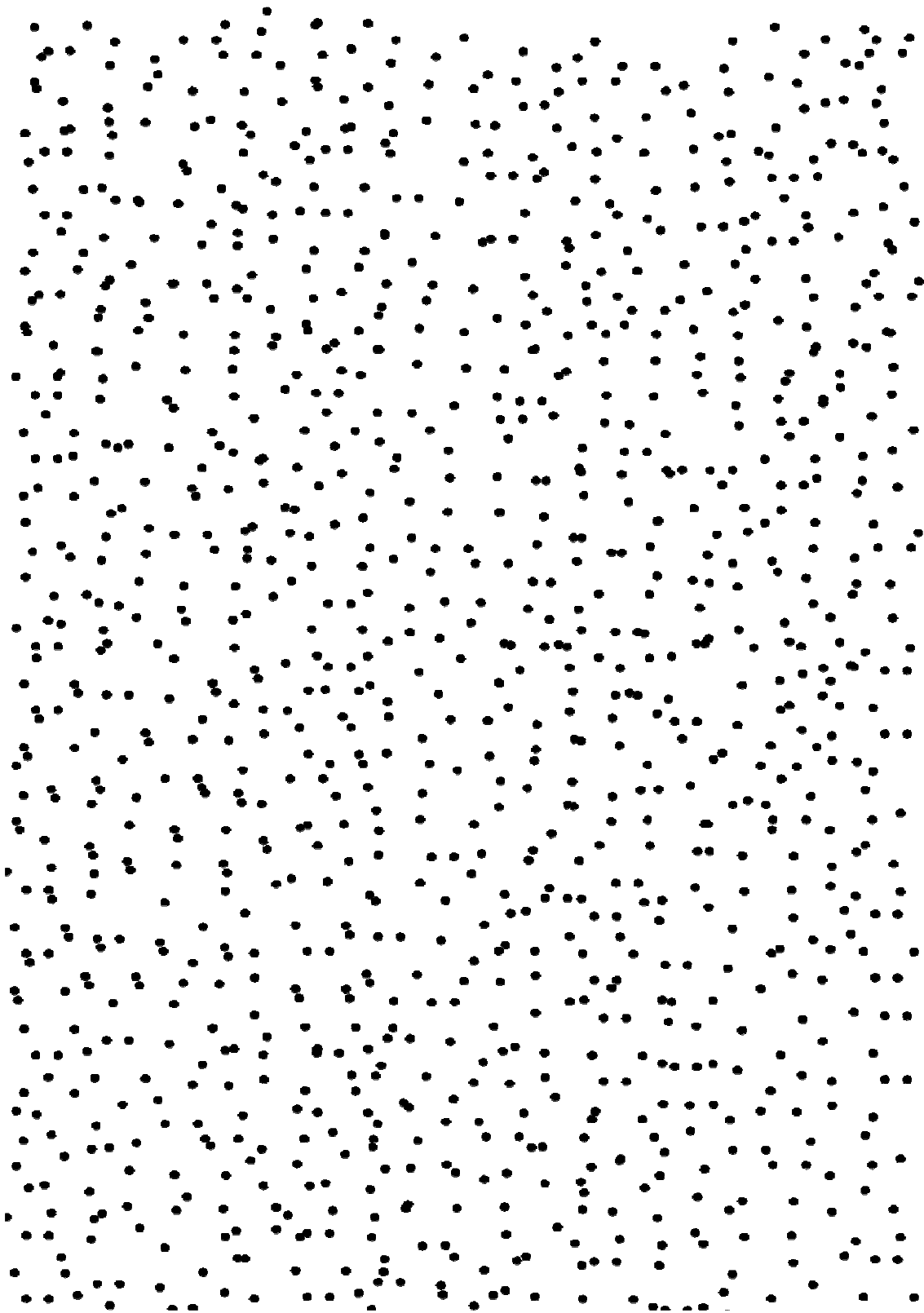


Fig 13: Fotocopiar esta página en una transparencia, y luego en otra ampliada 105 %

Actividad 5. Cálculo de la constante de Hubble³

La Ley de Hubble dice que la velocidad v de alejamiento de una galaxia es proporcional a la distancia d a la que esté de nosotros:

$$v=H \cdot d$$

La constante H se llama constante de Hubble, y se puede calcular sabiendo distancias y velocidades de algunas galaxias. Despejando en la fórmula anterior:

$$H=v/d$$

En el diagrama de la figura 14 se muestra el espacio, representado por una cuadrícula azul de líneas a trazos, con nosotros en el centro y varias galaxias en azul a cierta distancia de nosotros. Al cabo de cierto tiempo, pongamos 10 segundos, el espacio se ha expandido y queda representado en rojo, tanto la cuadrícula (en líneas continuas) como las galaxias.

Rellena la tabla 15 que hay debajo del dibujo. En cada fila se ponen los datos de una galaxia. Por ejemplo, las coordenadas se cogen con las cuadrículas azul (líneas de trazos) o roja (líneas continuas), según sea la galaxia A o la A' respectivamente, la distancia d se obtiene midiendo con una regla la longitud en cm que hay desde nosotros (en el centro) al centro de esa galaxia. Los datos de la columna Δd se obtienen restando las distancia de A' y la de A. Y en la última columna hay que usar en el denominador la distancia antes de expandirse (por ejemplo la de A, no la de A').

Comprobarás que:

- Las coordenadas de cada galaxia no varían con la expansión (las galaxias no se mueven a través del espacio).
- El valor de H es bastante constante, independientemente de las galaxias.

³ Esta actividad la aprendí en el Taller que dio Juan Tomé en los VI Encuentros de ApEA.

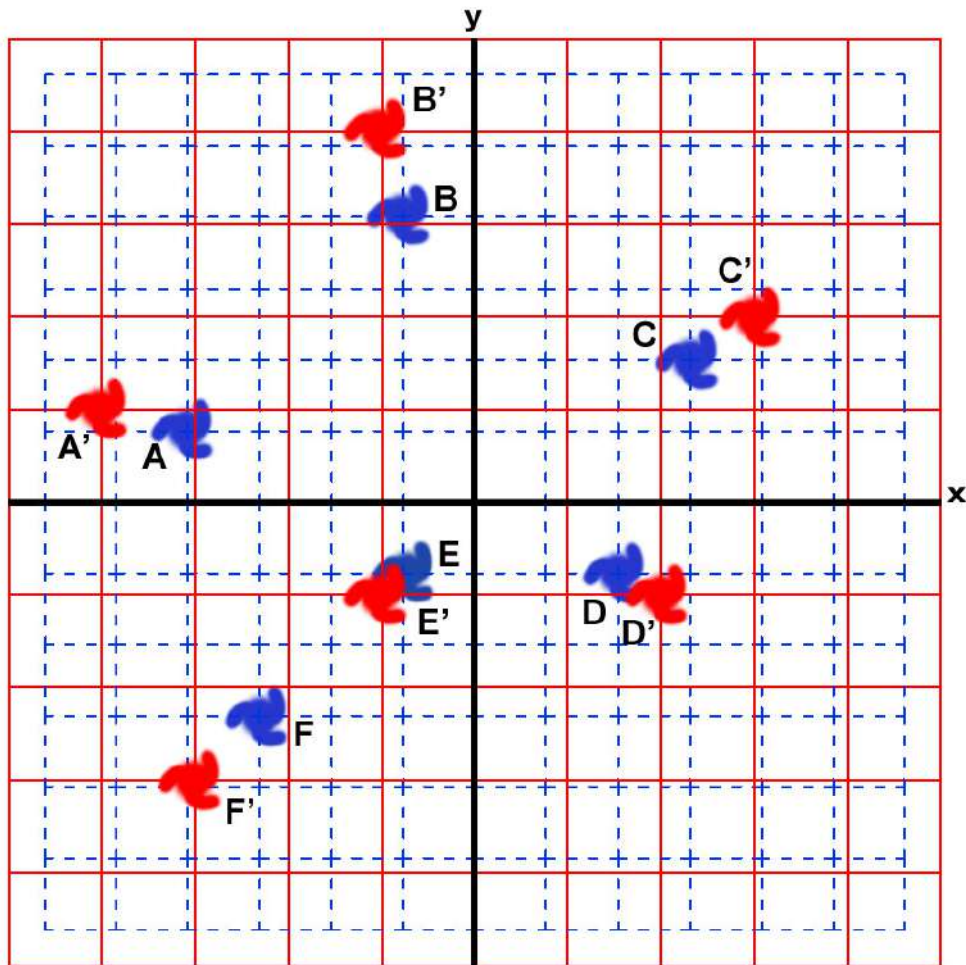


Fig 14: La cuadrícula de trazo continuo (rojo) es la misma que la de trazo discontinuo (azul) pero expandida. Las galaxias están fijas a las cuadrículas.

Tabla 15: Se rellena con los datos de la figura 14

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

Actividad 6. La radiación cósmica de fondo

A los 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, esos fotones fueron ampliando su longitud de onda. Según los cálculos, ahora tendrían una longitud de onda que corresponde a la región de las microondas, equivalente a la que emitiría un cuerpo negro que estuviera a $2,7$ grados Kelvin.

Se puede hacer un modelo de ese estiramiento con cable semirrígido, del que se usa en las instalaciones eléctricas empotradas de las casas.

Se corta aproximadamente un metro, y se dobla con la mano haciendo varios ciclos de una senoide, representando varias ondas (Fig 16 a).

Se coge el cable con las dos manos y se estira (Fig 16 b) y se observa que la longitud de onda aumenta, como ha ocurrido con la radiación primitiva del universo, que actualmente es una onda de unos 2 mm de longitud de onda.

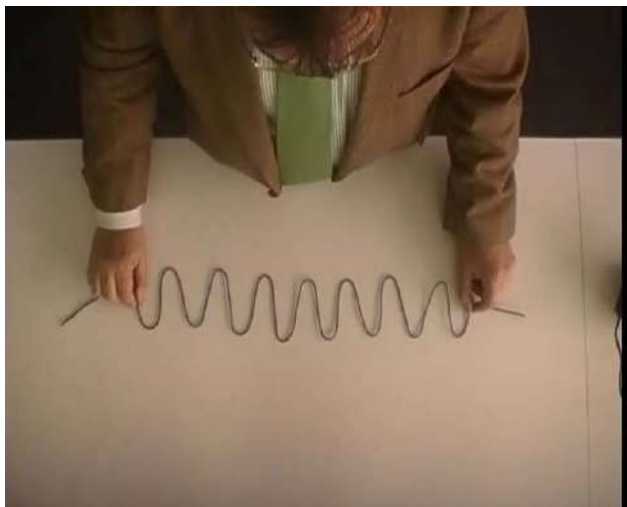


Fig 16a: Ondas hechas con cable semirrígido

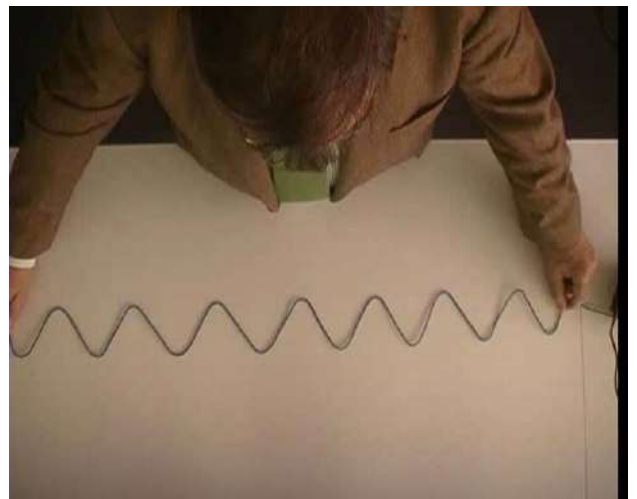


Fig 16 b: Mismas ondas, estiradas, con una longitud de onda mayor.

Actividad 7. Detección de la radiación de fondo de microondas

Penzias y Wilson, en 1964 detectaron por primera vez la radiación de fondo de microondas, una radiación fósil que procede muy uniformemente de todas direcciones. El satélite COBE (fig 6a) y más tarde el WMAP (fig 6b) hicieron una medición muy precisa de esta radiación en todas direcciones, detectando pequeñísimas variaciones de una zona a otra, que corresponden a lo que luego fueron los cúmulos de galaxias.

También nosotros podemos detectar esa radiación de fondo con un simple televisor (fig 17). Para ello, sintoniza el televisor en un canal analógico vacío. La imagen está compuesta de multitud de puntos cambiantes continuamente. Aproximadamente un 10 %, es decir, uno de cada diez proviene de la radiación de fondo del Universo.

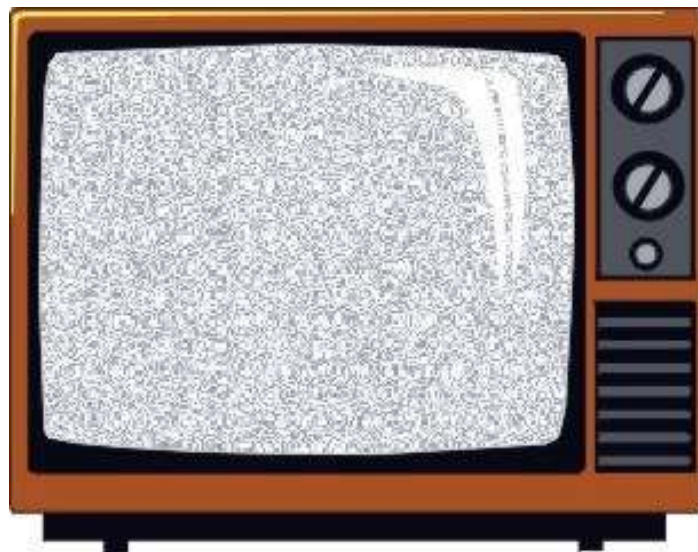


Fig 17: Algunos de los puntos de una pantalla de televisión no sintonizada provienen del fondo de microondas

Bibliografía

- R. Moreno. *Experimentos para todas las edades*. Ed. Rialp., Madrid. 2008.
- R. Moreno. *Taller de Astrofísica*. Cuadernos ApEA. Antares, Barcelona. 2007.
- R. Moreno. *Historia Breve del Universo*. Ed. Rialp., Madrid. 1998.
- A. Moreno y R. Moreno. *Taller de Astronomía*. Ediciones AKAL, Madrid. 1996.
- E. Riaza. *Historia del comienzo: George Lemaître, padre del Big Bang*. Ediciones Encuentro, Madrid. 2010.
- J. Tomé. *Taller sobre Expansión del Universo*. En www.ApEA.es
- <http://georgeslemaitre.blogspot.com/>