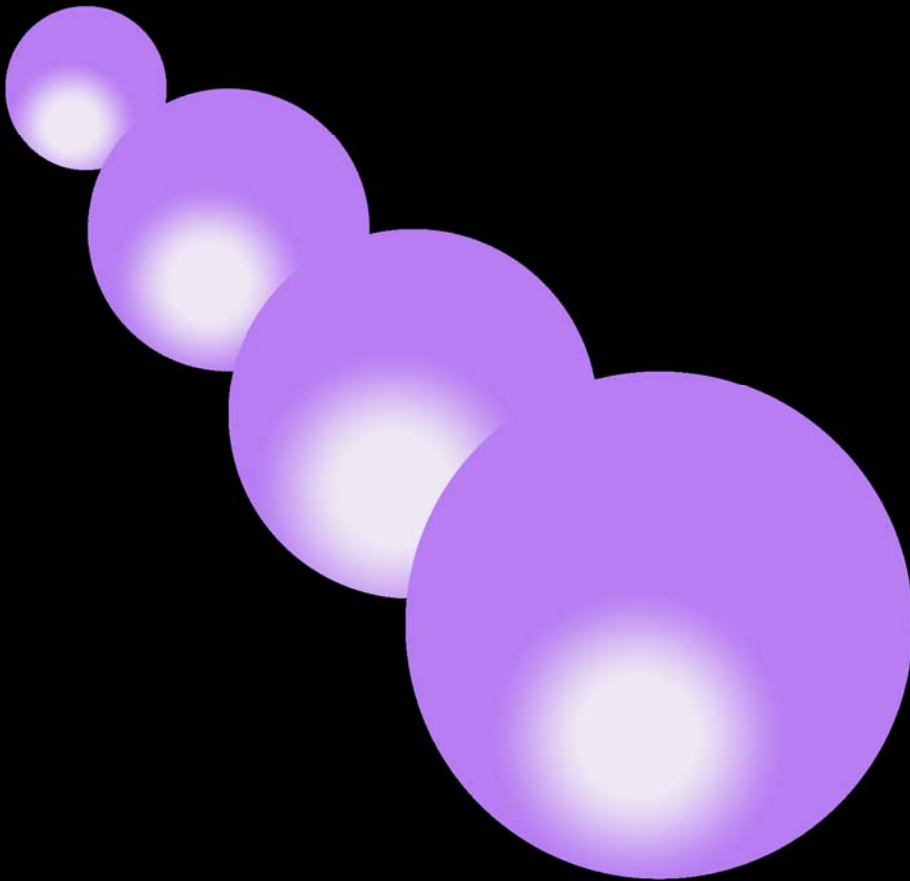


LEY DE HUBBLE



Ley de Hubble

Resumen:

En esta unidad se presentan las implicaciones cosmológicas de la ley de Hubble y se ilustra el modelo del Universo en expansión mediante tres sencillas actividades.

Contenidos:

Introducción teórica

Actividad 1: La expansión del Universo

Actividad 2: El Universo en una goma elástica

Actividad 3: El globo que se hincha

Bibliografía

Nivel:

Segundo ciclo de ESO y Bachillerato

Referencia:

Actividades Sencillas de Astrofísica, Publicaciones ApEA nº5 Junio 2003
Taller de Astronomía, Akal ediciones (Madrid, 1996).

Autores:

Ricardo Moreno Luquero

Colaboradores:

Manuel Baixauli Sanchis



Coordinadora apuntes pedagógicos "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universidad de Santiago)

Ayudantes de maquetación y traducción:

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



Ella es una Astrónoma

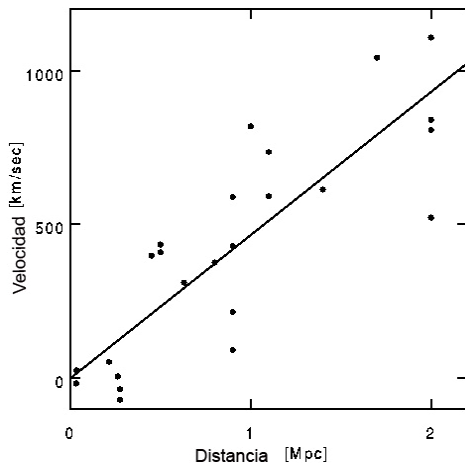


LEY DE HUBBLE

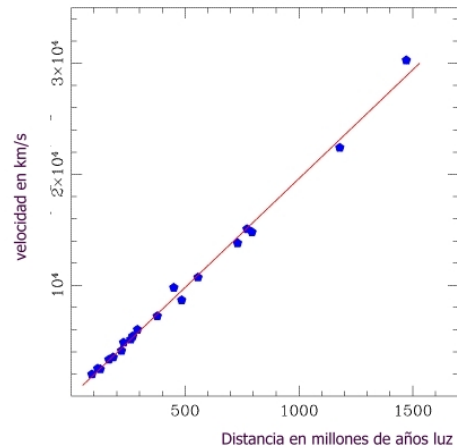
La cosmología científica nació con la **ley de Hubble**, la primera observación con significado puramente cosmológico. Hubble obtuvo una relación lineal entre el desplazamiento al rojo z y distancia D :

$$c z = H_0 D$$

donde c es la velocidad de la luz y H_0 es la **constante de Hubble**, expresada habitualmente en $\text{Km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$. Esta relación aproximada para pequeños desplazamientos al rojo podría implicar, por extrapolación directa, una relación lineal entre la velocidad y la distancia que se cumpliría para cualquier distancia considerada.



Representación de la velocidad frente a la distancia con los datos originales de 1929.

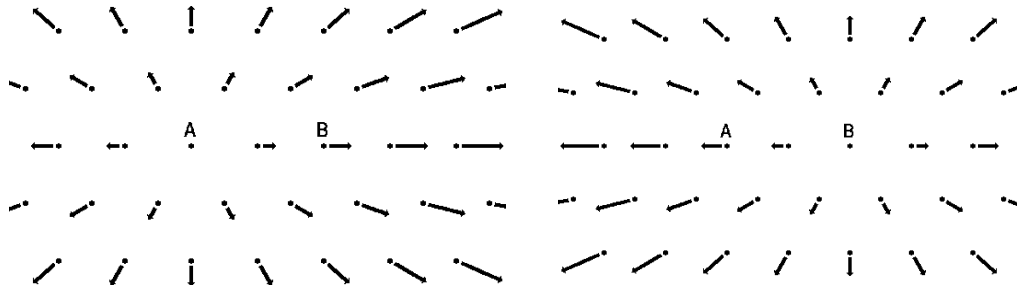


Representación de 1996 de la distancia frente a velocidades de más de 30,000 Km/s ($z = 0.1$). Como se ve, la relación permanece lineal con gran aproximación.

Este hecho puede ser interpretado como que el Universo está en expansión. Pero una ley de la forma:

$$v = H D$$

conocida como **relación velocidad-distancia** (y muchas veces confundida con la ley de Hubble) tiene muchas más implicaciones. La primera es que ésta es la única relación posible que produce una expansión homóloga que no cambia la forma de las estructuras en el Universo. La segunda es que es compatible con una visión copernicana (o **principio de mediocridad**) donde nuestra posición en el Universo no es de particular importancia. Todos los observadores, en cualquier lugar del Universo, verán el mismo tipo de ley.



La expansión es vista de igual manera por todos los observadores.

La tercera es que, para una distancia suficientemente grande, un objeto se puede alejar con una velocidad mayor que la de la luz, lo que implica que hay algún tipo de **horizonte cosmológico** al que

tenemos que dar una explicación dentro de un modelo razonable del Universo observable. Este horizonte (conocido como **radio de Hubble**) se produce a una distancia:

$$D = c/H_0 = 3000 h^{-1} \text{ Mpc}$$

donde h es un número adimensional ampliamente utilizado: $h = (H_0/100)$.

Por último, si extrapolamos la expansión hacia atrás en el tiempo, parece ser que podría haber un tiempo en que las galaxias estuvieran mucho más cerca y la densidad del Universo podría crecer indefinidamente si nos vamos suficientemente atrás en el tiempo. Podemos hacer una primera estimación del tiempo de expansión (denominado **tiempo de Hubble**) como la inversa de la constante de Hubble.

$$t_H = 1/H_0 = 9.78 h^{-1} \text{ Gaños}$$

donde 1 Gaño = 10^9 años = mil millones de años = 1 eón.

Notas adicionales

La distancia D a galaxias cercanas se puede estimar comparando su brillo aparente con su brillo absoluto teórico.

- En cualquier caso, D ha de ser la distancia actual a la galaxia, no la que existía cuando la galaxia emitió la luz que hoy recibimos. Esta distancia es muy difícil de determinar.

La velocidad v se define como el ratio de variación de la distancia D .

- Para galaxias relativamente cercanas, la velocidad puede determinarse mediante el corrimiento al rojo (z) empleando la fórmula $v \approx zc$; siendo c la velocidad de la luz. Sin embargo, tan sólo debe considerarse la velocidad debida a la expansión del Universo al margen de otros movimientos relativos de las galaxias (movimiento peculiar).

Los sistemas con ligaduras gravitacionales, como las galaxias, o nuestro Sistema Solar no se encuentran sujetos a la ley de Hubble, y no se expanden.

Actividad 1: LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Una forma de visualizar la expansión del Universo es superponiendo dos transparencias: una con una distribución aleatoria de puntos y la segunda es esa misma ampliada ligeramente. Se supone que representa a una distribución de galaxias en dos dimensiones. Si se fotocopia sin ampliación (100%) en una transparencia y luego se vuelve a fotocopiar en otra transparencia pero con una ampliación del 105%, y se superponen, se ve perfectamente una representación gráfica de la expansión del Universo.

Se sugiere hacer coincidir un punto cualquiera de las dos transparencias y luego hacer coincidir otros distintos, para apreciar que la visión de la expansión en todas las direcciones es común a cualquier punto, y no implica estar en el centro del Universo.

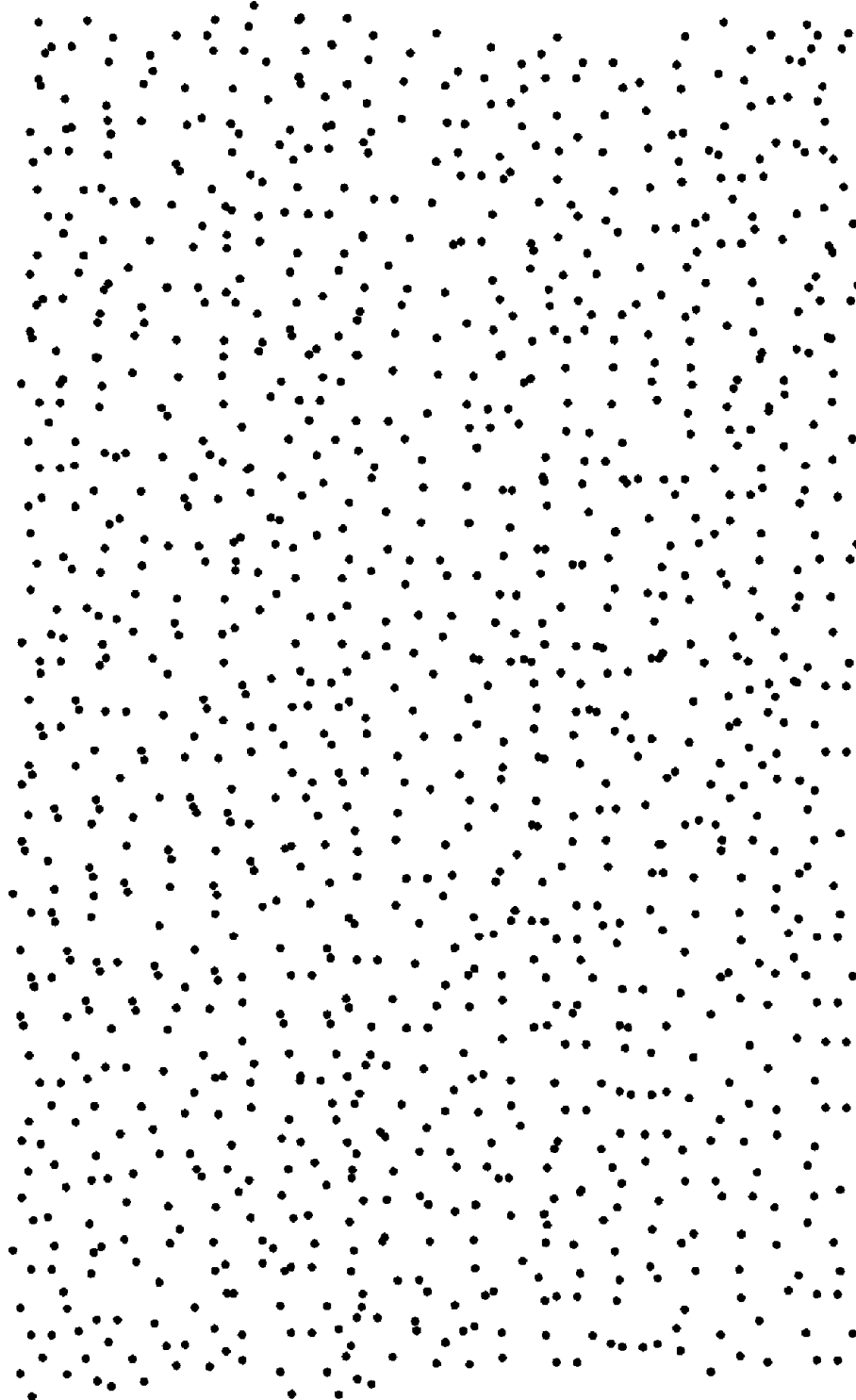
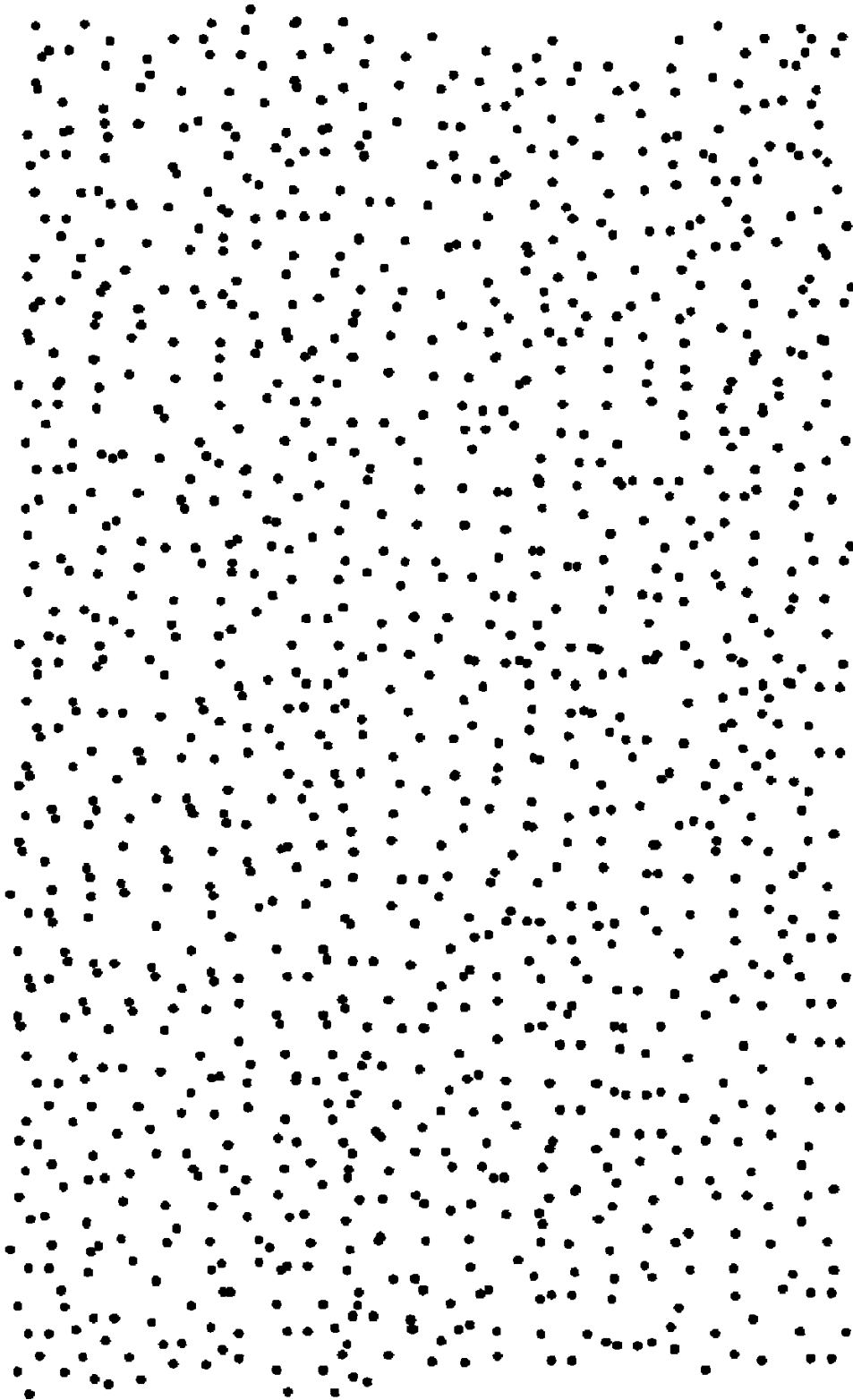
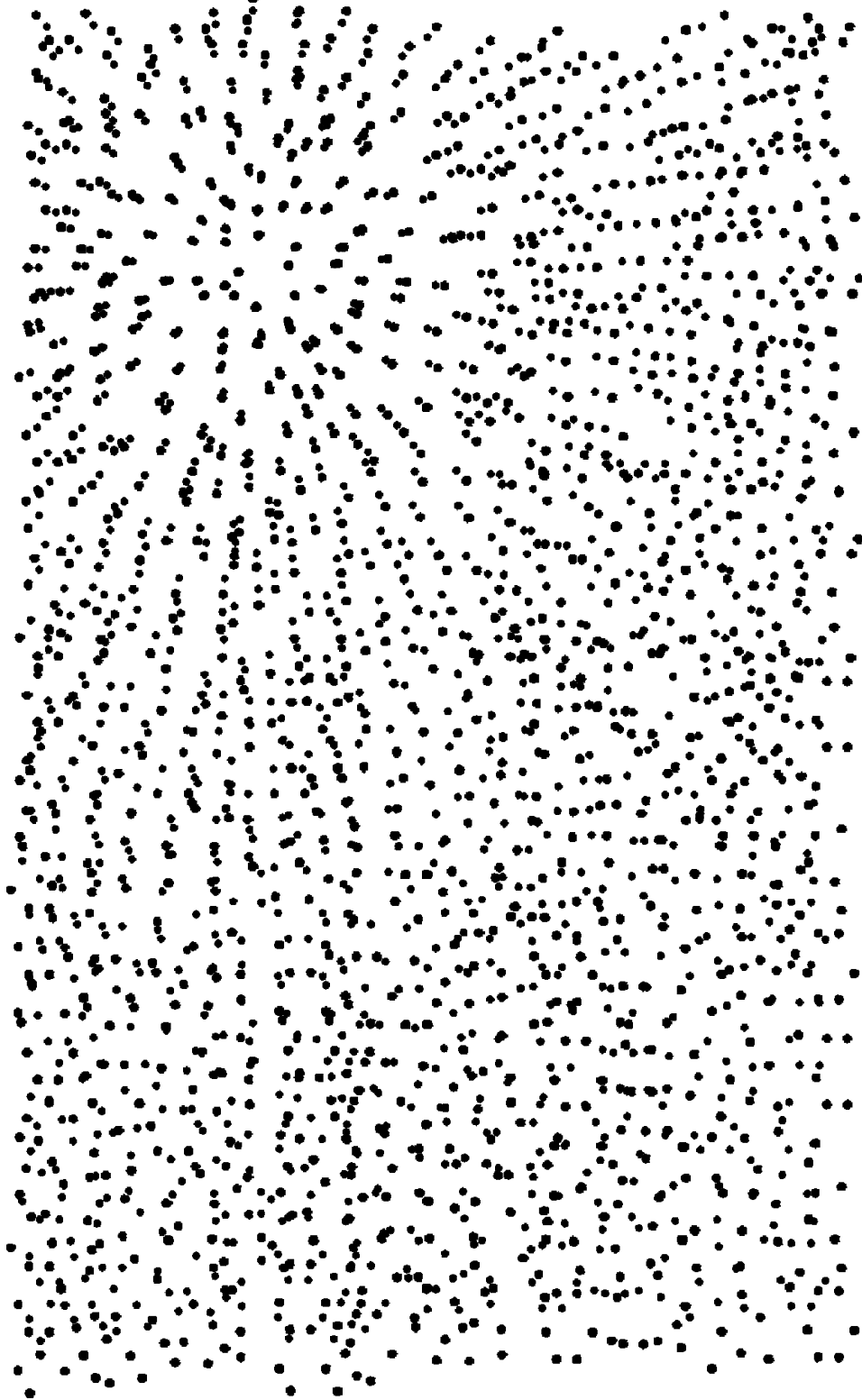


Figura de puntos aumentada a un 105 % (pero sin fondo)



Si superponemos ambas figuras tal que hagamos coincidir un punto:



Actividad 2: EL UNIVERSO EN UNA GOMA ELÁSTICA

Objetivos:

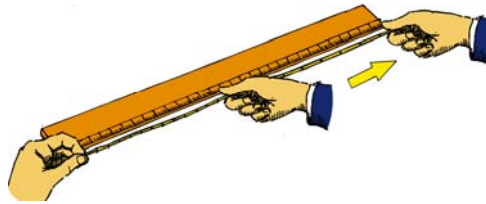
Se trata de hacer un modelo de la expansión del Universo.

Material:

- Necesitaremos una goma elástica de unos 20 cm,
- una regla,
- un rotulador, y
- unas tijeras.

Procedimiento:

Con el rotulador se hacen unas marcas sobre la goma a distancias constantes de 1 cm. Cada una representará una galaxia. Seleccionamos una que representará a la nuestra (no necesariamente tiene que ser la primera marca).



Situamos la goma cerca de la regla y hacemos que nuestra galaxia coincida con la marca de 3 cm. Las otras galaxias coincidirán con las marcas 1, 2, 4, 5...cm.

Estiramos la goma de tal forma que nuestra galaxia se mantenga en la marca de 3 cm, y que la siguiente se sitúe sobre la de 5 cm. La distancia entre esta galaxia y la nuestra ha pasado de ser 1 cm a 2 cm, es decir, se ha duplicado. ¿Qué ha pasado con la distancia entre las demás galaxias y la nuestra? Todas se han duplicado: La que estaba a 2 cm ha pasado a estar a 4 cm; la que estaba a 3 cm ha pasado a estar a 6 cm., etc. Y esto ocurre tanto en las galaxias de la izquierda como en las de la derecha de la goma.

Si suponemos que el tiempo que ha durado el estiramiento de la goma ha sido 1 s, las velocidades de alejamiento de las galaxias respecto de la nuestra no son iguales: La velocidad de la primera ha sido de 1 cm/s; la de la siguiente ha sido de 2 cm/s; la siguiente de 3 cm/s... etc.

Podemos dibujar las velocidades de alejamiento de cada galaxia respecto de la nuestra en un gráfico frente a las distancias originales a las que estaban. Están en una recta, y sería un modelo de la *Ley de Hubble*.

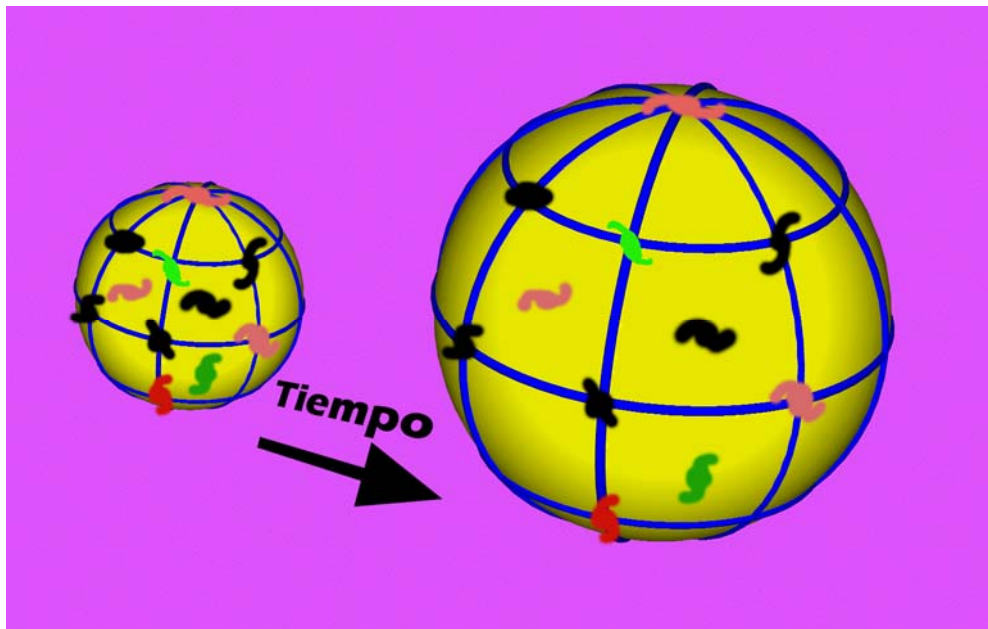
Por otra parte, un habitante de cualquier "galaxia" vecina vería a la nuestra y a las demás galaxias que se alejan de la suya, exactamente como nos pasa a nosotros. Por tanto, para ver que todas las galaxias se alejan de la nuestra no es necesario que estemos en el centro del Universo.

Actividad 3: El globo que se hincha

La imagen de un globo que se hincha (o se deshincha) sirve para intuir el concepto de nuestro Universo en expansión. Las marcas en la superficie representan la distancia entre sí de las galaxias: en la duplicación sucesiva del tamaño entre las marcas, o galaxias, éstas **se alejan a una velocidad proporcional** a sus distancias.

El volumen del Universo, que corresponde a la superficie del globo, es **finito** y, al mismo tiempo, **no tiene límites**. En este Universo esférico —tal y como afirma Einstein— yendo siempre en una misma dirección volveríamos al punto de partida.

Sin embargo, tanto en la goma como en el caso del globo, debe notarse que el modelo no es exacto, pues las Galaxias NO se expanden con el Universo como lo hacen los dibujos en el globo o las marcas de rotulador de la goma. Sería un modelo más acertado no dibujar las galaxias en el globo sino adherir a la goma pequeños papeles con forma de galaxia



Material adicional

- <http://www.xtec.cat/~lvalmaj/palau/univers2.htm>
- <http://www.astronomia.net/cosmologia/Hubble.htm>
- Revista *Universo* nº 45, enero 1999, pág. 40. (Barcelona, España).
- Ricardo Moreno, *Historia Breve del Universo*, Editorial Rialp. Madrid 1998.
- Ricardo Moreno y L. Cano, *Experimentos para todas las edades*, Editorial Rialp, Madrid 2008
- William K. Hartmann, *Craters!*, NSTA. (Arlington, VA, 1995)
- Lars Broman, Robert Estalella y Rosa M^a Ros., *Experimentos en Astronomía*, Editorial Alhambra Longman S.A. (Madrid, 1993).