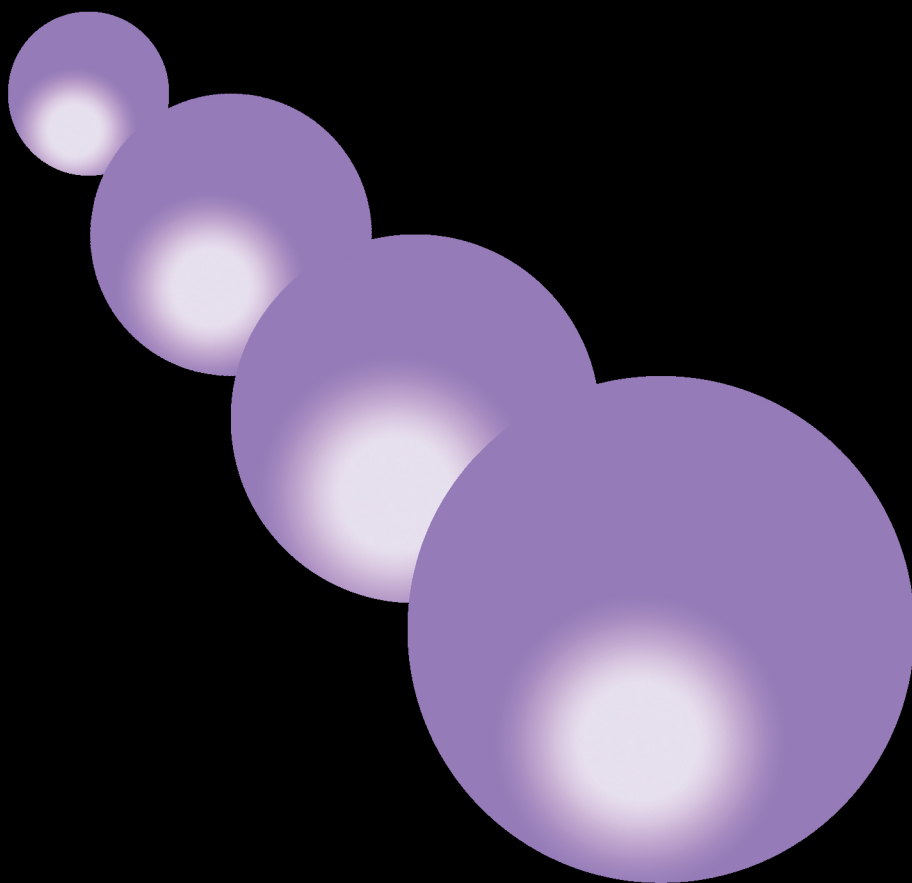


LLEI DE HUBBLE



Llei de Hubble

Resum

En aquesta unitat es presenten les implicacions de la llei de Hubble i s'il·lustra el model de l'Univers en expansió mitjançant tres activitats senzilles.

Continguts:

Introducció teòrica

Activitat 1: L'expansió de l'Univers

Activitat 2: L'univers en una goma elàstica

Activitat 3: El globus que s'unfla

Bibliografia

Nivell:

Segon cicle d'ESO y batxillerat

Referència:

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

Autors:

Ricardo Moreno Luquero



Coordinadora apunts pedagògics "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universitat de Santiago)

Ajudants de maquetació y traducció:

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza

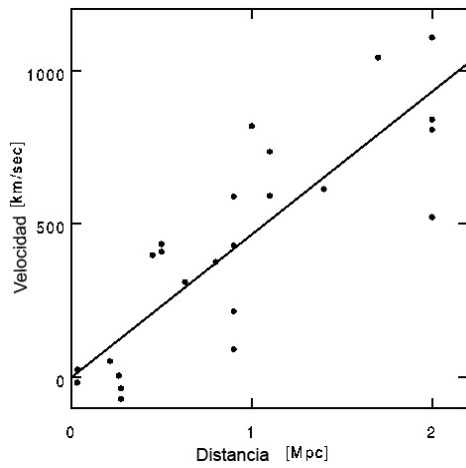


LLEI DE HUBBLE

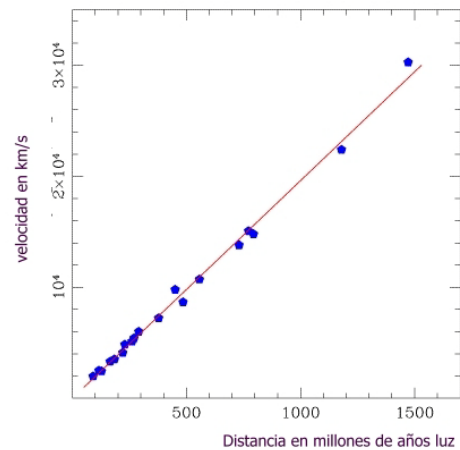
La cosmologia científica va néixer amb la **lleï de Hubble**, la primera observació amb significat purament cosmològic. Hubble va obtenir una relació lineal entre el desplaçament al vermell i la distància. D:

$$c z = H_0 D$$

on c és la velocitat de la llum i H_0 és la **constant de Hubble**, expressada habitualment en $\text{Kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$. Aquesta relació aproximada per a petits desplaçaments al vermell podria implicar, per extrapolació directa, una relació lineal entre la velocitat i la distància que es compliria per a qualsevol distància considerada.



Representació de la velocitat amb la distància amb les dades originals de 1929.

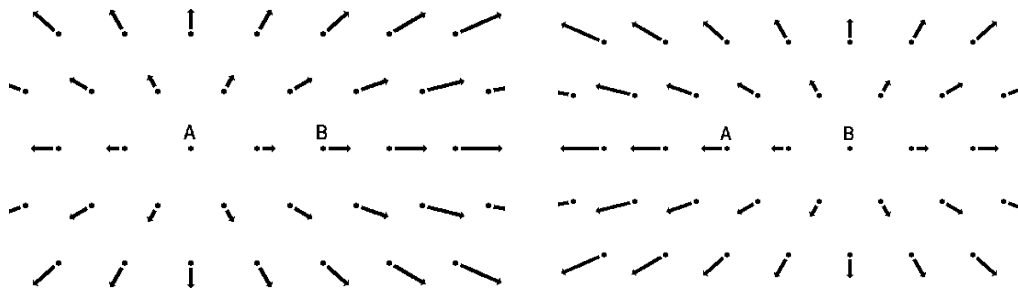


Representació de 1996 de la distància amb velocitats de més de 30,000 Km/s ($z = 0.1$). Com es veu, la relació roman lineal amb gran aproximació.

Aquest fet pot ser interpretat com que l'Univers està en expansió. Però una llei de la forma :

$$v = H D$$

coneguda com **relació velocitat-distància** (i molts cops confosa amb la llei de Hubble) té moltes més implicacions. La primera és que aquesta és la única relació possible que produeix una expansió homòloga que no canvia la forma de les estructures de l'Univers. La segona és que és compatible amb una visió copernicana (o principi de medietat) on la nostra posició a l'univers no és de particular importància. Tots els observadors, a qualsevol lloc de l'Univers, veuran el mateix tipus de llei.



L'expansió és vista de la mateixa manera per tots els observadors.

La tercera és que, per a una distància suficientment gran, un objecte es pot allunyar amb una velocitat més gran que la de la llum, el que implica que hi ha algun tipus **d'horitzó cosmològic** al que tenim que donar una explicació dins d'un model raonable de l'univers observable. Aquest horitzó (conegut com a **radi de Hubble**) es produeix a una distància:

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

on h és un nombre adimensional ampliament utilitzat: $h = (H_0 / 100)$.

Per últim, si extrapolem l'expansió cap enrera en el temps, sembla ser que podria haver-hi un temps en el que les galàxies estiguessin molt més a prop i la densitat de l'Univers podria créixer indefinidament si no anem suficientment enrera en el temps. Podem fer una primera estimació del temps en expansió (denominat **temps de Hubble**) com la inversa de la constant de Hubble.

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

on 1 Gany = 10^9 anys = mil milions d'anys = 1 eó.

Notes addicionals

La distància D a galàxies properes es pot estimar comparant la seva brillantor aparent amb la seva brillantor absoluta teòrica.

- En qualsevol cas, D ha de ser la distància actual a la galàxia, no la que existia quan la galàxia va emetre la llum que avui rebem. Aquesta distància és molt difícil de determinar.

La velocitat v es defineix com la ratio de variació de la distància D .

- Per a galàxies relativament properes, la velocitat pot determinar-se mitjançant el desplaçament al vermell (z) utilitzant la fórmula $v \approx zc$; essent c la velocitat deguda a l'expansió de l'Univers al marge d'altres moviments relatius de les galàxies (moviment peculiar).

Els sistemes amb lligams gravitacionals, com les galàxies, o el nostre Sistema Solar no es troben subjectes a la llei de Hubble, i no s'expandeixen.

Activitat 1: L'EXPANSIÓ DE L'UNIVERS

Una forma de visualitzar l'expansió de l'Univers és superposant dos transparències: una amb una distribució aleatòria de punts i la segona és aquesta mateixa ampliada lleugerament. Se suposa que representa a una distribució de galàxies en dues dimensions. Si es fotocopia sense ampliació (100%) en una transparència i després es torna a fotocopiar en una altra transparència però amb una ampliació del 105%, i es superposen, es veu perfectament una representació gràfica de l'Univers.

Es suggereix fer coincidir un punt qualsevol de les dos transparències i després fer-ne coincidir altres de diferents, per a apreciar que la visió de l'expansió en totes les direccions és comú a qualsevol punt, i no implica estar en el centre de l'Univers.

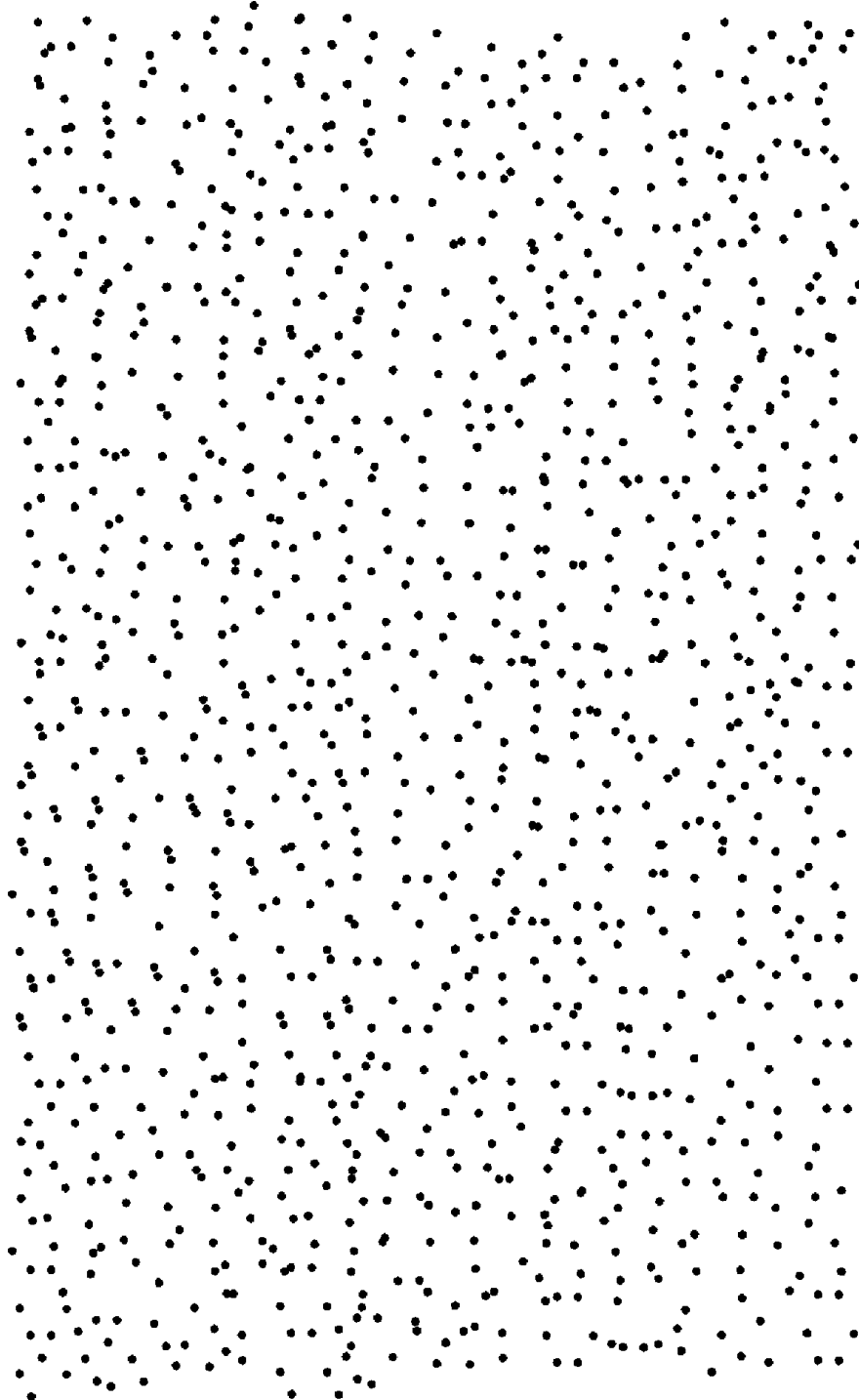
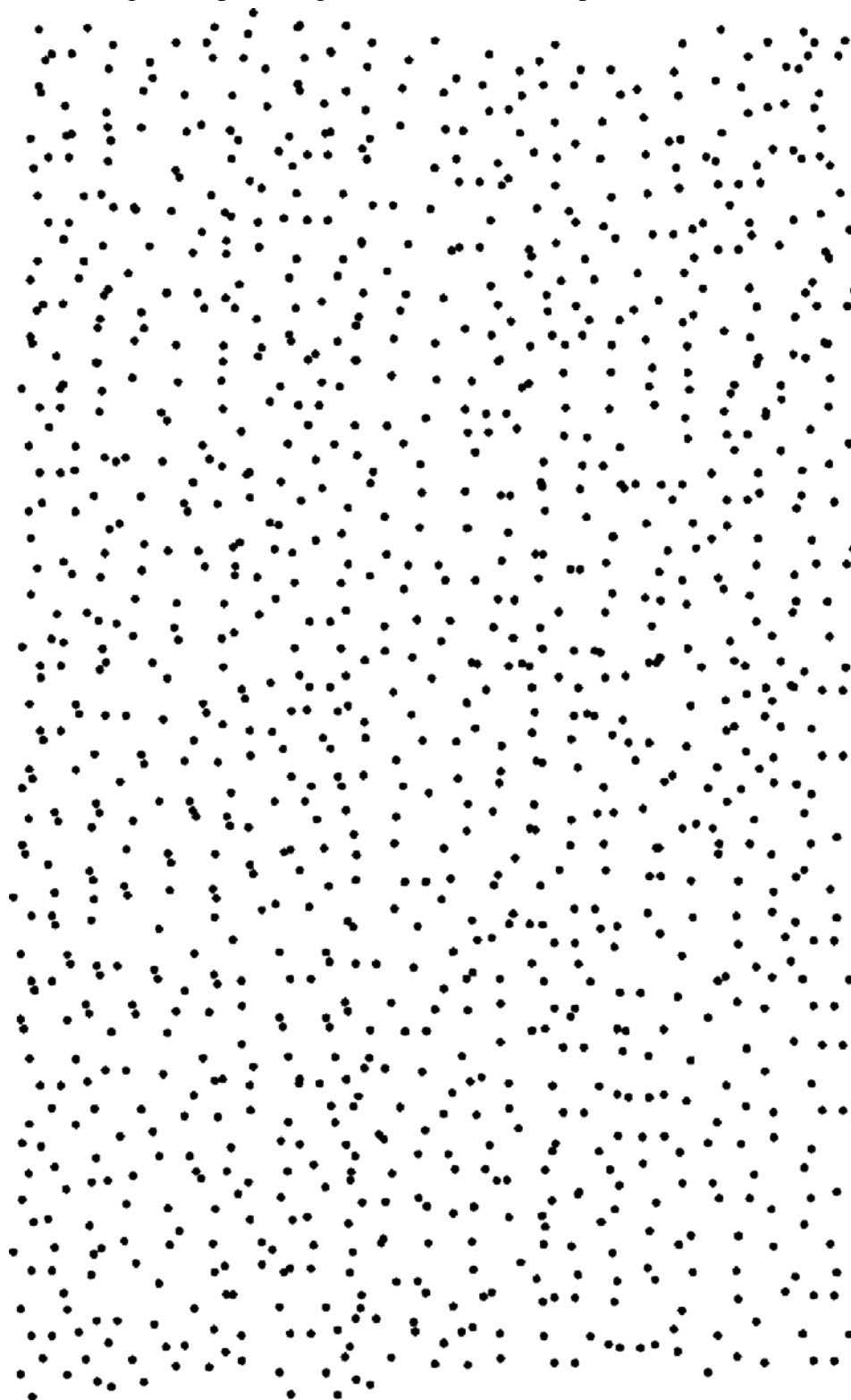
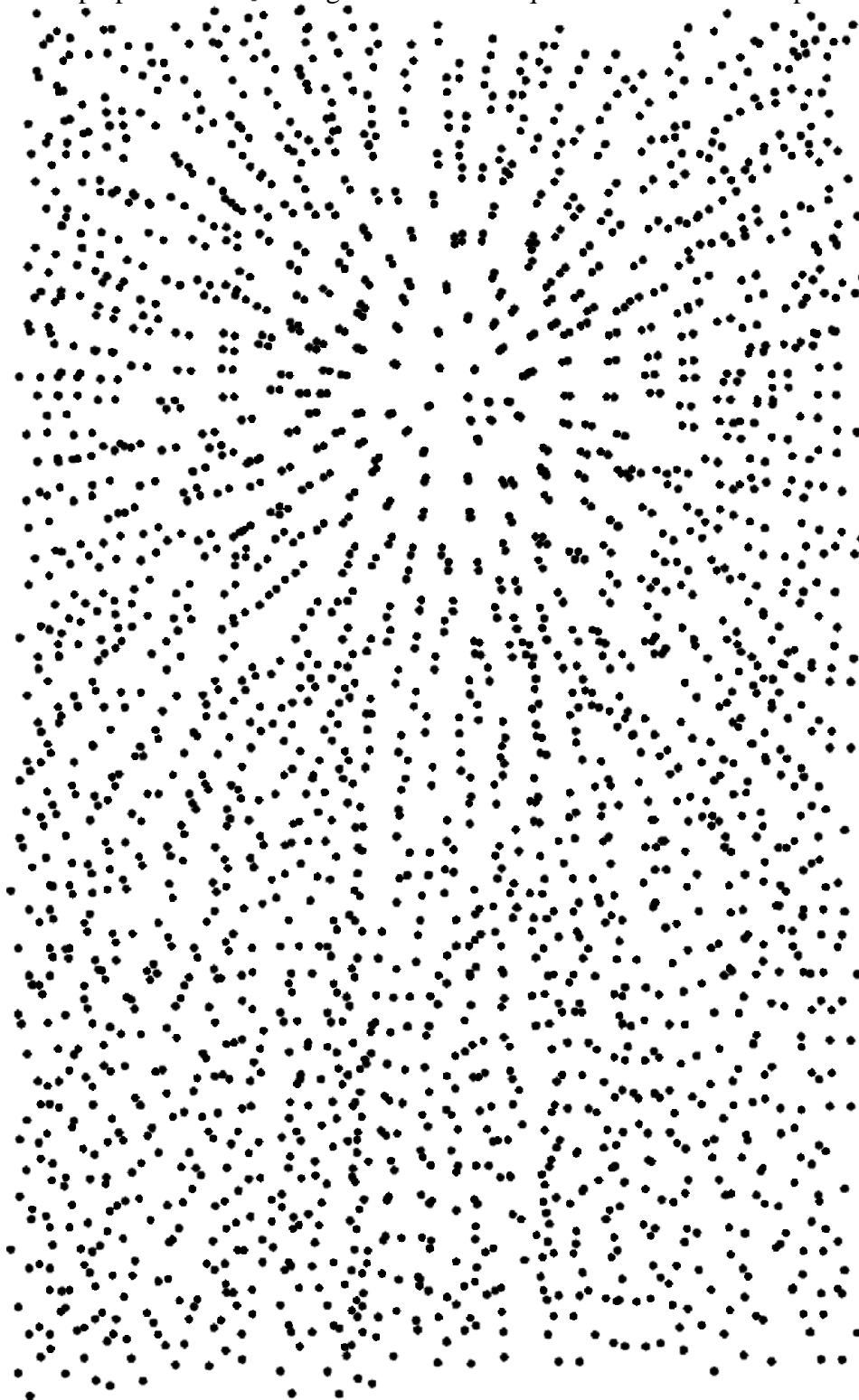


Figura de punts augmentada a un 105 % (però sense fons)



Si superposem ambdues figures de manera que coincideixin en un punt:



Activitat 3: L'UNIVERS EN UNA GOMA ELÀSTICA

Objectius:

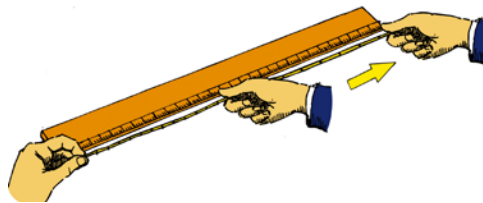
Es tracta de fer un model de l'expansió de l'Univers.

Material:

- Necessitarem una goma elàstica d'uns 20 cm,
- un regle
- un rotulador, i
- unes tisores.

Procediment:

Amb el rotulador es fan unes marques sobre la goma a distàncies constants d'1 cm. Cada una representarà una galàxia. En seleccionem una que representarà a la nostra (no necessàriament ha de ser la primera marca).



situem la goma prop del regle i fem que la nostra galàxia coincideixi amb la marca de 3 cm. Les altres galàxies coincidiran amb les marques 1, 2, 4, 5,... cm.

Estirem la goma de tal forma que la nostra galàxia es mantingui a la marca de 3 cm, i que la següent es situï sobre la de 5 cm. La distància entre aquesta galàxia i la nostra ha passat de ser 1 cm a 2 cm, és a dir, s'ha duplicat. Què ha passat amb la distància entre les demés galàxies i la nostra? Totes s'han duplicat: La que estava a 2 cm ha passat a distar 4 cm; la que estava a 3 cm ha passat a estar a 6 cm., etc. I això passa tant en les galàxies de l'esquerra com en les de la dreta de la goma.

Si suposem que el temps que ha durat l'estirament de la goma ha estat 1 s, les velocitats d'allunyament de les galàxies respecte de la nostra no són iguals: La velocitat de la primera ha estat d'1cm/s; la de la següent ha estat de 2 cm/s; la següent de 3 cm/s;... etc.

Podem dibuixar les velocitats d'allunyament de cada galàxia respecte de la nostra en un gràfic respecte de les distàncies originals a les que estaven. Estan en una recta, i seria un model de la *Llei de Hubble*.

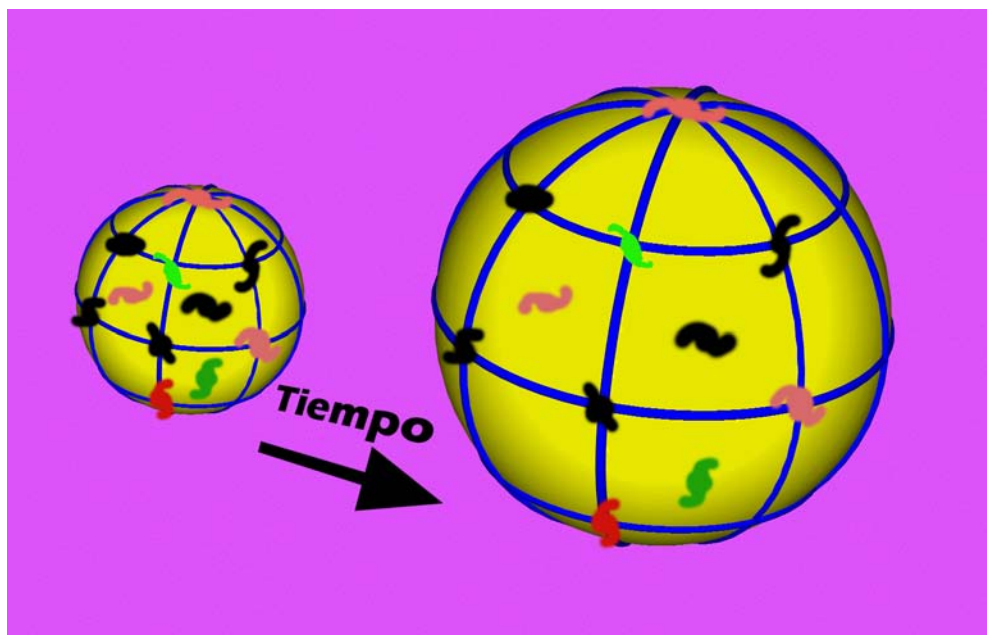
Per altra banda, un habitant de qualsevol "galàxia" veïna veuria a la nostra i a les demés galàxies que s'allunyen de la seva, exactament com ens passa a nosaltres. Per tant, per a veure que totes les galàxies s'allunyen de la nostra no és necessari que esem al centre de l'Univers.

Activitat 3: El globus que s'infla

L'imatge d'un globus que s'nfla (o desinfla) serveix per a intuir el concepte del nostre Univers en expansió. Les marques a la superfície representen la distància entre si de les galàxies: amb la duplicació successiva de la mida entre les marques, o galàxies, aquestes **s'allunyen a una velocitat proporcional** a les seves distàncies.

El volum de l'Univers, que correspon a la superfície del globus, és **finit** i, al mateix temps, **no té límits**. En aquest Univers esfèric – tal i com afirma Einstein- anant sempre en una mateixa direcció, tornariem al punt de partida.

Tot i amb això, tant a la goma com en el cas del globus, ha de notar-se que el model no és exacte, perquè les Galàxies NO s'expandeixen amb l'Univers com ho fan els dibuixos al globus o les marques del rotolador de la goma. Seria un model més acertat no dibuixar les galàxies sinó enganxar a la goma petits papers en forma de galàxia.



Material adicional

- <http://www.xtec.cat/~lvallmaj/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).