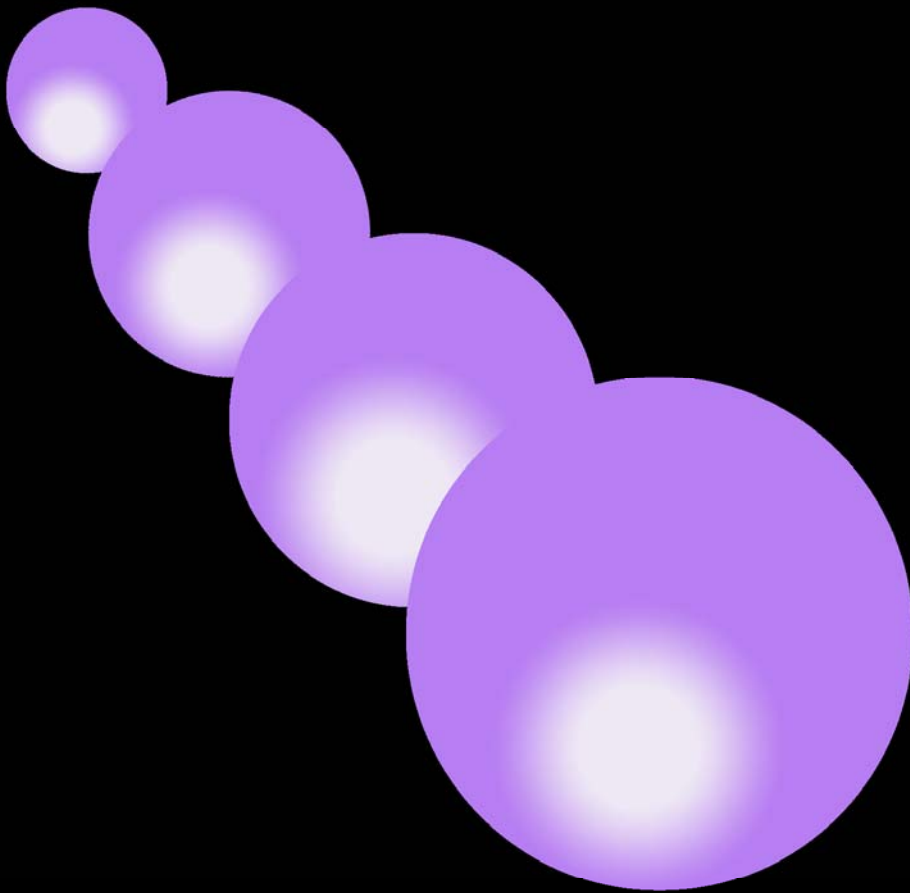


# LEI DE HUBBLE



# Lei de Hubble

## Resumo:

Nesta unidade preséntanse as implicacións cosmolóxicas da lei de Hubble e ilústrase o modelo do Universo en expansión mediante tres sinxelas actividades.

## Contidos:

Introdución teórica

Actividade 1: A expansión do Universo

Actividade 2: O Universo nunha goma elástica

Actividade 3: O globo que se incha

Bibliografía

## Nivel:

Segundo ciclo de ESO e Bacharelato

## 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 apuntamentos pedagóxicos "Con A de Astrónomas":

Josefina F. Ling (Universidade de Santiago)

Axudantes de maquetación e tradución:

Surinye Olarte Vives, Alejandra Díaz Bouza



Ella es una Astrónoma

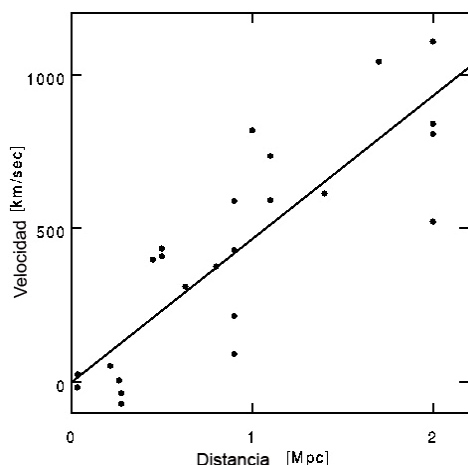


# LEI DE HUBBLE

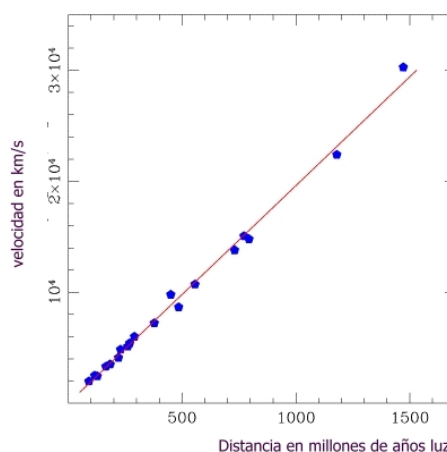
A cosmoxía científica naceu coa lei de Hubble, a primeira observación con significado puramente cosmolóxico. Hubble obtivo unha relación lineal entre o desprazamento ao vermello  $z$  e distancia  $D$

$$cz = H_0 D$$

onde  $c$  é a velocidade da luz e  $H_0$  é a **constante de Hubble**, expresada habitualmente en  $\text{km s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ . Esta relación aproximada para pequenos desprazamentos a vermello podería implicar, por extrapolación directa, unha relación lineal entre a velocidade e a distancia que se cumpriría para calquera distancia considerada.



Representación da velocidade fronte á distancia cos datos orixinais de 1929.

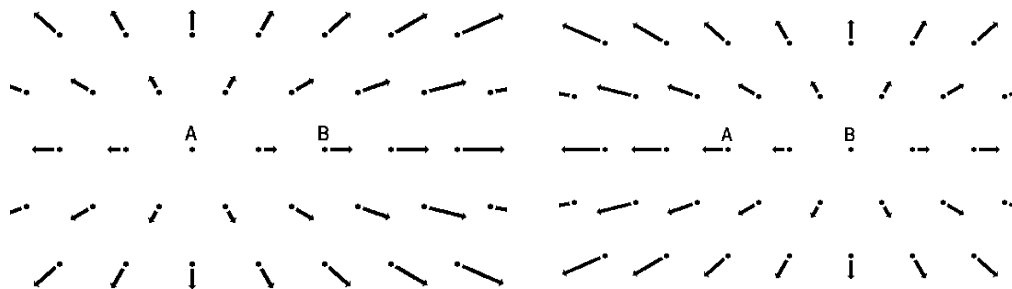


Representación de 1996 da distancia fronte a velocidades de máis de 30000 km/s ( $z = 0.1$ ). Como se ve, a relación permanece lineal con grande aproximación.

Este feito pode ser interpretado como que o Universo está en expansión. Pero unha lei da forma

$$v = H D$$

coñecida como relación **velocidade-distancia** (e moitas veces confundida coa lei de Hubble) ten moitas máis implicacións. A primeira é que esta é a única relación posible que produce unha expansión homóloga que non cambia a forma das estruturas no Universo. A segunda é que é compatible cunha visión copernicana (ou **principio de mediocridade**) onde a nosa posición no Universo non é de particular importancia. Todos os observadores, en calquera lugar do Universo, verán o mesmo tipo de lei.



*A expansión é vista de igual maneira por todos os observadores*

A terceira é que, para unha distancia suficientemente grande, un obxecto se pode afastar cunha velocidade maior que a da luz, o que implica que hai algún tipo de **horizonte cosmolóxico** ao que temos

que dar unha explicación dentro dun modelo razoable do Universo observable. Este horizonte (coñecido como **raio de Hubble**) prodúcese a unha distancia

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

onde  $h$  é un número adimensional amplamente utilizado:  $h = (H_0/100)$ .

Por último, se extrapolamos a expansión cara atrás no tempo, parece ser que podería haber un tempo en que as galaxias estivesen moito máis preto e a densidade do universo podería crecer indefinidamente se nos imos suficientemente atrás no tempo. Podemos facer unha primeira estimación do tempo de expansión (denominado **tempo de Hubble**) como a inversa da constante de Hubble,

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

onde 1 Gano =  $10^9$  anos = mil millóns de anos = 1 eón.

## Notas adicionais

Distancia  $D$  a galaxias próximas pódese estimar comparando o seu brillo aparente co seu brillo absoluto teórico.

- En calquera caso,  $D$  ha de ser a distancia actual á galaxia, non a que existía cando a galaxia emitíu a luz que hoxe recibimos. Esta distancia é moi difícil de determinar.

A velocidade  $v$  defínese como o cociente de variación de distancia a  $D$ .

- Para galaxias relativamente próximas, a velocidade pode determinarse mediante o vermello ( $z$ ) empregando a fórmula  $v \approx zc$ , sendo  $c$  a velocidade da luz. Con todo, só debe considerarse a velocidade debida á expansión do Universo á marxe doutros movementos relativos das galaxias (movemento peculiar).

Os sistemas con ligaduras gravitacionais, como as galaxias, o noso Sistema Solar, non se atopan suxeitos á lei de Hubble e non se expanden.

## Actividade 1: A EXPANSIÓN DO UNIVERSO

Unha forma de visualizar a expansión do Universo é superpoñendo dúas transparencias: unha cunha distribución aleatoria de puntos e a segunda é esa mesma ampliada lixeiramente. Suponse que representa unha distribución de galaxias en dúas dimensións. Se se fotocopia sen ampliación (100%) nunha transparencia e logo se volve fotocopiar noutra transparencia, pero cunha ampliación do 105%, e se se superpoñen, vese perfectamente unha representación gráfica da expansión do Universo.

Suxírese facer coincidir un punto calquera das dúas transparencias e logo facer coincidir outros distintos, para apreciar que a visión da expansión en todas as direccións é común a calquera punto e non implica estar no centro do Universo.

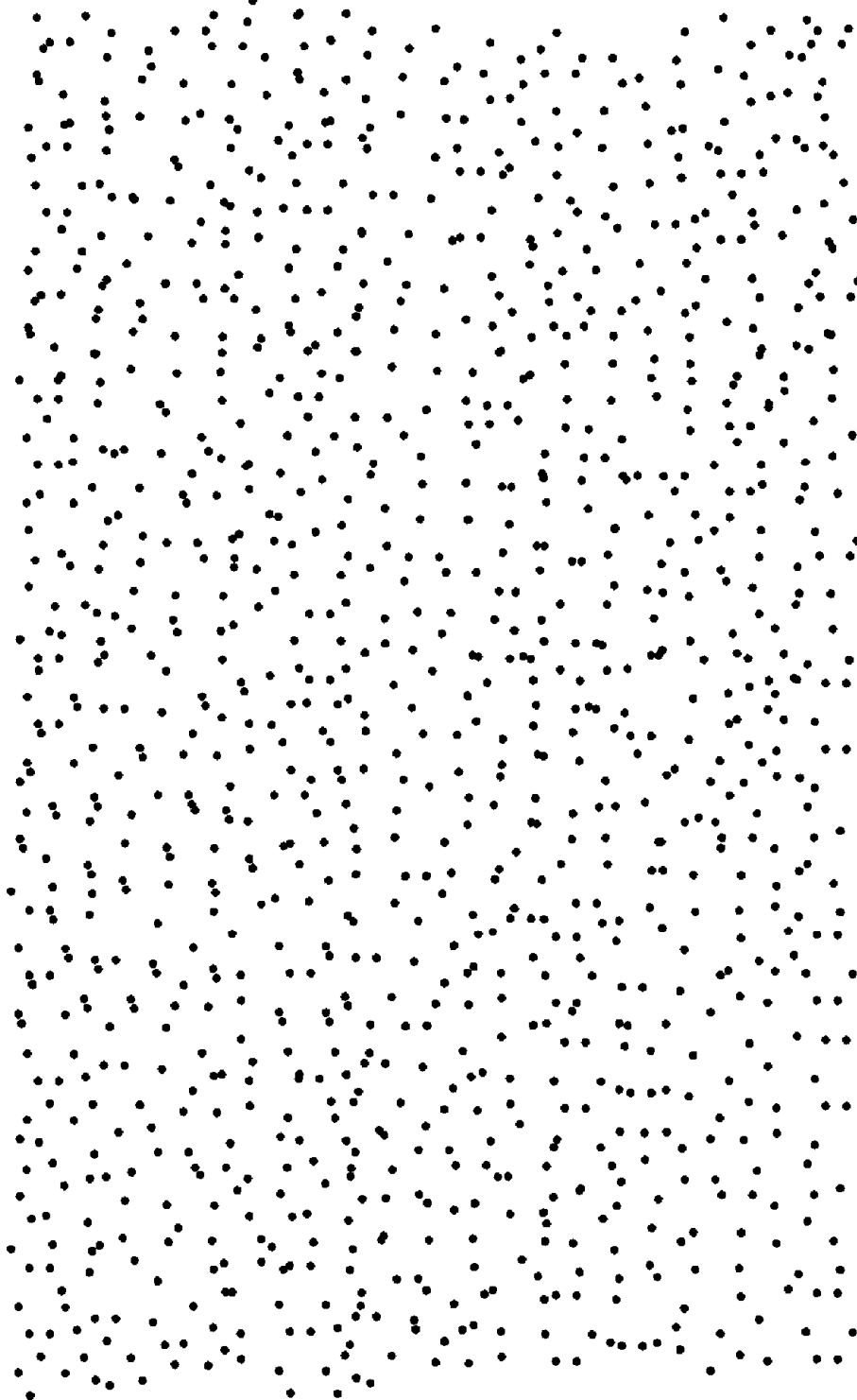
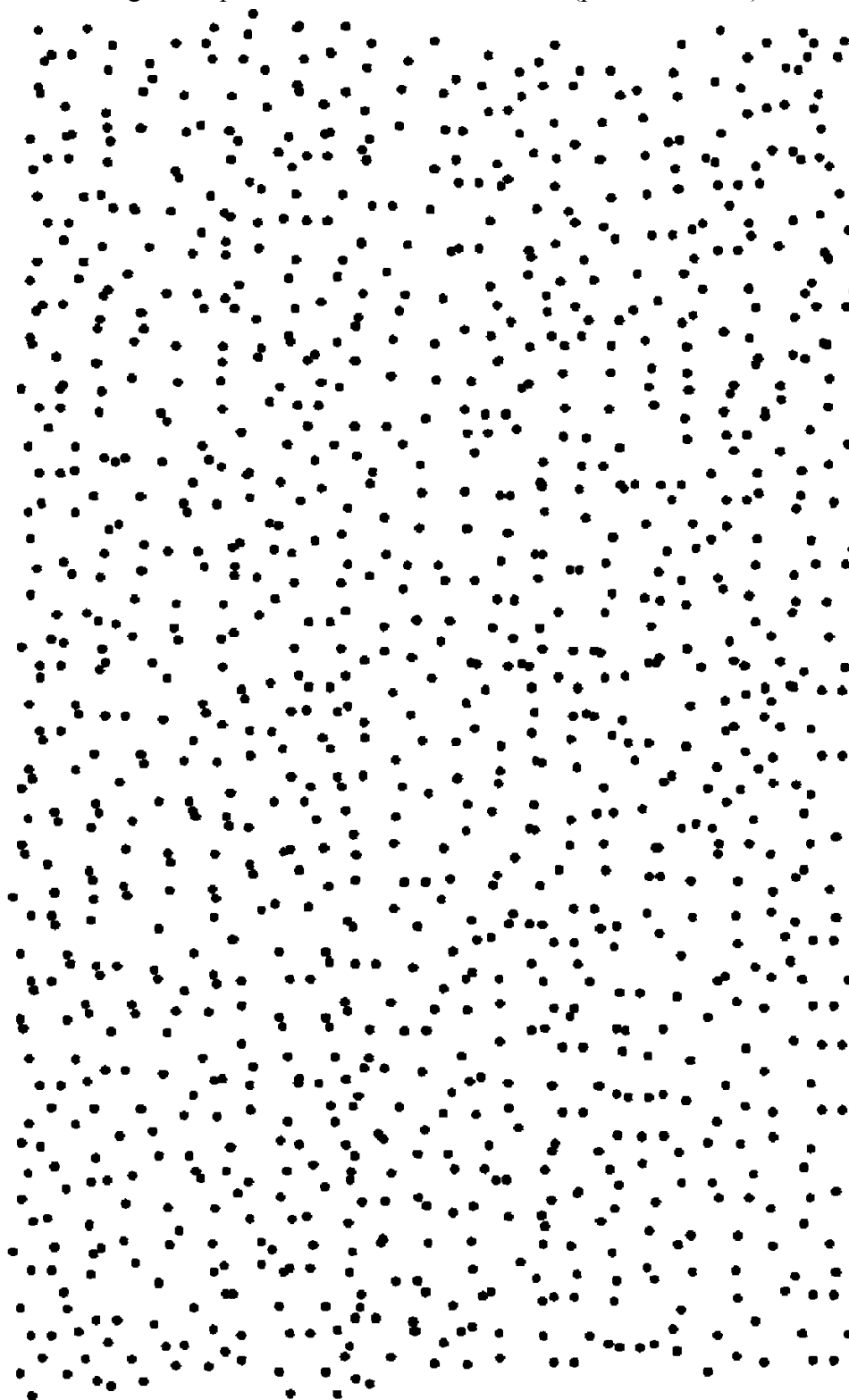
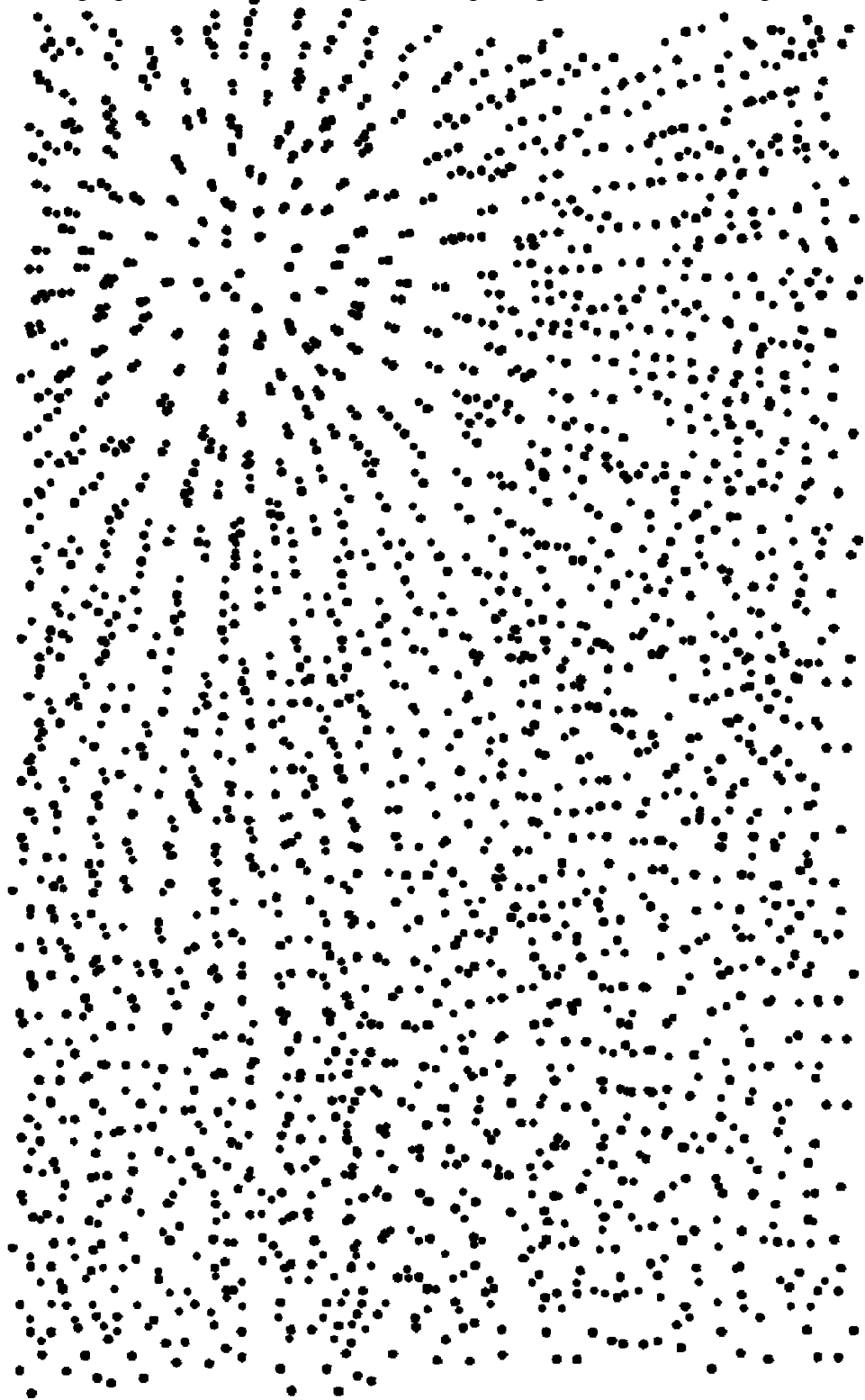


Figura de puntos aumentada a un 105 % (pero sen fondo)



Se superponemos ambas as figuras tal que fagamos coincidir un punto:



## Actividade 2: O UNIVERSO NUNHA GOMA ELÁSTICA

### Obxectivos:

Trátase de facer un modelo da expansión do Universo.

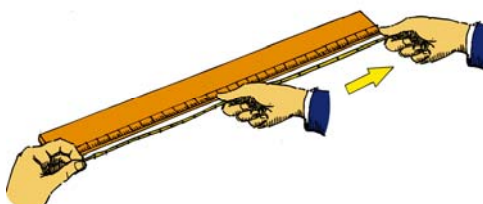
### Material:

Necesitaremos:

- unha goma elástica duns 20 cm
- unha regra
- un rotulador
- unhas tesoiras

### Procedemento:

Co rotulador fanse unhas marcas sobre a goma a distancias constantes de 1 cm. Cada unha representará unha galaxia. Seleccionamos unha que representará a nosa (non necesariamente ten que ser a primeira marca).



Situamos a goma preto da regra e facemos que a nosa galaxia coincida coa marca de 3 cm. As outras galaxias coincidirán coas marcas 1, 2, 4, 5...cm.

Estiramos a goma de tal forma que a nosa galaxia se manteña na marca de 3 cm e que a seguinte se sitúe sobre a de 5 cm. A distancia entre esta galaxia e a nosa pasou de ser 1 cm a 2 cm, é dicir, duplicouse. Que pasou coa distancia entre as demais galaxias e a nosa? Todas se duplicaron: a que estaba a 2 cm pasou a distar 4 cm, a que estaba a 3 cm pasou a estar a 6 cm., etc. E isto ocorre tanto nas galaxias da esquerda coma nas da dereita da goma.

Se supomos que o tempo que durou o estiramento da goma foi 1 s, as velocidades de afastamento das galaxias respecto da nosa non son iguais: a velocidade da primeira foi de 1 cm/s, a da seguinte foi de 2 cm/s, a seguinte de 3 cm/s etc.

Podemos debuxar as velocidades de afastamento de cada galaxia respecto da nosa nun gráfico fronte ás distancias orixinais ás que estaban. Están nunha recta e sería un modelo da *lei de Hubble*.

Por outra banda, un habitante de calquera "galaxia" veciña vería a nosa e as demais galaxias que se afastan da súa, exactamente como nos pasa a nós. Por tanto, para ver que todas as galaxias se afastan da nosa non é necesario que esteamos no centro do Universo.

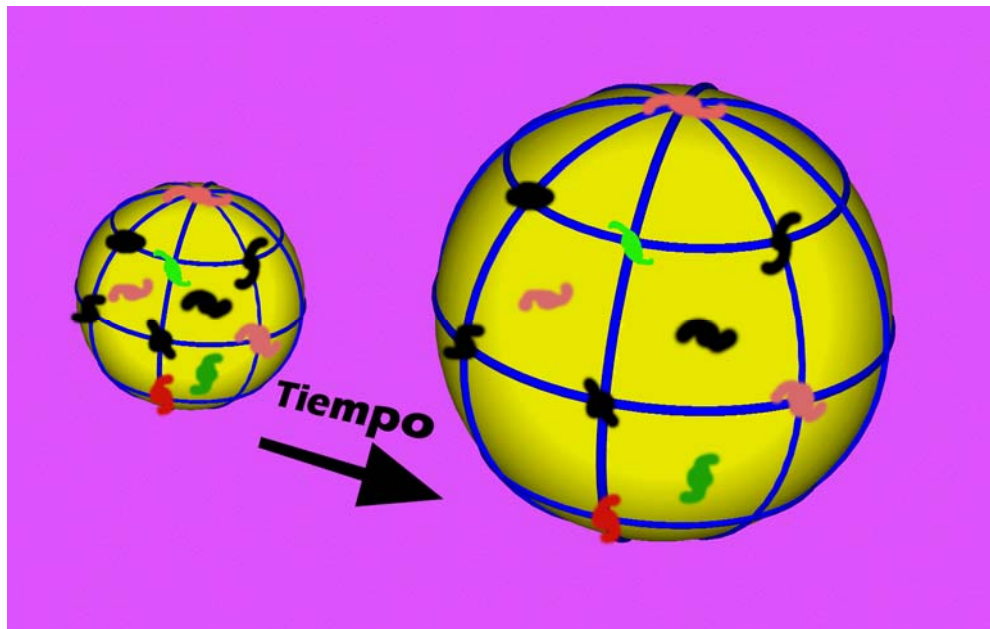


### Actividade 3: O GLOBO QUE SE INCHA

A imaxe dun globo que **se desincha** serve para intuír o concepto do noso Universo en expansión. As marcas na superficie representan a distancia entre si das galaxias: na duplicación sucesiva do tamaño entre as marcas, ou galaxias, estas **afástanse a unha velocidade proporcional ás súas distancias**.

O volume do Universo, que corresponde á superficie do globo, é **finito** e, ao mesmo tempo, non ten límites. Neste Universo esférico—tal e como afirma Einstein—, indo sempre nunha mesma dirección, volveríamos ao momento de partida..

Con todo, tanto na goma coma no caso do globo, debe notarse que o modelo non é exacto, pois as galaxias NON se expanden co Universo como o fan os debuxos no globo ou as marcas de rotulador da goma. Sería un modelo máis acertado non debuxar as galaxias no globo senón adherir á goma pequenos papeis 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, xaneiro 1999, páx. 40 (Barcelona, España).
- Ricardo Moreno, *Historia breve del universo*, Editorial Rialp, Madrid, 1998.
- Ricardo Moreno e L. Cano, *Experimentos para todas las edades*, Editorial Rialp, Madrid, 2008
- William K. Hartmann, *Craters!*, NSTA, Arlington, VA, 1995
- Lars Broman, Robert Estalella e Rosa M<sup>a</sup> Ros, *Experimentos en Astronomía*, Editorial Alhambra Longman S.A., Madrid, 1993.