

Ley de Hubble *en* *MateFun*

Falco Nozar, Lucas González y Mateo Fernández

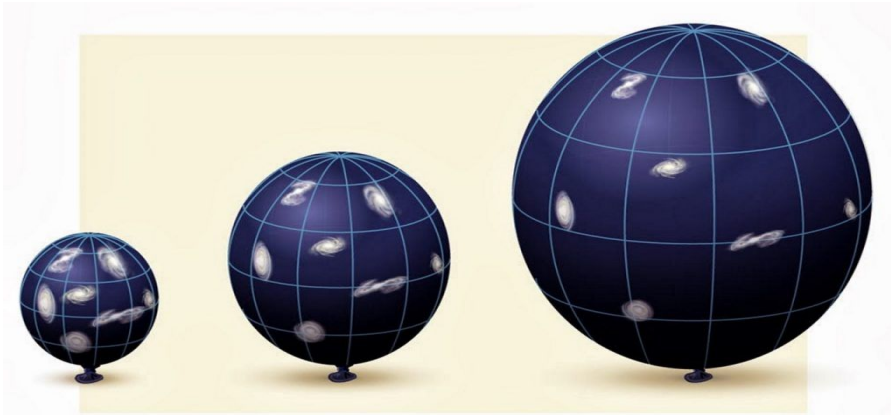
Docente: Magela Pérez Vezoli

Liceo N°15 de Montevideo

Micropasantías para Bachillerato 2024: “*Introducción a las ciencias computacionales*”

Facultad de Ingeniería, UdelaR. - PEDECIBA - ANEP

Expansión del Universo



El espacio entre las galaxias se *dilata*, alejándolas unas de otras de manera (aproximadamente) constante y proporcional.

Similar a lo que ocurre en la superficie de un globo cuando se infla

Ley de Hubble

(Edwin Hubble, 1929)

¿Cómo se expande el Universo?

Diagram illustrating the Hubble-Lemaître equation:

$$z = \frac{H_0}{c} r$$

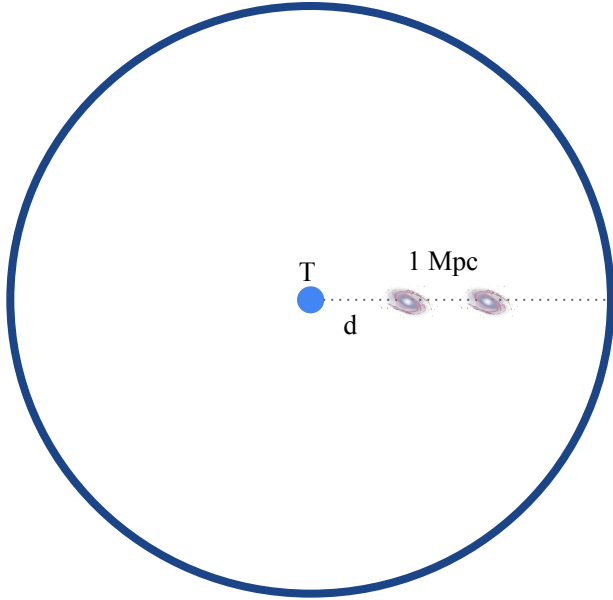
Annotations:

- H_0 : Constante de Hubble-Lemaître
- r : Distancia
- c : Velocidad de la luz
- z : Redshift
- v : Velocidad

La Ley de Hubble modela la relación lineal entre distancia y velocidad

$$v = H_0 \cdot D$$

Problema: ¿Cuánto tiempo le tomaría a una galaxia alcanzar una distancia a la Tierra igual al *radio del universo observable*, partiendo de una distancia inicial d ?



Radio Universo observable = 14257 Mpc

Constante de Hubble = 70 km/s/Mpc

Solución: Subdividimos el recorrido de la galaxia en tramos de 1 Mpc y hallamos el tiempo que le lleva recorrerlos, tomando en cuenta que su velocidad aumenta 70 km/s en cada tramo. Luego se suman todos estos tiempos.

$$d = 14257 \text{ Mpc} \sum_{d=d_0} \frac{3 \times 10^{19} \text{ km}}{70 \text{ km/s/Mpc} \times d}$$

Para poder sumar todas las distancias, se creó una secuencia que, dada una distancia inicial, genera una lista de todas las distancias hasta el radio del universo observable

```
{- Definimos funcion secuenciaDist para obtener la secuencia con todas las distancias del
intervalo d1-d2 -}
secuenciaDist :: Z X Z -> Z*
secuenciaDist (d1,d2)= {[d1,d2] si d2-d1==1
                        {d1:secuenciaDist(d1+1,d2)}
```

Ejemplo para $d_0 = 14000$ Mpc:

```
Trabajofinal>tiempo(secuenciaDist(14000,14257))
(248171740.4484,Años)
```

Se creó finalmente la función recursiva para sumar los tiempos correspondientes a cada distancia:

```
{- Definimos funcion tiempo que suma los tiempos transcurridos en cada intervalo de
distancias contenido en la secuencia anterior (indicada aca como secD) -}
conj UnidTiempo = { Años }
tiempo :: Z* -> R X UnidTiempo
tiempo (secD) = {(0, Años) si secD==[]
                {((3e19/(constHubble() * (primero(secD))))/(365*24*60*60) +
tiempo(resto(secD))!1, Años)
```

Trazado de gráfico de Velocidad vs Distancia para diferentes galaxias:

```
{- Se define una función unir para juntar a todos los puntos a ser graficados -}
```

```
unir :: Fig* -> Fig
unir (figs) = FigVacia si figs == []
              o juntar(primero(figs), unir(resto(figs)))
```

```
{- Se grafican individualmente los puntos, correspondientes a galaxias, con su velocidad en el eje y en una escala de 5000:1 (km/s) y su distancia en el eje x a una escala de 50:1 (Mpc)
```

```
Se grafica una recta con su pendiente siendo la constante de Hubble, que coincide con los puntos de datos experimentales
```

```
-}
```

```
unidas :: () -> Fig
unidas () = unir([fig1, fig2, fig3, fig4, fig5, fig6, fig7, fig8, fig9, fig10,
color(segmento((0,0), (1428, 1000)), Rojo)])
                                donde fig1 = color(mover(circ(0.1), (1.5, 1.5))),
                                rgb(230,0,0))
                                fig2 = color(mover(circ(0.1), (1.7, 1.4)),
                                rgb(230,80,90))
                                fig3 = color(mover(circ(0.1), (1.8, 1.5))),
                                rgb(225,78,87))
                                fig4 = color(mover(circ(0.1), (4, 3)), rgb(205,65,75))
                                fig5 = color(mover(circ(0.1), (4.3, 3)), rgb(202,62,73))
                                fig6 = color(mover(circ(0.1), (4.5, 3)), rgb(200,60,70))
                                fig7 = color(mover(circ(0.1), (5.2, 4.4)),
                                rgb(185,55,65))
                                fig8 = color(mover(circ(0.1), (6, 4.4)), rgb(175,50,60))
                                fig9 = color(mover(circ(0.1), (11, 8)), rgb(150,40,45))
                                fig10 = color(mover(circ(0.1), (11.5, 8)),
                                rgb(145,37,40))
```

