

# Prueba Optativa. Fundamentos de Física III

## Comprobación de la Ley de Hubble con Stellarium

Álvaro Jerónimo Sánchez

26/Diciembre/2025

En este documento se presenta el trabajo para la prueba optativa de Fundamentos de Física III. Se empezará detallando la metodología y mostrando las tablas, gráficas o desarrollos oportunos, y tras esto se responderán a las cuestiones presentadas de manera breve. Al final del documento, en el apéndice, se encuentra la tabla 1 así como la Declaración de Autoría rellena y firmada con lápiz digital.

### 1. Obtención de los datos

Para obtener los datos mostrados en la tabla 1, se ha empleado el programa *Stellarium* para buscar el desplazamiento espectral ( $z$ ), la distancia ( $b$ ) y la magnitud aparente ( $m$ ). Para calcular la velocidad de recesión, se ha aplicado la **Ley de Hubble** (Óscar Gálvez (2025). *Astrofísica y Cosmología*) usando la relación:

$$v = c (\lambda - \lambda_0) = cz = H_0 d$$

Empleando la misma llegamos a que  $H_0 = v/d$ , con lo que se han podido hallar los valores de la constante de Hubble, con los que posteriormente se ha hecho una media para llegar al valor aproximado. Para esto también ha sido necesario el dato de  $c \approx 299792 \text{ km/s}$ .

El valor de  $H_0$  medio hallado se corresponde bastante con el teórico, especialmente comparándolo a un estudio del mismo para el universo local por la colaboración *SHOES* (Adam G Riess et al. (2022). “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s<sup>-1</sup> Mpc<sup>-1</sup> uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SHOES team”. En: *The Astrophysical journal letters* 934.1, pág. L7), que estima la constante de Hubble en  $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ .

La magnitud absoluta visual ( $M$ ) se ha hallado con la siguiente relación entre  $m$  y  $M$  (Gálvez, *Astrofísica y Cosmología*), despreciando la extinción interestelar:

$$m - M = 5 \log \frac{d \text{ (en parsec)}}{10}$$

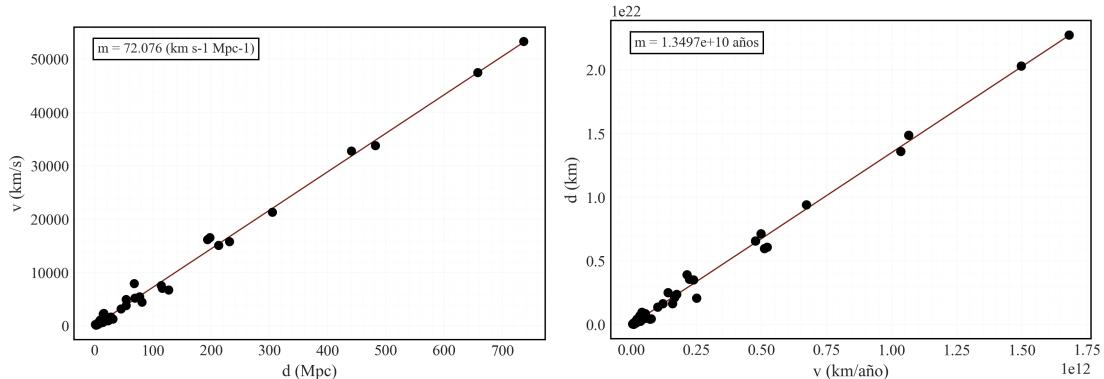


Figura 1: Figuras generadas con matplotlib y seaborn en python

## 2. Gráficas

Tras graficar la velocidad de recesión frente a la distancia, la pendiente resultante debe acercarse al valor de la constante de Hubble  $H_0$ , hecho que se ha observado en este caso.

Para la figura 1b se han pasado las unidades de velocidad a  $km/año$  y las de distancia a  $km$  para hallar un valor de la edad del universo (en la pendiente) en años. El valor calculado se acerca a valores teóricos (Peter AR Ade et al. (2014). “Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results”. En: *Astronomy & Astrophysics* 571, A1, Table 10), por lo que se ha concluido que la obtención del mismo ha sido exitosa.

## 3. Longitud de onda $H_\alpha$ para z mayor

En este caso, **LEDA 2816758** es la galaxia con mayor  $z$  ( $z = 0,1778$ ). Teniendo en cuenta que la línea  $H_\alpha$  del hidrógeno tiene una longitud de onda de  $\lambda_0 = 6562,8 \text{ Å}$  (Gálvez, *Astrofísica y Cosmología*), se puede calcular la longitud de onda observada para LEDA 2816758.

Empleando la definición del desplazamiento al rojo:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} \implies \lambda = \lambda_0(z + 1) = 7729,67 \text{ Å}$$

## 4. Cuestiones

### 4.1. Valor medio de la constante de Hubble

Se ha hallado que este valor es  $H_0 = 73,41735 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ , que entra en el margen de error del valor aceptado en la actualidad, siendo este  $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  (Riess et al., “A

comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s- 1 Mpc- 1 uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”).

#### 4.2. Edad del universo con la constante de Hubble

Pasándolo a las unidades correspondientes, la edad del universo calculada con el valor medio de la constante de Hubble es:  $\tau_0 = \frac{1}{H_0} = 1,332 \cdot 10^{10}$  años, que es un valor cercano al aceptado actualmente (Riess et al., “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s- 1 Mpc- 1 uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”).

#### 4.3. Valor de la constante de Hubble con gráfica

El valor obtenido de la constante de Hubble con la pendiente de la figura 1a es  $H_0 = 72,076 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ , que entra en el margen de error del valor aceptado en la actualidad, siendo este  $73,04 \pm 1,04 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  (ibíd.).

#### 4.4. Edad del universo con gráfica

El valor obtenido de la edad del universo con la pendiente de la figura 1b es  $\tau_0 = 1,3487 \cdot 10^{10}$  años, que es un valor ligeramente más cercano al aceptado actualmente (ibíd.) que el hallado con la constante de Hubble media.

#### 4.5. Galaxias con z negativo

Un  $z$  negativo para una galaxia simplemente significa que corre al azul en vez de correr al rojo. No contradice la Ley de Hubble, que trata de la expansión del universo, sólo supone que la galaxia se acerca a nosotros en vez de alejarse.

#### 4.6. Longitud de onda de la línea $H_\alpha$ para LEDA 2816758

En tre las galaxias estudiadas, LEDA 2816758 es la galaxia con mayor  $z$  ( $z = 0,1778$ ), y se ha hallado una  $\lambda = 7729,67 \text{ \AA}$ . Se puede observar que esta longitud de onda es mayor que la medida en el laboratorio, y esto es debido al **efecto Doppler**, ya que la galaxia se está alejando de la tierra y la longitud de onda se “estira” debido a esto.

### Referencias

Ade, Peter AR et al. (2014). “Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results”.

En: *Astronomy & Astrophysics* 571, A1.

Gálvez, Óscar (2025). *Astrofísica y Cosmología*.

Riess, Adam G et al. (2022). “A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km s- 1 Mpc- 1 uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team”. En: *The Astrophysical journal letters* 934.1, pág. L7.

Stellarium (2025). *Software*.

## APPENDIX

| ID       | z        | d (Mpc) | v (m/s)  | m     | M        | H        | ID            | z        | d (Mpc) | v (m/s)  | m     | M        | H                 |
|----------|----------|---------|----------|-------|----------|----------|---------------|----------|---------|----------|-------|----------|-------------------|
| ANTENNAE | 0.005593 | 27.9    | 1676.737 | 10.91 | -21.318  | 60.09809 | NGC 1270      | 0.01669  | 53.7    | 5003.528 | 13.32 | -20.3299 | 93.17558          |
| ENTaurus | 0.001826 | 4.9     | 547.4202 | 6.84  | -21.611  | 111.7184 | NGC 1272      | 0.01285  | 53.7    | 3852.327 | 13.66 | -19.9899 | 71.73794          |
| IC 2378  | 0.05036  | 213     | 15097.53 | 15.3  | -21.3419 | 70.8804  | NGC 1275      | 0.01756  | 68.9    | 5264.348 | 12.48 | -21.7111 | 76.40562          |
| LGS 3    | 0.000955 | 1.198   | 286.3014 | 14.3  | -11.0923 | 238.9828 | NGC 1316      | 0.005911 | 16.9    | 1772.071 | 8.53  | -22.6094 | 104.8562          |
| M31      | -0.001   | 778     | -299.792 | 3.4   | -36.0549 | -0.38534 | NGC 1512      | 0.002782 | 14.3    | 834.0213 | 10.32 | -20.4567 | 58.32317          |
| M32      | -0.00066 | 763     | -199.062 | 8.1   | -31.3126 | -0.26089 | NGC 1672      | 0.004464 | 14.5    | 1338.271 | 9.68  | -21.1268 | 92.29459          |
| M33      | -0.0006  | 835     | -179.276 | 5.7   | -33.9084 | -0.2147  | NGC 1705      | 0.002112 | 6       | 633.1607 | 12.39 | -16.5008 | 105.5268          |
| M49      | 0.003339 | 17.7    | 1001.005 | 8.4   | -22.8399 | 56.55398 | NGC 3079      | 0.003566 | 22.6    | 1069.058 | 10.86 | -20.9105 | 47.30346          |
| M58      | 0.005047 | 19.1    | 1513.05  | 9.66  | -21.7452 | 79.21729 | NGC 3115      | 0.002222 | 13.3    | 666.1378 | 9.9   | -20.7193 | 50.08555          |
| M60      | 0.00369  | 16.8    | 1106.232 | 8.8   | -22.3265 | 65.84717 | NGC 3226      | 0.00423  | 23.4    | 1268.12  | 13.33 | -18.5161 | 54.19317          |
| M61      | 0.00524  | 16.1    | 1570.91  | 9.65  | -21.3841 | 97.57205 | NGC 3227      | 0.00365  | 23.7    | 1094.241 | 11.79 | -20.0837 | 46.1705           |
| M66      | 0.00234  | 11      | 701.5133 | 8.9   | -21.307  | 63.77393 | NGC 3310      | 0.003366 | 22.9    | 1009.1   | 12.15 | -19.6492 | 44.0655           |
| M74      | 0.002188 | 9.2     | 655.9449 | 9.4   | -20.4189 | 71.29836 | NGC 3370      | 0.004276 | 31.2    | 1281.911 | 12.4  | -20.0708 | 41.08688          |
| M77      | 0.00381  | 14.4    | 1142.208 | 8.9   | -21.8918 | 79.31997 | NGC 3808      | 0.023603 | 116     | 7075.991 | 14.1  | -21.2223 | 60.99992          |
| M84      | 0.003369 | 18.4    | 1009.999 | 9.1   | -22.2241 | 54.89126 | NGC 4005      | 0.01489  | 81.2    | 4463.903 | 13.44 | -21.1078 | 54.97417          |
| M87      | 0.004233 | 18.4    | 1269.02  | 8.6   | -22.7241 | 68.96845 | NGC 4556      | 0.025221 | 114     | 7561.054 | 14.4  | -20.8845 | 66.32504          |
| M88      | 0.007602 | 14.41   | 2279.019 | 9.6   | -21.1933 | 158.1554 | NGC 4860      | 0.02647  | 67.6    | 7935.494 | 13.24 | -20.9097 | 117.389           |
| M94      | 0.00096  | 4.91    | 287.8003 | 8.2   | -20.2554 | 58.61514 | NGC 4881      | 0.022526 | 127     | 6753.115 | 13.56 | -21.959  | 53.17413          |
| M95      | 0.002595 | 10      | 777.9602 | 9.7   | -20.3    | 77.79602 | NGC 5643      | 0.00399  | 16.9    | 1196.17  | 13.6  | -17.5394 | 70.77929          |
| M96      | 0.003012 | 9.6     | 902.9735 | 9.3   | -20.6114 | 94.05974 | NGC 6907      | 0.010649 | 45      | 3192.485 | 11.3  | -21.9661 | 70.94411          |
| M99      | 0.008036 | 15.4    | 2409.129 | 9.9   | -21.0376 | 156.4369 | 3C 273        | 0.15834  | 657.8   | 47469.07 | -     | -        | 72.16337          |
| M100     | 0.00525  | 16.86   | 1573.908 | 9.4   | -21.7343 | 93.3516  | ESO 254-3     | 0.05269  | 231.14  | 15796.04 | -     | -        | 68.33971          |
| M104     | 0.003642 | 8.98    | 1091.842 | 8     | -21.7664 | 121.586  | ESO 410-6     | 0.10934  | 440.55  | 32779.26 | -     | -        | 74.40531          |
| M105     | 0.002922 | 9.8     | 875.9922 | 9.3   | -20.6561 | 89.38696 | IC 2378       | 0.05036  | 213     | 15097.53 | -     | -        | 70.8804           |
| M106     | 0.001541 | 7       | 461.9795 | 8.4   | -20.8255 | 65.99707 | LEDA 1163616  | 0.11264  | 481.64  | 33768.57 | -     | -        | 70.11164          |
| M108     | 0.002328 | 14.1    | 697.9158 | 10    | -20.7461 | 49.49757 | LEDA 2816758  | 0.1778   | 736.6   | 53303.02 | -     | -        | 72.36359          |
| M110     | -0.00082 | 824     | -245.829 | 8.1   | -31.4796 | -0.29834 | MCG-02-02-026 | 0.054    | 193.41  | 16188.77 | -     | -        | 83.70181          |
| NGC 300  | 0.000487 | 1.98    | 145.9987 | 8.13  | -18.3533 | 73.73672 | MCG-03-03-004 | 0.05518  | 197.485 | 16542.52 | -     | -        | 83.76597          |
| NGC 891  | 0.001761 | 9.12    | 527.9337 | 10.1  | -19.7    | 57.88747 | Mrk 540       | 0.07114  | 304.79  | 21327.2  | -     | -        | 69.97343          |
| NGC 1260 | 0.0184   | 77      | 5516.173 | 13.53 | -20.9025 | 71.63861 |               |          |         |          |       |          | H (med)= 73.41735 |

Tabla 1: Tabla con los datos de cada galaxia obtenidos con *Stellarium*

## Declaración de Autoría

El alumno Álvaro Jerónimo Sánchez, con DNI número 09847051S, declara que es el autor único e individual de este trabajo.

Fdo.