

# Medida de la Constante de Hubble

Gabriel D'Andrade Furlanetto - XDD204950

## 1. Objetivos

Utilizando imágenes de galáxias providenciadas por SAO-DDS, se miden los ángulos en los extremos de las galáxias y los utilizan para calcular la distancia entre la Tierra y esas galáxias. De esta manera, utilizando datos conocidos de la literatura para las velocidades de recesión y, finalmente, se calcula la constante de Hubble,  $H_0 = \frac{v_{rec}}{d}$ , para diferentes configuraciones de los datos (Excluyendo galaxias del tipo **Sa** y utilizando valor diferente para  $D$ ).

## 2. Teoría

Experimentalmente, se miden dos pares de ángulos para cada galáxia,  $(\alpha, \delta)$ , que corresponden a dar dos vectores unitarios en coordenadas polares con centro en la Tierra y dirección hasta los extremos de la galáxias.

De esta manera, es necesario medirse en ángulo entre estos vectores, que nos dará información sobre la distancia entre la Tierra y la galáxia. Para poder calcularlo, es necesario utilizar la definición del producto escalar (para vectores unitarios) y su cálculo en las coordenadas del problema:

$$\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2 = \cos(\theta)$$

$$\cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) + \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) + \sin(\delta_1) \sin(\delta_2) = \cos(\theta)$$

O sea, que:

$$\theta = \arccos(\cos(\alpha_1) \cos(\alpha_2) \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) + \sin(\alpha_1) \sin(\alpha_2) \cos(\delta_1) \cos(\delta_2) + \sin(\delta_1) \sin(\delta_2)) \quad (1)$$

Pero, por manipulaciones elementales y la aproximación del ángulo pequeño, se puede afirmar que

$$d = \frac{D}{\theta} \quad (2)$$

Donde  $d$  es la distancia entre la Tierra y la galáxia. O sea, se puede calcular  $d$  con los parámetros de los ángulos.

### 3. Resultados

Utilizando los datos obtenidos en el servidor de imágenes SAO-DDS para el cálculo de los ángulos de separación, los datos de la literatura<sup>1</sup> para las velocidades, tomando  $D = 20kpc$  como hipótesis y las ecuaciones (1) y (2) para calcular  $d$ , se puede montar una tabla para los resultados:

Cuadro 1: Datos experimentales con las distancias de la galaxia a la Tierra y sus velocidades de recesión

Nombre	Tipo	$v_{rec}(km/s)$	$\alpha_1 (^\circ)$	$\delta_1 (^\circ)$	$\alpha_2 (^\circ)$	$\delta_2 (^\circ)$	$d(Mpc)$
NGC1357	Sa	2100	53,3049536	-13,6755980	53,3450165	-13,6482955	19,8284181626923
NGC1832	SBb	1860	78,0089999	-15,6697095	78,0118856	-15,7095330	28,7693357835023
NGC2276	Sc	2650	111,7342764	85,7412320	111,9762775	85,7767928	4,69744774486586
NGC2775	Sa	1200	101,8265793	33,5587375	101,8199689	33,5751089	68,3132392733834
NGC2903	Sc	470	143,0006753	21,4390048	143,0833311	21,5827808	7,79875407904869
NGC3034	I0	410	149,1632762	69,7157523	148,7589930	69,6423744	2,96748555550789
NGC3147	Sb	2900	154,2000000	73,3809531	154,1433262	73,4230137	16,6813470349056
NGC3227	Sb	1100	155,8925518	19,8360856	155,8623463	19,8886482	21,3969440902952
NGC3245	S0	1210	156,8247937	28,5258558	156,8293384	28,4898004	31,7247221187108
NGC3310	Sbc	1070	159,7074635	53,4890406	159,6797433	53,5219247	28,8471760475822
NGC3368	Sab	760	161,6665901	11,8566713	161,7120194	11,7871466	16,3364087121769
NGC3417	Sa	2140	162,7503313	8,4727266	163,7628212	8,4755998	7,67886943013609
NGC3516	S0	2840	166,6732804	72,5599498	166,7213403	72,5771988	23,3908664560281
NGC3623	Sa	680	169,7405912	13,0272327	169,7244857	13,1627615	8,45208171274172
NGC3627	Sb	590	170,0644892	12,9251441	170,0639776	13,0429274	9,7290111977366
NGC3941	SB0	940	178,2251883	36,9652890	178,2351670	37,0074966	26,8789746819473
NGC4472	S0	820	187,4659656	7,9527361	187,4301237	8,0522163	11,5045695347057
NGC4631	Sc	610	190,6386176	32,546125	190,4052701	32,5296233	9,05234602799548
NGC4775	Sc	1380	193,4547332	-6,6101842	193,4277089	-6,6313634	53,5295254111754
NGC5248	Sbc	1050	204,4035176	8,8627666	204,3697763	8,9100830	24,0725349055653
NGC5548	Sa	4960	214,5099643	25,1385214	214,4818249	25,1378162	95,696534407399
NGC5866	S0	820	226,6644517	55,7443765	226,5821534	55,7833323	14,6160554648118
NGC6181	Sc	2440	248,0894849	19,8052821	248,0824229	19,8448563	28,9032427161406
NGC6217	SBbc	1600	248,1218207	78,2132040	248,1956674	78,1824260	14,5855420686077
NGC6643	Sc	1740	275,0116358	74,5877849	274,8840190	74,5491538	8,8872540353652
NGC6764	SBb	2410	287,0951042	50,9406932	287,0448228	50,9268493	27,6648634818234
NGC7469	Sa	5120	345,8192889	8,87000973	345,8105057	8,877936	142,504839944925

<sup>1</sup>Robert C. Jr. Kennicutt. «A spectrophotometric atlas of galaxies». En: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 79 (1992), pág. 255. DOI: 10.1086/191653

Como se había mencionado antes, se tiene interés en determinar la relación entre la velocidad de recesión,  $v$ , y la distancia de la Tierra,  $d$ . Representándolo gráficamente (figura 1) y utilizando las herramientas de LibreOffice Calc para automáticamente calcular la regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, se tiene que:

$$H_{01} = 43km/sMpc$$

Con mínimas alteraciones, se puede hacer la análisis que excluye los datos de tipo **Sa**, representarla gráficamente (figura 2), y obtener el valor para la constante de Hubble de la ecuación dada para estos datos:

$$H_{02} = 58km/sMpc$$

Finalmente, se puede hacer lo mismo utilizando  $D = 10kpc$  (figura 3) y obtener la constante de Hubble para este conjunto:

$$H_{03} = 86kpc$$

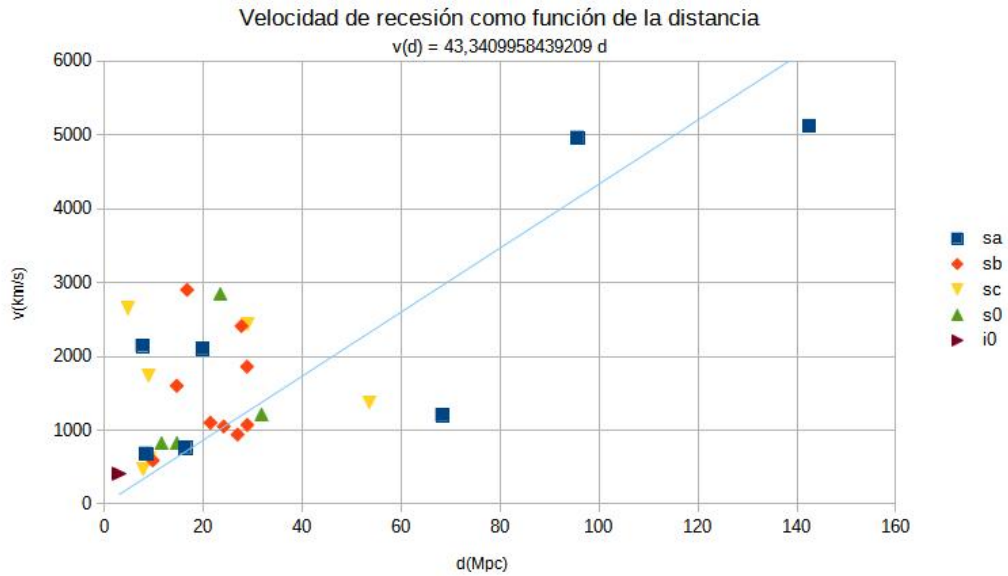


Figura 1: Gráfico de los valores obtenidos de  $d$  para los diferentes valores de  $v$ . Se tiene puesta ecuación de la regresión lineal obtenida.

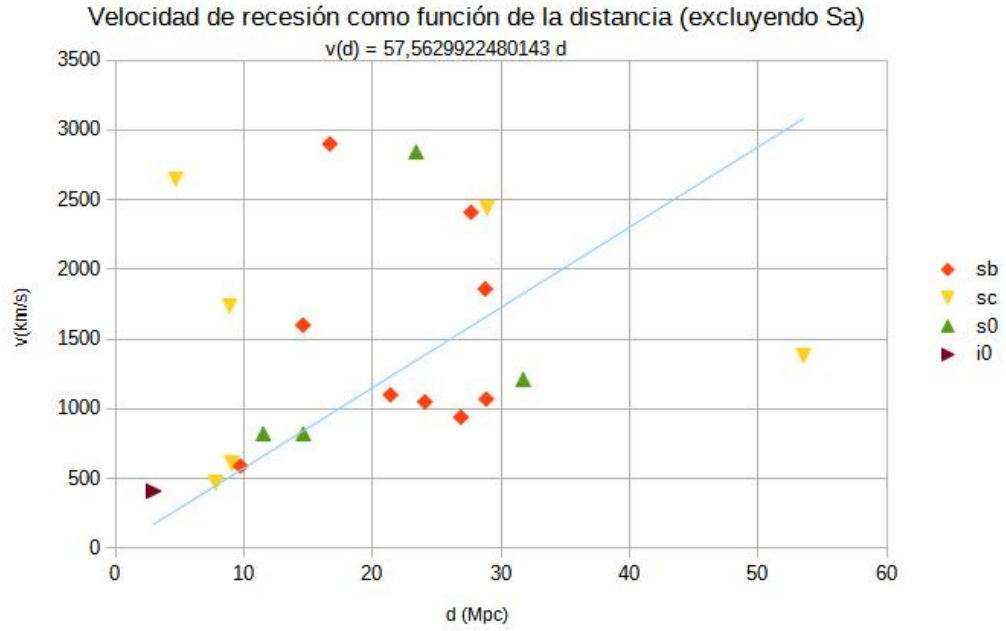


Figura 2: Gráfico de los valores obtenidos de  $d$  para los diferentes valores de  $v$  excluyendo galáxias de tipo **Sa**.

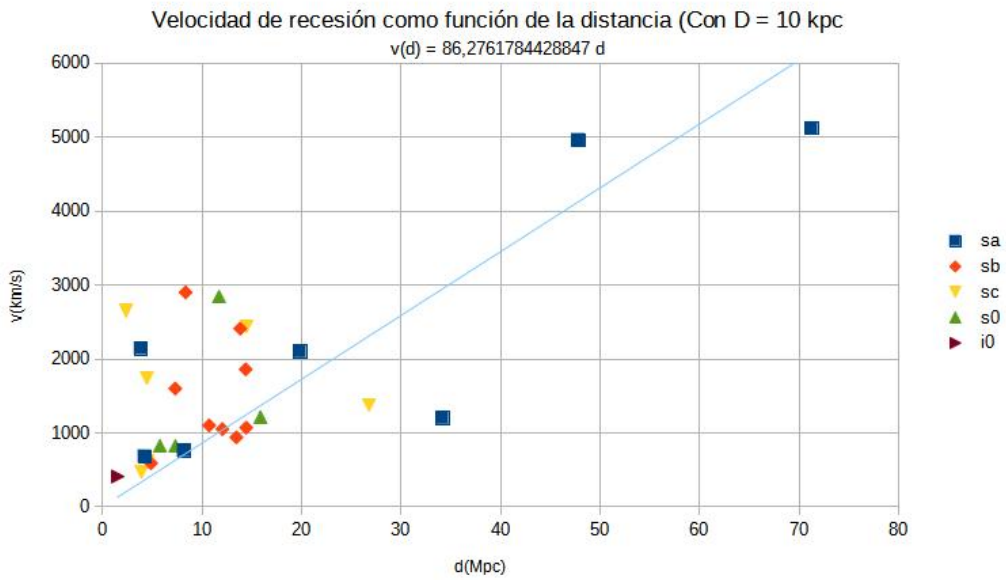


Figura 3: Gráfico de los valores obtenidos de  $d$  para los diferentes valores de  $v$  tomando  $D = 10 \text{ kpc}$ .

## 4. Análisis y Conclusión

Utilizando el valor de la literatura<sup>2</sup> como referencia,  $H_0 = 73 \text{ km/sMpc}$ , se pueden analizar los resultados obtenidos. Primeramente, es posible concluir que todos los resultados están distantes del de la literatura. Más precisamente, tenemos un error relativo de  $\epsilon_n = \left| \frac{H_{0n} - H_0}{H_0} \right|$

$$\epsilon_1 = 0,4109 = 41,09 \%$$

$$\epsilon_2 = 0,2054 = 20,54 \%$$

$$\epsilon_3 = 0,1780 = 17,80 \%$$

Esto se debe, principalmente, a dos factores: Primeramente, a la falta de precisión en calcular  $\alpha$  y  $\delta$ , que indubitavelmente no fueron obtenidas de la manera más sistemática (con mucha discreción humana). Más allá, se tiene que considerar que, obviamente, los tamaños de las galáxias,  $D$ , no son constantes, y esto obviamente se traduce en valores menos precisos.

No obstante a estos problemas, se ha podido alcanzar los objetivos iniciales de manera satisfactoria y producir resultados aceptables en los parámetros en que se trabajaba.

## Referencias

- Hubble, Edwin y Milton L. Humason. «The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae». En: *The Astrophysical Journal* 74 (1931), pág. 43. DOI: 10.1086/143323.
- Kennicutt, Robert C. Jr. «A spectrophotometric atlas of galaxies». En: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 79 (1992), pág. 255. DOI: 10.1086/191653.

---

<sup>2</sup>Edwin Hubble y Milton L. Humason. «The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae». En: *The Astrophysical Journal* 74 (1931), pág. 43. DOI: 10.1086/143323