

### Tarea 2

#### Instrucciones:

- Debe entregar la tarea en **formato informe** a mano o digital, **No Jupyter Notebook**.
- Responda cada inciso justificando de forma clara y concisa y aportando gráficos o ecuaciones de ser necesario para complementar su argumentación.
- Entregue la tarea en el buzón de tareas de Canvas en formato PDF. Si lo desea, puede incluir ecuaciones manuscritas escaneadas.
- Si tiene dudas sobre la tarea, utilice el foro de discusión en Canvas destinado para este fin.
- La fecha de entrega es el **lunes 3 de junio** a las **23:59**. Se descontarán **0.5 puntos** por **día** de atraso.

#### Problema 1: Escala de altura del disco de la Galaxia (12 ptos)

La tabla proporcionada contiene datos de estrellas de GAIA con mediciones de velocidades radiales y metalicidades.

- Explice a grandes rasgos a que corresponde cada una de las columnas proporcionadas en la tabla. Las columnas fueron extraídas de las tablas *gaiadr3.gaia\_source* y *gaiadr3.astrophysical\_parameters*. Explicar con sus propias palabras y no traducir directamente la descripción de las tablas. El *schema* que describe que es cada tabla y sus columnas lo puede encontrar en <https://gea.esac.esa.int/archive/>, en la sección de SEARCH/ADVANCED (ADQL), a la izquierda. (1 pto)
- Haga un estudio preliminar de la muestra. Haga distribuciones de RA vs DEC, metalicidades, velocidades radiales, paralajes, etc. Tenga en cuenta la escalas de los ejes y los bins al momento de hacer los histogramas para que muestren de manera apropiada la riqueza de la distribución de las fuentes. (1 pto)
- En base a la información de coordenadas celestes, distancias, movimientos propios y velocidades radiales, calcule las coordenadas **galactocéntricas** de las fuentes. Apóyese en la librería de Astropy. [https://docs.astropy.org/en/stable/generated/examples/coordinates/plot\\_galactocentric-frame.html](https://docs.astropy.org/en/stable/generated/examples/coordinates/plot_galactocentric-frame.html). Muestre las distribuciones de X, Y, Z, VX, VY, VZ. Al pasar a un sistema de referencia cilíndrico,  $R = (X^2 + Y^2)^{1/2}$ . Grafique R vs Z. Describa lo que observa. (2 ptos)
- Usando la siguiente tabla de Carrol&Ostlie (2007), separe una población de estrellas pertenecientes al thick disk y thin disk, en base a su metalicidad. Para estas dos poblaciones, haga un gráfico de R vs Z y compare. (2 ptos)

**TABLE 24.1** Approximate Values for Various Parameters Associated with the Components of the Milky Way Galaxy. Definitions and details are discussed in the text.

Disks			
	Neutral Gas	Thin Disk	Thick Disk
$M$ ( $10^{10} M_{\odot}$ )	$0.5^a$	6	0.2 to 0.4
$L_B$ ( $10^{10} L_{\odot}$ ) <sup>b</sup>	—	1.8	0.02
$M/L_B$ ( $M_{\odot}/L_{\odot}$ )	—	3	—
Radius (kpc)	25	25	25
Form	$e^{-z/h_z}$	$e^{-z/h_z}$	$e^{-z/h_z}$
Scale height (kpc)	< 0.1	0.35	1
$\sigma_w$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	5	16	35
[Fe/H]	> +0.1	−0.5 to +0.3	−2.2 to −0.5
Age (Gyr)	$\lesssim 10$	8 <sup>c</sup>	10 <sup>d</sup>

  

Spheroids			
	Central Bulge <sup>e</sup>	Stellar Halo	Dark-Matter Halo
$M$ ( $10^{10} M_{\odot}$ )	1	0.3	$190^{+360}_{-170}{}^f$
$L_B$ ( $10^{10} L_{\odot}$ ) <sup>b</sup>	0.3	0.1	0
$M/L_B$ ( $M_{\odot}/L_{\odot}$ )	3	$\sim 1$	—
Radius (kpc)	4	> 100	> 230
Form	boxy with bar	$r^{-3.5}$	$(r/a)^{-1} (1 + r/a)^{-2}$
Scale height (kpc)	0.1 to 0.5 <sup>g</sup>	3	170
$\sigma_w$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	55 to 130 <sup>h</sup>	95	—
[Fe/H]	−2 to 0.5	< −5.4 to −0.5	—
Age (Gyr)	< 0.2 to 10	11 to 13	$\sim 13.5$

<sup>a</sup>  $M_{\text{dust}}/M_{\text{gas}} \simeq 0.007$ .<sup>b</sup> The total luminosity of the Galaxy is  $L_{B,\text{tot}} = 2.3 \pm 0.6 \times 10^{10} L_{\odot}$ ,  $L_{\text{bol,tot}} = 3.6 \times 10^{10} L_{\odot}$  ( $\sim 30\%$  in IR).<sup>c</sup> Some open clusters associated with the thin disk may exceed 10 Gyr.<sup>d</sup> Major star formation in the thick disk may have occurred 7–8 Gyr ago.<sup>e</sup> The mass of the black hole in Sgr A\* is  $M_{\text{bh}} = 3.7 \pm 0.2 \times 10^6 M_{\odot}$ .<sup>f</sup>  $M = 5.4^{+0.2}_{-3.6} \times 10^{11} M_{\odot}$  within 50 kpc of the center.<sup>g</sup> Bulge scale heights depend on age of stars: 100 pc for young stars, 500 pc for old stars.<sup>h</sup> Dispersions increase from 55  $\text{km s}^{-1}$  at 5 pc to 130  $\text{km s}^{-1}$  at 200 pc.

- e) A continuación, haga un histograma (no lo grafique) de las estrellas en la dirección Z en bins de 10 kpc de tamaño para estas dos poblaciones. En base a este histograma, haga un scatter (grafique) del número de estrellas por unidad de bin como función de la distancia vertical. Comente y compare. (2 pts)
- f) A los datos del inciso anterior, ajuste una ley exponencial de la forma  $e^{-z/z_h}$  donde  $z_h$  es la escala de altura característica. Reporte este valor para las dos muestras. Es consistente con los valores de la tabla? (2 pts)
- g) Calcule las dispersiones de velocidad en la dirección Z de su muestra. Es el valor obtenido consistente con la tabla? Asuma que la metalicidad es un proxy de la edad, es decir, poblaciones más viejas son menos ricas en metales. Que implicancias tienen los resultados obtenidos en el contexto de formación de nuestra galaxia? (2 pts)

## Problema 2: Perfil de Sérsic (12 pts)

El perfil de brillo superficial de Sérsic se define como:

$$I(r) = I_e \exp \left\{ -b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \right\} \quad (1)$$

donde  $r_e$  es el radio efectivo,  $I_e$  el brillo superficial a este radio,  $n$  es el índice de Sérsic y  $b_n$  una constante dependiente de  $n$ .

- a) Obtenga una expresión para la luminosidad de un objeto con este perfil integrando el brillo superficial (considere simetría circular). (3 pts)

Puede serle útil la expresión de la función gamma:

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \quad x \in \mathbb{R}^+$$

$$\Gamma(n) = (n-1)! \quad n \in \mathbb{N}$$

- b) Demuestre que la mitad de la luminosidad está contenida en un círculo de radio  $r_e$ . (3 pts)
- c) Grafique el perfil radial para índices 0.5, 1, 2, 4 y 6. Comente sobre el efecto de  $n$  en el perfil. (3 pts)

**Nota 1:** Use  $I_e$  y  $r_e$  como unidades en los ejes.

**Nota 2:** el valor de  $b_n$  para los índices más comunes es  $b_1 = 1.678$  y  $b_4 = 7.669$ . Para el caso general se requiere calcular la inversa de la función gamma incompleta. Esto puede hacerse con *Python* de la siguiente manera:

```
from scipy.special import gammaincinv
```

```
bn = gammaincinv(2.0 * n, 0.5)
```

- d) Use la herramienta de *astropy* `Sersic2D` para generar imágenes de perfiles de Sérsic variando  $I_e$ ,  $r_e$  y  $n$ . Para cada caso muestre la apertura que contiene el 90% de la luminosidad del perfil. ¿Qué diferencias se aprecian al variar cada parámetro?, ¿Qué efecto tiene  $n$  en el tamaño de la apertura?. Comente el efecto que tiene en las mediciones fotométricas. Asegúrese de mantener la escala de color constante para la comparación. (3 pts)

### Problema 3: Galaxias enanas (12 pts)

Las galaxias elípticas enanas (dE) tienen una masa entre  $10^7 - 10^9 M_\odot$  y un diámetro entre  $1 - 10 kpc$ .

- a) Estime la velocidad de escape en estas galaxias. (3 pts)
- b) Investigue en la literatura la velocidad típica de la eyección de material por una supernova tipo II. ¿Puede escapar el gas eyectado? (2 pts)
- c) El gas de una galaxia puede alcanzar temperaturas de  $10^6 K$  en regiones de alta formación estelar, remanentes de supernova o actividad del agujero negro supermasivo. Estime la velocidad media de este gas. ¿Puede escapar el gas caliente de la galaxia? (2 pts)
- d) Repita el cálculo anterior para una galaxia como la Vía Láctea. (2 pts)
- e) Comente sobre el efecto que tiene en la evolución de las galaxias dE y otras galaxias enanas en términos del contenido de gas y la formación estelar. Compare con el caso de la Vía Láctea. (3 pts)