

# Propiedades Fotométricas de Galaxias de tipo Temprano

**Pedro Villegas** — [pedrovillegas@gmail.com](mailto:pedrovillegas@gmail.com)

*Sistemas Estelares (2022) – Práctica 08*

*Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas – UNLP*

*Profesores: Claudia Scóccola, Sergio Cellone, Lilia Bassino*

*JTP: Gabriel Ferrero*

*AD: Lucía Rizzo*

*AA: Natalia Guevara*

Última modificación: 15 de noviembre de 2022

## Introducción:

Utilizando el telescopio Gemini Sur (8.1 m de diámetro) y la cámara GMOS, se observó la galaxia elíptica gigante ESO 325-G004 perteneciente al cúmulo Abell S0704, a través del filtro  $g'$  del sistema fotométrico de [Sloan](#)<sup>1</sup>. La imagen de dicha galaxia que usaremos es el archivo `ESO-325-G004_g.fits` que se encuentra en el Classroom. Allí mismo se encuentra una máscara para realizar la fotometría (archivo `mascara.fits`).

En esta práctica deberá obtener el perfil de brillo superficial de la galaxia, calibrado al sistema estándar, y los distintos parámetros fotométricos solicitados.

**Nota:** la imagen ya ha sido procesada, tiene restada la emisión de fondo del cielo y se han eliminado los rayos cósmicos. En dicha imagen, ESO 325-G004 es la galaxia ubicada aproximadamente en el centro.



---

<sup>1</sup>Programa GS-2009A-Q-24. PI: John Blakeslee.

## Ejercicios:

### Ejercicio 1.

Estime la posición del centro de la galaxia, su tamaño y los parámetros de una isofota típica (semieje mayor, menor, centro, ángulo de posición y elipticidad).

Estas estimaciones se pueden hacer con Python, usando `matplotlib.pyplot.imshow()`, en modo interactivo, y regulando los niveles de brillo del despliegue con los argumentos `vmin` y `vmax`.

### Respuesta 1.

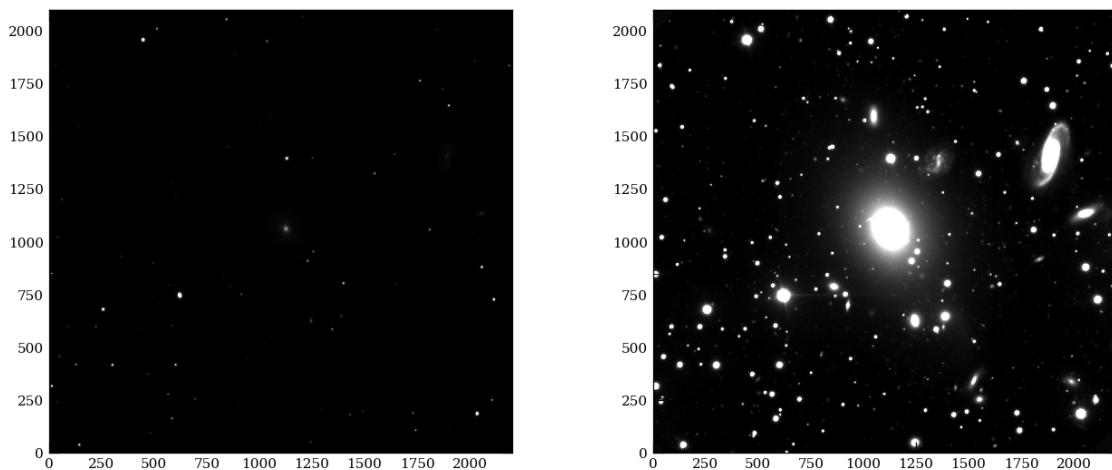
Para estimar la posición del centro de la galaxia y los parámetros de una isofota hemos utilizado las imágenes de la figura 1. En la imagen de la izquierda se ha elevado mucho el brillo máximo, para que se perciba solamente aquellos puntos cuyo brillo sea lo suficientemente considerable. Las coordenadas del Centro Galáctico obtenidas fueron:

$$x_{CG} = 1124 \text{ [pix]}; \quad y_{CG} = 1060 \text{ [pix]} \quad (1)$$

Para obtener los parámetros de una isofota, hemos seteado el brillo máximo en 1000, y obtuvimos como extremos del semieje mayor las coordenadas (1075, 1149) y (1180, 978). Luego lo calculamos según:

$$a = \sqrt{(1075 - 1180)^2 + (1149 - 978)^2} = 200.66 \text{ [pix]} \quad (2)$$

Para el semieje menor el procedimiento fue análogo: obtuvimos  $b = 169.53 \text{ [pix]}$ . Luego la elipticidad,  $e = 1 - b/a = 0.155$ , el ángulo de posición  $PA = \arctan(\Delta y / \Delta x) = 121.55^\circ$  y el centro de la isofota  $(x_c, y_c) = (1124, 1061)$ .



**Figura 1:** Despliegues de *ESO-325-G004\_g.fits* con distintos niveles de brillo para identificar el Centro Galáctico (izquierda) y una isofota (derecha).

□

### Ejercicio 2.

Obtenga del *header* de la imagen la escala de placa, el tiempo de exposición y la masa de aire.

### Respuesta 2.

- Escala de placa: `PIXSCALE=0.146 [arcsec/pix]`
- Masa de aire: `AIRMASS = 1.039`
- Tiempo de exposición: `EXPTIME = 240.4946 [seg]`

□

### Ejercicio 3.

Obtenga los ajustes isofotales utilizando, en Python, `photutils.isophote.Ellipse` (ver *Notebook* para Python que se encuentra en el Classroom) o con la tarea `ellipse` de IRAF.

Note que, en la tabla de salida, la columna `SMA` contiene la longitud del semieje mayor medida en píxeles. Para los gráficos siguientes, debe expresar el semieje mayor en segundos de arco. Además, el brillo superficial de cada isofota está expresado en intensidad (medida en ADU) por píxel al cuadrado. Deberá convertirlo a magnitudes estándar por segundo de arco al cuadrado, teniendo en cuenta la escala de la imagen y su tiempo de exposición.

Obtenga también el ángulo de posición de las isofotas en el sistema estándar (desde el Norte hacia el Este).

### Respuesta 3.

Para obtener los ajustes isofotales de la galaxia, lo primero que hacemos es enmascarar la imagen `ESO-325-G004_g.fits` para reducir al mínimo posible las perturbaciones en el brillo de la misma, producido por otras galaxias, estrellas y objetos del campo. Podemos observar la imagen luego de ser enmascarada en la figura 2. Luego procedimos a pasarle a la tarea `photutils.isophote.Ellipse` los parámetros obtenidos para nuestra aproximación visual de una isofota, para que ajuste y compute el resto. Tras haber realizado esto, obtuvimos la figura 3. Las isofotas se encuentran almacenadas en el objeto-clase `isolist`, que entre otras cosas contiene los semiejes mayores `SMA` en píxeles, el brillo superficial en intensidades (ADU) por píxel cuadrado, y los ángulos de posición `PA` en un sistema poco conveniente. Para corregir todos estos datos, aplicamos las siguientes ecuaciones al objeto para generarle nuevas columnas:

- $SMA[arcsec] = SMA[pix] \times 0.146$  (la escala), para corregir los semiejes de las isofotas
- $\mu_{ins} = -2.5 \log[I/(EXPTIME \times PIXSCALE^2)]$  en  $[mag \text{ arcsec}^2]$
- $PA_{std} = 180^\circ - PA[^\circ]$

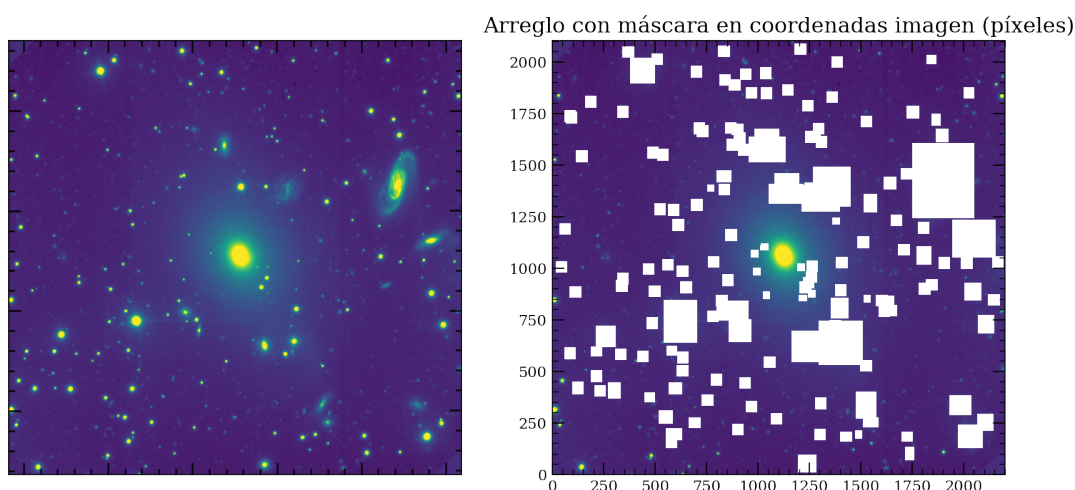


Figura 2: Despliegue de `ESO-325-G004_g.fits` antes y luego de aplicar la máscara a los datos observados.

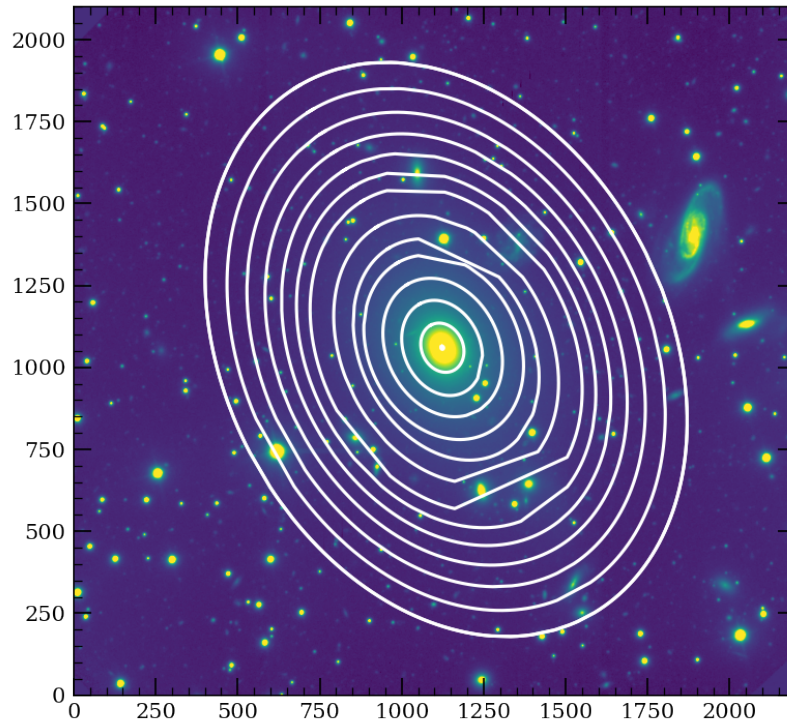
□

### Ejercicio 4.

Grafique el ángulo de posición de las isofotas, su elipticidad y las coordenadas de sus centros  $(x_0, y_0)$  en función de su semieje mayor. Describa esos gráficos e indique las posibles causas de sus variaciones. ¿Es posible apreciar el efecto de seeing en los gráficos?

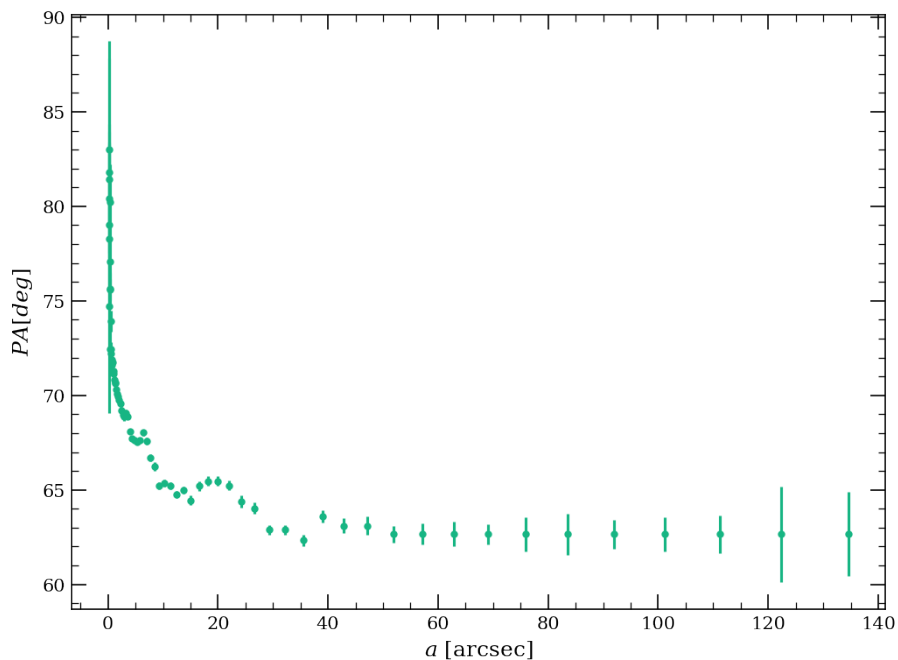
### Respuesta 4.

Habiendo corregido ya los datos del objeto `isolist` de isofotas a las unidades, escalas y sistemas deseados, procedemos a graficar el ángulo de posición `PA` de las isofotas, su elipticidad  $\epsilon$  y las coordenadas de sus centros  $(x_0, y_0)$  en función del semieje mayor en segundos de arco. Podemos visualizar dichos gráficos en las figuras 4, 5 y 6. Si analizamos el gráfico 4 del ángulo de posición `PA` en función del semieje mayor de las isofotas, podemos notar que el mismo tiene un comportamiento de indeterminación en las proximidades del centro de la galaxia, luego tiene un



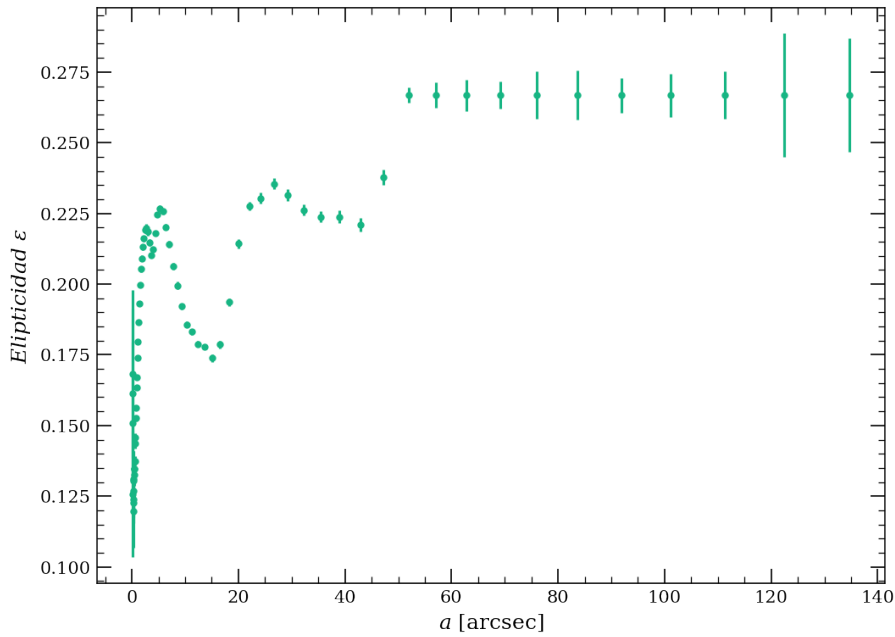
**Figura 3:** *ESO-325-G004\_g.fits* superpuesta con las isofotas computadas mediante *photutils.isophote.Ellipse*.

comportamiento oscilatorio decreciente entre los 5 y 60 arcossegundos de  $a$ , para luego estabilizarse alrededor de los  $63^\circ$  a su vez que aumenta su margen de error. En el centro de la galaxia, las isofotas de menor tamaño tienden a parecer una circunferencia, por lo que el ángulo subtendido entre la dirección norte y el semieje mayor de la elipse tiende a indeterminarse, que es lo que observamos en el gráfico. En la cola de la curva, el comportamiento obtenido para el ángulo de posición de las isofotas con semiejes mayores de entre 60 y 140 segundos de arco se debe a que el algoritmo de cómputo por el cual obtuvimos las isofotas deja de ajustar el parámetro, pues a estas distancias del centro de la galaxia ya es difícil trazar correctamente una isofota acorde. Luego, la única parte que nos interesa del gráfico es la subtendida entre los 5 y 60 arcossegundos de  $a$ : podemos observar un fenómeno llamado rotación de las isofotas, que se teoriza está relacionado con posibles interacciones que haya sufrido la galaxia que modificaron órbitas de algunas estrellas y produjeron finalmente cambios en el perfil de brillo de la misma.



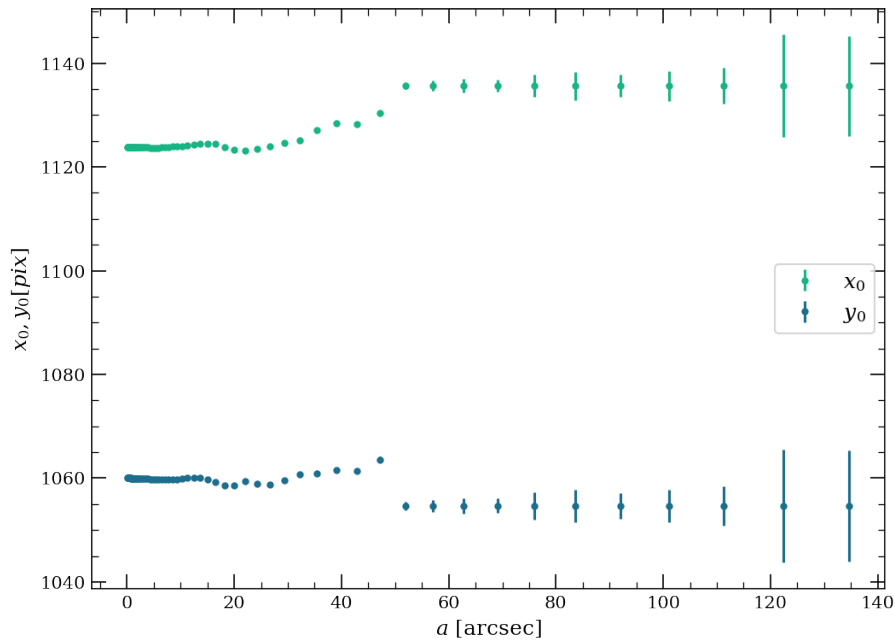
**Figura 4:** Ángulo de posición  $PA$  en función del semieje mayor  $a$  de las isofotas de *ESO-325-G004\_g.fits*.

Observando ahora la curva de elipticidad en función de  $a$  (figura 5), podemos ver una curva similar al caso anterior: un comportamiento asintótico hacia el centro de la galaxia, uno oscilatorio creciente en el rango de 5 a 60 segundos de arco de  $a$ , y una estabilización y aumento de las barras de error para las isofotas con  $a > 60$  arcsec. Los motivos son similares: a tamaños más pequeños, el seeing atmosférico perturba la luz que proviene de esta galaxia por lo que las isofotas del centro tienen parámetros mal determinados. En la región de  $5 < a < 60$  arcsec este comportamiento oscilatorio ha de estar relacionado con la rotación de las isofotas. La región de  $a > 60$  arcsec el código fija el parámetro por el mismo motivo que en el gráfico anterior, y por esto también aumenta el error.



**Figura 5:** Elipticidad  $\epsilon$  en función del semieje mayor  $a$  de las isofotas de *ESO-325-G004\_g.fits*.

Por último, al analizar las coordenadas del centro de las isofotas graficado en 6, podemos notar que las coordenadas tienen una posición bastante estable en torno a los puntos  $(x_c, y_c) \simeq (1060, 1124)$ [pix], luego sufren una pequeña oscilación hasta llegar a los 50 segundos de arco de  $a$ , donde el código falla y deja de ajustar los parámetros a la vez que incrementa el error. En este caso, el efecto de oscilación de las coordenadas podría producirse tanto por a rotación de las isofotas como por un problema de observación relacionado al seeing. □



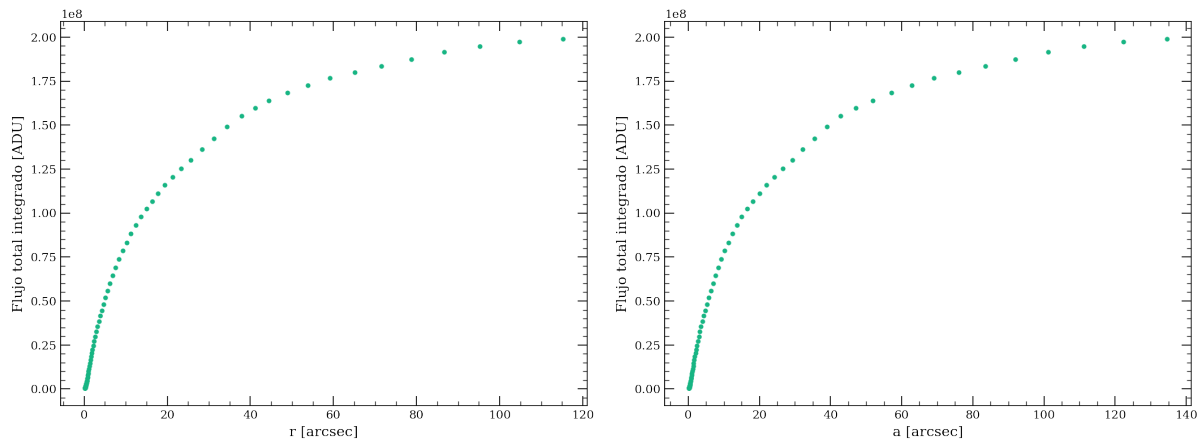
**Figura 6:** Coordenadas del centro  $(x_0, y_0)$  en función del semieje mayor  $a$  de las isofotas de *ESO-325-G004\_g.fits*.

### Ejercicio 5.

Realice un gráfico del flujo integrado dentro de cada isofota en función del radio equivalente de las isofotas. Esa sería la **curva de crecimiento del flujo**. Obtenga, además, una estimación directa del radio equivalente efectivo ( $r_{\text{ef}}$ ).

### Respuesta 5.

Para graficar el flujo integrado en función del radio equivalente de cada isofota, primero procedemos a calcular el radio equivalente de cada una. El mismo está definido según  $r_{\text{eq}} = \sqrt{ab}$ , donde  $a$  y  $b$  corresponden a los semiejes mayor y menor de la isofota. De esta forma, con la columna  $tflux\_e$  de `isolist`, que contiene el flujo integrado por cada una, realizamos la figura 7.



**Figura 7:** Flujo integrado en función del radio equivalente (izquierda) y semieje mayor (derecha) de las isofotas de ESO 325-G004.

Si a partir de esta curva queremos calcular el radio equivalente efectivo  $r_{\text{eff}}$  de la galaxia, debemos proceder de la siguiente manera. El mismo está definido como aquel que se corresponde con el semieje mayor de la isofota cuyo flujo integrado es igual a la mitad del flujo total integrado de la galaxia. De esta forma, hemos obtenido el semieje mayor  $a_{\text{eff}} = 15.7$  [arcsec], correspondiente a un flujo total integrado de  $1 \times 10^8$  ADU. (ver figura 7, derecha). Esta isofota tiene por elipticidad  $\epsilon_{\text{eff}} = 0.173$ , por lo que  $b_{\text{eff}} = a_{\text{eff}}(1 - \epsilon_{\text{eff}}) = 12.98$  [arcsec]. De esta forma, el radio equivalente efectivo de la galaxia está dado por  $r_{\text{eff}} = \sqrt{a_{\text{eff}}b_{\text{eff}}} = 14.27$  [arcsec].

□

### Ejercicio 6.

Transforme al sistema estándar el perfil de brillo superficial instrumental, obteniendo así, el **perfil de brillo superficial** buscado. Utilice el coeficiente de extinción atmosférica  $k_g = 0.18$  y el punto de cero para la magnitud  $z_g = 28.33$  mag. Corrija además por extinción interestelar utilizando los valores disponibles en NED ( $A_g = 0.200$ ). Incluya en el gráfico del perfil de brillo superficial el valor del brillo del cielo durante las observaciones, que ha sido estimado por la cátedra como  $\mu'_g = 22.4$  mag/arcsec<sup>2</sup>.

### Respuesta 6.

Teniendo en cuenta el coeficiente de extinción atmosférica en el filtro  $g'$  en Gemini Sur  $k_g = 0.18$ , el punto de cero para la magnitud  $z_g = 28.33$  mag, la masa de aire (1.039) y la extinción interestelar en la dirección de la galaxia  $A_g = 0.200$  obtenida de NED, el perfil de brillo superficial en el sistema estándar estará dado por:

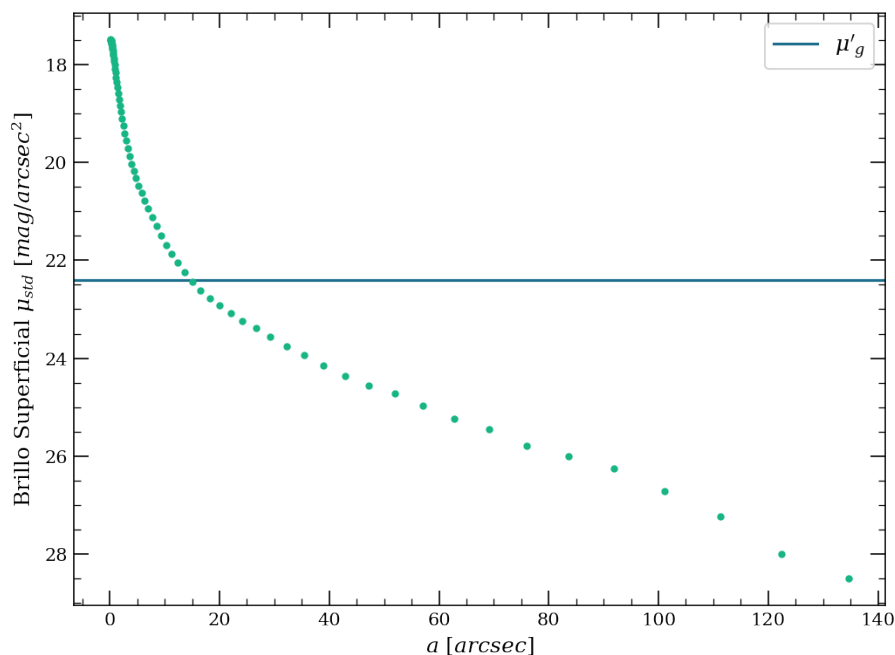
$$\mu_{\text{std}} = \mu_{\text{ins}} - k_g(\text{AIRMASS} - 1) + z_g - A_g \quad (3)$$

Donde  $\mu_{\text{ins}}$  fue definido en el ejercicio 3. Podemos ver el perfil de brillo superficial en función del semieje mayor de las isofotas en la figura 8, junto con el valor del brillo del cielo calculado por la cátedra.

□

### Ejercicio 7.

Obtenga valores para los radios isofotales  $r_{25}$  y  $r_{27}$ . Con el valor de  $r_{\text{ef}}$  obtenido, calcule además el valor del brillo superficial efectivo en la banda  $g'$ . Esto es,  $\mu_{\text{ef}}$  en el filtro  $g'$ .



**Figura 8:** Perfil de brillo superficial en el sistema estandar en función del semieje mayor de las isofotas de ESO 325-G004. Además podemos observar el brillo del cielo como  $\mu'_g$ .

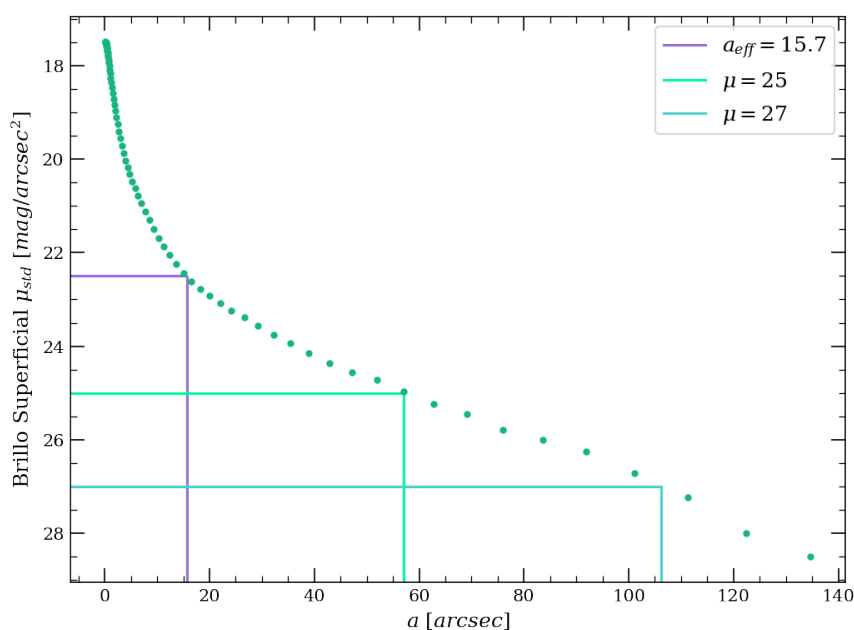
#### Respuesta 7.

Los valores para los radios isofotales  $r_{25}$  y  $r_{27}$  los obtenemos a partir de un análisis del perfil de brillo superficial, buscando los valores de los radios que se corresponden con 25 y 27 mag/arcsec<sup>2</sup> respectivamente. los valores obtenidos fueron:

$$r_{25} = \sqrt{a_{25}b_{25}} = \sqrt{57.1^2 \times (1 - 0.26)} = 49.12 \text{ [arcsec]}$$

$$r_{27} = \sqrt{a_{27}b_{27}} = \sqrt{106.2^2 \times (1 - 0.26)} = 91.35 \text{ [arcsec]}$$

De forma similar, podemos calcular el brillo superficial efectivo en la banda  $g'$ , utilizando el valor del semieje mayor efectivo  $a_{\text{eff}} = 15.7$  [arcsec]. El valor obtenido fue  $\mu_{\text{eff}} = 22.5$  [mag/arcsec<sup>2</sup>]. Todos estos parámetros podemos observarlos en la figura 9



**Figura 9:** Perfil de brillo superficial de ESO 325-G004 con los valores obtenidos para  $a_{25}$ ,  $a_{27}$  y  $\mu_{\text{eff}} = \mu(a_{\text{eff}})$ .



---

**Ejercicio 8.**

Realice una estimación de la magnitud total de la galaxia en la banda  $g'$ .

---

**Respuesta 8.**

Para concluir el informe, realizaremos una estimación de la magnitud total de la galaxia en la banda  $g'$ . Para esto tendremos en cuenta el flujo total integrado que se encuentra en el objeto `isol1` (aproximadamente  $2 \times 10^8$  ADU) y aplicamos la ley de Pogson, recordando las correcciones necesarias utilizadas en el ejercicio 6:

$$m_{g'} = -2.5 \log \left( \frac{F_{\max}}{\text{EXPTIME}} \right) - k_g(\text{AIRMASS} - 1) + z_g - A_g = 13.33 \text{ [mag]} \quad (4)$$