

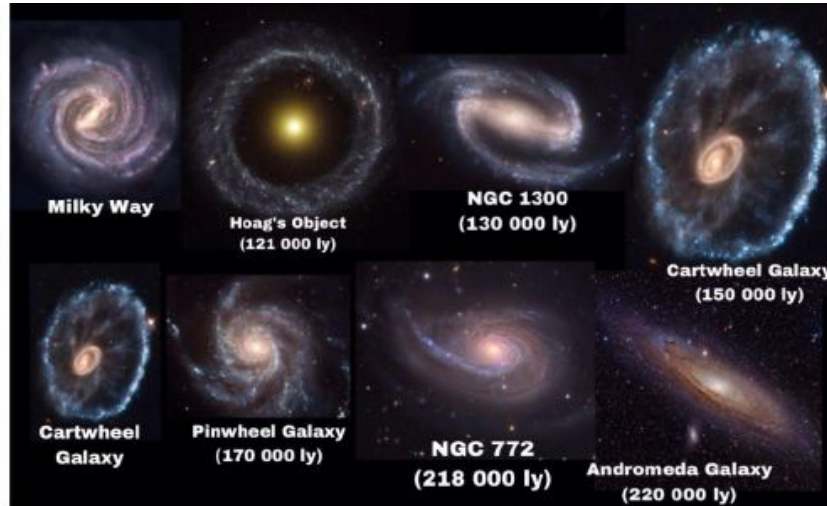
# Sistemas Estelares 2024

Galaxias (2a. clase)  
Fotometría superficial

Prof. Gabriel Ferrero

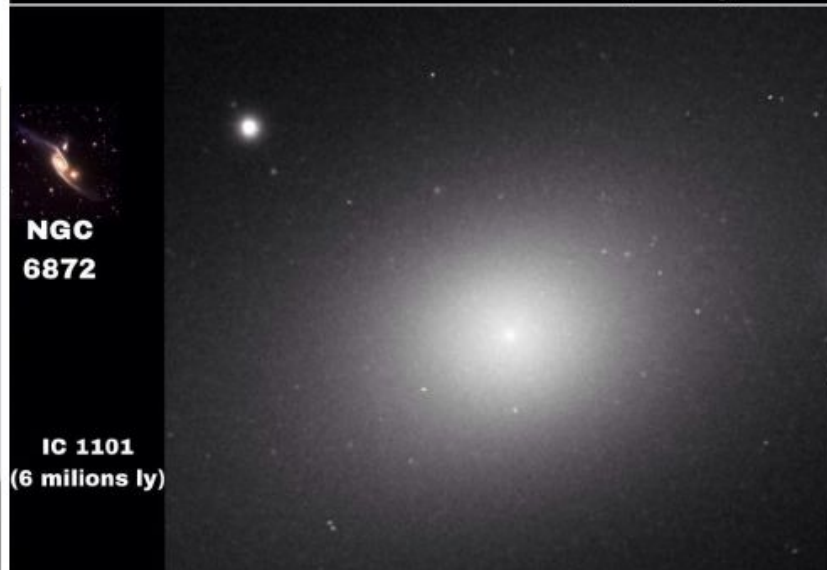
Diapositivas editadas a partir de las elaboradas por la Prof. Claudia Scoccola

# Los tamaños de las galaxias



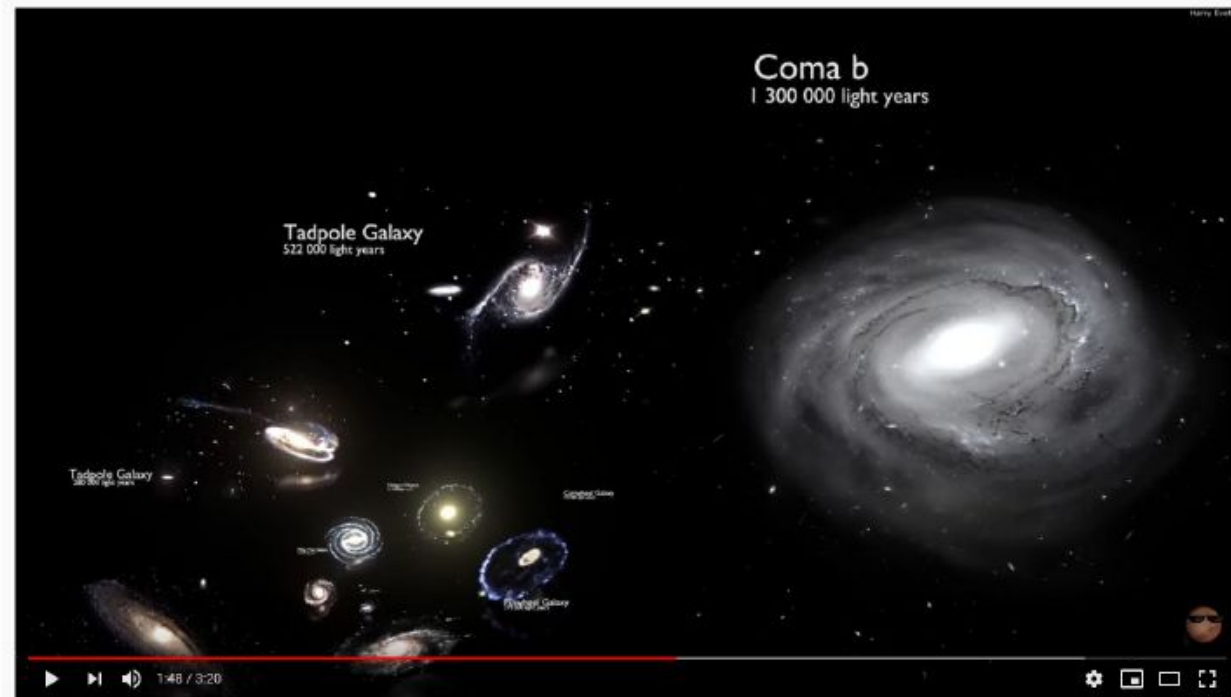
Tamaños (físicos) de las galaxias en el Universo.

1 ly = 0.3 pc (aprox.)



# Tamaños y distribución de las galaxias

Este video permite visualizar el gran espectro de tamaños en el que encontramos a las galaxias en el Universo.



Galaxy Size Comparison 3D

Comparación de tamaños de galaxias

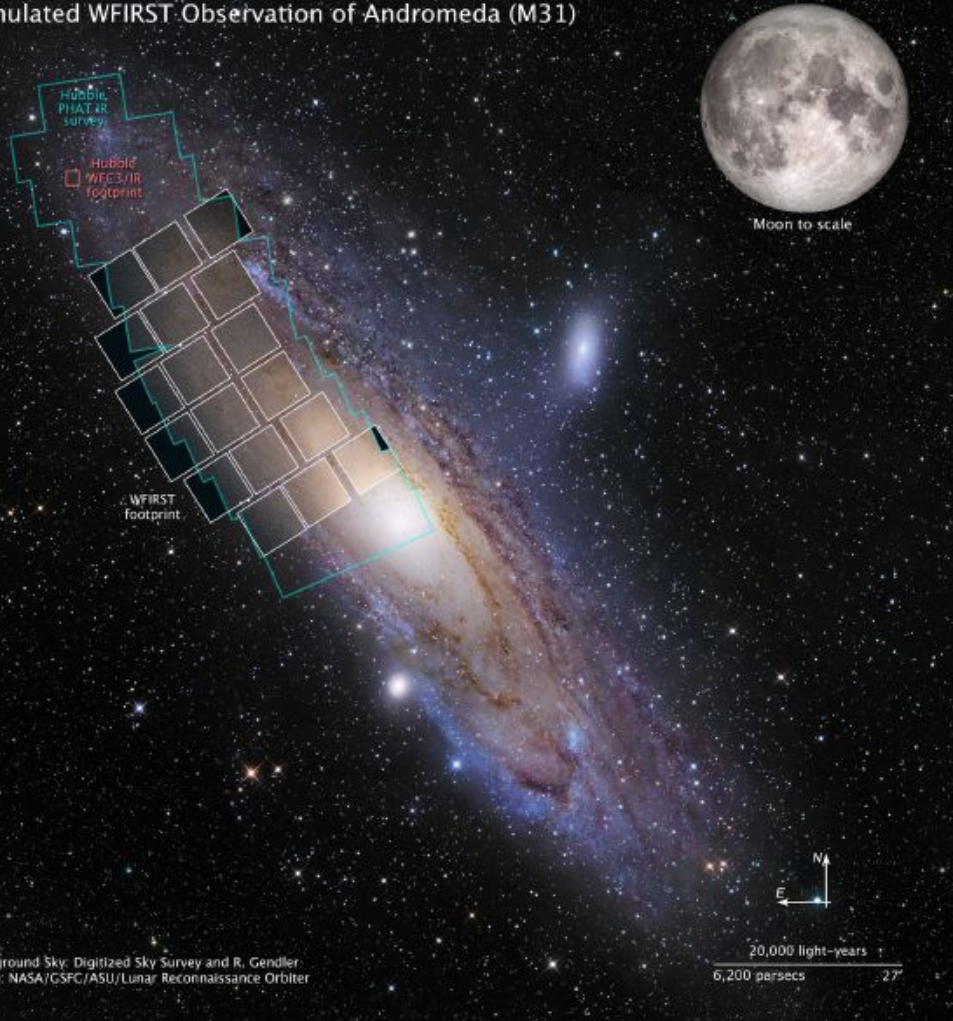
<https://youtu.be/SF313CrgjEo?si=RijXlvhzvtpqyk>

Video sobre distribución espacial de galaxias

<https://youtu.be/KJJXbcf8kxA?si=gMonfiDO1MxKEG-Z>

# Tamaños y distribución de las galaxias

Simulated WFIRST Observation of Andromeda (M31)



(a modo ilustrativo)

**Tamaño angular** de Andrómeda comparado con el tamaño angular de la Luna.

El satélite WFIRST tendría que realizar muchos apuntamientos distintos para poder observar la galaxia completa.

(este telescopio tendrá un **gran campo visual** - 100 veces mayor que el del Hubble)

Fue renombrado a **Roman Space Telescope**

<https://astrobiology.nasa.gov/missions/wfirst/>

<https://astrobiology.nasa.gov/missions/wfirst/>

# Fotometría de galaxias elípticas

## Galaxia:

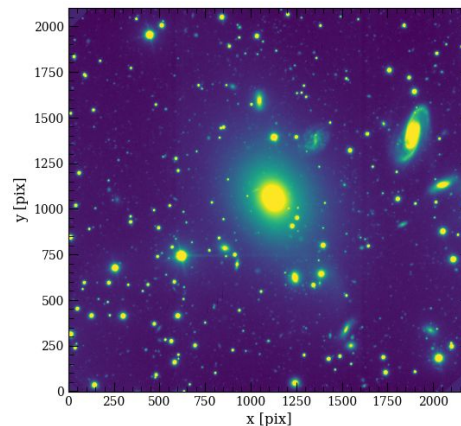
- ❖ Objeto **3D** proyectado en el plano del cielo: **2D**
- ❖ No se puede definir el borde.
- ❖ No se puede medir:
  - el brillo superficial total
  - el tamaño real de la galaxia



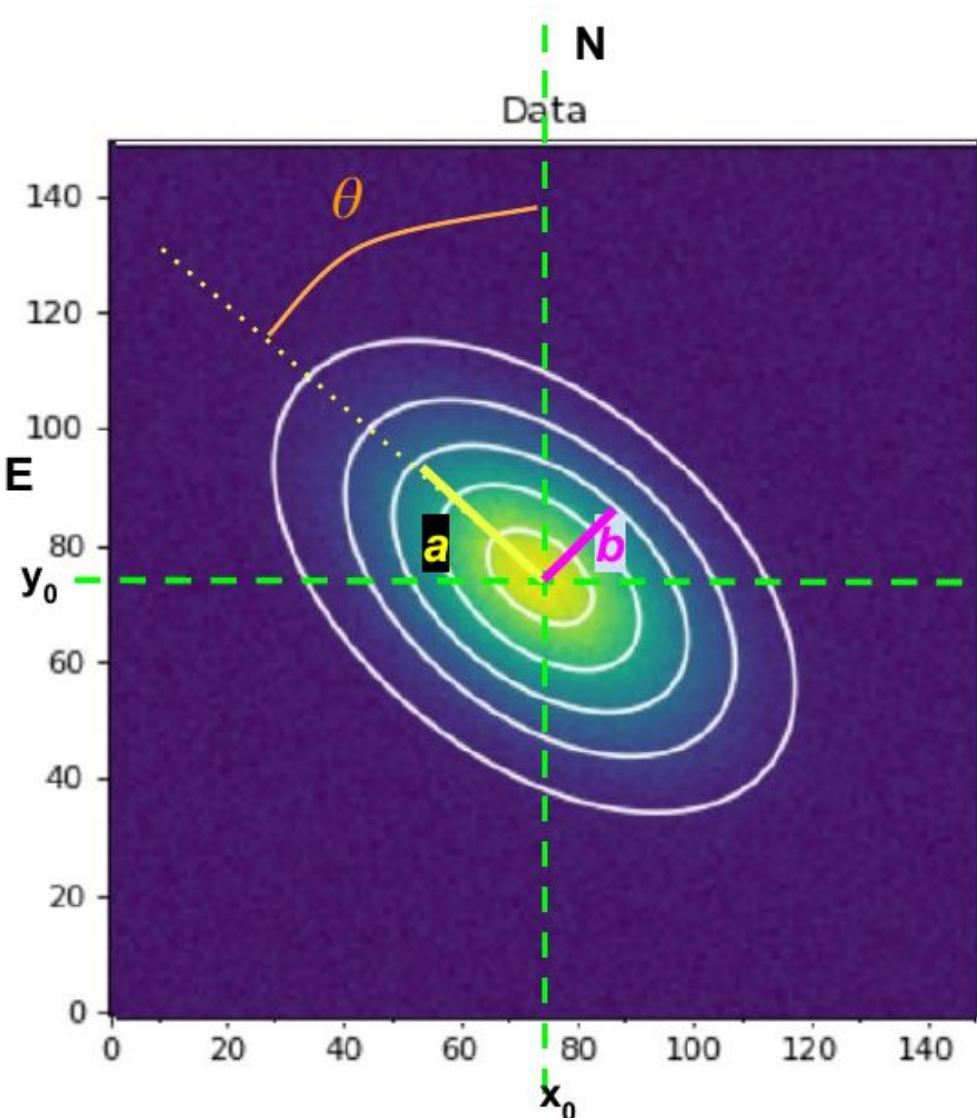
Tenemos que definir parámetros que caractericen la luminosidad y los tamaños de las galaxias

Hacemos un **ajuste de isofotas elípticas** a la imagen de una galaxia.

**Isofota:** curva que une los puntos de igual brillo (generalmente cerrada y aproximadamente elíptica).



# Fotometría de galaxias elípticas



ecuación de las isofotas:

$$\frac{x - x_0}{a} + \frac{y - y_0}{b} = 1$$

Ajustamos **elipse** (5 parámetros):

$(x_0, y_0)$ : coordenadas del centro

$a$ : semieje mayor

$b/a$  : achatamiento (razón entre semiejes)

$\theta$  : ángulo de posición del eje mayor (del N al E)

Atención: usualmente, las direcciones  $(x, y)$  en la imagen no coincidirán con las direcciones (Norte, Este) en el cielo.

## Perfil de brillo superficial

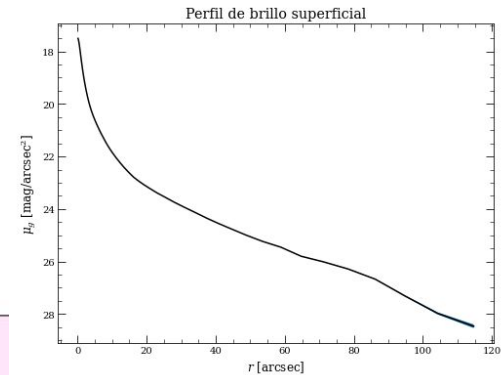
*Intensidad específica:*  $I = E / (\Delta t \Delta A \Delta \lambda \Delta \Omega) = F / \Delta \Omega$

Tanto  $F$  como  $\Delta \Omega$  decrecen con  $d^2 \rightarrow I$  es independiente de la distancia

### Perfil de brillo superficial:

$I(r)$  = intensidad en función de la distancia al centro:  $r$

$[I(r)] = \text{Flujo} / \text{arcsec}^2$   $r = \sqrt{ab}$  (medida de distancia característica en una elipse)



### Definiciones:

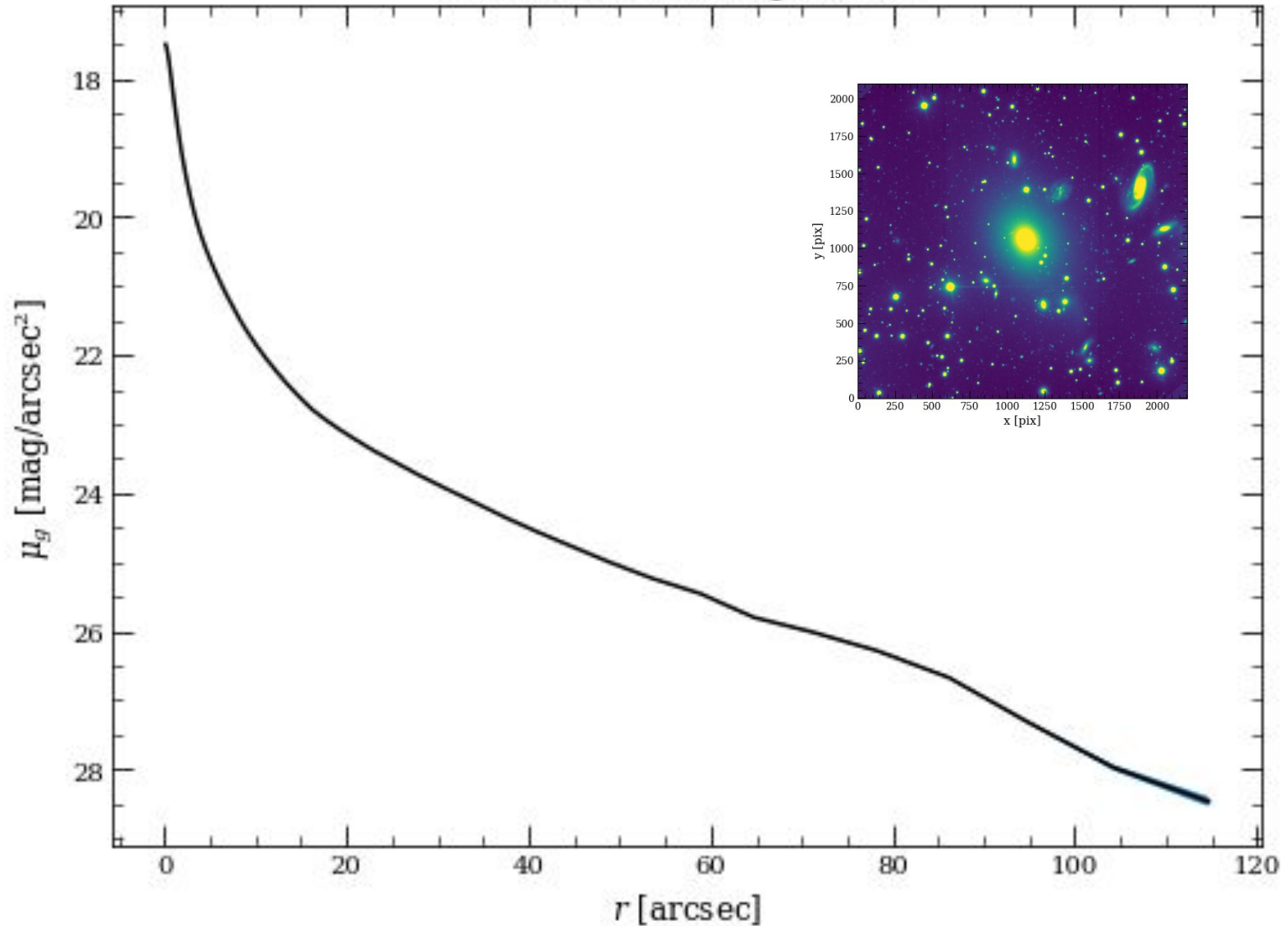
**Brillo superficial:**  $\mu(r) = -2.5 \log(I(r)) + C_i$  [mag/arcsec<sup>2</sup>]

**Flujo integrado** (hasta distancia  $r$ ):  $F(r) = \int \int I(r, \phi) r' dr' d\phi = \int I(r') r' dr'$  (las integrales van de 0 a  $r$ , y de 0 a  $2\pi$ )

**Magnitud integrada:**  $m(r) = -2.5 \log(F(r)) + C_m$

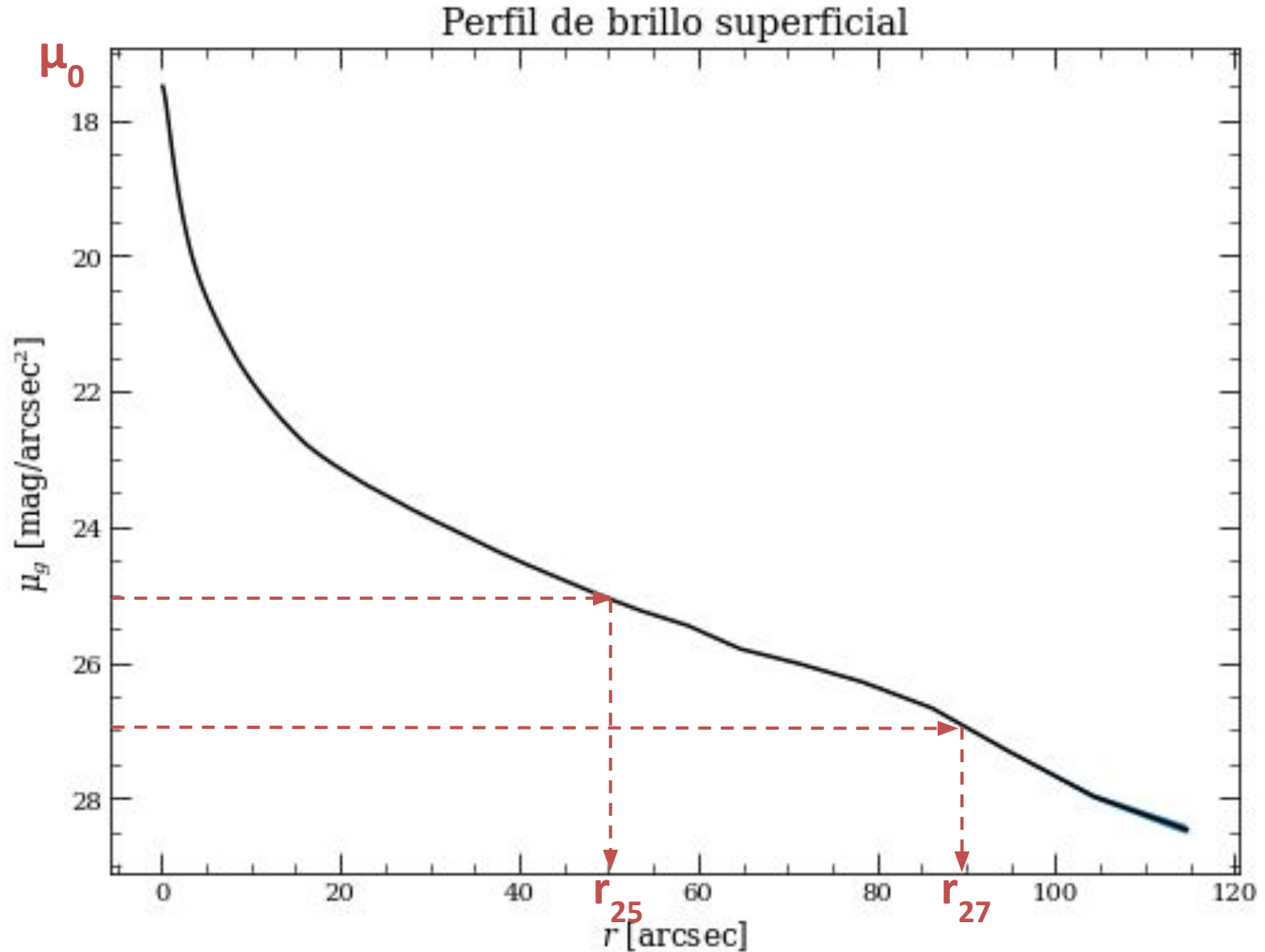
# Fotometría de galaxias elípticas

## Perfil de brillo superficial

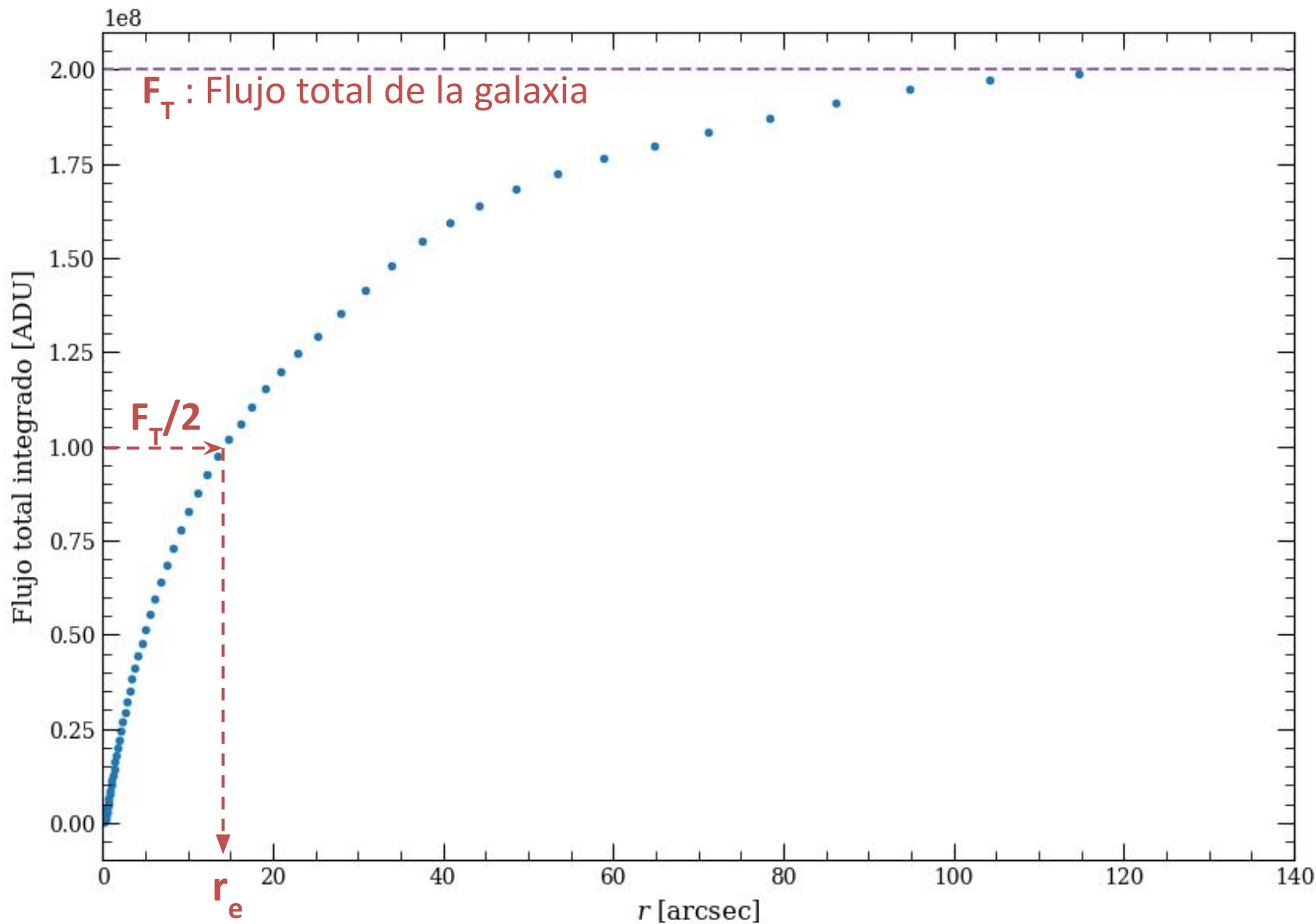




# Fotometría de galaxias elípticas



# Curva de crecimiento del flujo o flujo integrado



El flujo aquí no está medido en unidades estándar sino en “ADU” (*Analog Digital Units*)

- ❖ **magnitud total integrada**  $m_T = -2.5 \log(F_T) + C_m$
- ❖ **Radio efectivo**  $r_e$  tal que  $F(r_e) = F_T / 2 = 2\pi \int I(r') r' dr'$  (integral entre 0 y  $r_e$ )
- ❖ **Brillo superficial efectivo**  $\mu_e = \mu_e(r_e)$
- ❖ **Brillo superficial efectivo promedio**  $\langle \mu_e \rangle = -2.5 \log ( F(r_e) / \pi r_e^2 ) + C = m_T + 2.5 \log(r_e)$

### Parámetro de concentración:

$$Cr_e(\alpha) = F(\alpha r_e) / F(r_e)$$

Por ejemplo:  $Cr_e(0.3) = F(30\% r_e) / F(r_e)$

$$\alpha = 0.3$$

$$\alpha = 0.5 \quad (\text{cuánto más concentrada, mayor es el parámetro } \alpha)$$

## Mediciones del brillo del cielo

Cómo se comparan las magnitudes (i.e. brillo superficial) con el brillo del cielo:

Brillo del cielo:

$$\mu_B \sim 22.9 - 23.3 \text{ mag/arcsec}^2$$

$$\mu_V \sim 22.0 - 22.7 \text{ mag/arcsec}^2$$

**Tabla de comparación del brillo superficial de una galaxia, contra el brillo del cielo:**

$\mu_V$ (mag/arcsec <sup>2</sup> )	$I_1/I_2$ Respecto del brillo del cielo
20.0	12 veces
25.0	12%
27.0	2%
28.0	0.8%

## Perfiles de brillo - Ley de Sérsic

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

Forma alternativa:

$$I(r) = I_0 e^{-\left( \frac{r}{r_0} \right)^{\frac{1}{n}}}$$

Intensidad efectiva

Radio efectivo

Índice de Sérsic

### Casos particulares:

n= 4      Ley de de *Vacouleurs* (para elípticas)

n= 1      Ley exponencial (para discos)

decrece más lentamente

El índice de Sérsic controla la forma del perfil.

## Perfil de Sérsic (Sérsic, 1963)

Expresado en brillo superficial:

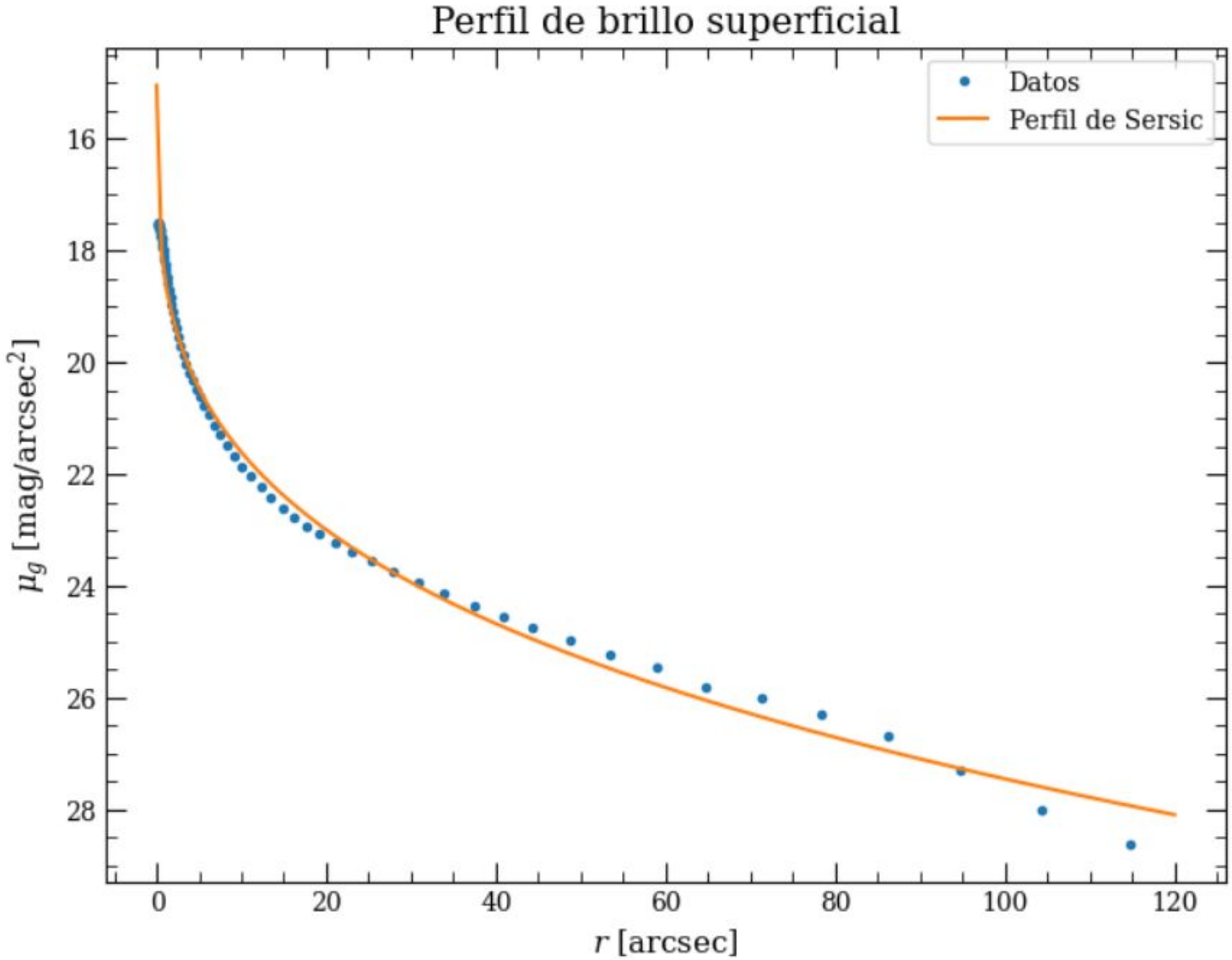
$$\mu(r) = \mu_{\text{ef}} + (1.086 b_n) \left[ \left( \frac{r}{R_{\text{ef}}} \right)^{(1/n)} - 1 \right]$$

Donde  $R_{\text{ef}}$  es el radio efectivo,  $\mu_{\text{ef}}$  el brillo superficial efectivo (o sea el que corresponde a  $R_{\text{ef}}$ ),  $n$  el índice de Sérsic y  $b_n$  sigue la expresión aproximada

$$b_n = 1.9992 n - 0.3271 \text{ para } 0.5 < n < 10$$

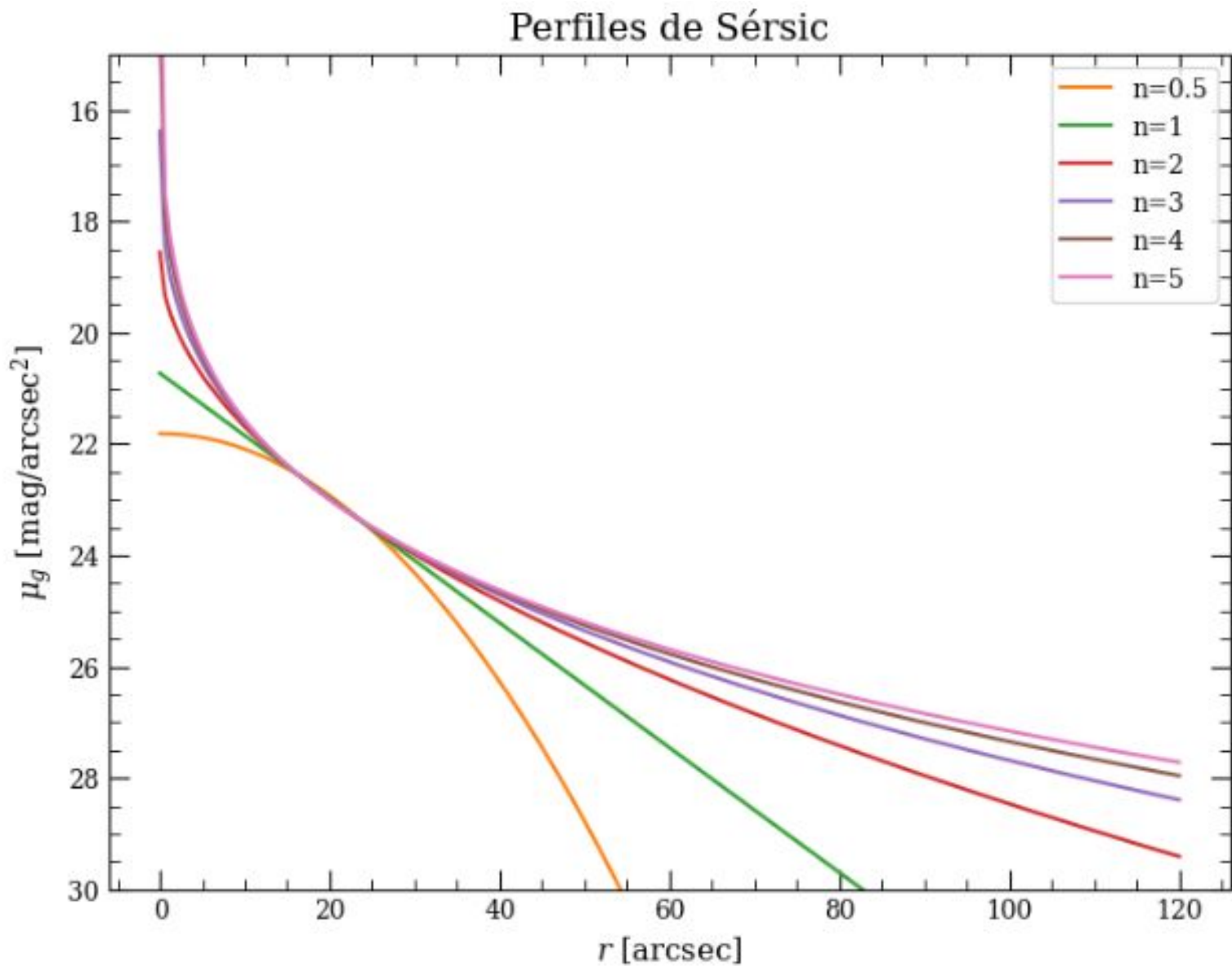
y sirve para asegurar que la mitad del flujo total caiga dentro del radio efectivo  $R_{\text{ef}}$

# Perfil de Sérsic (Sérsic, 1963)



$R_{ef} = 16.2 \text{ arcsec}; \mu_{ef} = 22.5 \text{ mag/arcsec}^2; n = 3.6$  el índice de Sérsic

# Perfil de Sérsic (Sérsic, 1963)





## Efectos de selección

Arp, H. (1965) ApJ. **142**, 402

$$F = I\pi r^2 = I\pi \left(\frac{D}{2d}\right)^2$$

r: radio aparente

D: diámetro lineal

d: distancia

$$m = -2.5\log(F) + C = -2.5\log(I) + C - 2.5\log(\pi/4) - 5\log(D) + 5\log(d)$$

$$M = m + 5 - 5\log(d)$$

$$M = \mu - 5\log(D) + C'$$

Relación para  
cada brillo  
superficial.

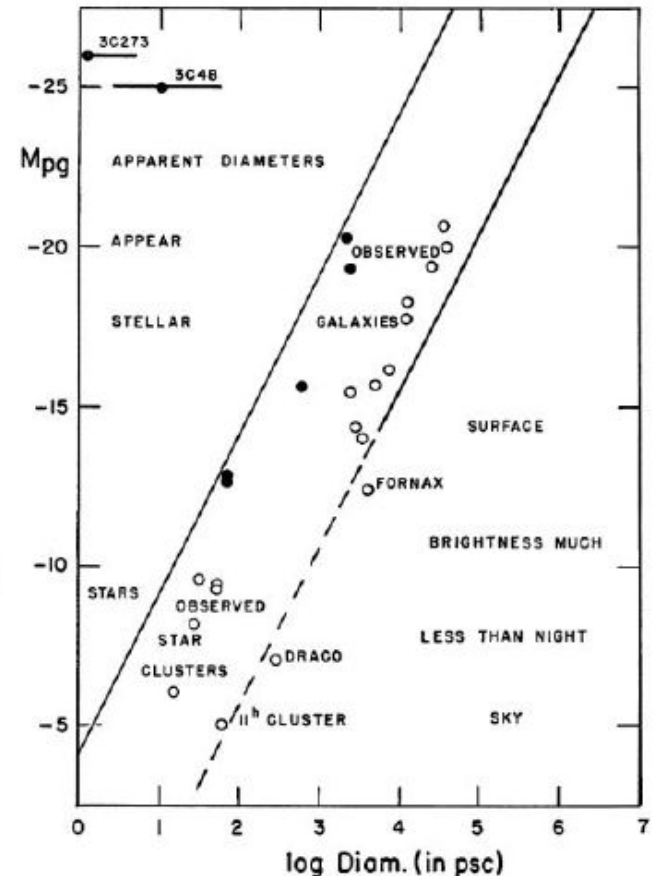
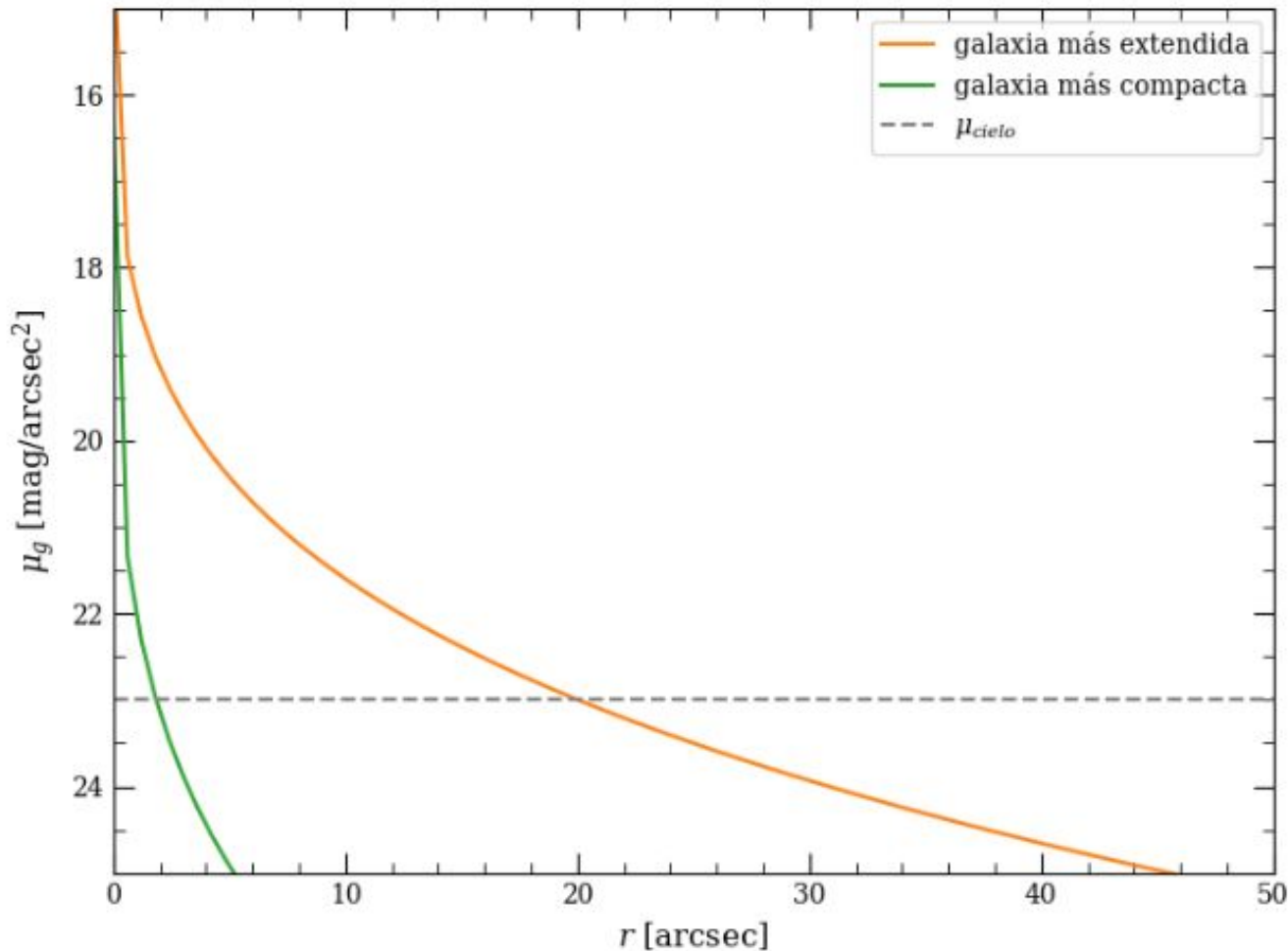


FIG. 3.—Luminosity-diameter diagram showing the region to which discovery of galaxies on direct photographs is limited. Some galaxies discovered by radio emission (quasi-stellar objects) and some that are close enough to notice concentration of individual stars (Fornax and Draco) are shown falling outside this band of observational selection. Line on left is for objects with 1' apparent diameter at apparent magnitude 18.0. Line on right represents a surface brightness of about  $m_{24} = 25.5$  mag/square second of arc.

❖ **LSB: low surface brightness**

(Tienen brillos más bajos que el brillo del cielo. No se distinguen.)

- ❖ En el diagrama de Arp, las que están arriba de la recta, tienen luminosidad normal pero son muy compactas: se confunden con estrellas (perfil de brillo abrupto).



Aparece el efecto de selección.

## La corrección K

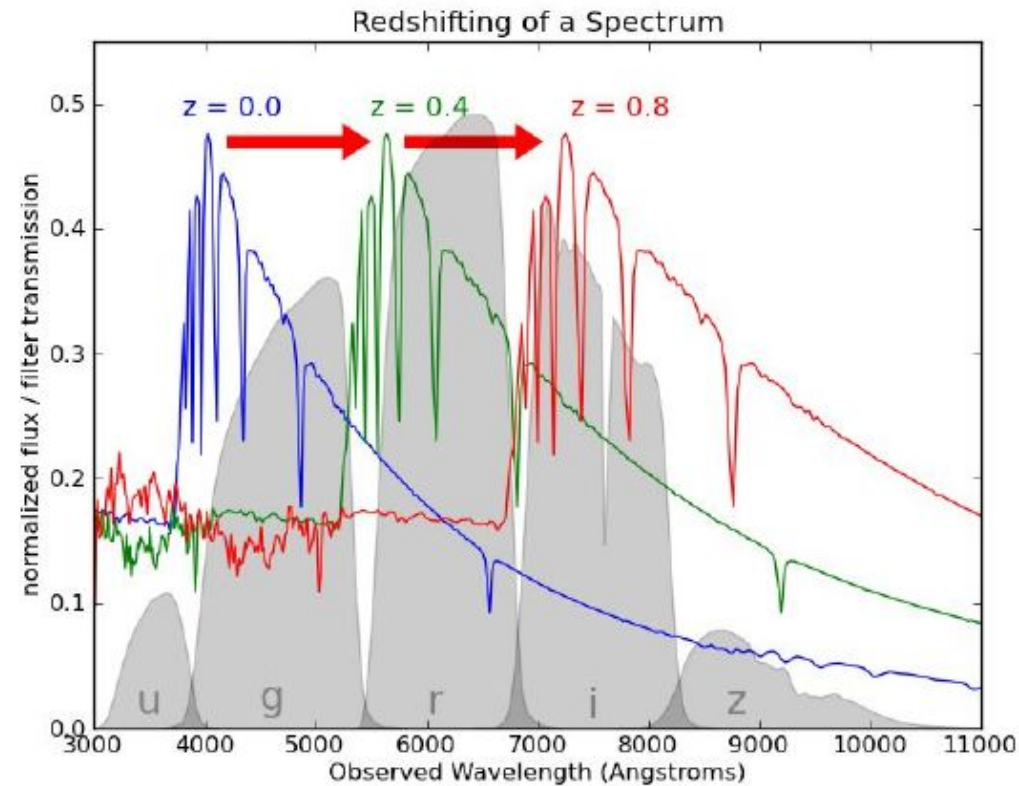
El espectro observado de una galaxia difiere del emitido debido a la expansión del Universo, que produce un corrimiento al rojo de la radiación electromagnética.

$$z = \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_1} \rightarrow \lambda = \lambda_1(1 + z) \rightarrow \Delta\lambda = \Delta\lambda_1(1 + z)$$

Este efecto es significativo a alto redshift.

Además, si se quiere comparar el espectro con el de una galaxia del Universo local ( $z=0$ ), hay que considerar la evolución de la población estelar.

El propósito de la corrección K es obtener el espectro y la fotometría de la galaxia en el sistema de referencia de la galaxia (en reposo respecto a la galaxia, por lo que suele llamarse “*rest frame*”).



No está claro el origen del nombre de la corrección. Podría ser debido a C. Wirtz (1918) y venir del alemán *Konstanten* (constante), o deberse a E. Hubble y tratarse de una letra arbitraria.

## Corrección K:

- ❖ Detector en banda  $\lambda_{\text{eff}}$  mide flujo emitido en  $\lambda_{\text{eff}}/(1+z)$

Si el flujo NO es plano, la medida es distinta de la de una fuente idéntica a  $z=0$ .

- ❖ Ancho de banda efectivo es DISTINTO en el marco de referencia de la galaxia que en la galaxia en reposo (por un factor  $(1+z)$  )

## Corrección evolutiva:

Tiene en cuenta la evolución de las poblaciones estelares de la galaxia desde el instante que se emitió la luz ( $z$ ) hasta el de observación ( $z=0$ ), a fin de poder comparar las galaxias en estados evolutivos similares (usa modelos de evolución de poblaciones estelares).

$M(\lambda_0, t_0)$  magnitud absoluta de la galaxias EVOLUCIONADA, tal como se observa en el marco de referencia del observador.

La **corrección K** incluye término por el cambio del ancho de banda.

Diferencia de magnitud entre el flujo observado de la galaxia a redshift  $z$  ( $\lambda_1$ ) y una galaxia idéntica a  $z=0$  ( $\lambda_0$ ), ambas de edad  $t_0$ .

(“lo que veo en la banda  $\lambda_0$  se emitió en la banda  $\lambda_1$ ”)

**Corrección evolutiva:** diferencia de magnitud entre el flujo de la galaxia de edad  $t_1$  a  $z$  ( $\lambda_1$ ) y el flujo de la misma galaxia a redshift  $z$  ( $\lambda_1$ ) pero evolucionada a edad  $t_0$ .

(“En la misma banda pero evolucionada”)

Esto tiene grandes implicancias en la Astronomía Extragaláctica y Cosmología actual. Los grandes **surveys fotométricos** que estiman el “redshift” a través de la forma de la **SED** (Spectral Energy Distribution) son muy sensibles a estas correcciones, como así también al modelado de la SED utilizando modelos de tasa de formación estelar y de funciones de masa iniciales.

