

Truncaciones

Buscando el límite de las Galaxias

Alberto Royo Valle

¹Universidad de Valladolid
Facultad de Ciencias

Febrero 2022



Universidad de Valladolid

Contenido

- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico
- 3 Fotometría
- 4 Método Computacional
- 5 Estudio de Las Galaxias



Contenido

- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico
- 3 Fotometría
- 4 Método Computacional
- 5 Estudio de Las Galaxias



Universidad de Valladolid

El objetivo principal de este trabajo es el de determinar las llamadas Truncaciones/truncamiento o “fronteras” galácticas realizando un estudio fotométrico de una galaxia. Se observara por lo tanto cómo decae la luminosidad en los perfiles de brillo.

Mediante este tipo de estudios se podrán obtener conclusiones sobre: las distintas partes que componen una galaxia, las poblaciones estelares y sobre la densidad de masa.

En el trabajo se profundizará en conceptos extra, .



Contenido

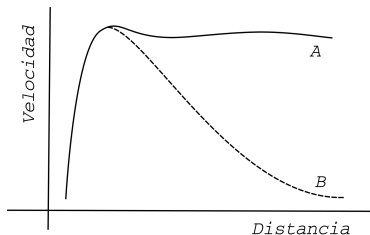
- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico**
- 3 Fotometría
- 4 Método Computacional
- 5 Estudio de Las Galaxias



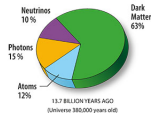
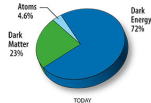
Universidad de Valladolid

Galaxia

Sistema complejo formado por un conjunto de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo y materia oscura. Todos estos objetos son unidos por la potencial gravitatorio con dos contribuciones: La debida a la Materia Bariónica y la debida a la Materia Oscura



(a) Curva de rotación galáctica



(b) Contenido del universo: [6]



Bulbo

Zona central de la galaxia, la cual tiene la mayor densidad de estrellas agrupadas en una estructura esférica. Es la zona con mas brillo

Disco

Distribución mas o menos circular y aplanada donde se encuentra la mayor cantidad de estrellas y planetas.

Halo

Estructura esferoidal que la engloba completamente a la galaxia. Es la estructura mas voluminosa y presenta una concentración de estrellas muy baja.



Fundamento Teórico

¿Distancia a la cual se encuentran las galaxias?

Ley de Hubble

Constante Hubble

$$H(t) := \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \quad (1)$$

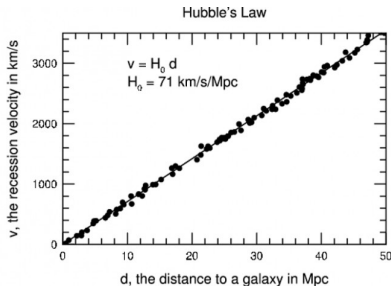
Ley de Hubble

$$H(t) = \frac{\dot{l}(t)}{l(t)} \Rightarrow v = H_0 D \quad (2)$$

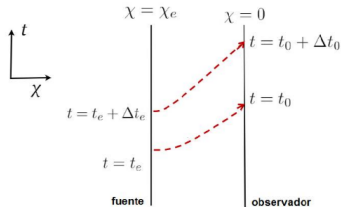
Desplazamiento al rojo o Redshift

$$1 + z = \frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \frac{a_{obs}}{a_{em}} \quad (3)$$

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}} = \frac{\nu_{em} - \nu_{obs}}{\nu_{em}} \quad (4)$$



(a) Ley de Hubble [11]



(b) Esquema Redshift [18]

Figura

$$z = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_2} = \frac{H_0}{c} D$$

¿Cómo es la radiación emitida por las galaxias?

Radiación del cuerpo negro

El cuerpo negro es un tipo de radiador ideal el cual absorbe toda la radiación incidente (no la refleja o dispersa). Del estudio de la radiación emitida por el cuerpo negro surge un modelo matemático capaz de predecir las longitudes de onda emitidas según la temperatura de dicho objeto.

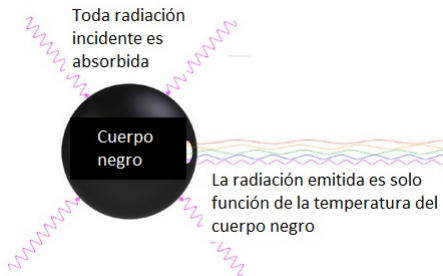


Figura: Cuerno Negro

Fundamento Teórico

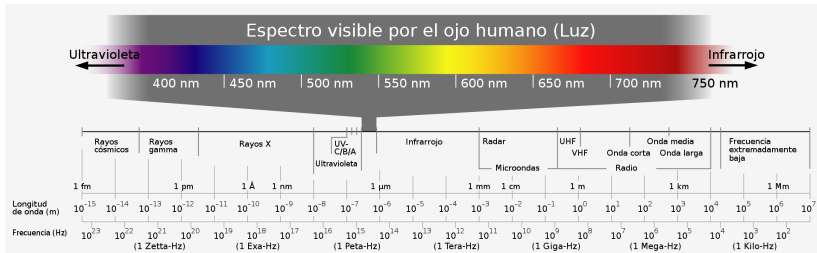


Figura: Espectro Electromagnético

Ley de Plank

$$I(\nu; T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (6)$$

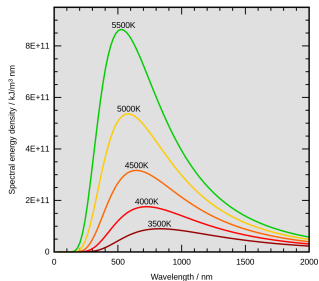


Figura: Emisión del Cuerpo Negro [13]



Ley de Wien

Indica que cuanto mayor es la temperatura del objeto, el pico de emisión máxima se encuentra a una longitud de onda menor.

$$\lambda_{max} = \frac{0,002898}{T} \quad (7)$$

- Dependencia edad estelar con la temperatura.
- Espectros rojizos, mayor contribución de estrellas mas antiguas.
- Espectros violetas, mayor contribución de estrellas jóvenes.

Espectros mas rojizos son mas representativos de la luz total de la galaxia según la ley de Plank.



Contenido

- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico
- 3 Fotometría**
- 4 Método Computacional
- 5 Estudio de Las Galaxias



Universidad de Valladolid

¿Como medimos el brillo de las Galaxias?

Densidad de Flujo

Recoger la luz de una fuente de radiación implica medir la energía (número de fotones que llegan al sensor) en cierto periodo de tiempo con un detector de cierta superficie. Unidades $[Wm^{-2}]$ o $[Wm^{-2}Hz^{-1}]$

Si consideramos L como el Flujo (o luminosidad) $[Js^{-1}]$ o $[W]$:

$$L = \int_S F ds \quad (8)$$

$$L = 4\pi r^2 F \quad (9)$$

Ley del cuadrado de la distancia



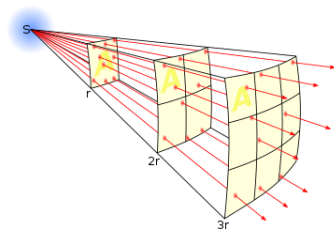


Figura: Ley del Cuadrado de la distancia

Magnitudes

Norman R. Pogson definió/postuló un sistema de magnitudes donde la primera magnitud sería para el objeto 100 veces mas visible que una típica estrella de magnitud sexta.

$$mag_i = -2,512 \cdot \log\left(\frac{F_i}{F_0}\right) \simeq -2,5 \log\left(\frac{F_i}{F_0}\right) \quad (10)$$

Pasar de una unidad de magnitud a otra implica multiplicar por un numero fijo 2,251 ($\sqrt[5]{100}$)

Una diferencia de magnitudes de 5 (de $m = 6$ a $m = 1$) lo que es un objeto 5 veces mas brillante en magnitudes, sera por definición un objeto 100 veces mas brillante(en densidad de flujo).



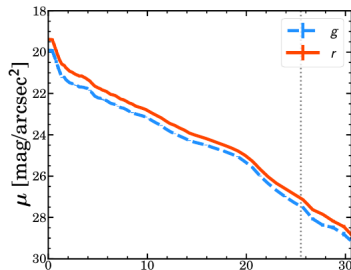
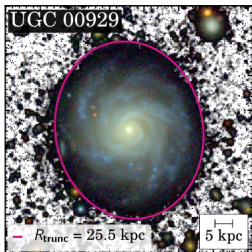


Figura: Perfil de Brillo

- Escala en magnitudes Invertida
- Mayor magnitud \Rightarrow Menor Brillo

El estudio se realiza empleando imágenes tomadas por distintos telescopios haciendo uso de los llamados sensores **CCD**¹

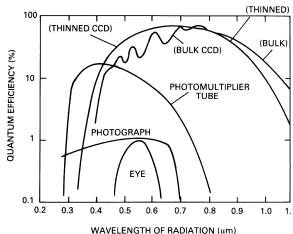


Figura: Eficiencia cuántica de distintos sensores [14]

Los CCDs son un circuito integrado que contienen un cierto número de condensadores capaces de transformar la luz recibida en corriente eléctrica. Funcionamiento similar a las placas fotovoltaicas. La luz recibida arranca electrones de la placa de forma proporcional a los fotones que llegan.



Universidad de Valladolid

¹dispositivo de carga acoplada o charge-coupled device

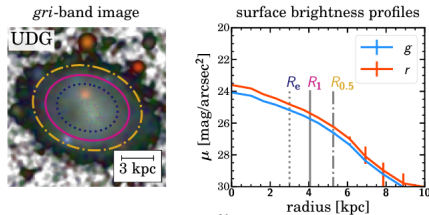


Figura: Método integración dentro de coronas elípticas ([5, pág. 77])

El método empleado en este trabajo consiste en observar cómo decae este brillo a medida que nos alejamos del centro de la galaxia. Existen varios enfoques computacionales los cuales tienen distintas ventajas:

- 1 Estudio de la luminosidad a lo largo del semieje mayor de la elipse que proyectan las galaxias en el cielo [2]
- 2 Estudio de la luminosidad integrando la luz dentro de coronas elípticas a medida que nos alejamos del centro de la elipse.



Filtros

Material permite el paso de luz la luz con ciertas propiedades (longitudes de onda), suprimiendo o atenuando la luz restante.

Filtros Hubble (o filtros HST: Hubble space telescope) [3]

El Hubble consiste de 2 sensores/cámaras principales: ACS (Advanced Camera for Surveys) y la WFC3 (Wide Field Camera 3).

- WFC3/UVIS ultravioleta cercano
- WFC3/IR para el infrarrojo cercano
- ACS en el espectro visible (hasta casi el infrarrojo)



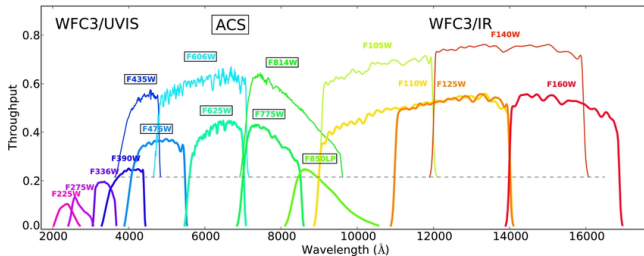


Figura: Transmitancia de 16 filtros del HST [10]

Filtros SDSS (Sloan Digital Sky Survey) [4]

Sloan Digital Sky Survey o SDSS es un proyecto ca encargado de la toma de imágenes por el telescopio de 2,5m del observatorio “Apache Point” en Nuevo México.

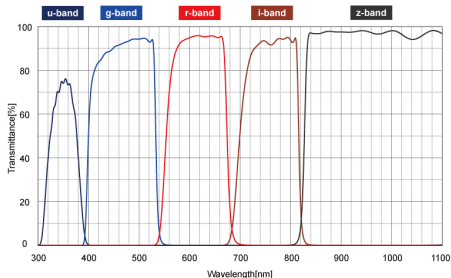


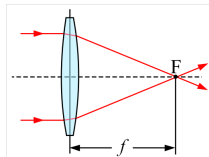
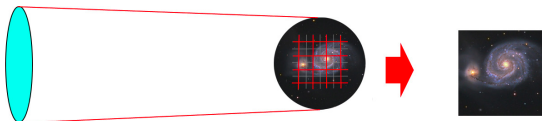
Figura: Transmitancia de cada uno de los filtros SDSS [1]

Contenido

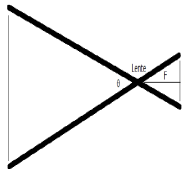
- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico
- 3 Fotometría
- 4 Método Computacional**
- 5 Estudio de Las Galaxias



Método Computacional



(a) Distancia Focal
[8]



(b) Ángulo
subtendido por el
objeto de estudio
[17]



Universidad de Valladolid

Escala de Píxel o Pixelscale

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{L/2}{F} \quad (11)$$

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \approx \frac{\theta}{2} = \frac{L/2}{F} \quad (12)$$

$$pixscale = \frac{L[\mu m]}{F[mm]} \cdot 206,3 = \left[\frac{arcsec}{pixel} \right] \quad (13)$$



Redshift

Una vez conocido el tamaño de la imagen, el Píxel Scale, el Redshift y los parámetros cosmológicos del modelo Lambda-CDM (constante de Hubble y materia) se podrá determinar/medir distancias dentro de la imagen, estableciendo equivalencias de distancia en píxeles con distancia en segundos de arco y/o distancia en Kparsecs.

Modelo cosmológico que concuerda con la teoría del “Big Bang” y describe la mayoría de observaciones cósmicas. En el modelo se definen observacional mente una serie de constantes sobre las cuales de desarrolla la teoría



Zeropoint

La densidad de flujo recogida en cada píxel de la CCD (y por lo tanto las magnitudes) dependerán mucho del tipo de detector y de sus sensibilidades en las diferentes longitudes de onda.

$$mag_i = -2,5 \log_{10}(F_i) + 2,5 \log_{10}(F_0) = -2,5 \log_{10}(F_i) + Zp \quad (14)$$

Se define F_0 como la densidad de flujo correspondiente al objeto mas brillante de la esfera celeste con una magnitud de unidad 0.



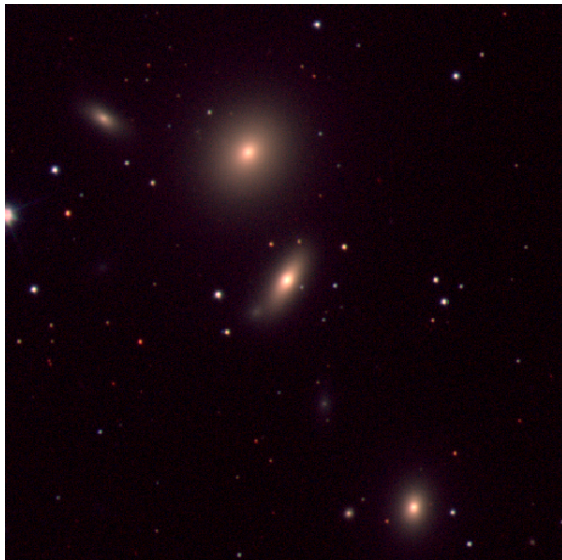


Figura: Galaxia NGC1277



Universidad de Valladolid

SExtractor

Source-Extractor) is a program that builds a catalogue of objects from an astro-nomical image. It is particularly oriented towards reduction of large scale galaxy-survey data, but it also performs well on moderately crowded star fields.

La presencia de objetos contiguos contamina en gran medida el brillo de la galaxia de estudio.

- Determinación del centroide: Determinación de los parámetros de todos los objetos luminosos.
- Enmascaramiento de Galaxias Vecinas: Se crea una imagen que enmascare los objetos vecinos, aislando nuestra galaxia de estudio.



Perfil de flujo:

Valor de la densidad de flujo a medida que nos alejamos del bulbo. Se empleará un algoritmo capaz de integrar las cuentas/luz en coronas elípticas concéntricas con la galaxia, obteniendo así unos valores promediados de lo que sería el flujo a una distancia radial

Perfil de Brillo:

$$mag = [-2,5\log_{10}(F) + ZP] + 5\log_{10}(PixScale) \quad (15)$$



Perfil de Masa

$$\log_{10} \Sigma_{\star} = \log(M/L)_{\lambda} - 0,4(mag_{\lambda} - mag_{abs,\odot,\lambda}) \quad (16)$$

El calculo de M/L se realiza siguiendo el procedimiento descrito por [16][19] el cual consiste en estimar M/L vía la información proporcionada por el “color”:

$$\log_{10}(M/L)_{\lambda} = (a_{\lambda} + b_{\lambda} \cdot color) - 0,15 \quad (17)$$

- ❶ $\log(M/L)_{\lambda}$: Mass-to-light ratio
- ❷ mag_{λ} : Perfil de brillo a longitud de onda o banda λ
- ❸ $mag_{abs,\odot,\lambda}$: Magnitud absoluta del sol en longitud de onda λ
- ❹ $\log_{10}\Sigma_{\star}$: Perfil de densidad de masa ($M \odot / pc$)



Contenido

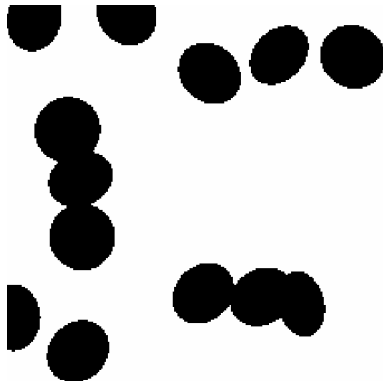
- 1 Introducción
- 2 Fundamento Teórico
- 3 Fotometría
- 4 Método Computacional
- 5 Estudio de Las Galaxias



Galaxia 79071



(a) Galaxia 79071



(b) Máscara para la Galaxia 79071

Figura: Perfiles galaxia 79071



Universidad de Valladolid

Galaxia Reliquia

Galaxias fueron formadas en las fases mas tempranas del universo (i.e., $z > 2$) [7] y han permanecido inalteradas desde su formación. Muy masivas y compactas(con formas elípticas).

Trabajos como [15] indicarían que una zona cercana a $z < 0,1$ solo el 0,1 % de las galaxias masivas habrían ganado menos del 10 % de la masa que tenían en su formación (casi inalteradas).



Galaxia 79071 perteneciente al catalogo KiDS/VIKING ([12] , [9]) presenta estas propiedades.

Localizada a un desplazamiento al rojo o “Redshift” de $z = 0,1335$ y en coordenadas:

- 1 Ascensión recta: $RA : 14h39m51,2s$ $RA : 219,96358837$
- 2 Declinación: $DEC : 0d6m45,14569s$ $DEC : 0,11254047$



Se utilizan los filtros SLOAN (g,r,i,z):

Filtro	Longitud de onda central (<i>nm</i>)	Longitud de onda emitida (<i>nm</i>)
g	477.9	421.6
r	619.7	546.7
i	755.8	666.8
z	878.0	774.6

Cuadro: Longitudes de onda centrales de los filtros SLOAN y longitud de onda emitida por la galaxia

Pixel scales correspondientes al sistema óptico de medida son: 0,21 para las bandas g-r-i y 0,3390 para z.



Bandas	g	r	i	z
Angulo de posición (deg)	-20.62	-20.62	-20.62	-11.26
X (pix)	120.4723	120.3026	120.2243	75.3978
Y (pix)	121.5314	121.4984	121.5473	75.6994
Razón de semiejes	1.279	1.236	1.277	1.179

Cuadro: Coordenadas, ángulo de posición y razón de semiejes de 79071 en la imagen



Galaxia 79071

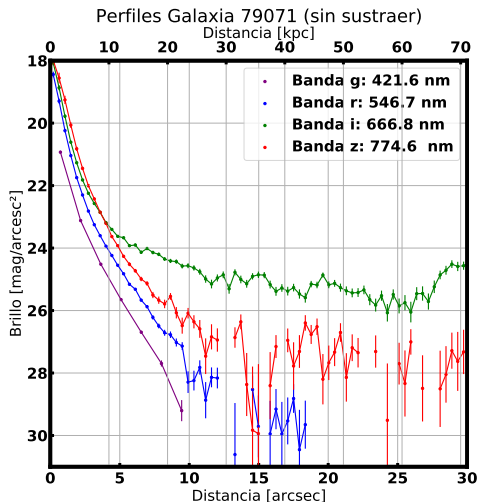


Figura: Primer perfil de luminosidad.



Universidad de Valladolid

- La banda i es mas luminoso que el perfil de la banda z.

Tratamiento del Ruido

- A partir de 10 segundos de arco la señal de las galaxias oscila de forma aleatoria
- En torno 20 y 30 segundos de arco se sustrae el nivel de cielo



Galaxia 79071

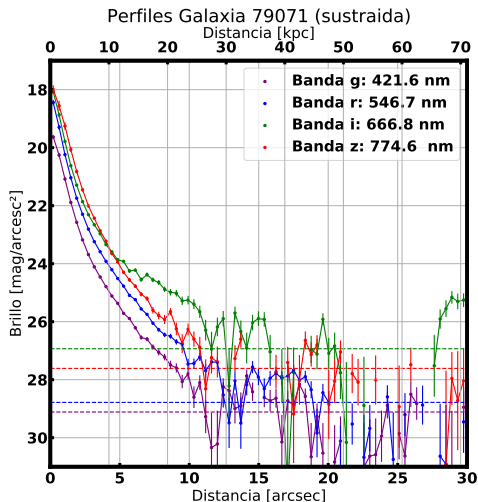


Figura: Perfil de luminosidad (con el flujo de cielo sustraído).



Universidad de Valladolid

Media y Desviación Típica σ

A partir de 10 segundos de arco se realiza un estudio estadístico del ruido estableciendo una línea segmentada a 3σ por encima del nivel de la media del ruido.

- Por encima de $3\sigma \Rightarrow$ En un 99,75 % la medida no pertenece al ruido.
- Se presenta el perfil de la banda i como mas luminoso que el perfil de la banda z.
- Posible fuente de error: imagen en i sea mucho muy ruidosa.
- Un estudio mas específico de la banda "i" muestra un cierto "gradiente" de ruido creciente de izquierda a derecha.



Perfil de Masa

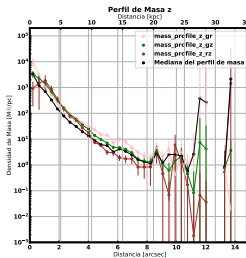
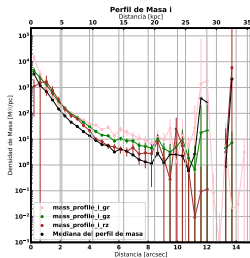
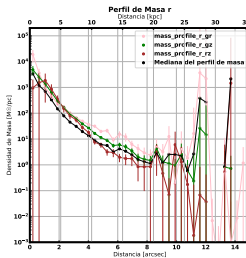
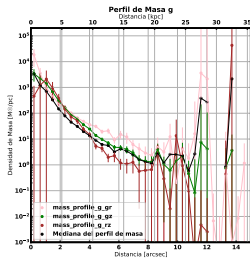
Para obtener unos resultados mas precisos se aplican una serie de correcciones que tienen que ver con:

- 1 Extinción de la luz debido al Polvo estelar
- 2 Inclinación de la Galaxia
- 3 Cosmological Dimming

- Se obvian los datos correspondientes al perfil en el filtro “i”



Galaxia 79071



Universidad de Valladolid

Conclusiones Galaxia 79071

- Galaxia elíptica: la luz viene dada por un esferoide donde la luminosidad decae gradualmente hasta el conocido “Break” a 5 segundos de arco.
- A partir del “Break” la luz decae con menos pendiente (mas lentamente).
- Se observa un segundo cambio de pendiente junto a una caída abrupta en torno a 12 segundos de arco
- Mas allá de 12 segundos de arco se observa un bamboleo de la señal en torno a la media del ruido, por debajo de 3σ .
- Perfil de masa: presenta corte claro en torno a 12 segundos de arco (incluso un poco antes). No obstante a partir de 8 segundos de arco el perfil de masa es demasiado ruidoso (NO CONCLUYENTE)

Truncación

Atendiendo a los perfiles de brillo se podría determinar una Truncacion en torno a 12 arco-segundos (a unos 30kpc) del centro del bulbo.

Para un estudio mas riguroso de la galaxia habría que acudir al estudio de los perfiles según el método de la integración del semieje mayor desarrollado por Jesus Alderete [2].



Galaxia 79071

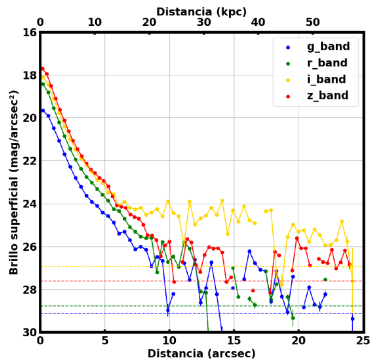


Figura: Perfil [2]:

Truncacion a 8 segundos de arco

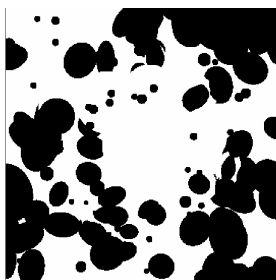


Universidad de Valladolid

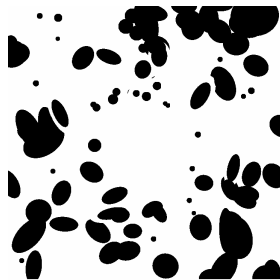
Galaxia 17058



(a) Galaxia 17058



(b) Máscara para la Galaxia 17058, IR



(c) Máscara para la Galaxia 17058, Optico

Figura: Galaxia 17058



Universidad de Valladolid

Galaxia en espiral perteneciente a la imagen del HST “Hubble Ultra Deep Field” o HUDF. Imágenes fueron obtenidas del catalogo GOODS a unas coordenadas:

- Ascensión recta: $RA = 3h32m40,7s$
- Declinación : $DEC = -27d46m15,68s$

La galaxia se encuentra a un Redshift alto de $z = 0,6218$: se observará que el brillo es mucho mas tenue que en el caso de la galaxia 79071.

Por ser elíptica el brillo no decae de una forma tan gradual como una elíptica y se debería de poder observar la truncación de forma mas clara.



Galaxia 17058

Las imágenes de estudio fueron tomadas por el HST (telescopio espacial Hubble), se podrá observar la galaxia en los canales ópticos e infrarrojos correspondientes a:

Filtro	Long. onda (nm)	Long. onda emitida (nm)	Zeropoint	Espectro
B F435W	435	268.2	25.673	Óptico
V F606W	600	369.9	26.486	Óptico
I F775W	814	501.9	25.654	Óptico
Y F105W	1050	647.4	26.269	Infrarrojo
J F125	1250	770.7	26.230	Infrarrojo
H F160w	1600	986.5	25.946	Infrarrojo

Cuadro: Filtros y Zeropoint correspondientes a los filtros de las tres cámaras del HST



Galaxia 17058



Universidad de Valladolid