

Universidad Autónoma de Madrid

FACULTAD DE CIENCIAS

**Reducción de Datos y Estudio de los  
objetos NGC 3992 y NGC 5194**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Alumno:**

Alberto Álvaro Díaz

**Curso:**

4º Físicas — 2022/2023

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Toma de imágenes</b>	<b>2</b>
<b>3. Obtención de Imágenes Físicas</b>	<b>2</b>
3.1. Corrección de Errores de la CCD . . . . .	2
3.2. Corrección del Cielo y Calibración . . . . .	3
<b>4. Resultados</b>	<b>4</b>
4.1. Magnitudes Integradas . . . . .	4
4.2. Perfiles de Luminosidad . . . . .	6
4.3. Supernova SN 2011 dh . . . . .	7
4.4. Imágenes a Color . . . . .	9
<b>5. Referencias</b>	<b>10</b>
<b>6. Anexo</b>	<b>11</b>
6.1. Manual de Programas . . . . .	11
6.1.1. Open.py . . . . .	11
6.1.2. Reduce.py . . . . .	11
6.1.3. SkySub.py . . . . .	12
6.1.4. Calib.py . . . . .	12
6.1.5. Color.py . . . . .	13
6.1.6. MagInt.py . . . . .	14
6.1.7. Error.py . . . . .	14
6.2. Catálogo de Estrellas de Calibración . . . . .	16
6.3. Imágenes Calibradas en Flujo . . . . .	18
6.4. Histogramas . . . . .	21

# 1. Introducción

Obtener imágenes de nuestro universo de las que se puedan sacar parámetros físicos reales, es un laborioso trabajo de tratamiento de los datos que se obtienen de un observatorio.

De aquí en adelante se mostrará el procedimiento seguido para reducir los datos obtenidos en Calar Alto (Almería) con el telescopio de 2.2 metros de diámetro, para el caso específico de fotometría. Se obtendrá una imagen con unidades físicas, de las que podremos sacar algunas medidas y conclusiones. En este proyecto se ha trabajado con los objetos NGC 3992 (Messier 109) y NGC 5194 (Messier 51A).

Desde aquí se avisa al lector que se hará un uso frecuente de los anexos y apartados extra donde se tratará de dejar con mayor exactitud el proceso. Se tratará de condensar toda la información importante en breves páginas.

Destacar también que los resultados expuestos han sido tratados por Cristina Viviente Orea y Alberto Álvaro Díaz, donde Cristina se centró en el objeto NGC 3992 y Alberto en NGC 5194. A pesar de trabajar en objetos separados ambos hemos sido partícipes de ambos trabajos, ayudándonos mutuamente para conseguir sacar a delante este proyecto.

## 2. Toma de imágenes

Para tratar de tomar una imagen (fotometría) de un objeto (galaxia, estrella, cúmulo...) deberemos de tener en cuenta algunos parámetros que deberán de ser de estudio previo. De manera general, se deberá realizar una propuesta de observación en donde se muestre; la viabilidad de la observación (fuente extensa o puntual, tiempo de exposición, coordenadas, altura sobre el horizonte...) con la garantía de que se pueda obtener una imagen física (no saturar la CCD), y por otro lado, una motivación de carácter científico.

En este caso, no hemos podido tomar las imágenes de los objetos utilizados por nosotros mismos, por lo que mucha de esta información es desconocida. Mostraremos los datos conocidos con los que hemos trabajado:

**NGC 3992 (Messier 109):**

$$\textit{Object Frames} : 1 \times 15s + 2 \times 300s \textit{ (R)}$$

$$\textit{Calibration Frames} : 10 \times \textit{Bias} + \textit{Flats} : 5 \times 0,9s \textit{ (R)}$$

$$\textit{Filtros en el óptico} : \textit{Johnson}$$

**NGC 5194 (Messier 51A):**

$$\textit{Object Frames} : 1 \times 90s \textit{ (B)}; 1 \times 30s \textit{ (V)}; 1 \times 15s \textit{ (I)}; 1 \times 15s \textit{ (R)}; 1 \times 360s \textit{ (U)}$$

$$\textit{Calibration Frames} : 5 \times \textit{Bias} + \textit{Flats} : 1 \times 22s \textit{ (B)}; 1 \times 5s \textit{ (V)}; 1 \times 8s \textit{ (I)}; 1 \times 16s \textit{ (R)}; 1 \times 16s \textit{ (U)}$$

$$\textit{Filtros en el óptico} : \textit{Johnson}$$

## 3. Obtención de Imágenes Físicas

Las imágenes obtenidas, en esencia, son un *header*, con información del objeto y de la observación y, principalmente, una matriz de números. Esta matriz refleja las cuentas obtenidas en cada pixel de la CCD. Nuestro objetivo es pasar estos números a cantidades físicas. Para ello deberemos hacer un tratamiento que seccionaremos en los siguientes apartados.

### 3.1. Corrección de Errores de la CCD

A nuestra imagen obtenida tendremos que restarles cierta cantidades asociadas a errores que aparecen durante la observación. En un primer lugar, deberemos de restar el *Bias*; es una cantidad casi uniforme en todo el mapeado que añade la CCD para evitar la pérdida de un bit en números

negativos. En segundo lugar, deberemos de restar el *Dark*; cantidad de cuentas que saltan los efectos de agitación térmica. En Calar Alto, como todo este proceso está refrigerado con Nitrógeno líquido lo consideraremos nulo. En tercer lugar, deberemos restar el *Flat*: Cantidad que se obtiene para calibrar las posibles variaciones en los píxeles, debidos a suciedad, diferentes eficiencias etc... Podremos restar estas cantidades a nuestra imagen de la siguiente manera:<sup>1</sup>

$$Img_{Reduced} = \frac{(Img_{Raw} - Bias)/t_{exp} - Dark}{Flat} \quad (1)$$

### 3.2. Corrección del Cielo y Calibración

De la imagen obtenida, deberemos restar el brillo característico del cielo y calibrar en flujo. De manera resumida, lo que realizaremos en primer lugar será, escoger un área de nuestra imagen en la que nos aseguremos que no tenemos ninguna fuente lumínica extensa. Escogeremos la moda de los píxeles del área y lo restaremos a nuestra imagen al completo<sup>2</sup>.

Ahora para conseguir la calibración deberemos fijarnos en estrellas de nuestra imagen y encontrar sus sus magnitudes tabuladas en catálogos<sup>3</sup>. De esta manera integrando el flujo de estas estrellas podremos sacar el factor de conversión de *adu/s* a *erg/s/cm<sup>2</sup>*. Obtendremos de esta manera la imagen calibrada<sup>4</sup>.

Hemos creado un apartado en el Anexo 6.2 para poder seguir el procedimiento de las estrellas de calibración.

---

<sup>1</sup>Podremos ver este procedimiento de manera mas exacta en Anexo: 6.1.2

<sup>2</sup>Podremos ver este procedimiento de manera mas exacta en Anexo: 6.1.3

<sup>3</sup>Magnitudes aparentes tabuladas obtenidas de la referencia 5.1

<sup>4</sup>Podremos ver este procedimiento de manera mas exacta en Anexo: 6.1.4

## 4. Resultados

A partir de las imágenes calibradas en unidades físicas hemos podido obtener algunas resultados interesantes. Hemos creado un apartado en el Anexo 6.3 donde mostraremos todas las imagenes calibradas para ambos objetos si al lector le interesase consultarlas.

### 4.1. Magnitudes Integradas

Utilizando las imágenes del objeto NGC 5194 (Messier 51A) calibradas en flujo, hemos podido integrar todo el flujo correspondiente al mismo, como vemos a continuación:<sup>5</sup>

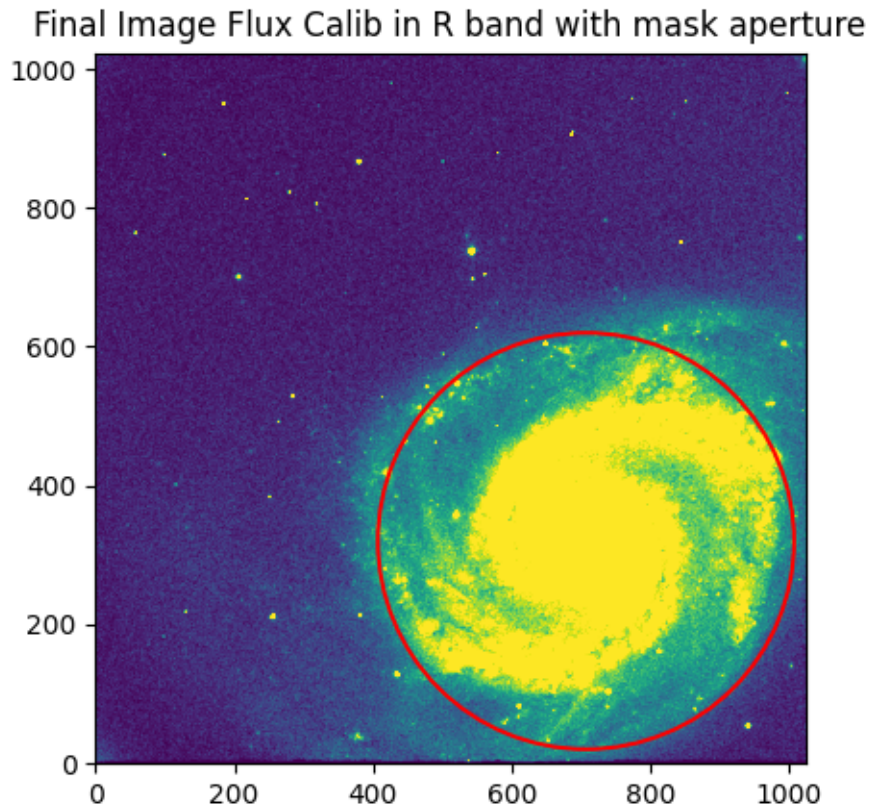


Figura 1: Área de integración de NGC 5194 para ejemplo de banda R

Hemos calculado las magnitudes aparentes para cada banda. Por otro lado, hemos realizado la propagación de errores para todo el proceso de reducción de datos<sup>6</sup> y hemos comparado los obtenido con lo estudiado en las referencias (5.1) y (5.3), lo mostramos en la siguiente tabla:

---

<sup>5</sup>Podemos seguir el proceso mas adecuadamente en Anexo: 6.1.6

<sup>6</sup>Podemos seguir el proceso mas adecuadamente en Anexo: 6.1.7

Banda	V	B	R
Mag Measured	$8.44 \pm 0.11$	$9.30 \pm 0.07$	$8.10 \pm 0.07$
Mag (Ref)	8.36	9.26	8.40

Hemos realizado el mismo procedimiento para el objeto NGC 3992 (Messier 109), donde hemos integrado la siguiente área mostrada en la imagen:

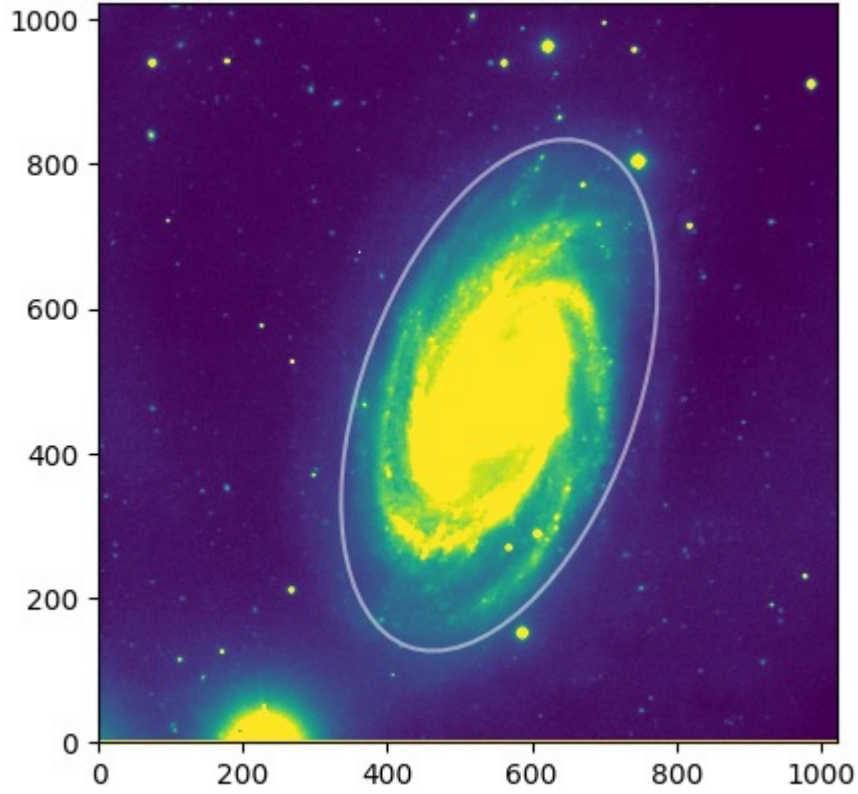


Figura 2: Área de integración de NGC 5194 para ejemplo de banda R

Operando de la misma manera que para nuestro primer objeto hemos encontrado el siguiente valor de la magnitud aparente integrada en la banda R. Hemos comparado el resultado con el encontrado en la referencia (5.6). Lo mostramos en la siguiente tabla:

Banda	R
Mag Measured	9.63
Mag (Ref)	9.57

## 4.2. Perfiles de Luminosidad

Para el objeto NGC 3992 (Messier 109), hemos obtenido su perfil de luminosidad a lo largo de su eje mayor. Hemos graficado el flujo en función de su distancia al centro y hemos aproximado lo obtenido por un perfil de Sersic:

$$I(r) = I_e e^{-b_n \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right]} \quad (2)$$

Lo obtenido lo mostramos en la siguiente gráfica:

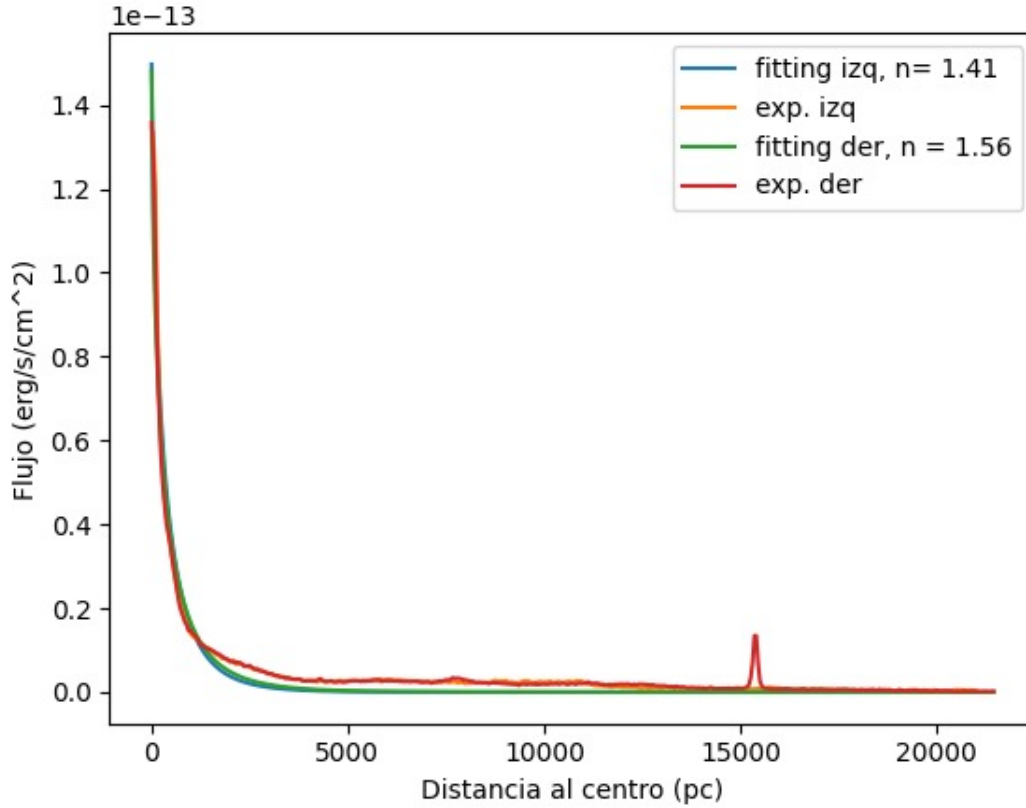


Figura 3: Ajuste del perfil de Sersic a los datos obtenidos para NGC 3992 (Messier 109)

Mediante el ajuste a la ecuación (2) hemos encontrado un valor para los parámetros que caracterizan el perfil de luminosidad de NGC 3992:

Derecha:

$$I_e = 8,99 \cdot 10^{-15} (erg/s/cm^2) \quad b_n = 1,00 \quad r_e = 1466,28(pc) \quad n = 1,56$$

Izquierda:

$$I_e = 1,22 \cdot 10^{-14} (erg/s/cm^2) \quad b_n = 1,00 \quad r_e = 1157,61(pc) \quad n = 1,41$$

Unos valores muy acordes a lo esperado para una galaxia espiral.



### 4.3. Supernova SN 2011 dh

Las imágenes con las que hemos trabajado del objeto NGC 5194 (Messier 51A), son de fecha de 9 de septiembre de 2011, 99 días después del descubrimiento de la super nova SN 2011 dh (PTF11eon) en esta misma galaxia<sup>7</sup>.

Hemos conseguido localizarla en nuestra imagen y poder obtener algunas medidas interesantes:

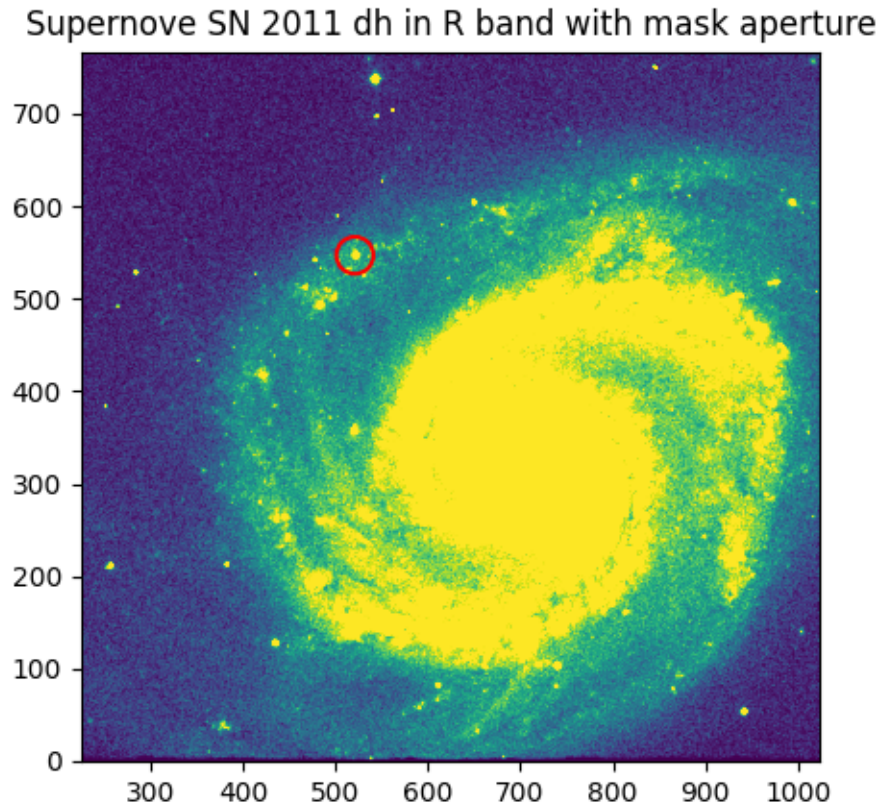


Figura 4: Localización de SN 2011 dh en Messier 51A

Con un proceso muy similar al utilizado en el programa para las magnitudes integradas<sup>8</sup> hemos conseguir obtener la magnitud del objeto 99 días después de su descubrimiento y compararla con los resultados expuesto en la Referencia (5.5): arXiv:1408.0731, donde realizan un estudio del mismo hasta 400 días después:

---

<sup>7</sup>Podemos estudiar más a fondo sobre el descubrimiento de SN 2011 dh en la referencia 5.4 arXiv:1106.3551

<sup>8</sup>Podemos ver el proceso con exactitud en el Anexo: 6.1.6. Aun que el *Script* no sea explicado en este documento por su alta similitud con el mencionado, se entregará junto al resto con el nombre *MagSuperNove.py* por si al lector le interesase.

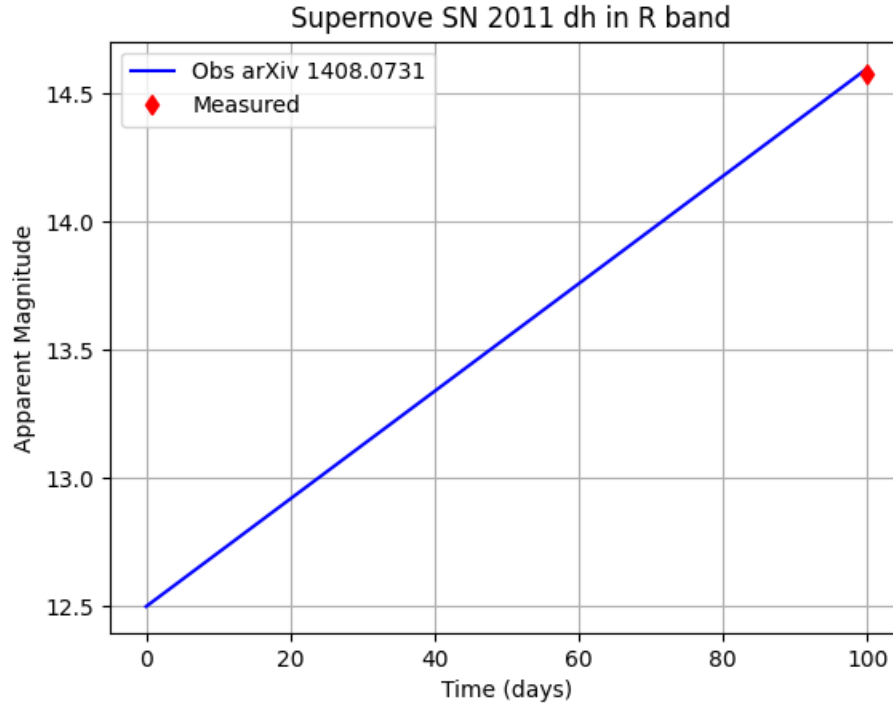


Figura 5: Comparación de los datos extraídos de referencia (5.5) y los datos reducidos

En la gráfica podemos comparar las modelizaciones lineales que estudian en la referencia (5.5) para el aumento de la magnitud aparente desde su pico en el tiempo, frente a lo que hemos obtenido de nuestra imagen calibrada en flujo integrando el área expuesta en Figura 4 para el día 99-100 después del descubrimiento.

#### 4.4. Imágenes a Color

Dado a que tenemos imágenes para cada banda en el óptico del objeto NGC 5194 (Messier 51A), hemos decidido obtener una imagen a color.

Para ello hemos escogido las bandas R, V y B correspondientes a los colores RGB. Las hemos apilado, y dado su correspondiente tonalidad. Hemos obtenido la siguiente imagen<sup>9</sup>



Figura 6: Imagen a color de NGC 5194 (Messier 51A)

---

<sup>9</sup>Podremos seguir de manera mas exacta este proceso en el Anexo: 6.1.5

## 5. Referencias

1) SIMBAD Astronomical Database

Web: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

2) SVO Filter Profile Service

Web: <http://svo2.cab.inta-csic.es/svo/theory/fps3/index.php?id=PAN-STARRS/PS1.g&&mode=browse&gname=PAN-STARRS&gname2=PS1/>

3) NASA: Messier 51 (The Whirlpool Galaxy) and Messier 109

Web: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/messier-51-the-whirlpool-galaxy>

Web: <https://www.nasa.gov/feature/messier-109/>

4) PTF11eon/SN2011dh: Discovery of a Type IIb Supernova from a Compact Progenitor in the Nearby Galaxy M51

Paper: [arXiv:1106.3551](#)

5) The Type IIb SN 2011dh - Two years of observations and modelling of the lightcurves

Paper: [arXiv:1408.0731](#)

6) Baryonic Distributions in Galaxy Dark Matter Haloes I: New Observations of Neutral and Ionized Gas Kinematics

Paper: [arXiv:1605.01638](#)

7) ESA Sky: Astronomical Database

Web: <https://sky.esa.int/esasky/>

Paper: [arXiv:2208.00211](#)

## 6. Anexo

### 6.1. Manual de Programas

En esta sección se mostrará un breve resumen de como opera cada *Script* usado en este proyecto. Tratando de dejar una mayor claridad en el desarrollo empleado. Aun así, en el propio *Script*, se encuentran anotaciones suficientes como para su entendimiento al completo.

#### 6.1.1. Open.py

Resumen: Este *Script* está pensado para usarlo con la carpeta en crudo que obtenemos según terminamos la noche de observación. Nos permitirá leer todos los *.fits* de la carpeta e ir guardando de manera ordenada los que nosotros deseemos en carpetas a parte para su posterior utilización. De esta manera consigamos una mejor organización.

Además, este mismo *Script* nos calculará el *Master Bias* y *Master Flat* de las imagines de calibración que posteriormente hayamos seleccionado. El trabajo realizado ha sido con el observatorio de Calar Alto (CAHA), el cual carece de errores por *Dark* prácticamente nulos, por lo que los obviaremos.

Paso a paso: En un primer lugar nos pedirá el nombre de la carpeta en crudo que hayamos obtenido de la noche de observación. Nos enseñará todos los *.fits* (*.header['OBJECT']*) existentes en la carpeta. Nos pedirá el número de imágenes de calibración de *BIAS*, para posteriormente ir escogiendo de la carpeta cruda los que queramos usar para calibración. Cuando estemos satisfechos con la elección los guardará en una carpeta a parte y comenzará con el proceso de creación para el *Master Bias*, que nos lo mostrará en pantalla y lo guardará en la misma carpeta.

Repetiremos un proceso muy similar para las imágenes de calibración de *FLATS*. Esta vez deberemos indicar también los filtros que hemos utilizado. Los seleccionaremos de la carpeta cruda y los guardaremos ordenadamente en carpetas. Comenzaremos así el proceso de creación del *Master Flat*. Para ellos volveremos a escoger el *Master Bias* y en el caso de que existiera el *Master Dark*. Operaremos para cada banda, nos mostrará en pantalla cada mapeado y lo guardará ordenadamente en las carpetas.

#### 6.1.2. Reduce.py

Resumen: Este *Script* nos ayudará en la organización de las imágenes de ciencia, tanto crudas como reducidas. Separará las imágenes crudas de la carpeta de la noche de observación, y realizará la primera reducción de *Bias*, *Dark* (si procede) y *Flat*, para luego guardarlas en carpetas a parte y mostrarlas por pantalla.

Paso a paso: En primer lugar, tendremos definida la función de operación para reducir una imagen de ciencia cruda, que usaremos mas adelante en el programa.

Nuevamente nos volverá a pedir el numero de filtros utilizados y que indiquemos el nombre de estos. El programa acudirá a los *Master* de *.fits* de calibración que hemos obtenido y guardado anteriormente para operar con ellos. De manera similar, y con una ‘palabra clave’ guardará de manera automática las imágenes de ciencia crudas sacadas de la carpeta de la noche de observación. Una vez tiene todo esto preparado, opera para cada filtro empleado mostrándonos las imágenes reducidas y guardándolas de manera ordenada en una carpeta a parte para su posterior utilización.

### 6.1.3. SkySub.py

Resumen: Este *Script* nos ayudará a restar el cielo de nuestra imagen de ciencia. Después de haber corregido *Bias*, *Dark* y *Flat* deberemos restar el brillo característico del cielo, para ellos, cogeremos un área de la imagen (asegurándonos de no coger nuestro objeto) para poder operar la moda de todos los píxeles y restárselo a nuestra imagen principal.

Paso a paso: En primer lugar, tendremos que especificar los filtros utilizados, como venimos haciendo en los anteriores programas. Nos creará una lista con las diferentes imágenes de ciencia que previamente hemos reducido de las imágenes de calibración.

A continuación, deberemos introducirle las coordenadas del mapeado mostrado que queremos que escoja para realizar la moda. Trataremos de escoger un área que no obtenga nuestro objeto (en el caso de ser una fuente extensa), a priori, nos dará igual que el área contenga estrellas, ya que serán únicamente unos pocos pixeles, como realizaremos la moda, estos nos darán igual.

Para terminar, comenzará el proceso de reducción del cielo, donde calculará la moda de los píxeles de área escogida, y se lo restará a nuestra imagen de ciencia. En algunos casos, como existirán algunos píxeles por debajo de la moda, estos, quedarán negativos posteriores a la resta, nos aseguraremos de hacer 0 estos píxeles para evitar errores en la calibración en flujo.

Tendremos también la opción de estudiar unos histogramas del área escogida junto con la moda calculada y de la imagen reducida de cielo, para comprobar que el proceso se está realizando correctamente.

### 6.1.4. Calib.py

Resumen: Para que nuestra imagen tenga unidades físicas, necesitaremos pasar las *adu/s* que tengamos en la matriz de los datos a flujo (*erg/s/cm<sup>2</sup>*). Para ello necesitaremos coger estrellas que aparezcan en nuestra misma imagen, conocer su cantidad de flujo (buscando en catálogos),

medir el flujo de la misma en nuestra imagen ( $adu/s$ ), y comparar ambas cantidades para saber cuánta cantidad de energía le corresponde una cuenta. Una vez tengamos esta cantidad, podremos multiplicarla por nuestra imagen y tener unidades de flujo. De la misma manera podremos pasar a magnitudes.

Paso a paso: En primer lugar, el programa cogerá en un mapeado las imágenes que ya hemos restado de *Bias*, *Dark*, *Flat* y Cielo. A continuación, deberemos introducir las magnitudes de las estrellas que vayamos a utilizar (preferiblemente 3 o más). Necesitaremos conocer el valor de la magnitud de la estrella en las mismas bandas que queramos calibrar. Necesitaremos conocer también el flujo de referencia del sistema que estemos utilizando para cada banda (en nuestro caso, filtros *Johnson* sistema de Vega). Introduciremos las dos ultimas cantidades en diferentes mapeados para una mayor facilidad.

Pasaremos a calcular el flujo de nuestra imagen (en  $adu$ ). Para ello necesitaremos una máscara que tan solo coja los píxeles en los que se vea reflejado la estrella de calibración. Marcaremos un radio común para todas las estrellas (en píxeles), trataremos de que sea lo suficientemente grande como para abarcar todas las estrellas, pero sin coger excesivo cielo ni otra estrella vecina.

Comenzaremos con el proceso. Para facilitar la creación de la máscara, ya que tendremos que usar una diferente para cada banda (aun que sean la misma estrella), el programa nos mostrará la imagen, pincharemos en la primera estrella que deseemos usar, nos hará zoom, y trataremos de volver a pinchar en el centro de la estrella de calibración, para guardar los datos del centro de la misma en píxeles.

Aplicará la máscara, calculará el flujo (en cuentas), y pasaremos a repetir el proceso con la siguiente estrella en la misma banda. Cuando el proceso haya finalizado, mostrará la imagen calibrada en flujo y en magnitud para la banda operada. Se deberá repetir el proceso para cada banda.

(El motivo de tener que realizar el proceso para cada banda es que, como cada una las imágenes se tomaron a diferentes tiempos, los centros, en píxeles, para las mismas estrellas varían entre bandas).

#### 6.1.5. Color.py

Resumen: Trataremos de sacar una imagen a color para nuestro objeto. Para ello necesitaremos 3 imágenes en las bandas de RGB. Las apilaremos, y les daremos la intensidad a cada banda que más deseemos.

Paso a paso: En un primer lugar, cogeremos las imágenes calibradas en flujo y las introduciremos en un mapeado para facilitar su uso. Nos quedaremos con las 3 bandas RGB para su posterior utilización.

Para realizar el apilado marcaremos la cantidad de píxeles que queremos desplazar cada banda, tratando de hacer coincidir el mismo punto de la imagen para las 3 bandas, nos facilita el proceso si escogemos una estrella como referencia.

Con la ayuda de la función *make-lupton-rgb* podremos solapar las imágenes con su tonalidad e intensidad correspondiente, obteniendo así la imagen a color que buscamos.

#### 6.1.6. MagInt.py

Resumen: Con un procedimiento similar al de calibración en flujo, pero con la imagen ya calibrada, trataremos de obtener la magnitud integrada de nuestro objeto. Para ello sumaremos todo el flujo de todos los píxeles que involucren a nuestro objeto. Posteriormente pasaremos a magnitudes.

Paso a paso: En primer lugar, introduciremos en un mapeado las imágenes calibradas en flujo, para facilitar su posterior utilización.

Necesitaremos conocer también el flujo de referencias del sistema utilizado para cada banda (en nuestro caso el sistema Vega), mismos datos que usamos en el *Script* de *Calib.py*.

Plotaremos primero la imagen entera de la banda que queramos. En esta trataremos de seleccionar el centro de nuestro objeto y su radio aproximado. Introduciremos esas cantidades. Realizaremos la máscara circular, la aplicaremos a la imagen y la mostraremos para ver que estamos conformes con el centro y radio escogidos.

Por último, nos mostrará el flujo integrado, pasaremos a magnitudes, teniendo en cuenta el flujo de referencia, y nos mostrará el flujo integrado.

#### 6.1.7. Error.py

Resumen: En este *Script* realizaremos la propagación de errores del proceso de reducción de datos. Deberemos de repetir algunas partes del proceso y propagar errores hasta obtener un mapeado de errores calibrados en unidades físicas.

Paso a paso: En primer lugar, introduciremos en un mapeado las imágenes calibradas en flujo e integraremos el flujo de nuestro objeto para cada banda. Lo usaremos mas adelante. En segundo lugar, calcularemos los flujos tabulados de catálogo de las estrellas de calibración, e integramos las estrellas utilizadas en nuestra imagen sin calibrar, como hicimos en *Calib.py*, lo usaremos en la propagación. Posteriormente, calcularemos el error del *Bias* y *Flats* con la desviación estándar. En este punto se ha decidido no usar el error asociado a los *Flats*, se ha hecho un estudio detallado de ellos para el objeto NGC 5194 (Messier 51A), y se ha visto que no son de la calidad esperada, lo que provocaba unos errores disparados y fuera de lugar. Por este motivo, se ha asociado el error



como 2 veces el error del *Bias*. A continuación, deberemos asociar un error al cielo (para el proceso de reducción del cielo en SkySub.py), para ello se ha escogido la anchura a media altura del mismo para cada banda<sup>10</sup>. Hemos integrado nuestro mapeado de errores (proveniente del *Bias*) con las mismas áreas con las que hemos integrado las estrellas y hemos añadido el error del cielo por el área de integración correspondiente, este será el error asociado el flujo medido. Para propagar el error de la calibración deberemos calcular el error del factor de conversión entre el flujo tabulado ( $erg/s/cm^2$ ) y el flujo medido ( $adu/s$ ):

$$f(x) = \frac{F}{x} \quad \Delta f(x) = \frac{\partial f(x)}{\partial x} \Delta x = x \frac{F \Delta x}{x^2} \quad (3)$$

Donde en la ecuación anterior  $F$  es el flujo tabulado,  $x$  el flujo medido y  $\Delta x$  el error asociado al flujo medido. Por último, nos queda crear nuestro mapeado de errores en unidades físicas de  $erg/s/cm^2$ . Para ello volvemos a propagar errores:

$$g(x, y) = h(y)f(x) \quad \Delta g(x, y) = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \Delta y = f(x) \Delta x + h(y) \Delta y \quad (4)$$

Donde  $f(x)$  es el factor de conversión a unidades físicas por el mapeado de error proveniente del *Bias* (aun en  $adu/s$ ), y  $h(y)$  el mapeado calibrado en flujo por el error correspondiente de la propagación de errores anterior. De esta manera ya solo nos queda integrar el mismo área de integración de nuestro objeto, pasar a magnitudes y obtenemos los errores correspondientes para cada banda mostrados en en apartado 4.1.

---

<sup>10</sup>Podremos ver los histogramas que justifican la elección del valor de anchura a media altura y de la moda del cielo en el Anexo: 6.4

## 6.2. Catálogo de Estrellas de Calibración

En este apartado detallaremos los objetos escogidos para la calibración en flujo. Para ello hemos escogido 3 estrellas contenidas en la misma imagen de nuestros objetos. Hemos obtenido sus magnitudes aparentes para las diferentes bandas que queremos calibrar de los catálogos<sup>11</sup>:

**NGC 5194 (Messier 51A):**

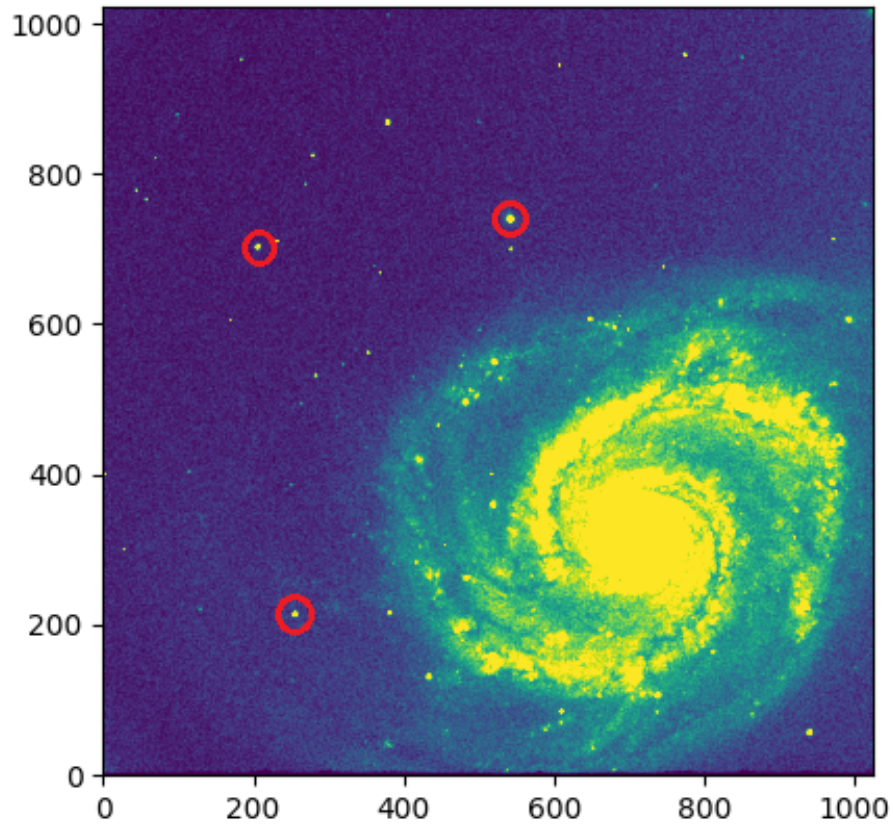


Figura 7: Estrellas de Calibración de NGC 5194 (Messier 51A): GPM 202.562298+47.174340 (derecha), 2MASS J13301384+4707301 (izquierda), GPM 202.452340+47.128463 (abajo)

---

<sup>11</sup>Se han obtenido las magnitudes tabuladas en las referencias 5.1 y 5.7

**NGC 3992 (Messier 109):**

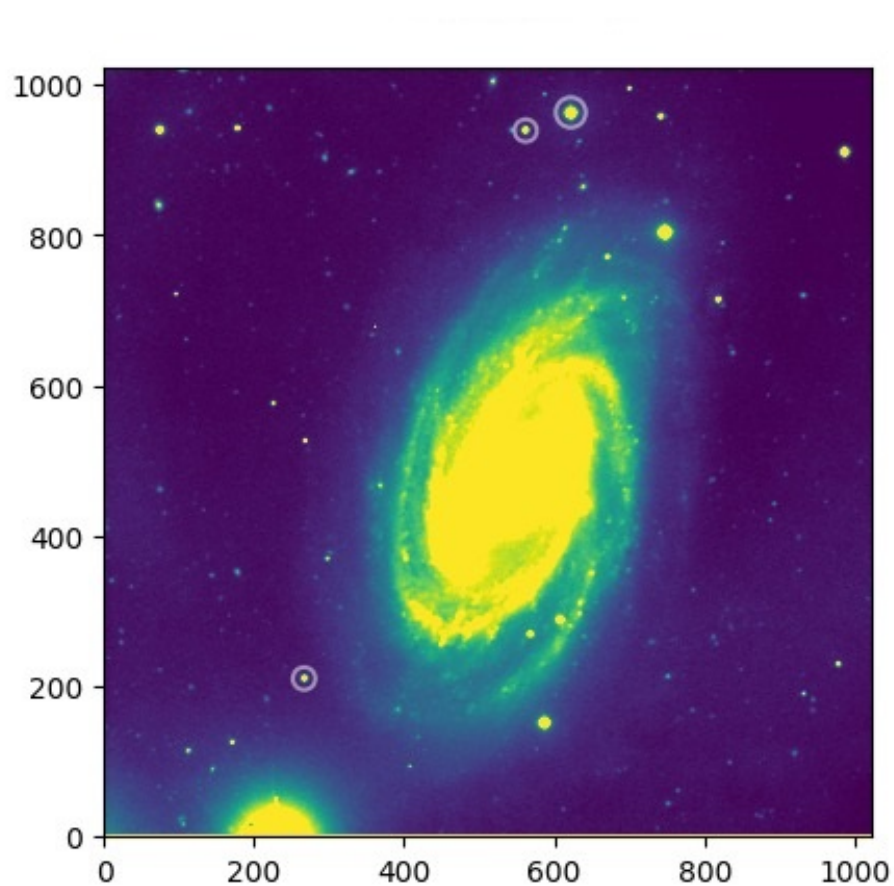


Figura 8: Estrellas de Calibración de NGC 3992 (Messier 109): 1. Gaia DR3 792530523921915520, 2. Gaia DR3 792530974894609792, 3. Gaia DR3 792530940534871296

### 6.3. Imágenes Calibradas en Flujo

Mostraremos aquí las imágenes calibradas en flujo:

**NGC 3992 (Messier 109):**

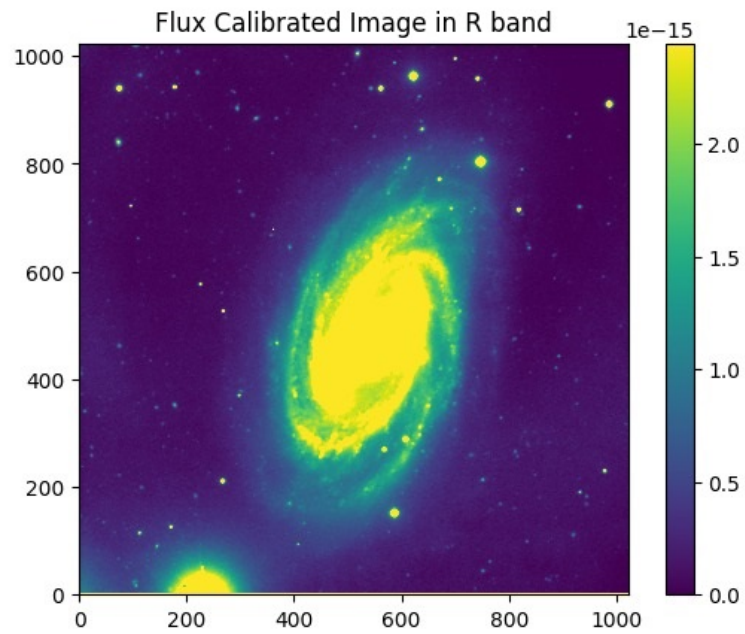


Figura 9: Imagen Calibrada en flujo Filtro R de NGC 3992 (Messier 109)

NGC 5194 (Messier 51A):

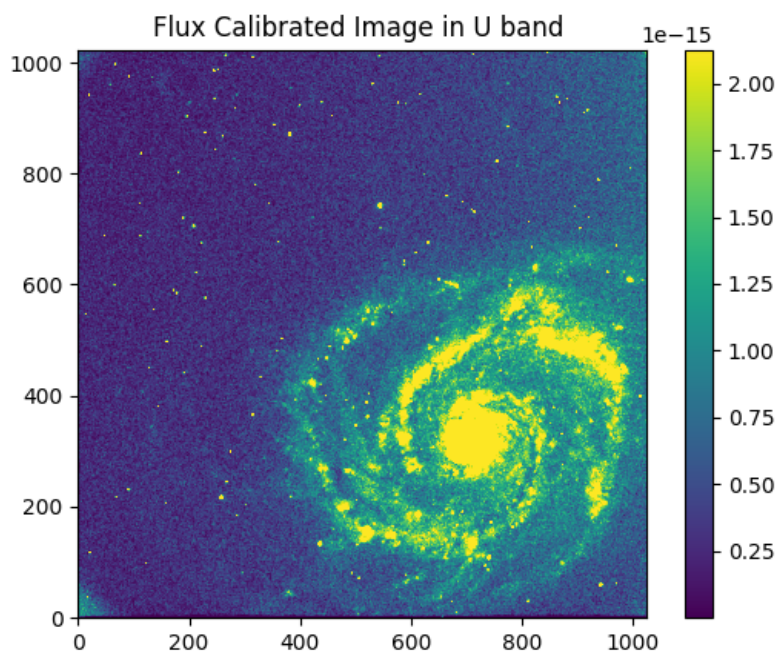


Figura 10: Imagen Calibrada en flujo Filtro U de NGC 5194 (Messier 51A)

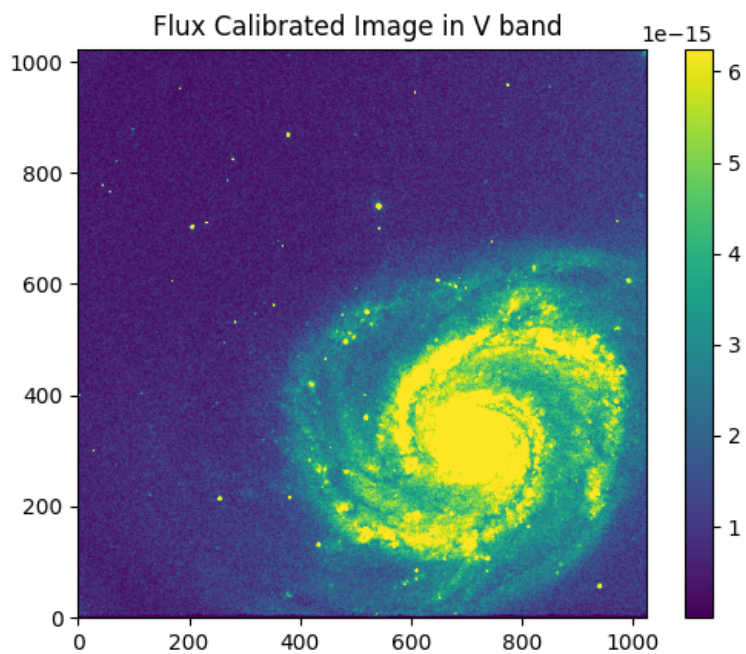


Figura 11: Imagen Calibrada en flujo Filtro V de NGC 5194 (Messier 51A)



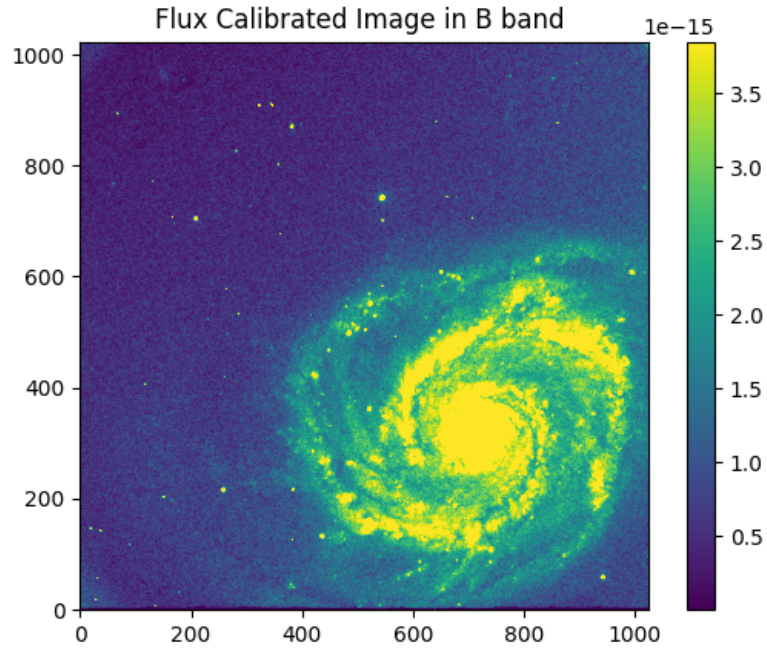


Figura 12: Imagen Calibrada en flujo Filtro B de NGC 5194 (Messier 51A)

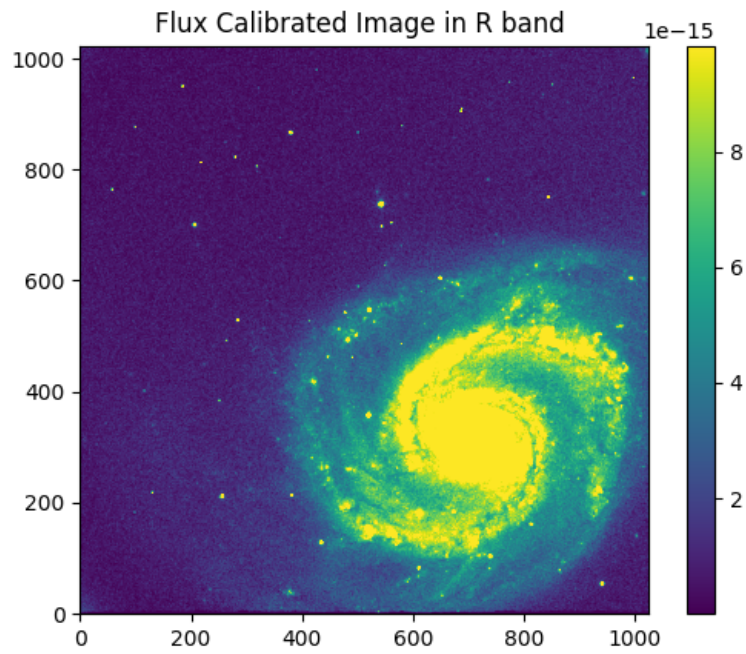


Figura 13: Imagen Calibrada en flujo Filtro R de NGC 5194 (Messier 51A)

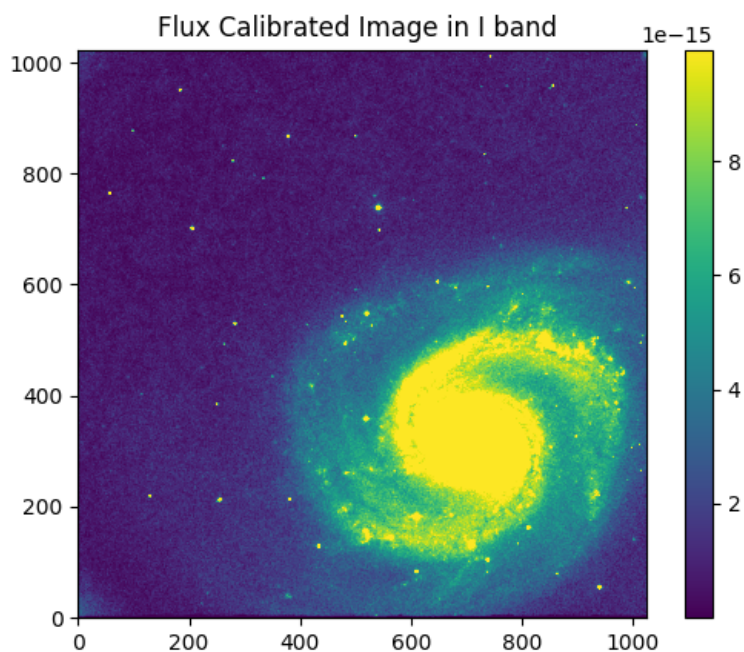


Figura 14: Imagen Calibrada en flujo Filtro I de NGC 5194 (Messier 51A)

## 6.4. Histogramas

En esta sección mostraremos los histogramas de pixeles frente a cuentas/s en los que podemos observar el valor de la moda obtenido y calcular la anchura a media altura usada en el programa de 6.1.7. Error.py, para el objeto NGC 5194 (Messier 51A):

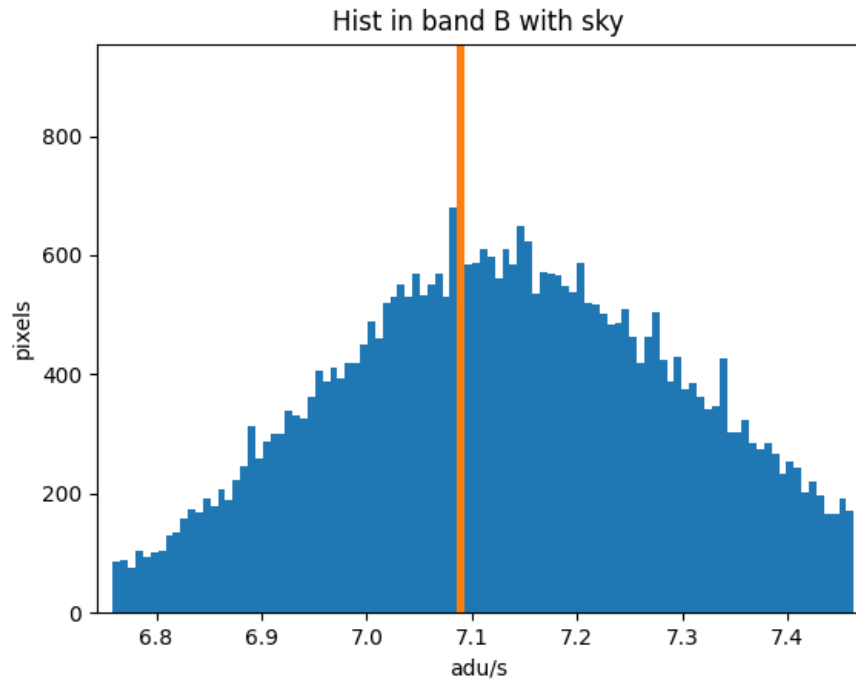


Figura 15: Histograma de Píxeles frente a Cuentas/s del cielo para la banda B

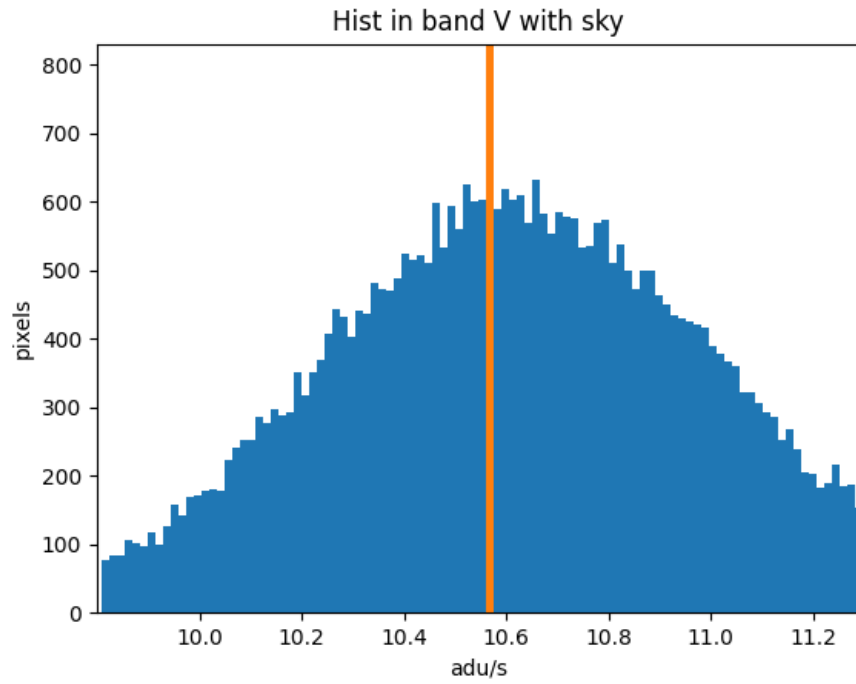


Figura 16: Histograma de Píxeles frente a Cuentas/s del cielo para la banda V



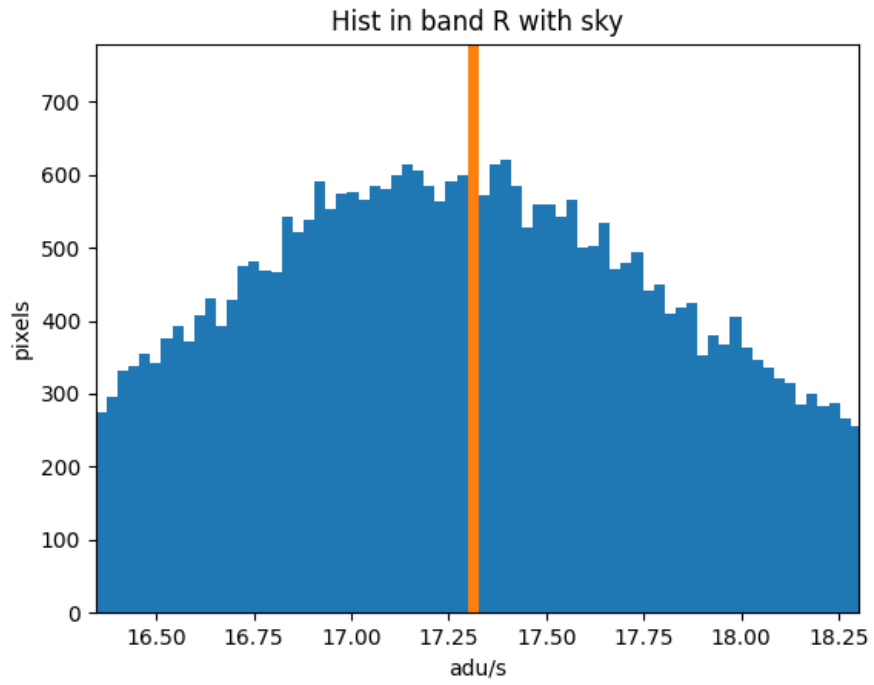


Figura 17: Histograma de Píxeles frente a Cuentas/s del cielo para la banda R

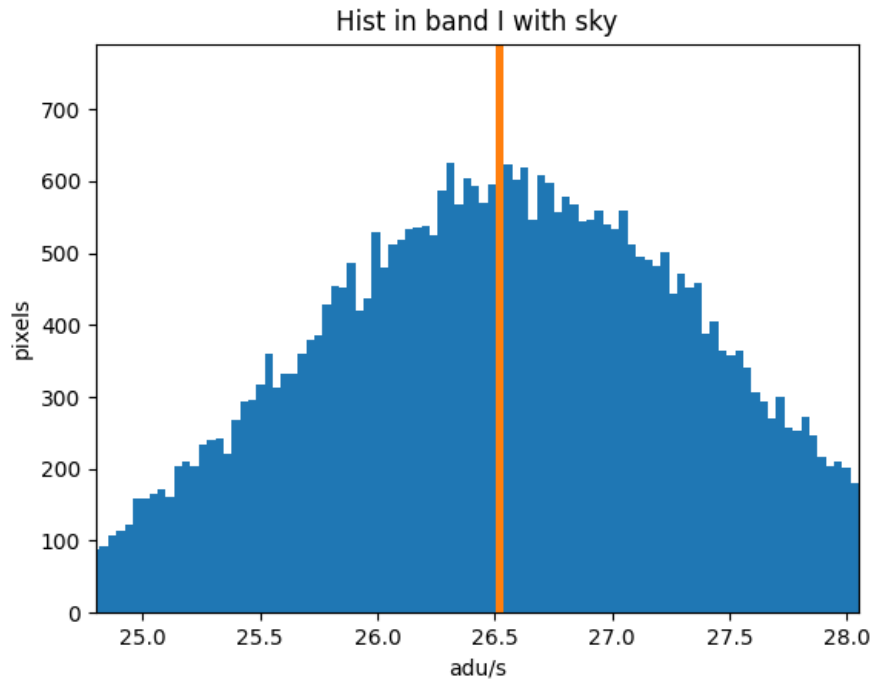


Figura 18: Histograma de Píxeles frente a Cuentas/s del cielo para la banda I

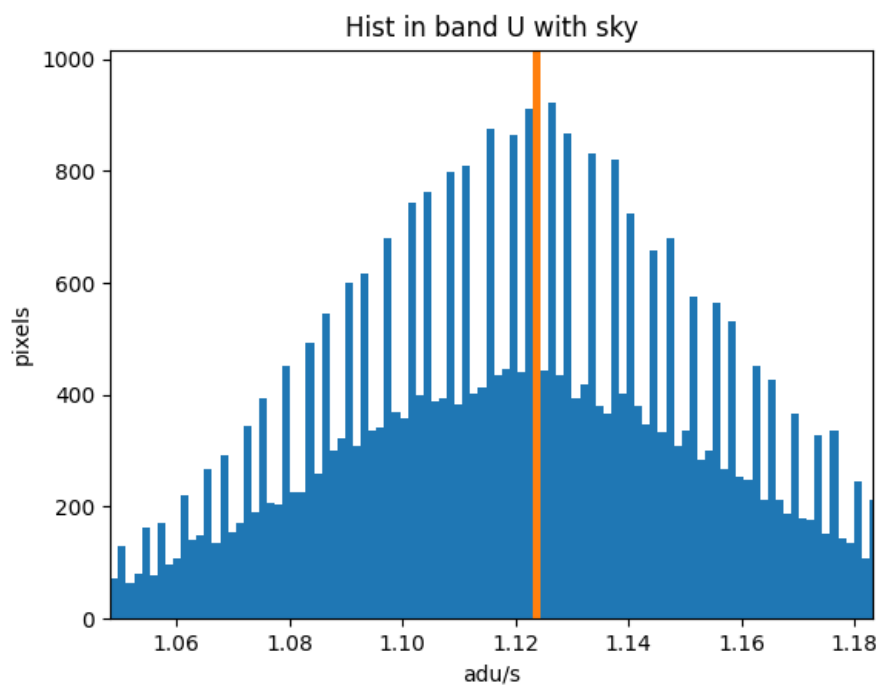


Figura 19: Histograma de Píxeles frente a Cuentas/s del cielo para la banda U