

# Guia de referència per l'anàlisi fotomètric amb IRAF

## Universitat de Barcelona

Subirà Vallès, Montserrat

Blanco Cuaresma, Sergi

Peña Pérez, Dídac

Ruiz Dern, Laura

29 de juliol de 2011

# Índex

<b>1</b>	<b>Objectius</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Instrumentació</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Preparació de l'entorn IRAF</b>	<b>3</b>
3.1	Instal·lació . . . . .	3
3.2	Execució . . . . .	4
3.3	Comandes bàsiques . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Reducció d'imatges</b>	<b>5</b>
4.1	Preparació dels fitxers d'entrada . . . . .	5
4.2	Massa d'aire . . . . .	9
4.3	Reducció de les imatges . . . . .	10
4.4	Alineament d'imatges . . . . .	12
4.5	Operacions manuals . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Fotometria d'apertura</b>	<b>14</b>
5.1	Fotometria instrumental . . . . .	14
5.1.1	Anàlisi inicial amb imexamine . . . . .	15
5.1.2	Fotometria amb phot . . . . .	16
5.1.3	Fotometria massiva amb phot . . . . .	17
5.2	Fotometria absoluta . . . . .	18
5.2.1	Paràmetres de les equacions de transformació . . . . .	18
5.2.2	Calibració per inversió de les equacions de transformació . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Imatges RGB</b>	<b>23</b>

# 1 Objectius

El present document és una recopilació de les accions portades a termes amb el programa IRAF per a la reducció d'imatges preses per a la pràctica de fotometria CCD, corresponents a l'assignatura d'Astronomia observacional de la Universitat de Barcelona.

No obstant, el document ha sigut preparat per tal de que també pugui ser utilitzat com una guia de referència general per a la reducció d'imatges amb IRAF.

## 2 Instrumentació

Les imatges, reduïdes i analitzades amb IRAF per a la redacció d'aquest document, han estat obtingudes mitjançant una CCD ST-8 amb les següents característiques:

- Xip: KODAK KAF-1603ME de 1530x1020 píxels, cadascun d'ells de  $9 \times 9 \mu m$
- Sensibilitat: 2.5 electrons per ADU (*Analogic Digital Unit*, és a dir, cada unitat en la imatge digital ha estat produïda per 2.5 electrons)
- *Read-out noise* (RON): 15 electrons per píxel que equivalen a  $15 \text{ electrons} \frac{1 \text{ ADU}}{2.5 \text{ electrons}} = 6 \text{ ADU}$  per píxel.
- Bits per píxel: 16 bits
- Nombre màxim de comptes:  $2^{16} = 65536$
- Temperatures de treball: 20-25 graus per sota de la temperatura ambient (màxim -25)

## 3 Preparació de l'entorn IRAF

IRAF requereix un entorn Unix per a la seva instal·lació. En aquest apartat es descriu la instal·lació en un sistema Ubuntu GNU/Linux.

### 3.1 Instal·lació

Com usuari administrador en un sistema Ubuntu GNU/Linux, es requereix disposar de la shell 'csh' i crear l'usuari 'iraf':

```
apt-get install csh
mkdir -p /iraf/iraf
useradd -d /iraf/iraf/local -m -s /bin/csh iraf
```

Un cop creat l'usuari, descarregar el fitxer 'iraf.linux.x86\_64.gz'<sup>1</sup> (o 'iraf.linux.x86.gz' si el sistema és de 32 bits) i guardar-ho a '/iraf/' per tal de fer la descompressió:

```
cd /iraf/iraf/
cat /iraf/iraf.linux.x86_64.gz | zcat | tar -xpf -
chown -R iraf:iraf /iraf
```

A continuació s'edita el fitxer '/iraf/iraf/unix/hlib/install' per tal d'afegir, al principi de tot:

```
set nonomatch
```

Seguidament, es prepara l'entorn per a la instal·lació:

```
cd /iraf/iraf/unix/hlib
csh
setenv iraf /iraf/iraf/
source $iraf/unix/hlib/irafuser.csh
```

Es recomanable primer fer una simulació d'instal·lació per tal de detectar si existeix algun tipus de problema:

```
./install -n
```

Si no ha aparegut cap missatge d'error, es deixen tots els paràmetres per defecte, i es pot procedir a la instal·lació real:

---

<sup>1</sup><http://iraf.noao.edu/>

```
./install
```

En aquesta ocasió, es deixaran tots els paràmetres per defecte a excepció de:

```
Configure IRAF Networking on this machine? (yes): no
...
Create a default tapecap file? (yes): no
```

Un cop finalitzada la instal·lació d'IRAF, es surt de la shell 'csh':

```
% exit
```

Per a la versió 2.15.1a 64 bits, es recomana descarregar unes correccions de bugs que seran utilitzades per a alguna tasca concreta de l'apartat 5.2:

```
cd /iraf/iraf/bin.linux64/
mv ecl.e ecl64.e
wget ftp://iraf.noao.edu/iraf/v215/support/linux/ecl.e
mv ecl.e ecl32.e
ln -s ecl64.e ecl.e

cd /iraf/iraf/noao/bin.linux64
mv x_photcal.e x_photcal64.e
wget ftp://iraf.noao.edu/iraf/v215/support/linux/x_photcal.e
chmod 755 x_photcal.e
mv x_photcal.e x_photcal32.e
ln -s x_photcal64.e x_photcal.e

chown iraf:iraf /iraf/iraf/bin.linux64/* /iraf/iraf/noao/bin.linux64/*
```

A continuació cal instal·lar 'xgterm', la terminal que utilitza IRAF:

```
mkdir x11iraf-v2.0BETA-bin.linux/
cd x11iraf-v2.0BETA-bin.linux/
wget ftp://iraf.noao.edu/iraf/x11iraf/x11iraf-v2.0BETA-bin.linux.tar.gz
tar -zxvf x11iraf-v2.0BETA-bin.linux.tar.gz
sudo ./install
```

Un cop instal·lat, serà necessari crear el fitxer '/usr/local/bin/iraf.sh' amb el següent contingut:

```
#!/bin/bash
cd $HOME
/usr/local/bin/ds9 &
/usr/local/bin/xgterm -G 1100x350+10-10 -sbr -fn 9x15 -sl 400 -cr red -title IRAF -bg "
    black" -fg "white" -geometry 120x34 -e cl
```

I donar-li permisos d'execució:

```
chmod 755 /usr/local/bin/iraf.sh
```

Finalment, es descarrega el programa DS9 (entorn per a la visualització i anàlisi d'imatges FITS)  
2 per tal de descomprimir-lo i copiar l'executable a un dels directoris del sistema:

```
wget http://hea-www.harvard.edu/saord/download/ds9/linux64/ds9.linux64.6.2.tar.gz
tar -zxvf ds9.linux64.6.2.tar.gz
mv ds9 /usr/local/bin
```

## 3.2 Execució

Per poder accedir a IRAF amb un usuari normal, la primera vegada s'haurà d'executar 'mkiraf' i seleccionar 'xgterm' com a terminal:

```
cd && mkiraf && iraf.sh
```

D'aquesta forma 'mkiraf' crearà el fitxer 'login.cl' i el directori 'uparm', necessaris per IRAF. Les següents vegades que es vulgui accedir a IRAF només serà necessari executar:

```
iraf.sh
```

---

<sup>2</sup><http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>

### 3.3 Comandes bàsiques

Algunes comandes d'utilitat general que poden ser utilitzades en iniciar l'entorn:

**logout** Sortir

**package** Llista paquets que poden ser carregats escrivint directament el seu nom (p.ex. imred, ccdred)

**bye** Descarrega el paquet actual

**help** Ajuda de comandes concretes

**show** | **page** Llista les variables d'entorn

**show editor** Mostra la variable d'entorn 'editor'

**set editor=vim** Canvia una variable d'entorn (en aquest cas fa referència a l'editor que s'executarà quan s'utilitzi la comanda 'edit fitxer')

**cd imdir** Canvia al directori d'imatges FIT de l'usuari (habitualment /iraf/imdir/*usuari*/)

**pwd** Mostra el directori actual

**ls** Llista fitxers i directoris

**lparam imstat** Llista els paràmetres de la comanda 'imstat'.

**epar imstat** Modifica els paràmetres de la comanda 'imstat' que pot ser executada a continuació. Per sortir de l'edició guardant CTRL+D, sense guardar CTRL+C.

**imstat fitxer.fits** Mostra estadístiques del fitxer FIT. És important que aquest tingui extensió '.fits' o '.fits' en minúscules.

**delete fitxer** Esborra un fitxer

**cl < calibrate.cl** Executa un script anomenat 'calibrate.cl' ubicat al directori actual

**less fitxer** Visualitza un fitxer de text ('q' per sortir)

**! gedit fitxer** Executa la comanda del sistema 'less fitxer'

## 4 Reducció d'imatges

A continuació es descriu el procés de reducció d'imatges brutes mitjançant l'aplicació de darks, flats i bias, així com l'alineament per tal de poder fer fotometria eficientment.

Cal destacar que les imatges FITS han de tenir extensions 'fit' o 'fits' en minúscules ja que sinó és probable que l'IRAF no les pugui obrir correctament. Per renombrar massivament un conjunt de fitxers a GNU/Linux s'empra:

```
$ rename 's/\\,FIT$/\\.fits/' *
$ rename 's/\\,FITSS$/\\.fits/' *
```

### 4.1 Preparació dels fitxers d'entrada

1. Abans de començar, és important guardar una còpia de totes les imatges FITS que s'utilitzaran donat que el procés sobreescrirà moltes d'elles.

2. S'inicia el programa gràfic DS9 mitjançant l'execució de 'ds9':

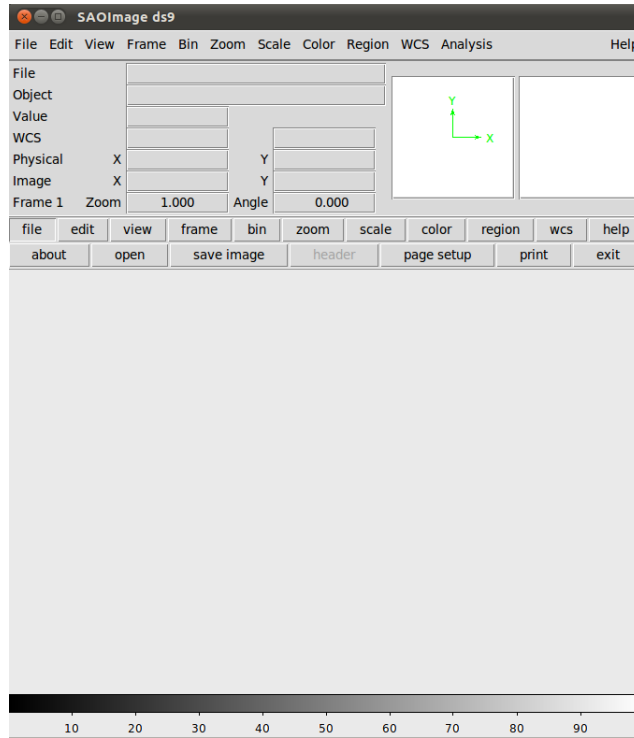


Figura 1: DS9, visualitzador d'imatges FITS

3. S'inicia l'entorn IRAF, situant-se al directori a on estan les imatges (habitualment “/iraf/indir/*usuari*”, referenciat per la variable 'indir'):

```
$ cl
ecl>
ecl> cd indir
```

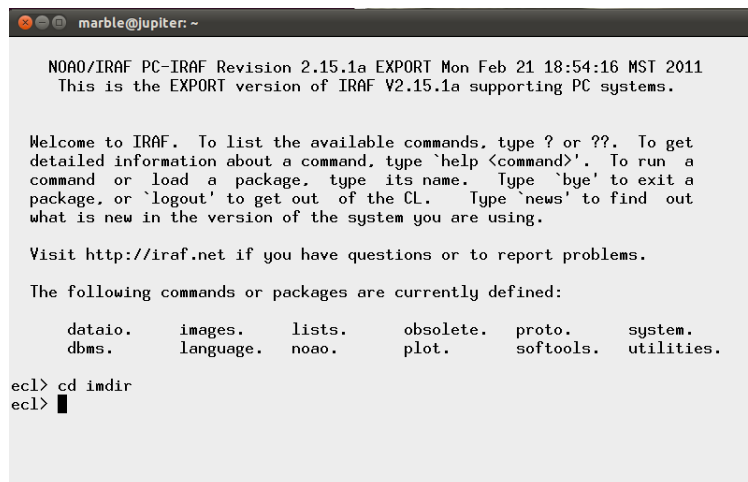


Figura 2: Entorn IRAF

Pel present treball es disposa dels següents fitxers inicials:

```
ecl> ls
Dark_10_1.fits   Flat_B_7.5_1.fits   NGC869_U_50_10.fits   SA98_653_B_18_6.fits
Dark_10_2.fits   Flat_B_7.5_2.fits   NGC869_U_50_1.fits    SA98_653_B_18_7.fits
```

Dark_10_3.fits	Flat_B_7.5_3.fits	NGC869_U_50_2.fits	SA98_653_B_18_8.fits
Dark_10_4.fits	Flat_B_7.5_4.fits	NGC869_U_50_3.fits	SA98_653_B_18_9.fits
Dark_10_5.fits	Flat_B_7.5_5.fits	NGC869_U_50_4.fits	SA98_653_U_40_10.fits
Dark_1.2_1.fits	Flat_U_80_1.fits	NGC869_U_50_5.fits	SA98_653_U_40_1.fits
Dark_1.2_2.fits	Flat_U_80_2.fits	NGC869_U_50_6.fits	SA98_653_U_40_2.fits
Dark_1.2_3.fits	Flat_U_80_3.fits	NGC869_U_50_7.fits	SA98_653_U_40_3.fits
Dark_1.2_4.fits	Flat_U_80_4.fits	NGC869_U_50_8.fits	SA98_653_U_40_4.fits
Dark_1.2_5.fits	Flat_U_80_5.fits	NGC869_U_50_9.fits	SA98_653_U_40_5.fits
Dark_1.5_2.fits	Flat_V_0.5_1.fits	NGC869_V_6_10.fits	SA98_653_U_40_6.fits
Dark_1.5_3.fits	Flat_V_0.5_2.fits	NGC869_V_6_1.fits	SA98_653_U_40_7.fits
Dark_1.5_4.fits	Flat_V_0.5_3.fits	NGC869_V_6_2.fits	SA98_653_U_40_8.fits
Dark_1.5_5.fits	Flat_V_0.5_4.fits	NGC869_V_6_3.fits	SA98_653_U_40_9.fits
Dark_3_1.fits	Flat_V_0.5_5.fits	NGC869_V_6_4.fits	SA98_653_V_10_10.fits
Dark_3_2.fits	master_bias.fits	NGC869_V_6_5.fits	SA98_653_V_10_1.fits
Dark_3_3.fits	NGC869_B_12_10.fits	NGC869_V_6_6.fits	SA98_653_V_10_2.fits
Dark_3_4.fits	NGC869_B_12_1.fits	NGC869_V_6_7.fits	SA98_653_V_10_3.fits
Dark_3_5.fits	NGC869_B_12_2.fits	NGC869_V_6_8.fits	SA98_653_V_10_4.fits
Dark_60_1.fits	NGC869_B_12_3.fits	NGC869_V_6_9.fits	SA98_653_V_10_5.fits
Dark_60_2.fits	NGC869_B_12_4.fits	SA98_653_B_18_10.fits	SA98_653_V_10_6.fits
Dark_60_3.fits	NGC869_B_12_5.fits	SA98_653_B_18_11.fits	SA98_653_V_10_7.fits
Dark_6_2.fits	NGC869_B_12_6.fits	SA98_653_B_18_2.fits	SA98_653_V_10_8.fits
Dark_6_3.fits	NGC869_B_12_7.fits	SA98_653_B_18_3.fits	SA98_653_V_10_9.fits
Dark_6_4.fits	NGC869_B_12_8.fits	SA98_653_B_18_4.fits	scripts
Dark_6_5.fits	NGC869_B_12_9.fits	SA98_653_B_18_5.fits	

Com es pot observar, s'han pres imatges pel cúmul NGC869 i el camp Landolt SA98\_653 amb els filtres UBV. Així mateix, es disposa de darks de diferents temps, flats pels 3 filtres i un master bias.

4. Per visualitzar les imatges al programa DS9, es pot utilitzar la comanda 'display':

```
ecl> display NGC869_V_6_1.fits 1 fill+
```

DS9 disposa de diferents 'frames' a on es poden carregar diferents imatges simultàniament i alternar-les entre elles pressionant 'tabulador':

```
ecl> display NGC869_V_6_1.fits 1 fill+
ecl> display NGC869_B_12_1.fits 2 fill+
ecl> display NGC869_U_50_1.fits 3 fill+
```

En cas de que la visualització no sigui satisfactòria, es poden ajustar diferents paràmetres al menú 'Scale' de DS9.

5. Per tal de llistar la capçalera d'una de les imatges a reduir s'utilitzarà 'imhead':

```
ecl> imhead NGC869_V_6_1.fits l+

NGC869_V_6_1.fits [1530,1020][ushort]:
No bad pixels, min=0., max=65535.
Line storage mode, physdim [1530,1020], length of user area 1337 s.u.
Created Wed 02:00:00 24-Nov-2010, Last modified Sun 22:39:00 27-Mar-2011
Pixel file "NGC869_V_6_1.fits" [ok]
OBJECT = ' ' /
TELESCOP= 'Unknown Telescope'
INSTRUME= 'SBIG ST-8'
OBSERVER= 'Observer's Name'
DATE-OBS= '2010-11-24T00:35:44.000' / GMT START OF EXPOSURE
BZERO = +3.276800000000E+004 /
BSCALE = +1.000000000000E+000 /
EXPTIME = +6.000000000000E+000 / EXPOSURE IN SECONDS
CCD-TEMP= -1.523319095486E+001 / CCD TEMP IN DEGREES C
XPIXSZ = +9.000000000000E+000 / PIXEL WIDTH IN MICRONS
YPIXSZ = +9.000000000000E+000 / PIXEL HEIGHT IN MICRONS
XBINNING= 1 / HORIZONTAL BINNING FACTOR
YBINNING= 1 / VERTICAL BINNING FACTOR
XORGSUB= 0 / SUB_FRAME ORIGIN X POS
YORGSUB= 0 / SUB_FRAME ORIGIN Y POS
EGAIN = +2.570000000000E+000 / ELECTRONS PER ADU
FOCALLEN= +2.032000000000E+003 / FOCAL LENGTH IN MM
APTDIA = +2.032000000000E+002 / APERTURE DIAMETER MM
APTAREA = +4.838700000000E+004 / APERTURE AREA IN SQ-MM
CBLACK = 133 / BLACK ADU FOR DISPLAY
CWHITE = 210 / WHITE ADU FOR DISPLAY
PEDESTAL= -100 / ADD TO ADU FOR 0-BASE
DATAMAX = 65535 / SATURATION LEVEL
SBSTDVER= 'SBFITSEXT Version 1.0' / SBIG FITS EXTENSIONS VER
SWACQUIR= 'WinOPS Ver 5.50 Build 23-NT' / DATA ACQ SOFTWARE
SWCREATE= 'SBIG Win CCDOPS Version 5.50 Build 23-NT'
FILTER = 'V' / OPTICAL FILTER NAME
SNAPSHOT= 1 / NUMBER IMAGES COADDED
```

```

DATE      = '2010-11-24'          / GMT DATE WHEN THIS FILE CREATED
RESMODE   =                      0 / RESOLUTION MODE
EXPSTATE  = '125'                 / EXPOSURE STATE (HEX)
RESPONSE  = +3.000000000000E+003 / CCD RESPONSE FACTOR
NOTE      = 'Local time:11/24/2010 at 0:35:44'

```

S'observa que la imatge és de 1530x1020 píxels i que no existeixen les següents seccions:

- (a) TRIMSEC: Píxels útils de la imatge
- (b) BIASSEC: Regió no exposada a la llum (*overscan*)

6. Es procedeix a analitzar la imatge:

```
implot NGC869_V_6_1.fits
```

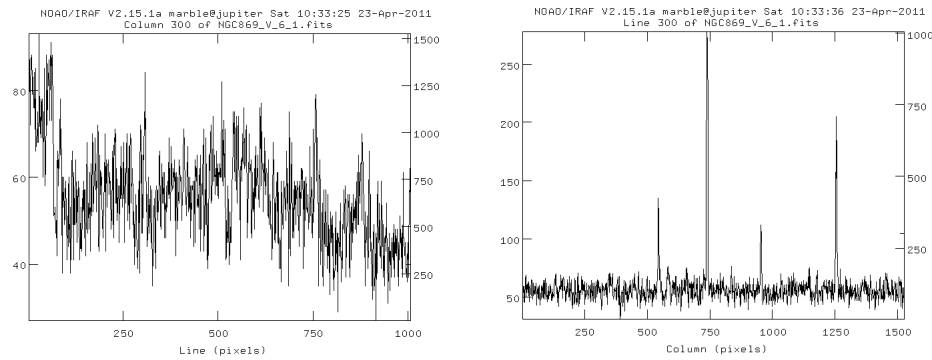


Figura 3: Gràfics centrats a la columna 300 i la línia 300 de l'imatge NGC896 amb el filtre V

Degut al mal estat de la CCD, es pot apreciar una forta distorsió quan es visualitza una columna.

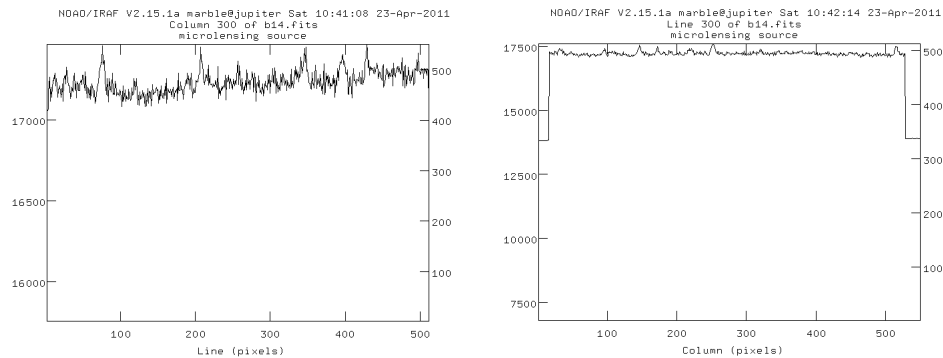


Figura 4: Gràfic centrat en la columna 300 i la línia 300 d'una imatge sense distorsions i amb regió *overscan*.

Les comandes que es poden utilitzar directament sobre el gràfic són:

- (a) “:l 300”: visualitza els valors de les columnes per a la línia 300
- (b) “:c 300”: visualitza els valors de les línies per a la columna 300
- (c) “C”: posició del cursor
- (d) “ee”: amplia la regió a on està situat el cursor
- (e) “aa”: torna a mostrar la gràfica a escala
- (f) “q”: sortir



- Tot i les distorsions, es consideraran com a bons tots els píxels de la imatge, per tant es defineixen els camps de capçalera que s'han detectat que faltaven:

```
# Perseus (left NGC884, right NGC869)
hedit NGC8*.fits TRIMSEC [1:1530,1:1020] verify - show+ add+
hedit NGC8*.fits BIASEC "[]" verify - show+ add+
# Landolt
hedit SA98_653*.fits TRIMSEC [1:1530,1:1020] verify - show+ add+
hedit SA98_653*.fits BIASEC "[]" verify - show+ add+
```

- Els darks, flats i imatges originals han de disposar d'un camp IMAGETYP que les identifiqui:

```
hedit Dark*.fits IMAGETYP dark verify - show+ add+
hedit Flat*.fits IMAGETYP flat verify - show+ add+
hedit NGC8*.fits IMAGETYP object verify - show+ add+
hedit SA98_653*.fits IMAGETYP object verify - show+ add+
```

Adicionalment, les imatges capturades amb diferents filtres també s'han de diferenciar:

```
hedit *_U*.fits FILTERS U verify - show+ add+
hedit *_B*.fits FILTERS B verify - show+ add+
hedit *_V*.fits FILTERS V verify - show+ add+
hedit *_R*.fits FILTERS R verify - show+ add+
```

És possible validar massivament que els valors són correctes amb 'ccdlist':

```
ec1> imred
imred> ccdred
ccdred> ccdlist *.fits
NGC869_B_12_1.fits [1530,1020][ushort][object][B]
NGC869_U_50_1.fits [1530,1020][ushort][object][U]
NGC869_V_6_1.fits [1530,1020][ushort][object][V]
Flat_B_7.5_1.fits [1530,1020][ushort][flat][B]
Flat_U_80_1.fits [1530,1020][ushort][flat][U]
Flat_V_0.5_1.fits [1530,1020][ushort][flat][V]
```

## 4.2 Massa d'aire

- Per a que les imatges continguin la massa d'aire a la seva capçalera, primer serà necessari que disposin dels camps:

- Ascensió recta (RA)
- Declinació (DEC)
- Època (EPOCH)
- Temps sideri (ST)
- Temps universal (UT)
- Data d'observació (DATE-OBS)
- Observatori (OBSERVAT).

- El valor del camp 'OBSERVAT' ha d'estar a la BBDD 'noao\$lib/obsdb.dat'. En cas de no ser així es crea una còpia local:

```
copy noao$lib/obsdb.dat imdir$ # make private copy
edit imdir$obsdb.dat           # add your entry
```

I s'afegeix l'observatori, com per exemple:

```
observatory = "Montsec"
name = "COU - Montsec"
longitude = 0:44.02
latitude = 42:1.48
altitude = 1570.
timezone = -1
```

Finalment és necessari activar la nova BBDD:

```
reset obsdb = imdir$obsdb.dat
```

- Dels camps necessaris, els fitxers del present treball només disposen de 'DATE-OBS'. S'afegeix-en la resta:

```

hedit NGC8*.fits EPOCH "2000" verify - show+ add+
hedit NGC8*.fits RA "02:19:06.00" verify - show+ add+
hedit NGC8*.fits DEC "57:09:00.00" verify - show+ add+
hedit SA98_653*.fits EPOCH "2000" verify - show+ add+
hedit SA98_653*.fits RA "06:52:05.00" verify - show+ add+
hedit SA98_653*.fits DEC "-00:17:57.00" verify - show+ add+
# Observer (place should exists in 'obsdb.dat')
hedit *.fits OBSERVAT "Montsec" verify - show+ add+
# Sideral time
hedit *.fits ST "3:29:49.06215" verify - show+ add+

```

Cal destacar que les imatges disposaven del camp DATE-OBS amb el format '2010-11-24T00:54:12.000'. En canvi, pel procés de reducció serà necessari disposar de la data i l'hora separats a DATE-OBS i UT. Per aquest motiu s'ha dissenyat el següent procés de modificació:

```

### Header modification: Transform header field ...
# DATE-OBS= '2010-11-24T00:54:12.000'
# into:
# DATE-OBS= '2010-11-24'
# UT= '00:54:12.000'
# --- begin ---
string date_obs
string time_obs

delete datalist
sections *.fits > datalist

string list
string filename
list = "datalist"
while (fscan(list, s1) != EOF) {
    filename = s1
    imgets (filename, "DATE-OBS")
    date_obs = imgets.value
    printf("%s", date_obs) | translit ("STDIN", "T", " ", delete-) | scanf ("%s %s",
        s1, s2)
    date_obs = s1
    time_obs = s2
    hedit (filename, "DATE-OBS", date_obs, verify -, show+, add+)
    hedit (filename, "UT", "string", verify -, show+, add+) ## Ensure that the field
        will be a string
    hedit (filename, "UT", time_obs, verify -, show+, add+)
}

delete datalist
# --- end ---

```

- Finalment, es calcula la massa d'aire i s'actualitzen les capçaleres:

```

astutil
setairmass NGC869*.fits
setairmass SA98_653*.fits
bye

```

- Per verificar les modificacions realitzades, es llisten massivament camps concrets dels fitxers fits:

```

hselect NGC*.fits,SA*.fits $I,AIRMASS,DATE-OBS,UT yes

```

### 4.3 Reducció de les imatges

El procés per a la reducció d'una imatge requereix principalment portar a terme les següents operacions:

$$Imatge\ reduida = \frac{(Imatge\ original_{filtre} - Dark_{temps\ imatge})}{(Flat_{filtre} - Dark_{temps\ flat})_{normalitzat}}$$

- Per tal de que la tasca de reducció 'ccdproc' interpreti correctament les capçaleres dels fitxers, es configura per realitzar fotometria amb CCD directe:

```

ecl> imred
imred> ccdred
imred> cd imdir
ccdred> setinstrument direct

```

Es modifica el paràmetre 'pixelt' de manera que les operacions es realitzin utilitzant coma flotant però les imatges resultants continuïn sent representades per nombres reals:

```
(pixelt=          short real) Output and calculation pixel datatypes
```

La resta de paràmetres no es modifiquen (ctrl+d, ctrl+d).

2. En cas de tenir diversos fitxers de bias zero (nivell de senyal afegit instrumentalment per a no tenir valors negatius), es combinarien amb la comanda 'zerocombine'.

```
ccdred> zerocombine bias_zero_*.fits output=master_bias.fits process=
```

No obstant, pel present document només es disposa d'un únic fitxer generat sintèticament 'master\_bias.fits'.

3. En quant als fitxers dark, es combinen mitjançant les següents comandes:

```
darkcombine Dark_1.2_*.fits output=Dark_1.2_combined.fits combine=average reject=
minmax ccdtype=dark scale=exposure process=
darkcombine Dark_1.5_*.fits output=Dark_1.5_combined.fits combine=average reject=
minmax ccdtype=dark scale=exposure process=
darkcombine Dark_3_*.fits output=Dark_3_combined.fits combine=average reject=minmax
ccdtype=dark scale=exposure process=
darkcombine Dark_6_*.fits output=Dark_6_combined.fits combine=average reject=minmax
ccdtype=dark scale=exposure process=
darkcombine Dark_10_*.fits output=Dark_10_combined.fits combine=average reject=
minmax ccdtype=dark scale=exposure process=
darkcombine Dark_60_*.fits output=Dark_60_combined.fits combine=average reject=
minmax ccdtype=dark scale=exposure process=
```

4. Si les imatges disposessin d'un camp que indiqués el soroll registrat, els flats es podrien combinar utilitzant:

```
flatcombine *.fits reject=crreject gain=gain scale=mode rdnoise=rd-noise process=
```

No obstant, en aquest cas no es disposa d'aquesta informació i s'ha utilitzat:

```
flatcombine *.fits reject=none gain=gain scale=mode process=
```

Els fitxers resultants seran anomenats: "Flat + tipus de filtre.fits". No serà necessari normalitzar els flats perquè 'ccdproc' (utilitzat al següent punt) ja s'encarrega de fer-ho automàticament en realitzar la divisió.

5. A continuació es procedeix a realitzar la reducció de les imatges. Existeixen diverses opcions en funció de les dades que es volen utilitzar:

- (a) Si les imatges originals contenen a la capçalera la secció de píxels útils (TRIMSEC) i regió *overscan* (BIASEC), aquestes podran ser reduïdes mitjançant:

```
ccdproc NGC869*_6_*.fits ccdtype=object oversca+ trim+ zerocor+ darkcor+ flatcor
+ zero=master_bias.fits dark=Dark_6_combined.fits flat=Flat?.fits
```

- (b) Per altra banda, si no es disposen d'aquestes seccions a la capçalera dels fitxers, és possible realitzar la reducció mitjançant:

```
ccdproc NGC869*_6_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor+ darkcor+ flatcor
+ zero=master_bias.fits dark=Dark_6_combined.fits flat=Flat?.fits
```

- (c) Fins i tot, si no es disposa de fitxer bias, es pot procedir de la manera següent:

```
# Perseus (left NGC884, right NGC869)
ccdproc NGC869*_6_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+ flatcor
+ dark=Dark_6_combined.fits flat=Flat?.fits
ccdproc NGC869*_12_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+
flatcor+ dark=Dark_10_combined.fits flat=Flat?.fits
ccdproc NGC869*_50_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+
flatcor+ dark=Dark_60_combined.fits flat=Flat?.fits
# Landolt
ccdproc SA98_653*_10_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+
flatcor+ dark=Dark_10_combined.fits flat=Flat?.fits
ccdproc SA98_653*_18_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+
flatcor+ dark=Dark_10_combined.fits flat=Flat?.fits
ccdproc SA98_653*_40_*.fits ccdtype=object oversca- trim- zerocor- darkcor+
flatcor+ dark=Dark_60_combined.fits flat=Flat?.fits
```

6. Si s'està executant el programa 'ds9', es poden visualitzar les imatges mitjançant:

```
display NGC869_V_6_1.fits 1
display NGC869_V_6_2.fits 2
display NGC869_V_6_3.fits 3
display NGC869_V_6_4.fits 4
display NGC869_V_6_5.fits 5
display NGC869_V_6_6.fits 6
display NGC869_V_6_7.fits 7
display NGC869_V_6_8.fits 8
display NGC869_V_6_9.fits 9
display NGC869_V_6_10.fits 10
```

Amb el tabulador és possible rotar per totes les imatges obertes a 'frames' diferents. Així es comprova que aquestes no es troben perfectament alineades degut a imprecisions del *tracking* del telescopi.

#### 4.4 Alineament d'imatges

- Per tal de realitzar l'alineament d'imatges: es carreguen els paquets d'anàlisi corresponents, s'escollirà una imatge de referència (preferentment una que disposi el mateix desplaçament a dreta i esquerra) i s'executarà la detecció automàtica d'estrelles.

```
ecl> digiphot
digiphot> apphot
apphot> imcopy NGC869_V_6_5.fits NGC869_V_6_ref.fits
apphot> daofind NGC869_V_6_ref.fits fwhmpsf=4 sigma=14.0 threshold=300 datamin=1000
          datamax=60000 verify=-
```

La informació necessària per ajustar els diferents paràmetres per cada grup d'imatges es pot obtenir amb la comanda 'imexamine' explicada a la secció 5.1.1:

- fwhmpsf (amplada a meitat): es recomana que sigui dues vegades el radi a alçada meitat de les gràfiques de lluminositat de les estrelles
  - sigma (desviació estàndard): correspon al valor més gran detectat per zones de cel
  - threshold: 50 vegades el soroll en ADUs ( $50 \times 6ADU \text{ pixel}^{-1} = 300$ ). Com més gran, menys estrelles es detectaran.
  - datamin i datamax: estableixen el nombre de comptes mínim i màxim per a confiar en els resultats (p.ex. evitar ús d'estrelles saturades).
- La tasca 'daofind' genera el fitxer 'NGC869\_B\_12\_ref.fits.coo.1' amb les coordenades de les estrelles identificades i altres característiques. No obstant, es requereix crear un nou fitxer que contingui únicament les coordenades per tal que sigui compatible amb DS9 (s'ordenaran per claredat prèviament):

```
txsort NGC869_B_12_ref.fits.coo.1 SHARPNESS ascend=no
txdump NGC869_B_12_ref.fits.coo.1 XCENTER,YCENTER "SHARPNESS != INDEF" >
      NGC869_B_12_ref.fits.reg
```

- És possible visualitzar les estrelles identificades per 'daofind' sobre la imatge original. S'utilitzaran 3 cercles de radis diferents:

```
apphot> display NGC869_B_12_ref.fits 1 fill+
apphot> tvmark 1 NGC869_B_12_ref.fits.reg color=204 mark=circle radii="5,10,20"
```

O modificar la llista d'estrelles:

```
apphot> display NGC869_B_12_ref.fits 1 fill+
apphot> tvmark 1 NGC869_B_12_ref.fits.reg color=204 mark=circle radii="5,10,20"
          interactive=yes
```

Comandes possibles:

- 'l' marca totes les estrelles a la imatge
- 'n' marca la següent estrella del llistat a la imatge
- 'm' passa a la següent estrella del llistat

- (d) 'o' torna a l'inici de la llista d'estrelles
- (e) 'd' esborra l'estrella més propera a on està situat el cursor
- (f) 'a' afegeix la posició a on està el cursor al llistat
- (g) '?' ajuda

4. Finalment, per realitzar l'alineament fi de les imatges:

```
imalign NGC869_V_6_?.fits,NGC869_V_6_10.fits reference=NGC869_V_6_ref.fits coords=
      NGC869_V_6_ref.fits.reg output=NGC869_V_6_?.fits,NGC869_V_6_10.fits boxsize=7
      bigbox=20 trim+
```

El paràmetre BOXSIZE representa una capsca d' X per X píxels en la qual hi cap cada estrella de la imatge. BIGBOX determina el marge en el que es mouran les imatges.

5. Finalment, es combinen les imatges alineades en una única per tal d'eliminar efectes com els rajos còsmics:

```
imcombine NGC869_B_12_?.fits NGC869_B_12_combined.fits
```

6. En cas de que 'imalign' falli per tenir imatges massa desalineades, es pot fer un alineament manual previ. Per exemple, al present treball la tasca 'imalign' no era capaç d'alinejar les imatges automàticament entre diferents filtres pel fet de trobar-se fortament desalineats:

```
display NGC869_B_12_combined.fits 1
display NGC869_U_50_combined.fits 2
display NGC869_V_6_combined.fits 3
```

Per tant, es va procedir a fer un desplaçament manual a partir d'una estrella que es trobés present a totes les imatges. Per a fer això, tenint visualitzades les imatges a DS9, s'utilitza la tasca 'center':

```
delete coord.txt
center NGC869_B_12_combined.fits,NGC869_U_50_combined.fits,NGC869_V_6_combined.fits
      output=coord.txt
```

Per trobar les coordenades amb 'center', es situa el cursor sobre l'estrella i es pressiona 'espai' (el resultat es visualitza per pantalla). I, a continuació, 'q' i 'n' per passar a la següent imatge (s'ha de pressionar també 'tabulador' al DS9). A la darrera imatge s'ha de pressionar 'q' i 'w'. Per pantalla es mostrarà (nom del fitxer, X i Y a on s'ha fet click, X i Y a on es troba l'estrella, errors):

NGC869_B_12_combined.fits	840.00	317.00	839.41	317.11	0.01	0.01	ok
NGC869_U_50_combined.fits	869.00	333.00	868.63	332.77	0.01	0.02	ok
NGC869_V_6_combined.fits	829.00	315.00	829.43	314.45	0.00	0.00	ok

S'agafa com a referència la primera imatge (839.41 317.11) i es calculen manualment els desplaçaments que cal aplicar a la segona (-29.220 -15.660) i a la tercera (9.9800 2.6600). A continuació es poden aplicar aquests desplaçaments, amb 'imshift', només a les imatges combinades:

```
imshift NGC869_B_12_combined.fits NGC869_B_12_shifted.fits 0 0
imshift NGC869_U_50_combined.fits NGC869_U_50_shifted.fits -29.220 -15.660
imshift NGC869_V_6_combined.fits NGC869_V_6_shifted.fits 9.9800 2.6600
```

No obstant, pel present treball resultava d'utilitat desplaçar totes les imatges (tant les individuals com les combinades). Així que ha estat dissenyat el següent procés:

```
### Shift all images to allow alignment between images of different filters
# --- begin ---
string filename
string list
list = "datalist"
real x_shift = 0
real y_shift = 0

delete datalist
sections NGC869_B_12_*.fits > datalist
x_shift = 0
y_shift = 0
while (fscan(list, s1) != EOF) {
    filename = s1
```

```

    printf("%s", s1) | translit ("STDIN", ".fits", "", delete-) | scanf ("%s", s1)
    s1 = s1 + "_shifted.fits"
    imshift(filename, s1, x_shift, y_shift, interp_type="linear", boundary_type="
        constant")
}

delete datalist
sections NGC869_U_50_*.fits > datalist
x_shift = -29.220
y_shift = -15.660
list = "datalist"
while (fscan(list, s1) != EOF) {
    filename = s1
    printf("%s", s1) | translit ("STDIN", ".fits", "", delete-) | scanf ("%s", s1)
    s1 = s1 + "_shifted.fits"
    imshift(filename, s1, x_shift, y_shift, interp_type="linear", boundary_type="
        constant")
}

delete datalist
sections NGC869_V_6_*.fits > datalist
x_shift = 9.9800
y_shift = 2.6600
list = "datalist"
while (fscan(list, s1) != EOF) {
    filename = s1
    printf("%s", s1) | translit ("STDIN", ".fits", "", delete-) | scanf ("%s", s1)
    s1 = s1 + "_shifted.fits"
    imshift(filename, s1, x_shift, y_shift, interp_type="linear", boundary_type="
        constant")
}

delete datalist
# ---- end ----

```

Finalment, ara que les imatges es troben molt més properes, es pot repetir el procés descrit anteriorment amb 'imalign' per tal de garantir la precisió de l'alineament:

```

daofind NGC869_B_12_comb_shifted.fits fwhmpsf=3 sigma=14.0 threshold=300 datamin
    =1000 datamax=60000 verify-
txsort NGC869_B_12_comb_shifted.fits.coo.1 SHARPNESS ascend=no
txdump NGC869_B_12_comb_shifted.fits.coo.1 XCENTER,YCENTER "SHARPNESS != INDEF" >
    NGC869_B_12_comb_shifted.fits.reg
imalign NGC869_*shifted*.fits reference=NGC869_B_12_comb_shifted.fits coords=
    NGC869_B_12_comb_shifted.fits.reg output=NGC869_*shifted*.fits boxsize=20 bigbox
    =25 trim+

```

## 4.5 Operacions manuals

Si per algun motiu fos necessari realitzar operacions manualment (p.ex. restes i divisions d'imatges), es disposa de la comanda 'imarith' que, per exemple, permet normalitzar els flats:

1. S'identifica la mitjana de cada flat:

```

ecl> imstat FlatU.fits
ecl> imstat FlatB.fits
ecl> imstat FlatV.fits

```

2. Es realitza la normalització:

```

ecl> imarith FlatB.fits / 30801 FlatB_normalized.fitss
ecl> imarith FlatU.fits / 9877 FlatU_normalized.fitss
ecl> imarith FlatV.fits / 34732 FlatV_normalized.fitss

```

## 5 Fotometria d'apertura

### 5.1 Fotometria instrumental

A continuació es presenten els diferents mètodes disponibles per obtenir la magnitud instrumental de les estrelles recollides a les imatges per tal de poder fer fotometria diferencial.

### 5.1.1 Anàlisi inicial amb imexamine

En cas de que es vulgui portar a terme una anàlisi ràpida d'un conjunt reduït d'imatges, s'utilitza la tasca 'imexamine':

1. Mentre el programa DS9 està en execució, s'executa:

```
imexamine NGC869_B_12_comb_shifted.fits
```

Les següents accions interactives es troben disponibles des de DS9:

- (a) 'q' finalitza 'imexamine'
- (b) 'a' i ',' mostra informació sobre l'estrella a la que es troba el punter (fotometria radial d'apertura)
- (c) 'm' mostra informació estadística, la desviació estàndard pot ser utilitzada per diferenciar fons i estrelles
- (d) 'x' imprimeix les coordenades a on està el punter
- (e) 'r' presenta la gràfica radial de lluminositat
- (f) 'h' histograma

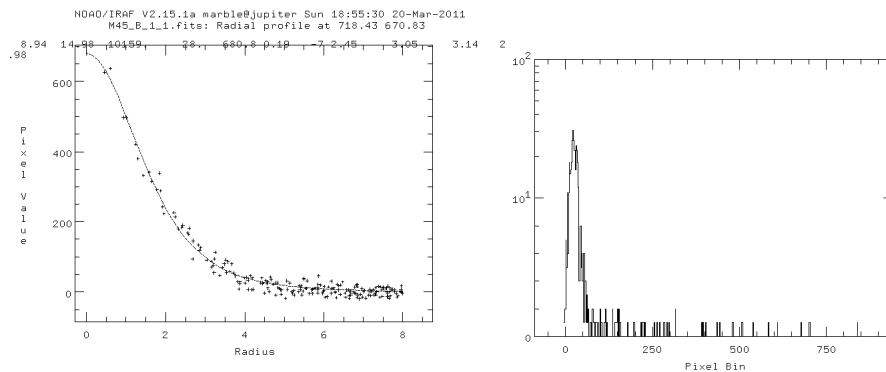


Figura 5: Gràfica radial i histograma

- (g) 'e' mostra el contorn de la zona del punter
- (h) 's' mostra la superfície de la zona del punter

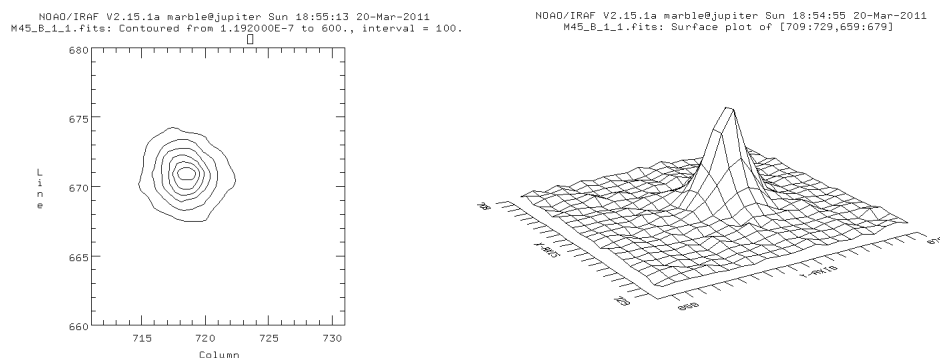


Figura 6: Contorn i superfície d'una estrella

- (i) 'j' i 'k' ajusta una gaussiana a les línies o columnes de la imatge
- (j) 'v' traça una línia entre dos punts de la imatge (es requereix pulsar dues vegades 'v')

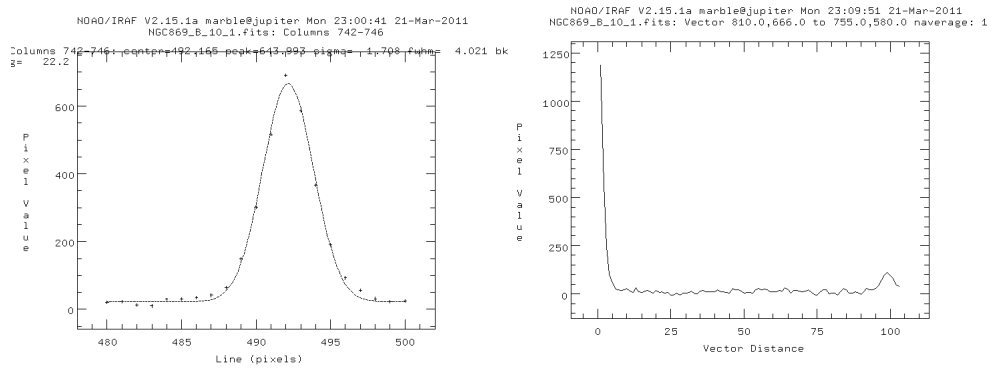


Figura 7: Gaussiana d'una línia (esquerra) i línia entre dos punts de la imatge (dreta)

(k) 'l' i 'c' mostra línia i columna

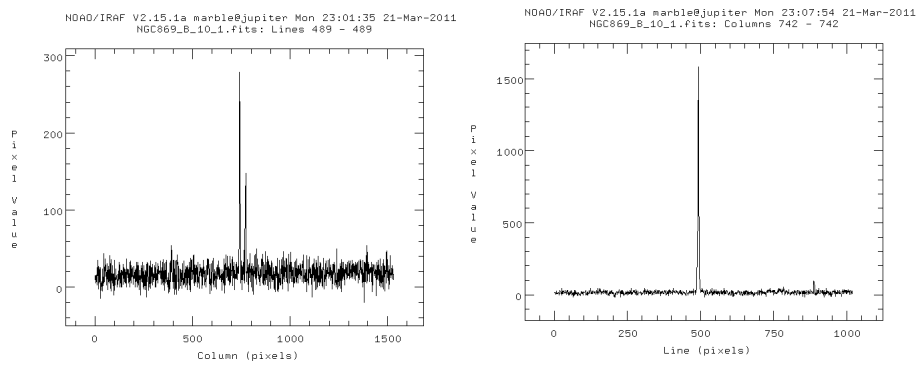


Figura 8: Línia (esquerra) i columna (dreta)

- La informació fotomètrica obtinguda amb 'imexamine' disposa de tres paràmetres clau que poden ser ajustats a cada cas en particular (la gràfica radial de lluminositat pot ajudar a definir-los):

`epar rimexam`

- Radi: distància a la que la fotometria serà realitzada
- Buffer: distància des de la vora de l'estrella a partir de la qual el fons és mesurat
- Width: amplitud de l'anell utilitzat per limitar el fons mesurat

### 5.1.2 Fotometria amb phot

Per tal de realitzar fotometria amb un grau de precisió superior a 'imexamine' sobre un conjunt reduït d'imatges/estrelles, s'utilitza la tasca 'phot' de forma manual:

- Es carreguen els paquets corresponents:

```
digiphot
apphot
```

- Es visualitza una imatge al DS9 i s'inicia la tasca de fotometria 'phot'. Quan el punter es troba sobre una estrella s'ha de pressionar 'espai' per tal de guardar les dades fotomètriques:

```
display NGC869_B_12_comb_shifted.fits 1 fill+
phot NGC869_B_12_comb_shifted.fits cbox=5.0 fwhmpsf=3 annulus=10.0 dannulus=10.0
apertures="3.0, 5.0, 7.0, 10.0" sigma=3.0 datamin=-40 datamax=55000 calgori=
centroid airmass=AIRMASS filter=FILTER gain=EGAIN exposure=EXPTIME maxshift=3
zmag=25 verify - interac+
```



La informació necessària per ajustar els diferents paràmetres de 'phot' es pot obtenir amb la comanda 'imexamine' explicada a la secció 5.1.1:

- (a) cbox: es recomana que sigui dues vegades l'amplada a meitat (fwhmpsf)
- (b) annulus i dannulus: radi i gruix en píxels de l'anell al voltant de l'estrella per tal de capturar el fons de cel
- (c) apertures: estableix el radi límit de l'estrella en píxels. Si s'especifica més d'un, s'obtin-  
dran 'n' registres per estrella considerant cadascuna de les apertures. Pot ser útil em-  
prar la comanda 'tvmark' per visualitzar cercles de diferents radis sobre les estrelles  
seleccionades:

```
display NGC869_B_12_comb_shifted.fits 1
tvmark 1 coords=NGC869_B_12_comb_shifted.fits.ctr.1 color=204 mark=circle radii
        ="3.0, 5.0, 7.0, 10.0"
```

- (d) fwhmpsf (amplada a meitat): es recomana que sigui dues vegades el radi a alçada meitat  
de les gràfiques de lluminositat de les estrelles (típicament 3)
- (e) sigma (desviació estàndard): correspon al valor més gran detectat per zones de cel
- (f) datamin i datamax: estableixen el nombre de comptes mínim i màxim per a confiar en  
els resultats i evitar saturacions.

3. Un cop finalitzat l'anàlisi, es pressiona 'q' al DS9 i 'w' a l'entorn IRAF. El fitxer resultant  
s'anomenarà '*NGC869\_B\_12\_comb\_shifted.fits.mag.1*' i pot ser convertit a altres formats  
amb:

```
txdump NGC869_B_12_comb_shifted.fits.mag.1 image,xinit,yinit,xcenter,ycenter,msky,
stdev,xairmass,ifilter,rapert[1],sum[1],area[1],mag[1],merr[1],perror[1],rapert
[2],sum[2],area[2],mag[2],merr[2],perror[2],rapert[3],sum[3],area[3],mag[3],merr
[3],perror[3],rapert[4],sum[4],area[4],mag[4],merr[4],perror[4] yes >
NGC869_B_fotometria.txt
```

### 5.1.3 Fotometria massiva amb phot

Si es disposen de moltes imatges/estrelles, pot resultar interessant utilitzar 'phot' de forma massiva  
i automàtica:

1. Es carreguen els paquets corresponents:

```
digiphot
apphot
```

2. Per a fer fotometria de forma massiva, serà necessari crear un llistat de coordenades amb les  
estrelles a analitzar. Per això, es visualitzarà una imatge de referència amb DS9 i es farà ús  
de la tasca 'center':

```
display NGC869_U_50_comb_shifted.fits 1 fill+
center NGC869_U_50_comb_shifted.fits interactive+
```

Al DS9, situant el cursor sobre les estrelles i pressionant 'espai' es registraran les coordenades  
corresponents. Per sortir cal pressionar 'q' al DS9 i 'w' a l'entorn IRAF. El fitxer de co-  
ordenades s'anomenarà '*NGC869\_U\_50\_comb\_shifted.fits.ctr.1*'. Per visualitzar la selecció  
s'utilitzarà 'tvmark':

```
display NGC869_U_50_comb_shifted.fits 1 fill+
tvmark 1 NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.1 color=204 mark=circle radii="5,10,20"
```

En cas que es torni a executar un 'center' per ampliar la selecció, es generarà un nou fitxer  
'*NGC869\_U\_50\_comb\_shifted.fits.ctr.2*' que pot ser integrat al primer mitjançant:

```
cat NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.2 |grep -v "\#" >> NGC869_U_50_comb_shifted.
fits.ctr.1
```

3. A continuació s'utilitza el fitxer de coordenades per fer fotometria a tot un conjunt d'imatges  
(aquestes han d'estar correctament alineades):

```
phot NGC869_*_comb_shifted.fits cbox=5.0 fwhmpsf=3 annulus=10.0 dannulus=10.0
apertures="3.0, 5.0, 7.0, 10.0" sigma=70.0 datamin=-40 datamax=55000 calgori=
centroid airmass=AIRMASS filter=FILTER gain=EGAIN exposure=EXPTIME maxshift=3
coords=NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.1 zmag=25 output=NGC869_instrumental.
txt verify=interac=
```

Els fitxers resultants s'anomenaran '*NGC869\_\*\_comb\_shifted.fits.mag.1*' i poden ser combinats amb:

```
!(cat NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1 | grep '\#' > Fotometria.dat)
!(cat NGC869_*_comb_shifted.fits.mag.1 | grep -v '\#' >> Fotometria.dat)
```

4. Els fitxers anteriors poden ser transformats de manera que resulti més senzill tractar-los amb altres programes (p.ex. Excel):

```
txdump NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1 > NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1.txt
# Seleccio de camps
txdump NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1 ID,XCEN,YCEN,SUM,MAG,MERR >
NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1.txt
# Regió per DS9
txdump NGC869_U_50_comb_shifted.fits.mag.1 XCEN,YCEN > NGC869_U_50_comb_shifted.fits
.mag.1.reg
```

## 5.2 Fotometria absoluta

Amb l'objectiu de fer fotometria absoluta, es selecciona un conjunt d'estrelles amb una magnitud estàndard que permetrà trobar les diferències de l'instrument respecte al de referència, així com l'efecte de l'extinció atmosfèrica. Aquestes variacions es veuen representades pels paràmetres  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  de les equacions que utilitza IRAF per defecte ( $X$  representa la massa d'aire):

$$v_{inst} = V + v_1 + v_2X + v_3(B - V) + v_4(B - V)X$$

$$b_{inst} = B + b_1 + b_2X + b_3(B - V) + b_4(B - V)X$$

$$u_{inst} = U + u_1 + u_2X + u_3(V - R) + u_4(B - V)X$$

IRAF disposa de tasques per ajustar per mínims quadrats les constants  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  a partir d'un conjunt d'observacions. En una segona part, aquestes seran utilitzades per calibrar les mesures fotomètriques i poder transformar les magnituds instrumentals en estàndard.

### 5.2.1 Paràmetres de les equacions de transformació

Per tal de trobar les constants  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  que més s'ajusten es segueixen els passos següents:

1. Es carreguen els paquets corresponents:

```
digiphot
apphot
```

2. Es genera un llistat de coordenades amb les estrelles estàndard de, per exemple, un camp Landolt. Per fer-ho, es visualitzarà una imatge de referència amb DS9 i es farà ús de la tasca 'center':

```
display SA98_653_V_10_comb_shifted.fits 1
center SA98_653_V_10_comb_shiftedfits interactive+
```

Al DS9, situant el cursor sobre les estrelles i pressionant 'espai', es registraran les coordenades corresponents. Per sortir cal pressionar 'q' al DS9 i 'w' a l'entorn IRAF. El fitxer de coordenades s'anomenarà '*SA98\_653\_V\_10\_comb\_shifted.fits.ctr.1*'. Per visualitzar la selecció s'utilitzarà 'tvmark':

```
display SA98_653_V_10_comb_shifted.fits 1 fill+
tvmark 1 SA98_653_V_10_comb_shifted.fits.ctr.1 color=204 mark=circle radii="5,10,20"
```

En cas que es torni a executar un 'center' per ampliar la selecció, es generarà un nou fitxer '*SA98\_653\_V\_10\_comb\_shifted.fits.ctr.2*' que pot ser integrat al primer mitjançant:

```
cat SA98_653_V_10_comb_shifted.fits.ctr.2 | grep -v "\#" >>
SA98_653_V_10_comb_shifted.fits.ctr.1
```

3. A continuació s'utilitza el fitxer de coordenades per fer fotometria a tot un conjunt d'imatges (aquestes han d'estar correctament alineades):

```
phot SA98_653_*_shifted.fits cbox=5.0 fwhmpsf=3 annulus=10.0 dannulus=10.0 apertures
="3.0, 5.0, 7.0, 10.0" sigma=70.0 datamin=-40 datamax=55000 calgori=centroid
airmass=AIRMASS filter=FILTER gain=EGAIN exposure=EXPTIME maxshift=3 coords=
SA98_653_V_10_comb_shifted.fits.ctr.1 zmag=25 output=SA98_653_standard.txt
verify - interac -
```

Per al present treball, com que només s'utilitzarà una estrella estàndard del camp Landolt SA98, convé provar diverses apertures com les especificades a la comanda anterior (3, 5, 7 i 10) i visualitzar els resultats per veure quina apertura té un error associat a la magnitud calculada més petit:

```
less SA98_653_standard.txt
```

Finalment, es repeteix la fotometria utilitzant només el radi òptim (p.ex. 5):

```
delete SA98_653_standard.txt
phot SA98_653_*_shifted.fits cbox=5.0 fwhmpsf=3 annulus=10.0 dannulus=10.0 apertures
="5.0" sigma=70.0 datamin=-40 datamax=55000 calgori=centroid airmass=AIRMASS
filter=FILTER gain=EGAIN exposure=EXPTIME maxshift=3 coords=
SA98_653_V_10_comb_shifted.fits.ctr.1 zmag=25 output=SA98_653_standard.txt
verify - interac -
```

En aquest cas, el fitxer resultant s'anomenarà '*SA98\_653\_standard.txt*' donat que s'ha especificat al paràmetre 'output'. Els passos 2 i 3 s'han repetit per a l'estrella HD 14052 del cúmul NGC869, obtenint el fitxer resultant '*NGC869\_standard.txt*'.

4. A continuació, s'ha de preparar un catàleg amb les mesures estàndards. Per a aquest document s'utilitzarà l'estrella estàndard SA98\_653 del camp Landolt i l'estrella HD 14052 del cúmul NGC869, que serà considerada també estàndard amb els valors UB<sub>V</sub> obtinguts a partir de Simbad<sup>3</sup>. IRAF disposa de catàlegs estàndards com '*nlandolt.dat*', del qual s'obindrà la informació de l'estrella SA98\_653:

```
cd photcal$catalogs
cat nlandolt.dat | grep 98_653 > /iraf/imdirs/usuari/CCD.tractades/standcatalog.dat
cd imdir
edit standcatalog.dat
```

Adicionalment, s'edita el fitxer '*standcatalog.dat*' per incloure les dades de l'estrella HD 14052 i acabar tenint la següent forma (nom, coordenades, V, B-V, U-B):

```
98_653 06:52:05 -00:18:1 9.539 -0.004 -0.099
HD_14052 02:18:28.154 +57:12:30.46 8.18 0.30 -0.58
```

5. Per altra banda, s'ha de crear un catàleg d'estrelles estàndard amb les mesures observades. En primer lloc es crearà un fitxer que associï estrelles amb imatges UB<sub>V</sub>:

```
txdump NGC869_standard.txt IMAGE yes > standstars.dat
txdump SA98_653_standard.txt IMAGE yes >> standstars.dat
edit standstars.dat
```

Amb l'ajuda d'un editor de text i un full de càlcul, es relaciona cada nom amb una estrella estàndard de forma que aparegui una combinació de filtres UB<sub>V</sub> per línia:

```
HD_14052 : NGC869_B_12_10_shifted.f NGC869_U_50_10_shifted.f NGC869_V_6_10_shifted.f
HD_14052 : NGC869_B_12_1_shifted.f NGC869_U_50_1_shifted.f NGC869_V_6_1_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_2_shifted.f NGC869_U_50_2_shifted.f NGC869_V_6_2_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_3_shifted.f NGC869_U_50_3_shifted.f NGC869_V_6_3_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_4_shifted.f NGC869_U_50_4_shifted.f NGC869_V_6_4_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_5_shifted.f NGC869_U_50_5_shifted.f NGC869_V_6_5_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_6_shifted.f NGC869_U_50_6_shifted.f NGC869_V_6_6_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_7_shifted.f NGC869_U_50_7_shifted.f NGC869_V_6_7_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_8_shifted.f NGC869_U_50_8_shifted.f NGC869_V_6_8_shifted.f i
```

<sup>3</sup><http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=%40173555>

```

HD_14052 : NGC869_B_12_9_shifted.f NGC869_U_50_9_shifted.f NGC869_V_6_9_shifted.f i
HD_14052 : NGC869_B_12_comb_shifte NGC869_U_50_comb_shifte NGC869_V_6_comb_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_10_shifte SA98_653_U_40_10_shifte SA98_653_V_10_10_shifte
98_653 : SA98_653_B_18_1_shifted SA98_653_U_40_1_shifted SA98_653_V_10_1_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_2_shifted SA98_653_U_40_2_shifted SA98_653_V_10_2_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_3_shifted SA98_653_U_40_3_shifted SA98_653_V_10_3_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_4_shifted SA98_653_U_40_4_shifted SA98_653_V_10_4_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_5_shifted SA98_653_U_40_5_shifted SA98_653_V_10_5_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_6_shifted SA98_653_U_40_6_shifted SA98_653_V_10_6_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_7_shifted SA98_653_U_40_7_shifted SA98_653_V_10_7_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_8_shifted SA98_653_U_40_8_shifted SA98_653_V_10_8_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_9_shifted SA98_653_U_40_9_shifted SA98_653_V_10_9_shifted
98_653 : SA98_653_B_18_comb_shif SA98_653_U_40_comb_shif SA98_653_V_10_comb_shif

```

A partir d'aquest punt, les següents comandes requereixen la càrrega del paquets 'photcal':

```

digiphot
photcal

```

Finalment, es genera el fitxer d'observacions 'standobs.dat' i el fitxer de format 'fstandobs.dat.dat' mitjançant 'mknobsfile':

```

cat SA98_653_standard.txt > standstuff.dat
cat NGC869_standard.txt | grep -v "\#" >> standstuff.dat
mknobsfile photfiles=standstuff.dat idfilters=B,U,V imsets=standstars.dat
      observations=standobs.dat

```

És possible reformatar 'standstuff.dat' amb 'txdump' per ser més fàcilment manipulat per altres programes (p.ex. Excel):

```

txdump standstuff.dat image,xinit,yinit,xcenter,ycenter,msky,stdev,xairmass,ifilter,
      rapert[1],sum[1],area[1],mag[1],merr[1],perror[1],rapert[2],sum[2],area[2],mag
      [2],merr[2],perror[2],rapert[3],sum[3],area[3],mag[3],merr[3],perror[3],rapert
      [4],sum[4],area[4],mag[4],merr[4],perror[4] yes > standstuff_formatted.txt

```

- Abans de poder trobar els paràmetres de les equacions, cal definir aquestes. La tasca 'mkconfig' ajuda a generar un fitxer bàsic que després s'haurà d'adaptar a les necessitats concretes:

```

mkconfig config=stand.cfg catalog=landolt observat=standobs.dat transfor=landolt
      verify-

```

A continuació s'edita 'stand.cfg' i s'esborren camps inexistents, així com les equacions d'R i I perquè aquestes no seran utilitzades en aquest treball:

```

# Declare the Landolt UBVRI standards catalog variables
catalog

V 4      # the V magnitude
BV 5     # the (B-V) color
UB 6     # the (U-B) color

# Declare the observations file variables
observations

TB 3      # time of observation in filter B
XB 4      # airmass in filter B
xB 5      # x coordinate in filter B
yB 6      # y coordinate in filter B
mB 7      # instrumental magnitude in filter B
error(mB) 8 # magnitude error in filter B

TU 10     # time of observation in filter U
XU 11     # airmass in filter U
xU 12     # x coordinate in filter U
yU 13     # y coordinate in filter U
mU 14     # instrumental magnitude in filter U
error(mU) 15 # magnitude error in filter U

TV 17     # time of observation in filter V
XV 18     # airmass in filter V
xV 19     # x coordinate in filter V
yV 20     # y coordinate in filter V
mV 21     # instrumental magnitude in filter V
error(mV) 22 # magnitude error in filter V

# Sample transformation section for the Landolt UBVRI system

transformation

fit      u1=0.0, u2=0.65, u3=0.000

```

```

const u4=0.0
UFIT : mU = (UB + BV + V) + u1 + u2 * XU + u3 * UB + u4 * UB * XU

fit    b1=0.0, b2=0.35, b3=0.000
const b4=0.0
BFIT : mB = (BV + V) + b1 + b2 * XB + b3 * BV + b4 * BV * XB

fit    v1=0.0, v2=0.17, v3=0.000
const v4=0.0
VFIT : mV = V + v1 + v2 * XV + v3 * BV + v4 * BV * XV

```

Per defecte, les equacions utilitzades no tenen en compte l'últim terme que relaciona el color amb la massa d'aire:

$$v_{inst} = V + v_1 + v_2 X + v_3 (B - V)$$

$$b_{inst} = B + b_1 + b_2 X + b_3 (B - V)$$

$$u_{inst} = U + u_1 + u_2 X + u_3 (V - R)$$

7. Finalment, per ajustar les equacions de transformació i trobar els paràmetres  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  més adients es farà ús de 'fitparams':

```

fitparams observat=standobs.dat catalogs=standcatalog.dat config=stand.cfg paramete=
stand.ans weighting = "photometric" nreject=2 interactive=

```

Els resultats es guarden al fitxer 'stand.ans' i és possible aplicar les calibracions sobre les mesures de les estrelles estàndard per tal d'avaluar el grau de validesa dels paràmetres trobats:

```

invertfit observat=standobs.dat config=stand.cfg paramete=stand.ans catalogs=
standcatalog.dat calib=standcheck.dat

```

Els resultats es guarden a 'standcheck.dat'.

```
less standcheck.dat
```

- (a) Cal destacar que degut a un bug de 'fitparams' a la versió 2.15.1a 64 bits d'IRAF, s'haurà d'executar prèviament com a usuari administrador i des d'una terminal linux:

```

cd /iraf/iraf/bin.linux64/
ln -sf ecl32.e ecl.e
cd /iraf/iraf/noao/bin.linux64
ln -sf x_photcal32.e x_photcal.e

```

A posteriori serà necessari sortir i tornar a iniciar IRAF per a que els canvis tinguin efecte.

- (a) No obstant, és necessari desfer els canvis per utilitzar altres comandes com 'imexamine'. Per tant, un cop executat 'fitparams', es recomana portar a terme les següents accions:

```

cd /iraf/iraf/bin.linux64/
ln -sf ecl64.e ecl.e
cd /iraf/iraf/noao/bin.linux64
ln -sf x_photcal64.e x_photcal.e

```

A posteriori serà necessari sortir i tornar a iniciar IRAF per a que els canvis tinguin efecte.

### 5.2.2 Calibració per inversió de les equacions de transformació

Un cop es disposa dels paràmetres  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  més adients al fitxer 'stand.ans', s'utilitzaran les equacions definides a 'stand.cfg' per tal de calibrar les mesures fotomètriques instrumentals:

1. Es carreguen els paquets corresponents:

```

digiphot
apphot

```

2. Es genera un llistat de coordenades seguint algun dels següents mètodes:

- (a) Visualitzant la imatge a DS9, la tasca 'center' permet fer una selecció manual amb el punter i pressionant 'espai' sobre cada estrella a DS9:

```
display NGC869_U_50_comb_shifted.fits 3 fill+
center NGC869_U_50_comb_shifted.fits
```

Per sortir cal pressionar 'q' al DS9 i 'w' a l'entorn IRAF. El fitxer de coordenades s'anomenarà 'NGC869\_U\_50\_comb\_shifted.fits.ctr.1' i es pot visualitzar amb 'tvmark':

```
display NGC869_U_50_comb_shifted.fits 1 fill+
tvmark 1 NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.1 color=204 mark=circle radii
="5,10,20"
```

En cas que es torni a executar un 'center' per ampliar la selecció d'estrelles, es generarà un nou fitxer 'NGC869\_U\_50\_comb\_shifted.fits.ctr.2' que pot ser integrat al primer:

```
cat NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.2 | grep -v "\#" >>
NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.1
```

(b) Per altra banda, la tasca 'daofind' pot realitzar una cerca automàtica d'estrelles:

```
daofind NGC869_U_50_comb_shifted.fits fwhmpsf=3 sigma=29.0 threshold=100 datamin
=-10 datamax=60000 verify -
```

El fitxer resultant s'anomenarà 'NGC869\_U\_50\_comb\_shifted.fits.coo.1' i es pot visualitzar amb 'tvmark'

```
display NGC869_U_50_comb_shifted.fits 1 fill+
tvmark 1 NGC869_U_50_comb_shifted.fits.coo.1 color=204 mark=circle radii
="5,10,20"
```

La informació necessària per ajustar els diferents paràmetres de 'daofind' es pot obtenir amb la comanda 'imexamine' explicada a la secció 5.1.1:

- i. fwhmpsf (amplada a meitat): es recomana que sigui dues vegades el radi a alçada meitat de les gràfiques de lluminositat de les estrelles
- ii. sigma (desviació estàndard): correspon al valor més gran detectat per zones de cel
- iii. threshold: 50 vegades el soroll en ADUs ( $50 \times 6ADU \text{ pixel}^{-1} = 300$ ). Com més gran, menys estrelles es detectaran.
- iv. datamin i datamax: estableixen el nombre de comptes mínim i màxim per a confiar en els resultats (p.ex. evitar ús d'estrelles saturades).

3. A continuació es genera el fitxer amb la fotometria dels punts guardats:

```
phot NGC869*_comb_shifted.fits cbox=5.0 fwhmpsf=3 annulus=10.0 dannulus=10.0
apertures="3.0, 5.0, 7.0, 10.0" sigma=70.0 datamin=-40 datamax=55000 calgori=
centroid airmass=AIRMASS filter=FILTER gain=EGAIN exposure=EXPTIME maxshift=3
coords=NGC869_U_50_comb_shifted.fits.ctr.1 zmag=25 output=NGC869_instrumental.
txt verify - inte
```

En aquest cas el fitxer resultant s'anomenarà 'NGC869\_instrumental.txt' i pot ser reformatjat amb 'txdump':

```
txdump NGC869_instrumental.txt image,xinit,yinit,xcenter,ycenter,msky,stdev,xairmass
,ifilter,rapert[1],sum[1],area[1],mag[1],merr[1],perror[1],rapert[2],sum[2],area
[2],mag[2],merr[2],perror[2],rapert[3],sum[3],area[3],mag[3],merr[3],perror[3],
rapert[4],sum[4],area[4],mag[4],merr[4],perror[4] yes >
NGC869_instrumental_formatted.txt
delete NGC869_instrumental_simple.txt

txdump NGC869_instrumental.txt image,xinit,yinit,xcenter,ycenter,ifilter,mag[2],merr
[2] yes > NGC869_instrumental_simple.txt
```

4. A partir de la fotometria realitzada, es requereix crear un catàleg d'estrelles observades amb la comanda 'mknoobsfile'. Per això, serà necessari crear primer un fitxer amb el conjunt d'imatges a utilitzar:

```
txdump NGC869_instrumental.txt IMAGE yes | uniq > NGC869_inststars.dat
edit NGC869_inststars.dat
```

Amb l'ajuda d'un editor de text i un full de càlcul, es relaciona cada nom de fitxer a un nom general de forma que aparegui una combinació de filtres UBV per línia:

```
NGC869 : NGC869_B_12_comb_shifted NGC869_V_6_comb_shifted NGC869_U_50_comb_shifted
```

La tasca 'mkobsfile' generarà el fitxer d'observacions 'NGC869\_obs.dat' i el fitxer de format 'fNGC869\_obs.dat.dat':

```
digiphot
photcal
mkobsfile photfiles=NGC869_instrumental.txt idfilters=B,U,V imsets=NGC869_inststars
.dat observations=NGC869_obs.dat
```

- Finalment, s'obtenen les magnituds calibrades utilitzant els paràmetres  $v_x$ ,  $b_x$  i  $u_x$  trobats a la secció anterior segons les equacions de transformació:

```
invertfit observat=NGC869_obs.dat config=stand.cfg paramete=stand.ans calib=
NGC869_calibrated.dat
```

Els resultats es guarden a 'standcheck.dat'.

## 6 Imatges RGB

Quan es disposa d'imatges alineades i preses amb diferents filtres, es poden combinar per generar una imatge en color mitjançant DS9:

```
!ds9 -view info no -view panner no -view magnifier no -view buttons no -view colorbar no
-zoom 1 -zmax -scale open -smooth open -rgb -red NGC869_B_12_comb_shifted.fits -green
NGC869_U_50_comb_shifted.fits -blue NGC869_V_6_comb_shifted.fits &
```

L'ordre amb el que s'assigna cada filtre al color vermell, verd o blau (RGB) es pot canviar per tal de donar més importància a algun dels colors. Des de DS9 es poden ajustar els histogrames per cada color, així com difuminar estrelles.

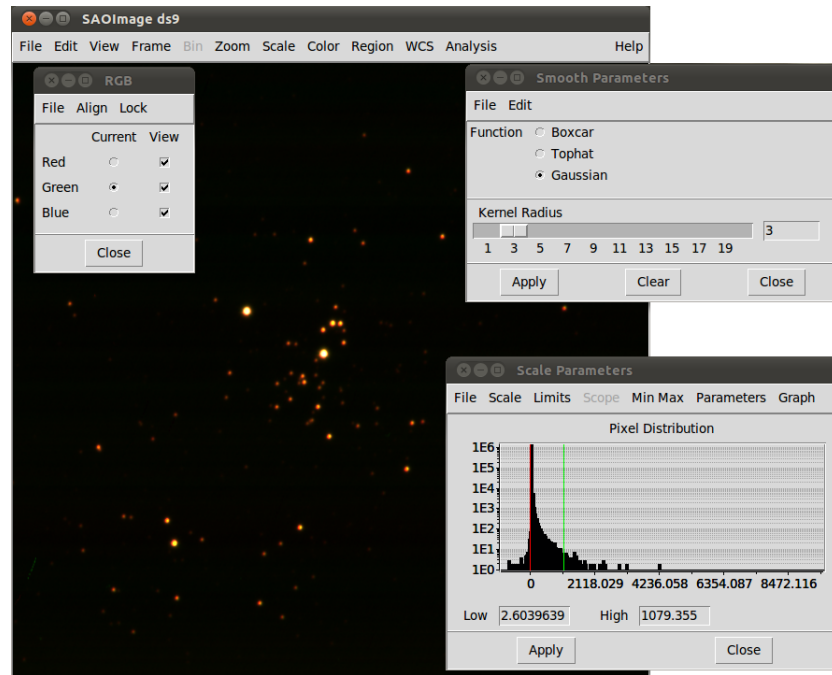


Figura 9: Composició d'imatges RGB amb DS9