

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

CÁLCULO DE LA MASA DE LA ESTRELLA IONIZANTE DE LA NEBULOSA M20

Integrantes:

Francisco Sepúlveda M.
Sebastián Marchi L.

Profesor:

Simón Casassus

Fecha:

14 de diciembre de 2007

Índice

1. Introducción	2
2. Objetivos	3
3. Desarrollo	4
3.1. Remuestreo	4
3.2. Mosaico	5
3.3. Combinación RGB	8
3.4. Marco teórico	9
4. Conclusión	11
5. Anexos	12
5.1. Anexo A: resample.pl	12
5.2. Anexo B: mosaico.pl	19
5.3. Anexo C: colores.pl	20
5.4. Anexo A: promedio.pl	22

1. Introducción

La nebulosa M20 es una región H II ubicada en la constelación de Sagitario. Se encuentra a una distancia de 2000 a 9000 años-luz, y ocupa unos 20 minutos de arco en la esfera celeste. M20 también es conocida como “Nebulosa Trífida”, debido a que tiene una nebulosa central de absorción que la divide en tres lóbulos, compuestos por nebulosas de emisión (rosadas) y de reflexión (azules)[1].

Las nebulosas H II se caracterizan por ser las regiones donde ocurren los procesos de formación estelar, pues su componente principal es el hidrógeno, el elemento primordial en el universo y fundamental para el nacimiento de estrellas. Las nebulosas absorben la radiación electromagnética emitida por las estrellas que ya se formaron o por las que están en formación, y si ésta es lo suficientemente energética, excita los electrones de los átomos de hidrógeno, es decir, se ionizan. De esta manera, la nebulosa emite radiación electromagnética en la banda del hidrógeno, denominada H_α (H alfa)[2].

Muchos estudios pueden realizarse en este tipo de nebulosas, y uno de ellos es calcular la masa de la estrella ionizante, basándose en datos obtenidos a través de la emisión en H_α , como son luminosidad, flujo, etc.

Este último estudio será tratado en este informe.

2. Objetivos

- 1.- Crear una composición a color de M20.
- 2.- Calcular la masa de la estrella ionizante de M20.

3. Desarrollo

3.1. Remuestreo

Para calcular la masa de la estrella ionizante de M20, es necesario tomar imágenes, usando el telescopio GOTO de Cerro Calán, en los filtros rojo (R), verde (G) y azul (B). Debido al sistema óptico del telescopio, las imágenes aparecen invertidas horizontalmente y no se encuentran calibradas con respecto a las coordenadas celestes (Ascensión Recta y Declinación). Es por esto que es necesario calibrar las imágenes, utilizando un proceso llamado *remuestreo de la imagen*, el cual devuelve una nueva imagen de la misma zona que muestra la fotografía original, pero en la orientación correcta con respecto a las coordenadas celestes.

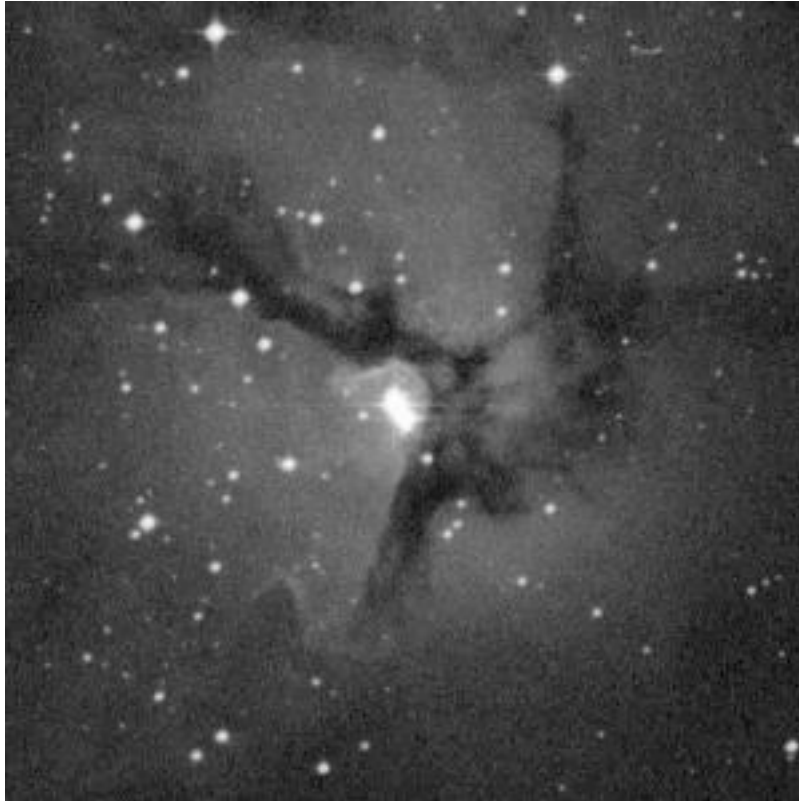
Para realizar el remuestreo, se utiliza un script llamado *resample.pl*¹ (ver Anexo A), el cual es adaptado para cada imagen. El proceso consiste en elegir un determinado número de estrellas, el que depende de la exactitud que se requiera, y obtener sus coordenadas en pixeles (coordenadas de las imágenes tomadas por GOTO) y en coordenadas celestes. Luego, el script se encarga de hacer la calibración.

Para obtener las coordenadas celestes de cada estrella, se utiliza una imagen de M20 obtenida de la base de datos *SkyView*², la cual ya se encuentra calibrada para estas coordenadas. La imagen se muestra en la figura 1.

¹Autor del script: Simón Casassus

²<http://skyview.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/runquery.pl?Interface=quick&Position=m20&SURVEY=Digitized+Sky+Survey>

Figura 1: Imagen obtenida de SkyView



3.2. Mosaico

A continuación, se necesita una imagen que tenga un carácter global de M20. Para esto, se deben unir todas las imágenes remuestreadas para un determinado filtro. Dicha labor la cumple otro script llamado *mosaico.pl*³ (ver Anexo B) que recibe como parámetro cuatro imágenes, las superpone y toma un promedio de los datos (para no tener problemas de incongruencia). Lo que se hace es ejecutar este script con las cuatro imágenes remuestreadas para lograr una imagen mosaico para cada filtro.

Es importante, antes de ejecutar el script, igualar el promedio de los valores de los píxeles en cada imagen. Para esto, se elige una imagen de

³Autor del script: Simón Casassus

referencia para cada mosaico, y se calcula su promedio. Luego, se calcula el promedio de las otras tres imágenes, y cada uno de estos valores se multiplica por un factor, de modo que sean lo más parecido posible al valor del promedio de la imagen de referencia. Para calcular el promedio, se toma un cuadrado en la imagen en una zona homogénea en cuanto a valores de píxeles. Después, se suma cada valor y el resultado se divide por el área del cuadrado, obteniendo así el promedio. El tamaño del cuadrado no debe ser muy grande, para que no incluya valores que pueden elevar demasiado el valor del promedio, como los píxeles en las estrellas. Para esto, se usó el script *promedio.pl* (ver Anexo D).

En la figura 2 se ve el mosaico para el filtro rojo; en la figura 3, el mosaico para el filtro verde; y en la figura 4 el mosaico para el filtro azul.

Figura 2: Mosaico color rojo

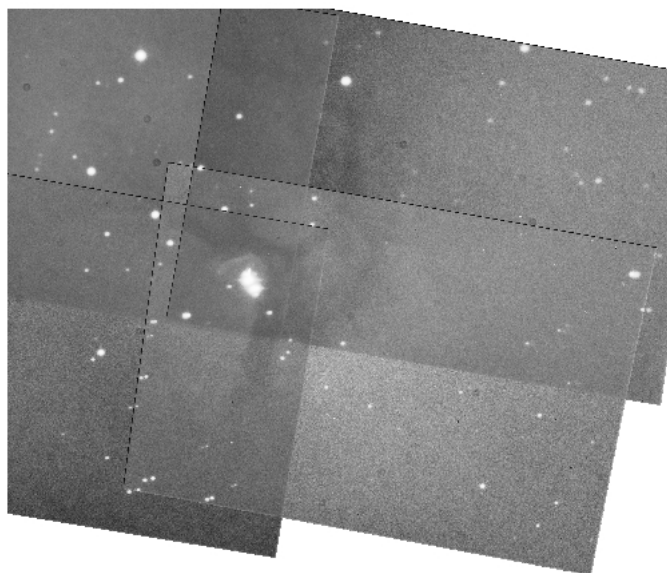


Figura 3: Mosaico color verde

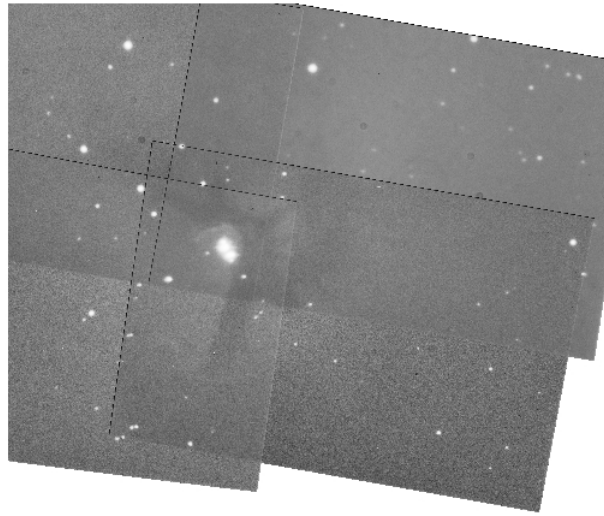
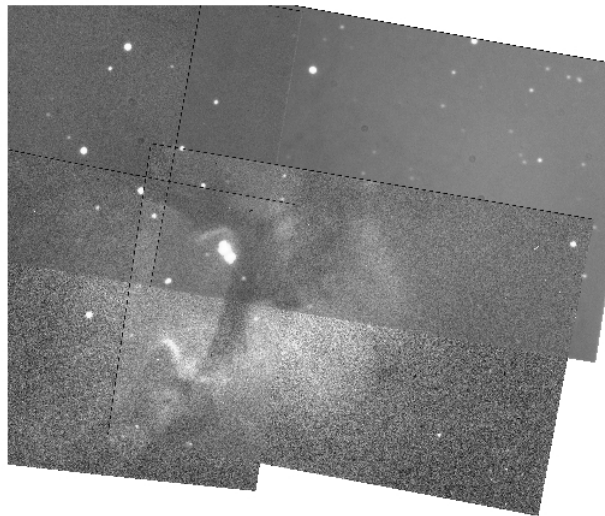


Figura 4: Mosaico color azul

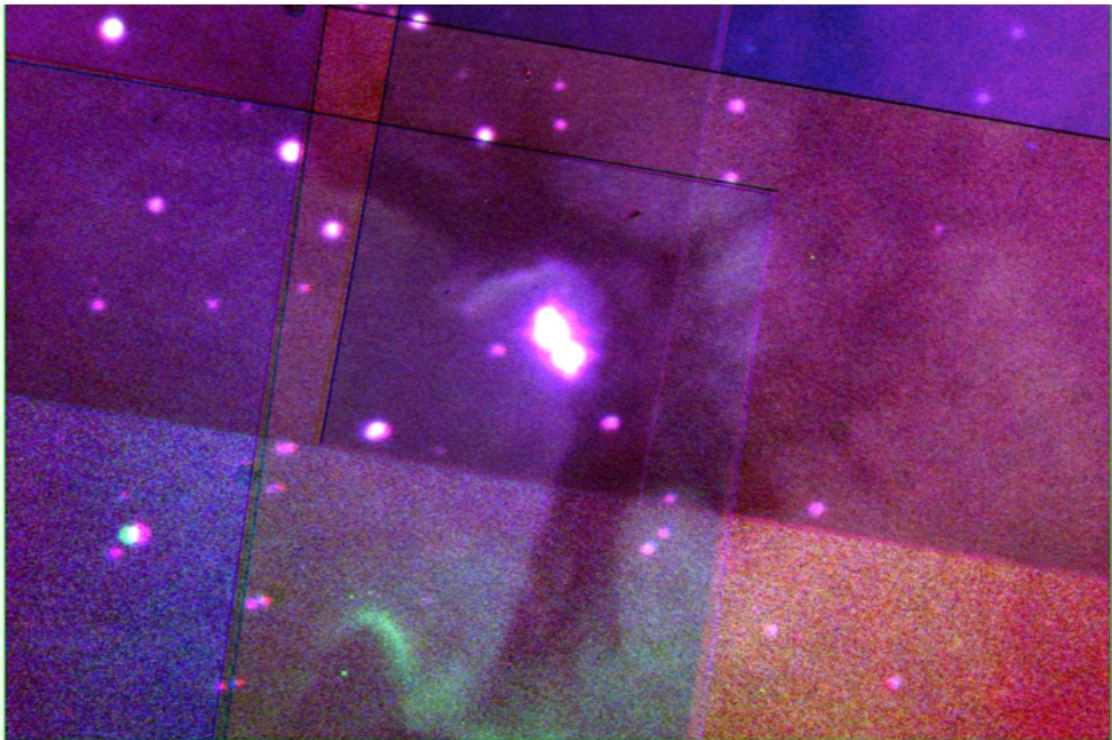


3.3. Combinación RGB

Ahora es posible combinar las imágenes en los filtros R, G y B, formando así una composición RGB. Esto se concreta usando el script *colores.pl*⁴ (ver Anexo C), el cual recibe los mosaicos en cada uno de los tres filtros, y los mezcla para formar el mosaico a color, el cuál se muestra en la figura 5

Sólo se incluye la zona central de M20, pues hacer una combinación de toda la nebulosa toma demasiado tiempo en PDL.

Figura 5: Zona central de M20 en color



⁴Autor del script: Simón Casassus

3.4. Marco teórico

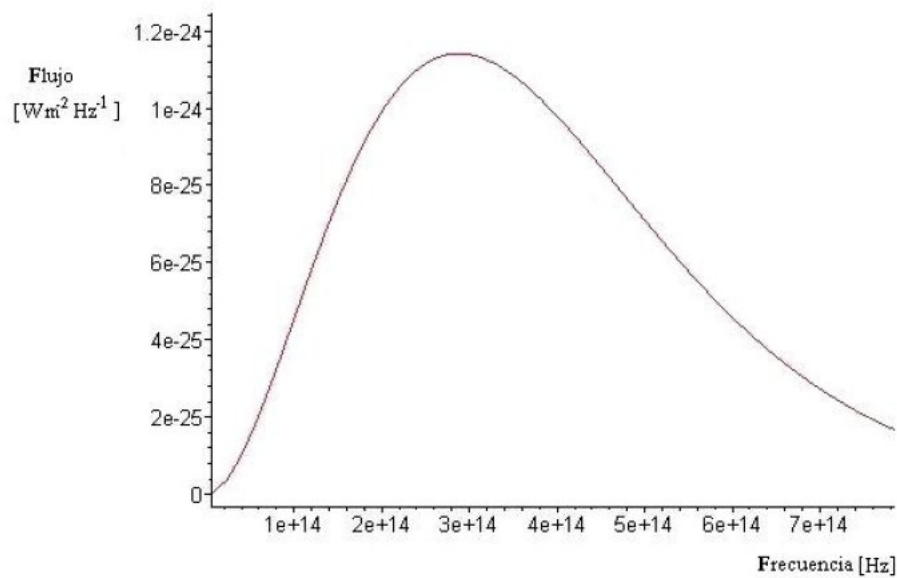
Para trabajar con los datos, primero se requiere el conocimiento teórico necesario para poder determinar la masa de M20.

Las herramientas necesarias para esto son:

- 1.- Para calibrar, se necesita conocer la ley de Planck (radiación de cuerpo negro):

$$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

Figura 6: Radiación de Cuerpo Negro



- 2.- Una relación muy importante para este trabajo es:

$$F_{H\alpha} = \pi\theta^2 \frac{\alpha_{H\alpha}}{4\pi} n_e n_p h\nu R$$

Donde:

$F_{H\alpha}$ es el flujo de la estrella en $H\alpha$.

θ es el radio angular de la estrella (en grados).

$\alpha_{H\alpha}$ es una constantes igual a $3 \cdot 10^{-9} \left[\frac{m^3}{s} \right]$.

H es la constantes de planck.

ν es la frecuencia.

$R = \theta d$, donde d es la distancia a la estrella.

n_e es el número de electrones recombinados por unidad de volumen.

n_p es el número de protones recombinados por unidad de volumen.

4. Conclusión

Se logró crear los mosaicos de M20 a partir de las imágenes resampladas para cada filtro (R,G y B). Hay que notar que en ciertas zonas del mosaico se aprecian estrellas duplicadas producto de una mala alineación, lo que tampoco pudo ser reparado ya sea por falta de comprensión del script *mosaico.pl*, por un mal remuestreo de las imágenes, o por una mala captura a través del GOTO.

Se logró igualar el promedio de los valores de los pixeles en cada mosaico, pero no se pudo eliminar el ruido presente en algunas fotos, como en el caso del mosaico azul. Esto puede deberse a una mala captura de las fotografías, pues algunas imágenes tomadas por el telescopio GOTO muestran más ruido que otras.

Con respecto a la composición RGB, no se aprecia una correcta combinación de colores, dando como resultado zonas de distintos colores. Esto puede deberse a dos razones: primero, los mosaicos no se alinearon perfectamente, pues se notan algunas estrellas duplicadas y de distintos colores; segundo, puede que la escala de colores que se fijó en *colores.pl*, no sea la adecuada, lo que produce diferencias de intensidad demasiado grandes entre uno y otro filtro.

Se debe mencionar que el objetivo más importante, es decir, calcular la masa de la estrella ionizante, no pudo ser completado debido a que no se tenían los conocimientos teóricos básicos para completar la investigación. Si bien se investigó la parte teórica (como se ve en este informe, al presentar las ecuaciones más importantes), no pudo ser comprendida a cabalidad, por lo que no fue posible aplicarla. Esto se debe a que no hubo suficiente tiempo durante el semestre para analizar la base teórica, pues la mayoría del tiempo se usó en crear el mosaico y en resolver problemas en los códigos, que no era el objetivo principal del curso.

5. Anexos

5.1. Anexo A: resample.pl

```
use PDL;
use PDL::Transform;
use PDL::NiceSlice;
use PDL::Image2D;
use PDL::Transform;
use PDL::IO::Dumper;
use PDL::Minuit;
use PDL::GSLSF::LEGENDRE;
use Astro::Coord;
use Astro::Time;
use TrIm;
use Vtools;
use strict;
use warnings;

my $pi = 2*acos(0);
#globals;

#my $data_pass;
#my $im_pass;

my $h_pass;

#my $dumpit = 0;
#my $debug = 0;
#
#my $offset;
#my $scl;
#
#my $nord_x_pass;
#my $nord_y_pass;
#
my $min_x;
my $max_x;
```

```

my $min_y;
my $max_y;
#
{

# INPUT IMAGE
  my $im = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario
/M20/Imagenes/R/m20-1_120s_R_Dark.fit');
  my $h = $im -> gethdr;
# GOTO field of view
  my $field_0 = 9./60.; #field in deg, campo de vision en grados
# GOTO pixel scale
  my $pixscale = $field_0 / $im->getdim(0);

# GIVE NAMES, REF RA DEC and guess pixel location
  my @data = (
{Name => '1', RA  => '18:02:21.898',
DEC => '-23:02:24.64',i_init =>1150, j_init =>618},
{Name => '26', RA  => '18:02:16.248',
DEC => '-23:02:57.35',i_init => 910, j_init => 562},
{Name => '2', RA  => '18:02:28:302',
DEC => '-23:02:27.54', i_init =>1402 , j_init =>566 },
{Name => '30', RA  => '18:02:18.404',
DEC => '-23:00:24.24',i_init => 1070, j_init => 990},
{Name => '22', RA  => '18:02:14.180',
DEC => '-23:04:03.78', i_init =>794 , j_init =>386 },
{Name => '8', RA  => '18:02:25.301',
DEC => '-23:00:35.61', i_init =>1338, j_init =>910 },
);

# Define a center for the resampled image

  my $RA_0 = '18:02:16.371'; my $DEC_0 = '-23:02:57.34';

# Define dimensions for the resamepld image

```

```

my $Nx = 2000;
my $Ny = 2000;

my $nord_x = 1;
my $nord_y = 1;
# get resampled image:
my $out = &astrogoto($im,{Nx => $Nx, Ny => $Ny,
PixScale => $pixscale, RA_0 => $RA_0, DEC_0=> $DEC_0,
Nord_x => $nord_x, Nord_y => $nord_y, Data => \@data});

wfits $out,'m20-1_120s_R_Dark_resampleada.fit'; # choose an ouput filename
}

sub get_centroid {
my ($im, $x0, $y0, $opts) = @_;

my %args = ( Do_Gaussfit => 0, Delta => 6, %$opts);

# if (ref($opts) =~ /HASH/) {
# foreach (keys(%$opts)) {
#   $args{$_} = $$opts{$_};
# }
# }

my $delta=$args{Delta};

my $subim = $im($x0-$delta:$x0+$delta,$y0-$delta:$y0+$delta);
my ($max,$xcent,$ycent) = max2d_ind($subim);
$xcent += $x0-$delta;
$ycent += $y0-$delta;

if ($args{Do_Gaussfit}) {
my $civs = pdl [ 0.4481183, 0.62394083, 0.014348385];
my $params = { Cinv => $civs ,
Flux=> $max->sclr,
Centroid=>pdl [ $xcent->sclr, $ycent->sclr] } ;

```

```

# ....
    }
    return ($xcent,$ycent);
}

sub astrogoto {
    my ($im,$pass) = @_ ;
    my $h = $im-> gethdr;
    my %args = (Nord_x=> 1, Nord_y => 1, Nx => 0, Ny => 0 ,
Data => 0, RA_0 =>, DEC_0 => , PixScale => 0);

    if (defined($pass)) {
%args = (%args, %$pass);
    }
    my $pixscale = $args{PixScale};

# GIVE NAMES, REF RA DEC and guess pixel location
    my $datal = $args{Data};
    my @data = @$datal;
    my $RA_0 = $args{RA_0}; my $DEC_0 = $args{DEC_0};

# Define dimensions for the resamepld image
    my $Nx = $args{Nx};
    my $Ny = $args{Ny};

    $$h{'CRVAL1'} = str2deg($RA_0,'H');
    $$h{'CRVAL2'} = str2deg($DEC_0,'D');
    $$h{'CRPIX1'} = $Nx/2;
    $$h{'CRPIX2'} = $Ny/2;

    $$h{'CDELTA1'} = -1 * $pixscale;

```



```

    $$h{'CDELTA2'} = $pixscale;

    $$h{'CTYPE1'}='RA---TAN';
    $$h{'CTYPE2'}='DEC--TAN';

#   my $out = zeroes($im->dims);
my $out = zeroes($Nx,$Ny);
    $$h{NAXIS1} = $Nx;
    $$h{NAXIS2} = $Ny;
my ($Nx_in,$Ny_in) = $im->dims;
    $out(:,$Nx_in-1,:,$Ny_in-1) .= $im(:,,:);
    $out ->sethdr($h);
    $h_pass = $h;

#my $t_out = t_fits($out);

    my @i_in;
    my @i_out;

    my @j_in;
    my @j_out;

    foreach (@data) {
my ($i,$j) = &get_centroid($im,$_->{i_init},$_->{j_init}, {Delta => 20});
    $_->{i} = $i;
    $_->{j} = $j;

# my $in = pdl (str2deg($_->{RA},'H'), str2deg($_->{DEC},'D'));
#   my ($i_out, $j_out) = list ($in -> invert($t_out));

my $RA_OFF = str2deg($RA_0,'H') + (str2deg($_->{RA},'H') -
str2deg($RA_0,'H') ) *
cos($pi*str2deg($DEC_0,'D') / 180.);

my ($i_out, $j_out) = &Ftools::adij_linear
($out,$RA_OFF, str2deg($_->{DEC},'D'));

    $_->{i_out} = $i_out;

```

```

$_->{j_out} = $j_out;

#   print "$i $j ---> $i_out $j_out \n";
push @i_in,$i;
push @i_out,$i_out;

push @j_in,$j;
push @j_out,$j_out;

}

my @dum = @i_out;

push @dum, (0, $$h{NAXIS1});
$min_x = minimum(pdl(@dum));
$max_x = maximum(pdl(@dum));

@dum = @j_out;
push @dum, (0, $$h{NAXIS2});
$min_y = minimum(pdl(@dum));
$max_y = maximum(pdl(@dum));

my $i_in = pdl (@i_in);
my $i_out = pdl (@i_out);
wcols $i_in, $i_out;

print "i_out $i_out \n";

#   &Vtools::spec($i_in, $i_out);
#   &Vtools::spec(pdl(@j_in), pdl(@j_out));

# need to specify total range of pixel coordinates to
#pass argumens as cos(theta) in Pl(cos(theta)) -

```

```

#may not be present in the fits header of a single position vector
  my $opts = {Min_pixcoord_x => $min_x, Max_pixcoord_x =>
$max_x, Min_pixcoord_y => $min_y, Max_pixcoord_y => $max_y};
  $opts->{Nord_x} = $pass->{Nord_x};
  $opts->{Nord_y} = $pass->{Nord_y};

  my $bestfit = &TrIm::opt_2DTransform(\@data, $opts);

  foreach (@data) {
my $in = pdl ( $_->{i}, $_->{j});
my $out = pdl ( $_->{i_out}, $_->{j_out});
my $model = &TrIm::Do_Transform($out,$bestfit,
{Min_pixcoord_x => $min_x, Max_pixcoord_x => $max_x,
Min_pixcoord_y => $min_y, Max_pixcoord_y => $max_y, Dir => -1});
print "$_->{Name} in $in -> out $out ->
model $model CRPIX1 $$h{CRPIX1} CRPIX2 $$h{CRPIX2} \n";

# my $inversemodel = &Do_Transform($model,$bestfit,{Dir => -1});
# print "-> inversemodel $inversemodel \n";
  }

#   my $testin = $data[-1];
#   my $t_in_0 = pdl ( $testin->{i}, $testin->{j});
#
#   my $testout = &Do_Transform($t_in_0,$bestfit,{Dir => 1, Debug => 1});
#
#   print "testin $testin->{Name} $t_in_0 ---> testout $testout \n";
#
#   my $t_in = pdl ( $testin->{i_out}, $testin->{j_out});
#
#   $testout = &Do_Transform($t_in,$bestfit,{Dir => -1, Debug => 1});
#
#   print "testin $testin->{Name} $t_in ---> testout $testout \n";
#
#   my $testout2 = &Do_Transform($t_in,$bestfit,{Dir => 1, Debug => 1});
#
#   print "testin $testin->{Name} $t_in ---> testout2 $testout2 \n";

```

```

#   $out = &Do_Transform($im,$bestfit, {Dir => -1, Debug => 1});
#   $out ->sethdr($h);
#   wfits $out,'test1.fits';
#

#   my $test_in = pdl (10,500);
#   my $test_in = pdl (910, 430);
#   my $testout = &TrIm::Do_Transform($test_in,$bestfit,
# {Min_pixcoord_x => $min_x, Max_pixcoord_x => $max_x,
# Min_pixcoord_y => $min_y, Max_pixcoord_y =>
# $max_y, Dir => -1, Debug => 1});
#   print "testin $test_in ---> testout $testout  \n";

#   $out = &TrIm::Do_Transform($out,$bestfit,
# {Min_pixcoord_x => $min_x, Max_pixcoord_x => $max_x,
# Min_pixcoord_y => $min_y, Max_pixcoord_y => $max_y,
# Dir => +1, Debug => 1});

#   $out = float($out);
#   $out ->sethdr($h);

#   return $out;
}

```

5.2. Anexo B: mosaico.pl

```

use PDL;
use PDL::NiceSlice;
#use Vtools;
use strict;

my $ima =float(rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
/Imagenes/R/m20-1_120s_R_Dark_resampleada.fit'));
my $imb =float(rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
/Imagenes/R/m20-2_120s_R_Dark_resampleada.fit'));
my $imc =float(rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
/Imagenes/R/m20-3_120s_R_Dark_resampleada.fit'));

```

```

my $imd =float(rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
/Imagenes/R/m20-4_120s_R_Dark_resampleada.fit'));

my $im_1 = $ima->copy;
my $im_2 = $imb->copy;
my $im_3 = $imc->copy;
my $im_4 = $imd->copy;

my $badval = 0;

#$im_1(0:100) .= $badval;
#$im_2(200:) .= $badval;

my $cube = zeroes(4,$im_1->dims);

$cube((0),:,:) .= $im_1;
$cube((1),:,:) .= $im_2;
$cube((2),:,:) .= $im_3;
$cube((3),:,:) .= $im_4;

$cube = $cube->setbadif($cube == $badval);

#&Vtools::view($cube((0),:,:));

my $im = $cube -> average;
wfits $im,'mosaicoR.fit';

#&Vtools::view($im);

```

5.3. Anexo C: colores.pl

```

use PDL;
use PDL::NiceSlice;
use Vtools;
use strict;
use PDL::Graphics::PGPLOT::Window;
#use PDL::ImageRGB;

```

```

my $im_B = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
  /Imagenes/B/mosacioB.fit');
$im_B -= 136.;
$im_B /= 38.;
$im_B->where($im_B < 0) .= 0 ;
$im_B->where($im_B > 1) .= 1 ;

my $im_R = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
  /Imagenes/R/mosaicoR.fit');
$im_R -= 912.;
$im_R /= 93.;
$im_R->where($im_R < 0) .= 0 ;
$im_R->where($im_R > 1) .= 1 ;

my $im_G = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20
  /Imagenes/G/mosaicoG.fit');
$im_G -= 558.;
$im_G /= 35.;
$im_G->where($im_G < 0) .= 0 ;
$im_G->where($im_G > 1) .= 1 ;

my $B = $im_B(138:1318,747:1543);
my $R = $im_R(138:1318,747:1543);
my $G = $im_G(138:1318,747:1543);

#&Vtools::view($R);
#&Vtools::view($G);
#&Vtools::view($B);

my $cube = zeroes($R->dims,3);

$cube(:,:, (0)).= $R;
$cube(:,:, (1)).= $B;
$cube(:,:, (2)).= $G;

#my $im = $cube;

```

```

#wfits $im,'m20_color.fit';

my $win = pgwin(Dev => '/xw');
$win ->rgbi($cube);

while (!<>) {};

```

5.4. Anexo A: promedio.pl

```

use PDL;
use PDL::NiceSlice;
use Vtools;
use strict;
use PDL::Graphics::PGPLOT::Window;
#use PDL::ImageRGB;

my $im_B = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20/Imagenes/B/mosaicoB.fit');
$im_B --=136.;
$im_B /=38.;
$im_B->where($im_B < 0) .= 0 ;
$im_B->where($im_B > 1) .= 1 ;

my $im_R = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20/Imagenes/R/mosaicoR.fit');
$im_R --=912.;
$im_R /=93.;
$im_R->where($im_R < 0) .= 0 ;
$im_R->where($im_R > 1) .= 1 ;

my $im_G = rfits('/remote/canopus/sd203/Seminario/M20/Imagenes/G/mosaicoG.fit');
$im_G --=558.;
$im_G /=35.;
$im_G->where($im_G < 0) .= 0 ;
$im_G->where($im_G > 1) .= 1 ;

my $B = $im_B(138:1318,747:1543);
my $R = $im_R(138:1318,747:1543);
my $G = $im_G(138:1318,747:1543);

```

```
&Vtools::view($R);
&Vtools::view($G);
&Vtools::view($B);

my $cube = zeroes($R->dims,3);

$cube(:,:, (0)).= $R;
$cube(:,:, (1)).= $B;
$cube(:,:, (2)).= $G;

my $win = pgwin(Dev => '/xw');
$win ->rgbi($cube);

while (!<>) {};
```


Referencias

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Trifid_Nebula
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/H_II_region