

Nociones básicas en el manejo de ISHAPE

2011

Juan Pablo Caso

**Monografía preparada en el marco del seminario de posgrado
Astronomía Extragaláctica**

Introducción

ISHAPE es una tarea perteneciente al *software* Baolab, escrito en lenguaje C y diseñado de modo tal que sea ejecutable en cualquier sistema de tipo UNIX. Fue desarrollado por Soren Larsen, publicando los primeros testeos y aplicaciones del mismo en Larsen (1999). Varias de las tareas fueron desarrolladas en los primeros años de la década de 1990, a fin de facilitar el procesamiento de imágenes digitales (en formato FITS), en momentos en que las aplicaciones disponibles para computadoras que corrieran en LINUX eran escasas.

Por este motivo, varias de las tareas que componen el paquete presentan hoy en día su contrapartida en IRAF, por lo cual nos concentraremos en los pormenores de la tarea ISHAPE. La misma tiene como función estimar los parámetros estructurales de fuentes marginalmente resueltas. Según el manual de ISHAPE, se refiere de este modo a objetos cuyo tamaño intrínseco es comparable, o incluso menor, que el FWHM de la *point-spread function* (PSF). Esto se debe a que ISHAPE fue ideado para estudiar cúmulos estelares extragalácticos. Estos sistemas suelen presentar radios efectivos menores a 10 parsecs, por lo cual aún situados en los cúmulos de galaxias más cercanos, subtienden un tamaño angular de algunas décimas de segundos de arco, como máximo.

Funcionamiento del algoritmo

Para determinar los parámetros del objeto bajo estudio, ISHAPE tratará de ajustar al mismo un modelo, que será el resultante de la convolución entre la PSF de la imagen y una función analítica. A partir de estimaciones iniciales del FWHM, la elipticidad, la orientación y la posición del objeto, la tarea ajustará iterativamente los parámetros del objeto, buscando minimizar la función χ^2 de los residuos.

La tarea ISHAPE no realiza una estimación de la PSF, por lo que la misma debe ser suministrada en formato FITS por el usuario. Adicionalmente, debemos destacar que el algoritmo requiere que la misma se encuentre sobremuestreada en un factor 10, es decir, el tamaño del pixel de la imagen PSF suministrada debe ser una décima parte del tamaño del pixel en la imagen de ciencia original.

En cuanto a las funciones analíticas empleadas en la convolución, la tarea brinda la posibilidad de elegir entre una serie de perfiles, indicándose a continuación los mismos:

- Gaussiano, $f(z) = e^{-z^2}$
- Exponencial, $f(z) = e^{-z}$
- Lorentziano, $f(z) = \frac{1}{1+z^2}$
- Luggler, $f(z) = \frac{1}{(1+z^2)^{0.9}}$
- Moffat o EFF, $f(z) = \frac{1}{(1+z^2)^\beta}$ donde β es el índice de potencia.
 1. MOFFAT15/EFF15 y MOFFAT25/EFF25 son dos opciones que ajustan este perfil con índice de potencia 1.5 o 2.5, respectivamente
 2. MOFFATx/EFFx permite al usuario escoger el índice de potencia con que desea ajustar el perfil.
 3. MOFFATn/EFFn consideran al índice de potencia un parámetro libre, que debe ser ajustado junto con el resto de los parámetros del perfil. Si bien, en teoría, esto conduciría a un mejor ajuste, los autores indican que se debe ser cuidadoso al utilizar esta opción, ya que el ajuste puede tornarse inestable, y depender fuertemente de la estimación inicial del índice de potencia (que es suministrada por el usuario). En líneas generales, este ajuste requiere una relación S/N sustancialmente mejor que las otras opciones.
 4. EFFCn10/EFFCn15/EFFCn25 ajusta perfiles EFF con índices de potencia 1.0, 1.5 o 2.5, respectivamente, más la contribución de un núcleo no resuelto. En este caso, se tiene un nuevo parámetro, que será la razón entre la luminosidad de esta segunda componente, y la luminosidad del perfil EFF dentro del radio de ajuste. Para cualquiera de estas opciones, el FWHM que se obtiene como resultado de la aplicación de ISHAPE es el correspondiente a la contribución del perfil EFF únicamente.
 5. EFFCx10/EFFCx15/EFFCx25 ajusta perfiles análogos a los mencionados en el ítem anterior, siendo en este caso la razón de luminosidades indicada por el usuario.
- King, $f(z) = \begin{cases} \left(\frac{1}{\sqrt{1+z^2}} - \frac{1}{\sqrt{1+c^2}} \right)^2, & z < c \\ 0, & z \geq c \end{cases}$ donde c es el parámetro de concentración.
 1. KING5/KING15/KING30/KING100, donde el parámetro de concentración puede tomar valores 5, 15, 30 o 100, respectivamente.
 2. KINGx, permite al usuario escoger el parámetro de concentración con que desea ajustar el perfil.
 3. KINGn consideran al parámetro de concentración un parámetro libre, que debe ser ajustado junto con el resto de los parámetros del perfil. Presenta las mismas limitaciones que el perfil EFFn.

4. KINGt, ajusta un perfil de King con parámetro de concentración libre, pero radio tidal fijo, el cual es indicado por el usuario.
- Sérsic, $f(z) = e^{-z^{1/n}}$
 1. SERSICx, permite al usuario escoger el índice con que desea ajustar el perfil.
 2. SERSICn, consideran al índice un parámetro libre, que debe ser ajustado junto con el resto de los parámetros del perfil. Presenta las mismas limitaciones que el perfil EFFn.
 - Delta

Las denominaciones MOFFAT y EFF son consideradas análogas debido a que, originalmente, la incorporación de este perfil fue motivada por ser una de las opciones disponibles en el paquete DAOPHOT del software IRAF. Luego corroboraron que la expresión analítica del perfil MOFFAT es análoga a los perfiles utilizados en el trabajo de Elson et al. (1987) para ajustar el perfil de luminosidad de cúmulos estelares en la Nube Mayor de Magallanes (donde el índice de potencia, tal como ha sido definido anteriormente, se corresponde con la cantidad $\gamma/2$ en el mencionado trabajo, estimando para los objetos de su muestra que $2.2 < \gamma < 3.2$). De este modo, la denominación EFF fue añadida por ser considerada más apropiada para referirse a ella en trabajos sobre cúmulos estelares.

El perfil publicado por King (1962, 1966) ha demostrado ajustar razonablemente bien el perfil de luminosidad de cúmulos globulares en numerosos trabajos (por ej., Harris et al. 1996). El parámetro de concentración es el cociente entre el radio del núcleo y el radio tidal del objeto.

La variable z es función de la posición, el ángulo de posición α , y el FWHM de los semiejes mayor, w_x , y menor, w_y , del modelo. Su expresión general será:

$$z = C \sqrt{(c_x x)^2 + (c_y y)^2 + (c_{xy} xy)}$$

$$c_x = \sqrt{\left(\frac{\cos\alpha}{w_x}\right)^2 + \left(\frac{\sen\alpha}{w_y}\right)^2}$$

$$c_y = \sqrt{\left(\frac{\sen\alpha}{w_x}\right)^2 + \left(\frac{\cos\alpha}{w_y}\right)^2}$$

$$c_{xy} = \frac{2\cos\alpha\sen\alpha}{w_x^2} - \frac{2\cos\alpha\sen\alpha}{w_y^2}$$

El valor de la constante C dependerá del modelo con que se esté trabajando. En el manual de la tarea se pone a disposición del usuario una tabla con los valores que toma en cada caso. Más allá de las funciones listadas anteriormente, Larsen (1999) indica que el algoritmo puede ser fácilmente modificado para añadir otros perfiles, siempre que estos admitan una expresión analítica en función de z .

En la Figura 1 se superponen diversos perfiles disponibles en ISHAPE, en especial los perfiles King, muy utilizados para el ajuste de cúmulos globulares extragalácticos. Junto con estos se grafican el perfil Gaussiano, y el Moffat 25 (o EFF 25), que se encuentran entre las opciones disponibles para el ajuste de la PSF en el paquete DAOPHOTX de IRAF. Vemos que los perfiles King son más extendidos que los últimos dos (utilizados para el ajuste de objetos puntuales), presentando una pendiente más atenuada.

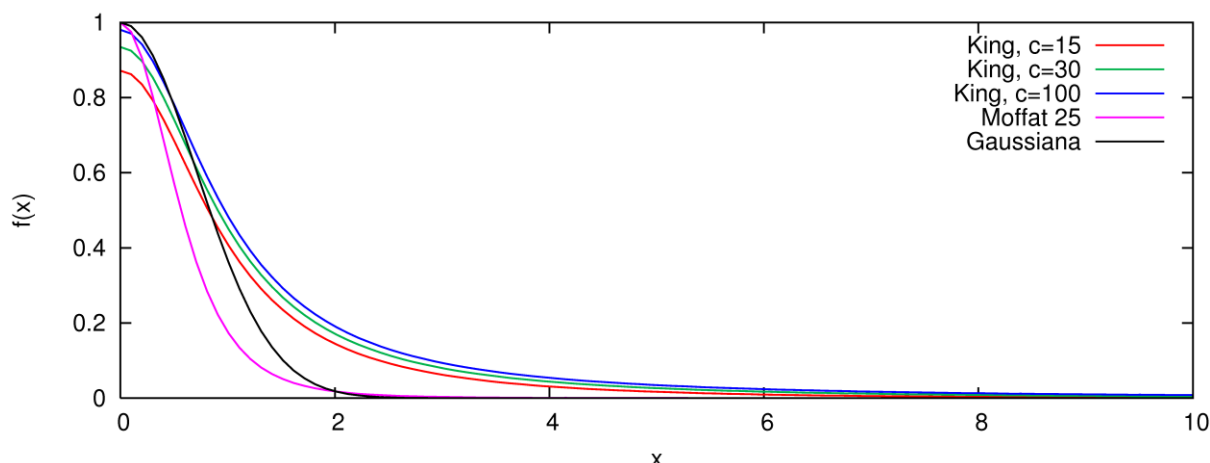


Figura 1. Selección de perfiles disponibles en ISHAPE. Los perfiles de King son claramente más extendidos que el resto.

En cada iteración realizada, como primer paso ISHAPE intentará recentrar el objeto, determinando su posición (x, y) en la imagen. Luego, ajustará los parámetros de la función escogida, y realizará la convolución del modelo con la PSF indicada por el usuario. Luego sustraerá este producto a la imagen del objeto, calculando el siguiente estimador χ^2 sobre los residuos:

$$\chi^2 = \frac{N}{N - N_{free}} \frac{1}{\sum_{i,j} W_{ij}} \sum_{i,j} W_{ij} \left[\frac{I_{ij} - M_{ij}(x, y, a, b, w_x, w_y, \alpha)}{\sigma_{ij}} \right]^2$$

En esta ecuación σ_{ij} representa la incerteza estadística que existe en el valor leído del pixel ubicado en la posición (i, j) , la cual es calculada a partir del ruido de lectura y la ganancia de la imagen (los cuales son suministrados por el usuario). N es el número de pixeles, y N_{free} el número de parámetros libres en el ajuste. Los parámetros x, y representan la posición de objeto en la imagen, a es la amplitud del perfil (en función de la intensidad máxima del objeto) y b es el nivel de cielo. Los significados de w_x, w_y, α ya fueron indicados previamente.

A cada pixel se le asignará un peso, W_{ij} , que está fundado en cuánto se desvía el valor que asume ese pixel respecto de aquellos que se encuentran a la misma distancia de la posición central. Según el autor del manual, esto permite reducir los efectos de posibles rayos cósmicos, la contribución de estrellas cercanas u otros efectos que distorsionen la imagen.

El esquema que sigue el algoritmo de ISHAPE para realizar el ajuste del modelo es el siguiente:

1. Lee la imagen que contiene al objeto en estudio.
2. Extrae el objeto ubicado en la posición indicada por el usuario, x_0, y_0 , almacenándolo en una matriz \mathbf{I} ; no se requiere que esta posición sea en extremo precisa ya que, como hemos indicado anteriormente, la misma será recalculada por el algoritmo.
3. Calcula los pesos W_{ij} .
4. Determina valores iniciales para el FWHM a lo largo de los ejes mayor y menor, y el ángulo de posición (w_x, w_y, α , respectivamente) dentro de rangos razonables.
5. Almacena el modelo generado en función de estos parámetros iniciales, con una resolución 10 veces superior a la de la imagen, en una matriz \mathbf{S} .
6. Convoluciona la matriz \mathbf{S} , con la PSF generada por el usuario, que se encuentra almacenada en una matriz \mathbf{P} , obteniendo $\mathbf{M} = \mathbf{P} \times \mathbf{S}$.
7. Desplaza la matriz \mathbf{M} en x, y , haciendo coincidir su posición con la del objeto de ciencia, la multiplica por la amplitud, y le suma el nivel de cielo. Luego modifica la escala de esta

matriz (recordemos que fue obtenida a partir de una PSF sobre muestreada), logrando que su resolución coincida con la de la imagen.

8. Determina $\chi^2_{w_x, w_y, \alpha}$, variando los parámetros x, y, a y b hasta hallar $\chi^2_{\min}(w_x, w_y, \alpha)$.
9. Vuelve a calcular los parámetros w_x, w_y, α .
10. Repite los últimos tres pasos, hasta encontrar el menor valor posible de $\chi^2_{\min}(w_x, w_y, \alpha)$.
11. La PSF es convolucionada con una función δ , y el paso 7 es repetido, lo cual se corresponde con el ajuste de una función dominada únicamente por la PSF (el caso de un objeto puntual). El valor de χ^2_{\min} obtenido es almacenado como χ^2_0 , permitiendo al usuario analizar cuán significativa es la mejora del ajuste propuesto respecto del que se obtiene en este caso.
12. Por último, almacena los parámetros resultantes en un archivo de formato ascii, y genera un archivo FITS (Figura 2) en el que se encuentran la imagen del objeto (panel inferior derecho), el modelo que resultó en el mejor ajuste (panel inferior izquierdo), un mapa de los pesos asignados a cada pixel (panel superior derecho), y la imagen de los residuos obtenidos entre el objeto original y el modelo ajustado (panel superior izquierdo).

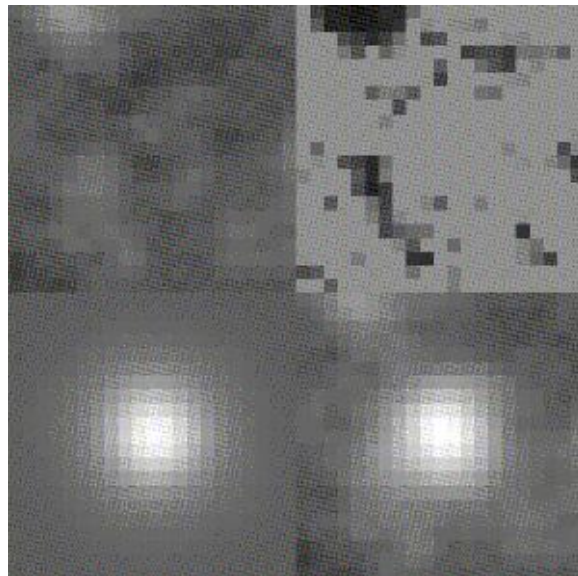


Figura 2. Archivo FITS, salida del ajuste de ISHAPE, conteniendo la imagen del objeto (panel inferior derecho), el modelo que resultó en el mejor ajuste (panel inferior izquierdo), un mapa de los pesos asignados a cada pixel (panel superior derecho), y la imagen de los residuos obtenidos entre el objeto original y el modelo ajustado (panel superior izquierdo).

Ejecución de ISHAPE

Puesto que el mismo es una tarea dentro del paquete Baolab, uno debe correr este último para acceder a ISHAPE. Para esto escribimos en una terminal *bl (+ ENTER)*, tras lo cual el prompt cambiará a `[[[]]>>`. Dentro de Baolab, uno puede teclear *help ISHAPE*, con lo cual se desplegará en la terminal una breve descripción de la tarea, el modo de llamarla, y los archivos de salida.

ISHAPE puede correrse sobre un único objeto, o en modo multiobjeto. Este último modo es útil cuando uno estudia un sistema de cúmulos estelares, y desea obtener en forma eficiente los parámetros estructurales de un número considerable de objetos. El primer modo es útil cuando uno desea realizar un ajuste menos automatizado, variando los parámetros del mismo de objeto a objeto.

Básicamente, para correr ISHAPE uno debe indicarle tres argumentos: el nombre de la imagen que contiene al objeto (ó los objetos en modo multiobjeto), la posición del mismo (el nombre del archivo que contiene la lista de posiciones en modo multiobjeto), y la imagen que contiene la PSF.

```
[[[]]>> ISHAPE imagen.fits 1042.7 983.2 imagen_psf.fits
```

```
[[[]]>> ISHAPE imagen.fits coordenadas.cat imagen_psf.fits
```

Como ha quedado claro a partir de la descripción del funcionamiento de ISHAPE, el algoritmo espera una imagen de entrada que presente el nivel de cielo original. Esto debe ser tenido en cuenta, ya que algunos procesos de reducción, como los que se aplican a las imágenes observadas con ACS (HST), resultan en imágenes donde el cielo ha sido sustraído. En estos casos, debe revisarse el header de la imagen, a fin de identificar el valor de cielo original, y reincorporarlo a la imagen previamente al uso de ISHAPE

Las posiciones, en el modo multiobjeto, se almacenarán en un archivo ASCII, en nuestro ejemplo *coordenadas.cat*, que contendrá tres columnas; las primeras dos serán las coordenadas *x*, *y*, en tanto la tercera será una identificación, que puede ser alfanumérica, y será utilizada por la tarea para distinguir los objetos en los archivos de salida. Un ejemplo de esto sería:

```
1042.7 983.2 cg1
302.5 1329.7 cg2
1192.3 1259.8 cg3
```

Recordemos que, como ya ha sido mencionado, Baolab no provee un algoritmo que permita determinar la PSF. En consecuencia, ésta debe ser suministrada por el usuario, ya sobremuestreada y almacenada en un archivo FITS. Puesto que, aun para galaxias cercanas, las dimensiones de los cúmulos estelares son tales que resolverlos desde telescopios en tierra es casi imposible, es usual que ISHAPE sea aplicado sobre imágenes obtenidas con HST. Si bien existen perfiles sintéticos para algunos de sus instrumentos, como ser el caso de ACS, la mayoría de los autores que han trabajado con este programa recomiendan obtener la PSF a partir de las estrellas presentes en el campo observado (Harris et al. 2009, Madrid et al. 2010).

Existe una serie de parámetros que utiliza la tarea para realizar el ajuste que pueden (y deben, para obtener resultados consistentes con las observaciones) ser modificados por el usuario. Para esto, uno puede tanto editar el archivo de parámetros, *baolab.par*, dentro del cual existe un apartado dedicado a los parámetros de ISHAPE, o indicar el valor que deben asumir los parámetros por línea de comando. Si es esta última la opción elegida, ISHAPE reconocerá a los primeros tres argumentos indicados como aquellos obligatorios para el desarrollo del ajuste (imagen de ciencia,

coordenadas e imagen de la PSF), en tanto el resto los interpretará como asignaciones de valor a los parámetros indicados. Es decir, la línea de comando debería tener el siguiente estilo:

```
[[[]>> ISHAPE imagen.fits coordenadas.cat imagen_psf.fits FITRAD=6 LOGFILE=result.log
```

Se describirán a continuación aquellos parámetros disponibles en el archivo baolab.par, que pueden ser de interés para el usuario. Para esto, se reprodujo un ejemplo de la sección dedicada a la tarea ISHAPE dentro del archivo baolab.par, intercalando la descripción de cada parámetro.

```
ISHAPE.FITRAD = 7
ISHAPE.CENTERRAD = 3
ISHAPE.CLEANRAD = 2
```

FITRAD indica el radio, medido en pixels, del área centrada en la posición del objeto que será tenida en cuenta para realizar el ajuste. No existe limitación en el tamaño del área considerada; sin embargo, si se escoge un radio mayor que las dimensiones originales de la PSF, la tarea imprimirá en pantalla una señal de advertencia.

Antes de iniciar el ajuste en cada iteración, ISHAPE intentará determinar la posición del objeto con la mayor precisión posible, a fin de minimizar la cantidad de desplazamientos espaciales del perfil durante el proceso de ajuste. Para esto, la posición indicada por el usuario se tomará como valor inicial, y la determinación de los valores finales se efectuará dentro de un área centrada en esa posición, de radio CENTERRAD (medido en pixeles).

CLEANRAD establece el radio, medido en pixeles, dentro del cual a todos los pixeles se le asigna peso unidad. Normalmente esto se encuentra reducido a los pixeles centrales.

```
ISHAPE.CTRESH = 2.0
ISHAPE.MAXCITER = 5
ISHAPE.CENTERMETHOD = MAX ; MAX / POLY / NONE
```

Como fue descrito anteriormente, ISHAPE asigna a cada pixel un peso, determinado a partir de la diferencia entre el valor que este toma, y el promedio de los valores del resto de los pixeles ubicados a igual distancia del centro del objeto. En caso de que esta diferencia sea superior a CTRESH veces la dispersión del resto de los pixeles (situados a igual distancia del centro), le asignará peso nulo.

MAXCITER indica el número de veces que se repetirá iterativamente el proceso de centrado.

CENTERMETHOD determina por cuál de los métodos disponibles se realizará el centrado de los objetos. Si la opción NONE es escogida, se mantendrá la posición indicada por el usuario. En caso de que se seleccione MAX, el centro se determinará como el pixel de mayor valor dentro de aquellos ubicados en el área determinada por la posición inicial y el parámetro CENTERRAD. POLY implica que el centro del objeto se estimará ajustando un polinomio a la distribución de intensidad dentro del área previamente indicada. Una vez que se halla la nueva posición del centro por alguno de los dos métodos indicados, ISHAPE volverá a calcular la posición, considerando ahora los pixeles que no se encuentren a una distancia superior a CENTERRAD de la nueva posición; de esta manera se repite el cálculo MAXCITER veces.

```
ISHAPE.SHAPE = KING30 ; GAUSS / HUBBLE / MOFFAT15 / MOFFAT25 /
; LUGGER / DELTA / KING5/15/30/100 /
; KINGn / MOFFATn / KINGx / MOFFATx /
; EFF15 / EFF25 / EFFn / EFFx / KINGt /
; EXPN / SERSICn / SERSICx
ISHAPE.INDEX = 30.0
```


El parámetro SHAPE indica la función analítica que será convolucionada con la PSF por el algoritmo. Dicha función puede elegirse de entre una lista de funciones, las cuales han sido indicadas anteriormente.

En el caso que la opción escogida en el parámetro SHAPE permita variar algún índice de la función, este deberá ser indicado en el parámetro INDEX. Para las opciones KINGx, MOFFATx o SERSICx, el valor de INDEX se usará para definir la función. En el caso de KINGn, MOFFATn o SERSICn, se lo considerará como el valor inicial para realizar el ajuste. Cuando se utilice KINGt, el algoritmo leerá el parámetro INDEX como el radio tidal que uno le impone al objeto.

```
ISHAPE.FWHMMAX = 2.
```

FWHMMAX es una cota superior para el valor que puede asumir el FWHM del semieje mayor. Al modificar este valor, también se modificarán las condiciones iniciales del ajuste iterativo. Puesto que ISHAPE tiene dificultades para ajustar objetos difusos, en caso de que el algoritmo no llegue a la convergencia, variar este parámetro (indicar valores mayores) puede ser una solución.

```
ISHAPE.AMPLTOL = 1.0E-5  
ISHAPE.FTOL = 1.0E-8  
ISHAPE.ITMAX = 200  
ISHAPE.ELLIPTICAL = YES  
ISHAPE.USEDK = YES  
ISHAPE.DKERNEL = /home/jpceda/baolab-0.94.1b/dkernel.fits
```

Como ya hemos mencionado, existen perfiles sintéticos que generan la PSF de las observaciones del HST, como es el caso del paquete TinyTim (Krist 1995). Sin embargo, la PSF generada por dicho paquete no considera el efecto que podría causar la difusión de carga entre pixeles vecinos. Por dicho motivo, en caso de utilizar una PSF generada con el mencionado algoritmo, el parámetro USEDK debe estar indicado como YES, para que ISHAPE sí tenga en cuenta este fenómeno.

El parámetro DKERNEL debe contener la ubicación del archivo que se utilizará para corregir por difusión de cargas.

```
ISHAPE.EPADU = 3.1  
ISHAPE.RON = 12.03
```

Los parámetros EPADU y RON se refieren a la ganancia del detector (factor de conversión electrones/ADUs) y el ruido de lectura, respectivamente. Es de suma importancia que estos valores sean correctos, debido a que el algoritmo los utiliza para estimar el χ^2 del ajuste, lo cual influirá por ende en los errores que sean estimados por ISHAPE. Se debe tener cuidado al trabajar con imágenes de ACS, puesto que las imágenes DRZ, resultantes del proceso de reducción, se encuentran en unidades de ADUs por segundo. Puesto que los tiempos de integración son considerables, no tener en cuenta esto se reflejará en los resultados, y podrá notarse claramente al analizar la relación S/N de los objetos ajustados.

```
ISHAPE.EFTOL = 5.0E-3  
ISHAPE.FWHMTOL = 0.05  
ISHAPE.RESIMAGE = DEFAULT  
ISHAPE.REPLACE = NO
```

RESIMAGE contiene el nombre de la imagen FITS que genera ISHAPE (Figura 2). La opción DEFAULT es útil cuando se trabaja con un número considerable de objetos, puesto que en forma

automática asignará a cada archivo de salida el nombre `ishape-res-***.fits`, donde con `***` hacemos referencia a la tercer columna del archivo `ascii` donde se listan los objetos a ajustar (`cg1`, `cg2` y `cg3`, para el ejemplo dado en la página 6).

Si el parámetro `REPLACE` está marcado como `YES`, el programa removerá de la imagen original el objeto, utilizando para esto el ajuste obtenido.

```
ISHAPE.KEEPLOG = YES
ISHAPE.LOGFILE = ishape30.log
ISHAPE.LOGMODE = 1
```

El parámetro `KEEPLOG` indica si uno desea que `ISHAPE` escriba en el archivo `ascii` de salida datos sobre el proceso de ajuste. `LOGFILE` indica el nombre del archivo donde se volcarán los resultados, en tanto con `LOGMODE` el usuario podrá elegir, de acuerdo a la opción que indique, el grado de detalle de la información que será almacenada.

```
@@F j6m603011_mod.fits 88 546 psf_ishape.fits KING30 0.53 0.46 -69.8 5.63 60.47 8.0e+01 385.3 10
@@E 0.008 -0.001 0.020 -0.007 0.2 -1.4 10
Residuals saved to ishape-res-10.fits
@@F j6m603011_mod.fits 454 617 psf_ishape.fits KING30 0.41 0.51 -67.5 3.50 18.13 3.8e+01 246.4 9
@@E 0.003 -0.008 0.015 -0.005 0.8 -1.8 9
Residuals saved to ishape-res-9.fits
@@F j6m603011_mod.fits 468 868 psf_ishape.fits KING30 0.30 0.13 -74.4 12.44 24.32 8.3e+01 388.7 8
@@E 0.102 -0.012 0.005 -0.113 2.6 -0.2 8
Residuals saved to ishape-res-8.fits
```

Figura 3. Salida de `ISHAPE`, en el caso en que el parámetro `LOGMODE=1`, para tres objetos. Tan solo unos pocos parámetros y sus errores son almacenados.

En la Figura 3 se muestra el conjunto de parámetros almacenados en el archivo `logfile`, cuando se ha seleccionado `LOGMODE=1`; por cada objeto serán almacenadas dos líneas, la primera conteniendo los parámetros de salida, y la segunda sus errores. En ambas, la información está precedida por `@@F` o `@@E`, según sea el caso, a los efectos de que sean fácilmente identificables en un archivo que contenga ajustes de muchas fuentes, con comandos como `"grep"`.

En la primer línea se indican, en orden: la imagen de entrada, las coordenadas (x, y) del objeto en cuestión, el archivo que contiene la PSF, el perfil analítico propuesto, el FWHM del semieje mayor, el cociente de semiejes, el ángulo de inclinación, el estimador chi cuadrado del ajuste ($\chi^2_{min}(w_x, w_y, \alpha)$), el estimador chi cuadrado si se utiliza como perfil analítico una función delta (χ^2_0), una estimación del flujo (aproximada, el autor no recomienda usarla con fines fotométricos), la relación S/N para el objeto, y el índice que lo identifica en la lista de objetos brindada por el usuario. La segunda línea indica cotas superiores e inferiores de los errores para el FWHM del semieje mayor, el cociente de semiejes y el ángulo de inclinación.

La Figura 4 muestra el conjunto de parámetros almacenados en el archivo `logfile`, cuando se ha seleccionado `LOGMODE=2`; aparte de los resultados que se indicaban cuando `LOGMODE=1`, indica las cotas, mínimas y máximas, de los parámetros de la función, así como el conjunto de definiciones que se encuentran en el archivo `baolab.par`.

```

User input:
  Input image = j6m603011_mod.fits
  Coordinates = ishape_list3011
  PSF file    = psf_ishape.fits

Parameter settings:
  FITRAD = 5
  CENTERRAD = 2.0
  MAXCITER = 5
  CENTERMETHOD = MAX
  CTRESH = 2.00
  CLEANRAD = 2.00
  SHAPE = KING30
  INDEX = 30.00
  ELLIPTICAL = YES
  EPADU = 2280.00
  USEDK = YES
  DKERNEL = /home/jpceda/baolab-0.94.1b/dkernel.fits
  RON = 8.00 e-
  FWHMMAX = 2.0
  FTOL = 1.000000e-08
  EFTOL = 5.000000e-03
  ITMAX = 200
  FWHMTOL = 0.05
  RESIMAGE= DEFAULT
  REPLACE = NO
  KEEPPLOG = YES
  LOGFILE = ishape30.log
  CALCERR = YES
  CORRERR = YES

Got object at position x,y=87,545, adjusted to 87,545
Best fit (for SHAPE=KING30 and 114 deg. of freedom):
  FWHM, Major axis = 0.53
  Minor/major      = 0.45
  Pos. angle       = -70 deg.
  Flux (ADU)       = 7.895e+01
  S/N              = 392.0
  Chi_sqr_nu       = 6.90
  Chi_sqr_nu(0)    = 77.76
-----
1-sigma confidence intervals:
  FWHM, major axis: Min= 0.527 Max= 0.544
  FWHM, minor axis: Min= 0.229 Max= 0.249 (fit= 0.239 )
  Minor/Major      : Min= 0.429 Max= 0.474 (derived)
  PA               : Min= -70.8 Max= -69.7
=====
@#F <image> <x> <y> <psf> <SHAPE> <FWHM> <RATIO> <PA> <CHISQR> <CHISQR0> <FLUX> <S/N> [INDEX]
@#F j6m603011_mod.fits 88 546 psf_ishape.fits KING30 0.53 0.45 -70.4 6.90 77.76 7.9e+01 392.0 10
@#E <+/-FWHM> <+/-RATIO> <+/-PA> [+/-INDEX]
@#E 0.018 -0.000 0.019 -0.025 0.7 -0.4 10
Residuals saved to ishape-res-10.fits

```

Figura 4. Salida de ISHAPE, en el caso en que el parámetro LOGMODE=2; a diferencia del caso anterior, para cada objeto listará también el listado de parámetros almacenados en el archivo baolab.par

Si se elige LOGMODE=3, al esquema indicado en el caso anterior, se añaden todos los resultados parciales del proceso iterativo de ajuste. En la Figura 5 mostramos una porción de la salida obtenida con ISHAPE. El recuadro rojo indica las coordenadas del perfil ajustado, relativas a las coordenadas del objeto que se determinaron al iniciar el ajuste (ver esquema descripto anteriormente). De esta forma se observa como el algoritmo varía la posición de la matriz que contiene el ajuste, y la repercusión que esto tiene sobre el estimador chi cuadrado (recuadro azul), lo cual se corresponde con el inciso 8 en el esquema antes mencionado.

FWHM=0.51,2.00, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.17,-0.39	chi_sqr = 456.24
FWHM=0.51,1.33, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.43	chi_sqr = 257.40
FWHM=0.51,1.33, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.43	chi_sqr = 257.40
FWHM=0.51,1.33, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.43	chi_sqr = 257.40
FWHM=0.51,1.00, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.47	chi_sqr = 150.42
FWHM=0.51,0.80, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.47	chi_sqr = 91.65
FWHM=0.51,0.92, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.19,-0.47	chi_sqr = 126.93
FWHM=0.51,0.77, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.17,-0.44	chi_sqr = 82.56
FWHM=0.51,0.63, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.17,-0.44	chi_sqr = 50.54
FWHM=0.51,0.54, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.17,-0.44	chi_sqr = 32.66
FWHM=0.51,0.41, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.27,-0.44	chi_sqr = 16.18
FWHM=0.51,0.41, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.27,-0.44	chi_sqr = 16.18
FWHM=0.51,0.33, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.27,-0.44	chi_sqr = 9.62
FWHM=0.51,0.26, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.21,-0.43	chi_sqr = 7.21
FWHM=0.51,0.24, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.21,-0.43	chi_sqr = 7.07
FWHM=0.51,0.18, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.56
FWHM=0.51,0.22, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.11
FWHM=0.51,0.16, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.88
FWHM=0.51,0.19, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.34
FWHM=0.51,0.30, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.27,-0.44	chi_sqr = 8.24
FWHM=0.51,0.21, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.13
FWHM=0.51,0.19, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.32
FWHM=0.51,0.24, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.21,-0.43	chi_sqr = 7.07
FWHM=0.51,0.25, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.21,-0.43	chi_sqr = 7.15
FWHM=0.51,0.22, PANGLE=-1.23..	x,y=-0.22,-0.44	chi_sqr = 7.08
Chi-sqr-red = 7.44 7.08 6.90		

Figura 5. Salida de ISHAPE, en el caso en que el parámetro LOGMODE=3; en este caso almacena además, para cada objeto, todos los resultados parciales obtenidos del proceso de ajuste.

ISHAPE.CALCERR = YES

ISHAPE.CORRERR = YES

CALCERR le indica al algoritmo si el usuario desea que sean estimados los errores de los parámetros estructurales del objeto. De ser así, estas estimaciones serán almacenadas en el archivo de salida, a continuación de los parámetros del objeto, y precedidos por @@E. Si bien, en general, es de suma utilidad disponer de una estimación de los errores, cuando se aplique ISHAPE a un gran número de objetos deberemos tener en cuenta que esto aumenta considerablemente el tiempo de ejecución de la tarea.

La estimación de los errores puede realizarse teniendo en cuenta la correlación entre los parámetros ajustados; de no ser así, los errores obtenidos serán una estimación, en cierto modo, optimista de los reales, pero presenta la ventaja de implicar un tiempo de procesamiento mucho menor. La elección del método a aplicar la puede realizar el usuario a partir de CORRERR. El manual indica que al trabajar con las opciones KINGn o MOFFATn/EFFn, las estimaciones del FWHM y el índice se encuentran fuertemente correlacionadas, con lo cual indicar YES en el parámetro mencionado es recomendable.

Análisis de dos imágenes de ACS

Se eligieron dos imágenes observadas con la cámara ACS del Hubble Space Telescope, en el filtro F814W, para trabajar con ISHAPE y familiarizarse con su funcionamiento. Dicho instrumento tiene una resolución de 0.05"/pixel, abarcando un campo de 202"x202".

Ambas imágenes contienen a las galaxias elípticas masivas NGC3258 y NGC3268, las galaxias dominantes del cúmulo de Antlia. Por tratarse de imágenes de ACS, aun a la distancia del cúmulo de Antlia (aproximadamente 35 Mpc), objetos con radios efectivos de unos pocos parsecs (como ser los cúmulos globulares, CGs de aquí en más) estarán parcialmente resueltos. Una característica interesante del campo que contiene a NGC 3258 es que se encuentran disponibles mediciones de velocidades radiales de un pequeño número de objetos localizados en el campo. Esto permitirá analizar los resultados de ISHAPE conociendo la naturaleza de los objetos, y de esta forma evaluar la confiabilidad del programa.

Como ya ha sido mencionado, para utilizar el algoritmo ISHAPE debe derivarse previamente la PSF que describe a los objetos puntuales en la imagen. Para lograr esto, en primer lugar fue ajustado el perfil de luminosidad de ambas galaxias utilizando la tarea ELLIPSE, del paquete STSDAS de IRAF. Una vez conseguido esto, mediante la tarea BMODEL se generó una imagen que reprodujera el brillo de cada galaxia, la cual fue sustraída posteriormente a la imagen original. En este momento se sumó a la imagen el nivel de cielo sustraído durante el procesamiento de las imágenes. Esto obedece a dos cuestiones; en primer lugar, la reducción estándar de estas imágenes suele sobreestimar el valor de cielo; por otro lado, ISHAPE supone que la imagen que uno le ha suministrado no tiene sustraído el nivel de cielo, lo cual podría repercutir en la fiabilidad de la estimación de los parámetros (y particularmente de sus errores). Si bien realizar esto con rigurosidad implicaría adicionar a cada imagen individual el valor de cielo que le fue restado antes de combinarlas, en este caso fue calculado el promedio de los niveles de cielo de las cuatro imágenes, y este valor fue sumado a la imagen combinada.

Mediante el software SExtractor (Bertin & Arnouts 1996) se identificaron todas las fuentes presentes en cada imagen, y una primera selección fue realizada a partir del índice de estelaridad, a fin de eliminar de nuestro listado de objetos las galaxias de fondo.

Luego se realizó la fotometría de abertura de los objetos resultantes corriendo la tarea PHOT, del paquete DAOPHOTX de IRAF. Utilizando la tarea PSTSELECT, se escogieron poco más de una docena de estrellas distribuidas en todo el campo, que fueron la entrada de la tarea PSF. Finalmente se obtuvo el archivo FITS de la PSF sobremuestreada, utilizando la tarea SEEPSF. Para esto, se debe indicar en el editor de parámetros de la tarea que las dimensiones de la nueva imagen serán tales que:

$$\text{Dim} = 1 + 10 \times \left[\frac{\text{dim}(\text{imagen.psf.1}) - 1}{2} - 1 \right]$$

Siendo imagen.psf.1 el archivo resultante de la tarea PSF.

A continuación (Figura 6), se muestra el archivo de salida FITS para un objeto en particular, que resulta interesante para corroborar el funcionamiento de ISHAPE. Esta imagen fue construida a partir de la composición de dos reproducciones del archivo original, realizadas con distintos niveles de corte. Esto fue realizado a fin de poder apreciar tanto el mapa de pesos (que toma valores entre 0 y 1000), y el resto de los paneles, cuyos rangos de valores son muy inferiores. A diferencia del ejemplo reproducido en el manual, y que nosotros introdujimos en esta monografía como Figura 2, el mapa de pesos se ubica en el panel inferior derecho. Allí vemos que, en su mitad superior, se observan un conjunto de pixeles negros, a los cuales la tarea les ha asignado valor nulo. Si observamos el residuo del ajuste (panel inferior izquierdo), veremos que los pixeles correspondientes a la región análoga indicarían valores residuales mayores a los de pixeles adyacentes. Esto implicaría que ISHAPE reconoció que en esa zona existía una mayor intensidad

comparada con los pixeles ubicados a la misma distancia del centro de la imagen. A esto se debe lo observado en el mapa de pesos, y constituye un claro ejemplo de cómo ISHAPE estudia los objetos.

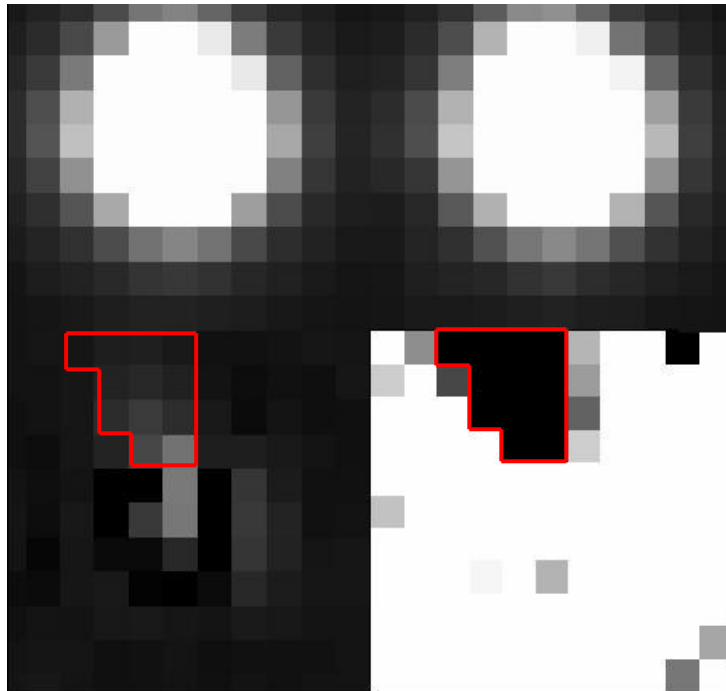


Figura 6. Salida de ISHAPE para uno de los objetos de nuestra muestra. En el mapa de pesos (panel inferior derecho) se observa la valoración de los pixeles que realizó ISHAPE, y como esto se corresponde con los residuos obtenidos (panel inferior izquierdo).

Comentaremos, en principio, los resultados obtenidos sobre el campo que contiene a NGC 3258. A continuación (Figura 7) se reproduce un extracto del archivo ASCII que genera ISHAPE (logfile) para almacenar los parámetros estructurales de los objetos ajustados.

Los tres primeros objetos ajustados habían sido confirmados previamente como miembros del cúmulo mediante la medición de sus velocidades radiales. Las columnas resaltadas por el recuadro rojo muestran los estimadores chi cuadrado obtenidos para el ajuste de la convolución entre la PSF con la función seleccionada (King30 en este caso), y con una delta (el ajuste que debería funcionar para un objeto puntual), $\chi^2_{\min}(w_x, w_y, \alpha)$ y χ^2_0 , respectivamente. Como es de esperar para las observaciones de ACS, estos objetos se encuentran marginalmente resueltos, y el ajuste del perfil seleccionado resulta en una estimación de chi cuadrado muy inferior que la obtenida con una función delta.

También se disponen estimaciones de velocidades radiales para los dos objetos siguientes, los cuales fueron identificados como estrellas de campo de la Vía Láctea. En este caso vemos que tanto $\chi^2_{\min}(w_x, w_y, \alpha)$, como χ^2_0 , tienen idénticos valores. Resultados similares se han obtenido en el ajuste de perfiles de King con distintos índices de concentración, demostrando que estos no representan una mejora respecto de la utilización de una función delta. Aun así, debemos destacar que los valores obtenidos son elevados, indicando que incluso la convolución entre la PSF y la función delta no representa un buen ajuste para estos objetos. No hemos encontrado en el manual de ISHAPE, ni en la publicación donde se presenta el algoritmo (Larsen 1999) una explicación satisfactoria para esto.

```

@@F j6m603011_mod.fits 88 546 psf2_603011_fin.fits KING30 0.55 0.60 -64.6 7.97 108.80 8.0e+01 446.8 10
@@E 0.004 -0.002 0.002 -0.006 1.5 -0.2 10
Residuals saved to ishape-res-10.fits
@@F j6m603011_mod.fits 1502 943 psf2_603011_fin.fits KING30 0.80 0.87 -8.4 4.20 199.78 1.0e+02 506.2 7
@@E 0.010 -0.008 0.017 -0.011 1.5 -1.5 7
Residuals saved to ishape-res-7.fits
@@F j6m603011_mod.fits 2882 3665 psf2_603011_fin.fits KING30 0.39 0.86 -48.2 7.76 68.10 7.6e+01 438.3 5
@@E 0.000 -0.004 0.014 -0.005 3.6 -2.0 5
Residuals saved to ishape-res-5.fits
@@F j6m603011_mod.fits 615 3614 psf2_603011_fin.fits KING30 0.01 0.90 -59.1 30.40 30.40 5.3e+01 366.1 101
@@E 0.519 -0.010 29.487 -0.902 30.0 -90.0 101
Residuals saved to ishape-res-101.fits
@@F j6m603011_mod.fits 2662 3925 psf2_603011_fin.fits KING30 0.01 0.92 -64.3 145.48 145.48 1.0e+02 508.4 102
@@E 0.207 -0.006 28.615 -0.920 30.0 -90.0 102
Residuals saved to ishape-res-102.fits
@@F j6m603011_mod.fits 1129 1948 psf2_603011_fin.fits KING30 0.42 0.72 88.8 3.18 36.16 4.5e+01 324.9 206
@@E 0.003 -0.012 0.028 -0.015 0.7 -3.1 206
Residuals saved to ishape-res-206.fits
@@F j6m603011_mod.fits 1808 1404 psf2_603011_fin.fits KING30 0.30 0.83 -82.8 9.17 46.85 8.2e+01 455.2 203
@@E 0.000 -0.000 0.003 -0.005 7.5 -1.0 203
Residuals saved to ishape-res-203.fits
@@F j6m603011_mod.fits 2135 3326 psf2_603011_fin.fits KING30 0.01 0.94 -46.7 36.80 36.80 5.0e+01 355.7 212
@@E 0.307 -0.006 65.140 -0.942 30.0 -90.0 212
Residuals saved to ishape-res-212.fits
@@F j6m603011_mod.fits 2255 1743 psf2_603011_fin.fits KING30 0.05 0.90 14.1 10.20 10.27 3.9e+01 306.4 205
@@E 0.370 -0.006 1.095 -0.900 17.6 -27.4 205
Residuals saved to ishape-res-205.fits

```

Figura 7. Extracto de la salida de ISHAPE (archivo logfile) para una serie de objetos estudiados. En rojo se indican objetos miembros del cúmulo estudiado, en azul estrellas de campo, y colores naranja y verde se utilizan para candidatos (sin estimación de velocidades radiales). Los recuadros indican las estimaciones de $\chi^2_{min}(w_x, w_y, \alpha)$, χ^2_0 y FWHM (este último, solo para los colores naranja y verde).

Los últimos cuatro objetos son candidatos, escogidos por presentar colores y magnitudes similares a los de objetos confirmados, tanto en este sistema como en otros descriptos en la literatura. En dos de los casos (recuadros naranja), las estimaciones de FWHM del semieje mayor indicarían que son objetos marginalmente resueltos, mientras que los restantes objetos serían puntuales. La relación entre los valores de $\chi^2_{min}(w_x, w_y, \alpha)$ y χ^2_0 estimados son similares a los resultados de miembros y estrellas de campo, respectivamente.

Como hemos mencionado anteriormente, los objetos bajo estudio fueron escogidos en función de su color y magnitud, considerando los rangos establecidos en la literatura para este tipo de objetos (Hilker 2009). De este modo, la muestra estará compuesta por objetos cuyas velocidades radiales han podido ser estimadas, y otros que permanecen en la categoría de candidatos. Considerando los veintitrés objetos que conforman la muestra, seis son miembros confirmados del cúmulo, dos son estrellas de campo de la Vía Láctea, y de los quince restantes se desconoce su naturaleza.

En la Figura 8 se grafica el FWHM, en pixeles, del semieje mayor de los objetos, en función de su magnitud aparente visual. A partir de los resultados de ISHAPE se observa que las dos estrellas de campo tienen un FWHM cercano a cero, en tanto los seis objetos confirmados como miembro se encuentran claramente alejados de éstos. Larsen (1999), a partir del análisis de muestras sintéticas, estima que ISHAPE es fiable en la detección de objetos marginalmente extendidos, siempre que el FWHM de estos alcance al menos la décima parte del FWHM de la PSF. En la figura, este límite es indicado por la línea continua negra, siendo que $FWHM_{PSF} \approx 1.65$; vemos que tan solo uno de los objetos miembro presenta un FWHM comparable con dicho umbral, en tanto las estrellas de campo se hallan por debajo de él. Si consideramos este valor como criterio de selección, podríamos señalar que nueve de los candidatos serían objetos extendidos, cinco de los otros seis tienen grandes posibilidades de ser estrellas de campo, y es difícil conjeturar en el caso del restante, que presenta un $FWHM \approx 0.10$

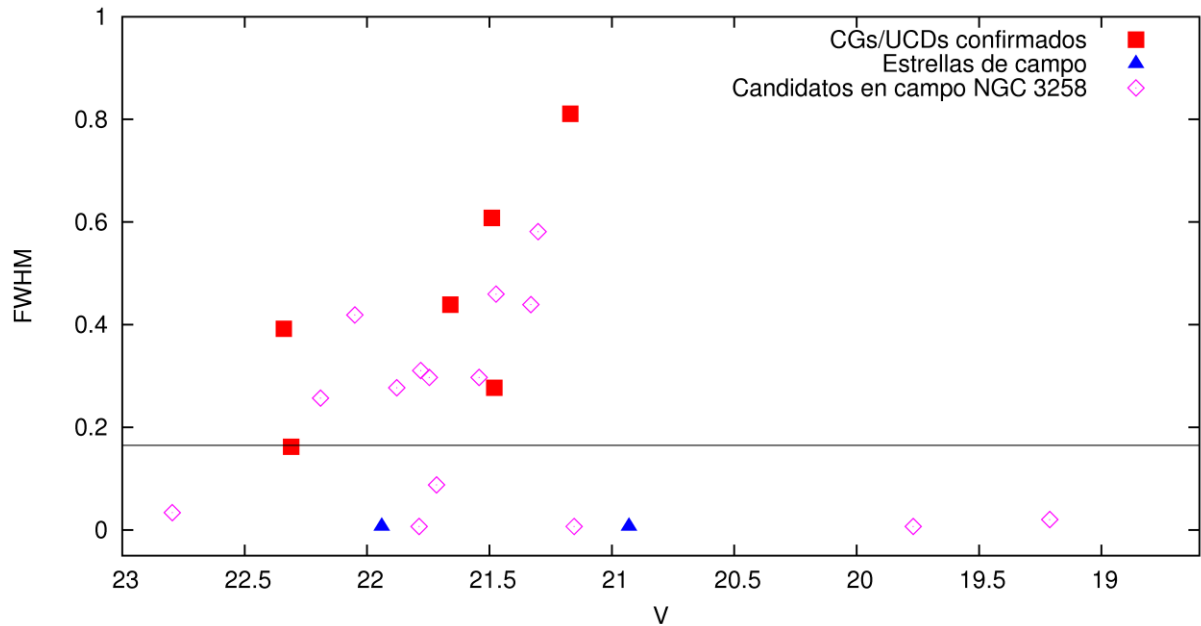


Figura 8. FWHM (en pixeles) en función de la magnitud visual para todos los objetos en el campo de NGC 3258, diferenciados según la confirmación o no de su membresía al cúmulo. La línea continua indica el límite de confiabilidad de ISHAPE para identificar objetos extendidos (Larsen 1999).

Disponiendo del FWHM del semieje mayor de los objetos y sus cocientes de semiejes, es posible determinar los radios efectivos (R_{eff}). Si bien en el caso de los perfiles de King esta conversión no es algo trivial, en el manual de ISHAPE se indican los distintos factores de conversión que deben ser utilizados para obtener el R_{eff} de un objeto circular, a partir del FWHM del perfil de King ajustado (discriminados por su índice de concentración).

Larsen (1999), a partir de los testeos realizados al algoritmo, indica que ISHAPE es fiable en objetos extendidos hasta límites en que el FWHM de los objetos sea del orden de la décima parte del FWHM de la PSF de los objetos puntuales. Sin embargo, consideramos que los objetos hallados en esta muestra no se encuentran suficientemente resueltos como para estimar confiablemente elipticidades. Misma consideración realizó Harris (2009) al aplicar ISHAPE a estas imágenes. Por este motivo, para objetos ajustados con el perfil King 30, nos limitaremos a determinar una estimación del R_{eff} mediante la expresión:

$$R_{eff} \approx 1.48 \cdot \text{FWHM}$$

En lugar de utilizar la expresión apropiada para objetos no circulares

$$R_{eff} \approx 1.48 \cdot \text{FWHM} \cdot \sqrt{e}, \text{ donde } e \text{ representa el cociente de semiejes.}$$

Teniendo esto en cuenta, en la Figura 9 se pueden observar los R_{eff} obtenidos con el perfil King30 para los miembros del cúmulo confirmados mediante velocidades radiales, en función de su magnitud absoluta en el visual (obtenida a partir de observaciones realizadas con otro instrumento). Conjuntamente, se muestran las estimaciones de radios efectivos realizadas por otros autores para objetos en el mismo rango de luminosidad, ubicados en los cúmulos de Fornax (Mieske et al. 2008), Virgo (Evstigneeva et al. 2008) y Centauro (Mieske et al. 2007). Las estimaciones para estos objetos fueron obtenidas utilizando el *software* GALFIT, por lo cual el buen acuerdo alcanzado con nuestras estimaciones puede ser utilizado para atestiguar la confiabilidad de ISHAPE.

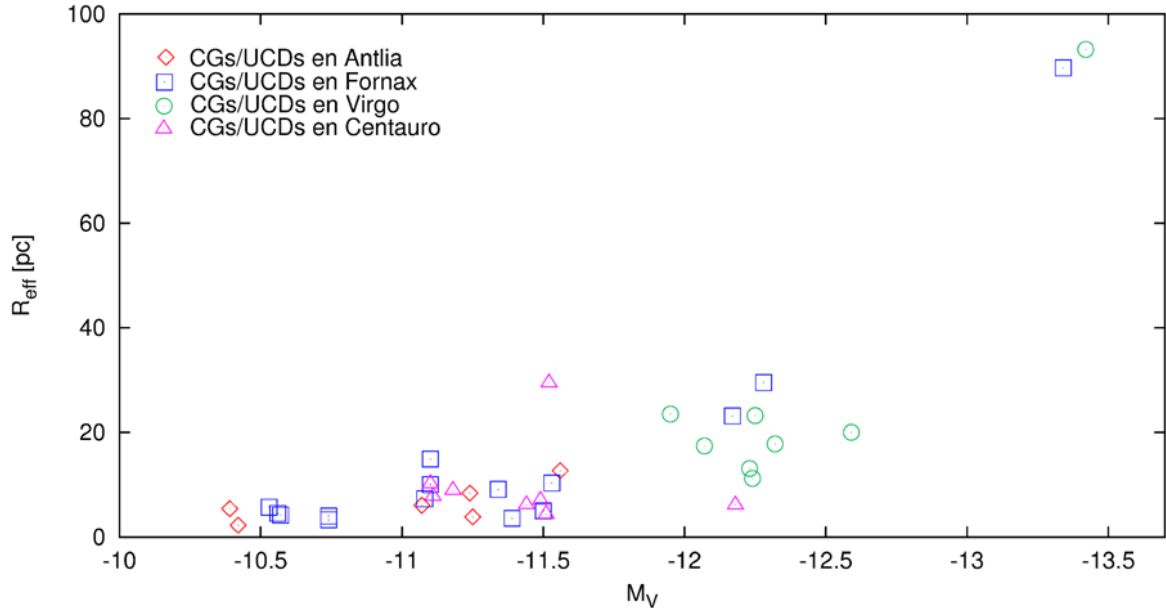


Figura 9. R_{eff} en función de la magnitud absoluta para los objetos medidos en Antlia (utilizando ISHAPE), y aquellos estudiados por otros autores en Fornax (Mieske et al. 2008), Virgo (Evstigneeva et al. 2008) y Centauro (Mieske et al. 2007), todos ellos estimados mediante GALFIT.

En el campo que contiene a NGC 3268, en cambio, no se dispone de objetos con mediciones de velocidades radiales. En este caso, la construcción de la PSF presentó mayores complicaciones, debido a la escasez de estrellas que pudieran utilizarse como modelo (es decir, que una vez obtenido el perfil, los residuos fuesen aceptables). En un primer momento, una errónea selección de las estrellas a utilizar resultó en una PSF que presentaba un $FWHM \approx 2.2$, un valor considerablemente superior al obtenido para el otro campo. Una nueva inspección del campo, permitió conformar una nueva lista de objetos, que dieron como resultado una PSF con un $FWHM \approx 1.7$.

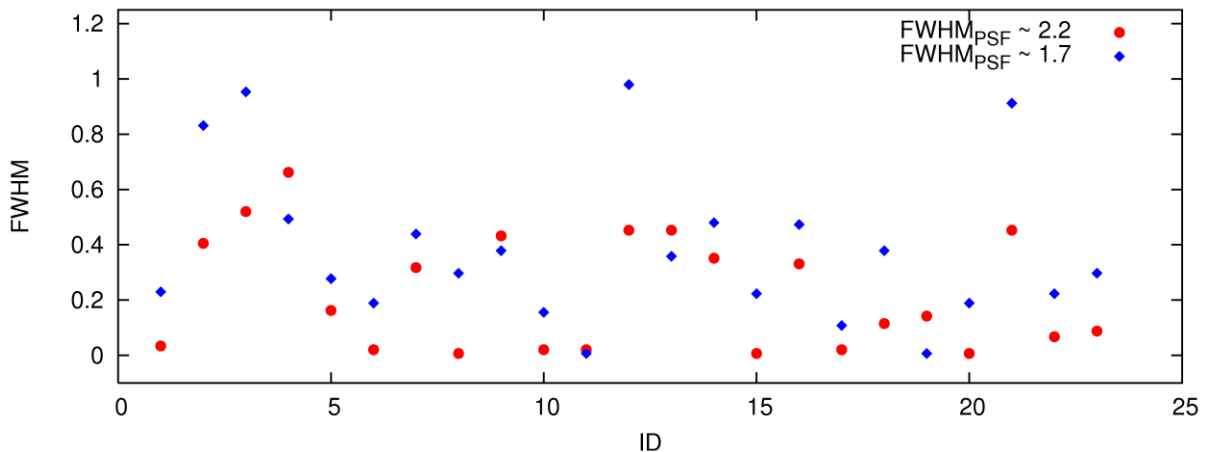


Figura 10. FWHM para los veintitrés candidatos (escogidos en función de sus colores y magnitudes) ubicados en el campo que contiene a NGC 3268. La variación de los valores obtenidos conforme a si se utiliza una PSF con $FWHM \approx 1.7$ o $FWHM \approx 2.2$, es indicativa de la sensibilidad de ISHAPE a este factor.

Esto abrió la posibilidad de analizar cuán sensible es el ajuste que realiza ISHAPE a una variación en la PSF. Por dicho motivo se corrió el algoritmo, proponiendo un perfil King30, e idénticos parámetros, y utilizando alternativamente las dos PSFs estimadas. Los valores de FWHM del semieje mayor se muestran en la Figura 10 para ambos ajustes. Por una mera inspección visual puede constatar que los valores obtenidos al emplear la PSF_{1.7} son, salvo excepciones, superiores que aquellos que resultan de la PSF_{2.2}. Si consideramos los respectivos límites para la detección de

objetos extendidos, dados por la décima parte del FWHM_{PSF} , trece objetos quedarían por debajo de éste para la $\text{PSF}_{2.2}$, y cuatro para la $\text{PSF}_{1.7}$.

La Figura 11 expone la diferencia entre los valores de FWHM obtenidos con ambas PSFs, para cada objeto de la muestra. Tan solo cinco de los objetos presentan $\text{FWHM}_{2.2} > \text{FWHM}_{1.7}$, encontrando que el valor promedio de $\text{FWHM}_{1.7} - \text{FWHM}_{2.2}$ es de 0.18, con un máximo de 0.53, y un mínimo de -0.17.

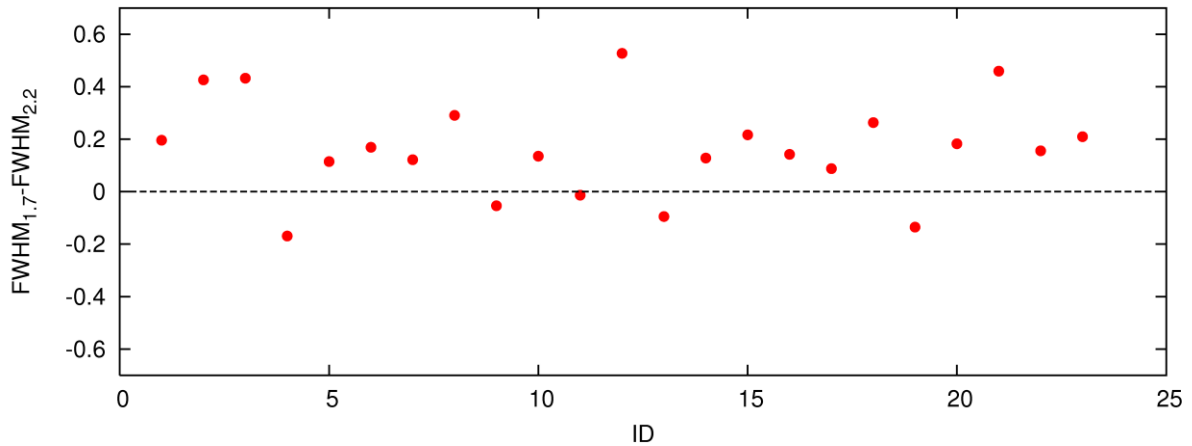


Figura 11. Diferencia en FWHM para los veintitrés candidatos (escogidos en función de sus colores y magnitudes) ubicados en el campo que contiene a NGC 3268.

Estos resultados nos llevan a remarcar el extremo cuidado que debe tenerse al modelar la PSF, considerando la influencia que esta tiene al derivar los parámetros estructurales de objetos marginalmente resueltos como estos, en los que el FWHM del perfil analítico es una fracción del que presenta la PSF.

Resultados de otros autores

Larsen (1999) ha realizado numerosos testeos de ISHAPE, midiendo los parámetros estructurales de objetos sintéticos añadidos a imágenes de ciencia, y estimó que los parámetros de salida de la tarea (principalmente FWHM y cociente de semiejes) son derivados con precisión aceptable para aquellos objetos que presenten $S/N > 50$.

Quizás podríamos considerar una falencia de ISHAPE la imposibilidad de realizar ajustes con más de una componente. Si bien uno podría considerarlo innecesario para objetos marginalmente resueltos, existen casos en la literatura de objetos con radios efectivos del orden de $R_{eff} \approx 100 pc$, en los cuales se ha detectado mediante fotometría del HST una tenue envoltura, hallándose que un perfil de dos componentes resulta en un mejor ajuste.

Entre estos podríamos indicar el caso del objeto denominado UCD3, perteneciente al cúmulo de Fornax, para el cual Drinkwater et al. (2000) estimaron en forma aproximada $HWHM \sim 80 pc$. Posteriormente, Mieske et al. (2008) utilizaron el algoritmo GALFIT (Peng et al. 2002) para estimar radios efectivos en una muestra de objetos compactos brillantes del cúmulo de Fornax, entre los que se encontraba UCD3. Este es el único objeto para el que no fue posible obtener residuos aceptables con perfiles simples, recurriendo a uno compuesto por un núcleo (perfil King) más un halo (perfil Sérsic, Sérsic 1968), que resultó en $R_{eff} \approx 89.7 pc$. Idéntico resultado obtuvieron Evstigneeva et al. (2007) al estudiar este objeto. En la Figura 11, fila superior, se observa el objeto, seguido por tres paneles donde se muestran los residuos obtenidos a partir de diversos ajustes realizados con GALFIT; dichas imágenes forman parte la Figura 2 del citado artículo.

Otro objeto de similares características es el denominado VUCD7, perteneciente al cúmulo de Virgo, que fue estudiado por Evstigneeva et al. (2007). En la Figura 12, fila inferior, se observa una distribución de paneles análoga a la mencionada anteriormente para UCD3; dichas imágenes constituyen la Figura 1 del citado artículo. Los autores encontraron que el mejor ajuste derivaba de la composición entre un perfil King, para representar el núcleo, y un perfil Sérsic, para representar el halo, obteniendo un $R_{eff} \approx 96.8 pc$.

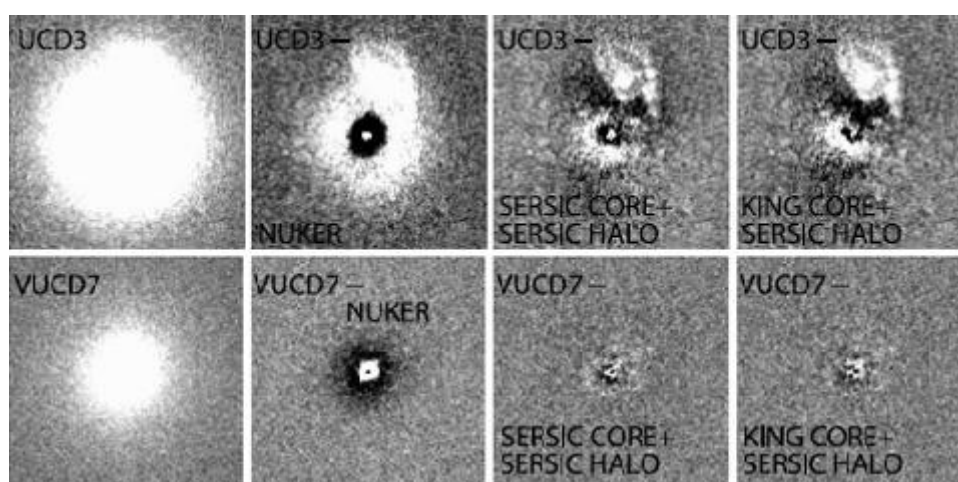


Figura 12. En la fila superior, UCD3 (panel izq), y los residuos resultantes de tres ajustes realizados con GALFIT por Evstigneeva et al (2007, Fig2); en la fila inferior, VUCD7 (panel izq), y los residuos resultantes de tres ajustes realizados con GALFIT por Evstigneeva et al (2007, Fig1).

Chiboucas et al. (2011) estudiaron una muestra de objetos compactos, con propiedades fotométricas en el rango de las UCDs (ver Hilker 2009 para mas información), ubicados en la región central del cúmulo de Coma ($d \sim 95 Mpc$). Para su muestra de objetos (confirmados por velocidades radiales), estimaron parámetros estructurales mediante ISHAPE y GALFIT. Los ajustes en el caso de este último software se hicieron considerando un perfil de Sérsic (considerando magnitud total, radio efectivo, cociente de semiejes, ángulo de posición e índice, como parámetros libres). En tanto

para ISHAPE se propusieron diversos perfiles, definiéndose posteriormente por el de King (con parámetros de concentración 30 o 100).

Con excepción del objeto identificado como 151072, las estimaciones de R_{eff} obtenidas con los dos *software* alcanzan un buen acuerdo (Figura 13). También hemos comparado los errores relativos para ambos ajustes, sin que se detecte alguna tendencia apreciable a favor de uno u otro.

El objeto 151072 es el único que se distancia visiblemente de la relación uno a uno que sigue el resto. Esto probablemente se deba a que dicho objeto presentaría un tenue halo extendido (como podría apreciarse en el panel superior de la Figura 14). Si bien los ajustes realizados con ambos programas tuvieron en cuenta una única función, la presencia de esta segunda componente habría afectado en mayor medida al perfil de Sérsic (GALFIT, $R_{eff} = 126 \pm 19 pc$), que al perfil King (ISHAPE, $R_{eff} = 68 \pm 6$), más concentrado. En la Figura 14 también se observan los residuos obtenidos por GALFIT (panel inferior izquierdo) e ISHAPE (panel inferior derecho). Si bien el ajuste de GALFIT aparentaría presentar mejores residuos, probablemente sea necesario realizar un ajuste de dos componentes, núcleo y halo, lo cual no es factible con ISHAPE.

Madrid et al. (2011) estudiaron la región interna del sistema de CGs de la galaxia elíptica masiva NGC 1132, hallando once candidatos a UCDs. Determinaron sus parámetros estructurales mediante ISHAPE, y un perfil analítico King30, estimando $R_{eff} \sim 77 pc$ para el más brillante de ellos. Para este objeto, utilizaron también GALFIT, derivando un valor de $R_{eff} \sim 89 pc$, aproximadamente un 16% superior al resultado de ISHAPE.

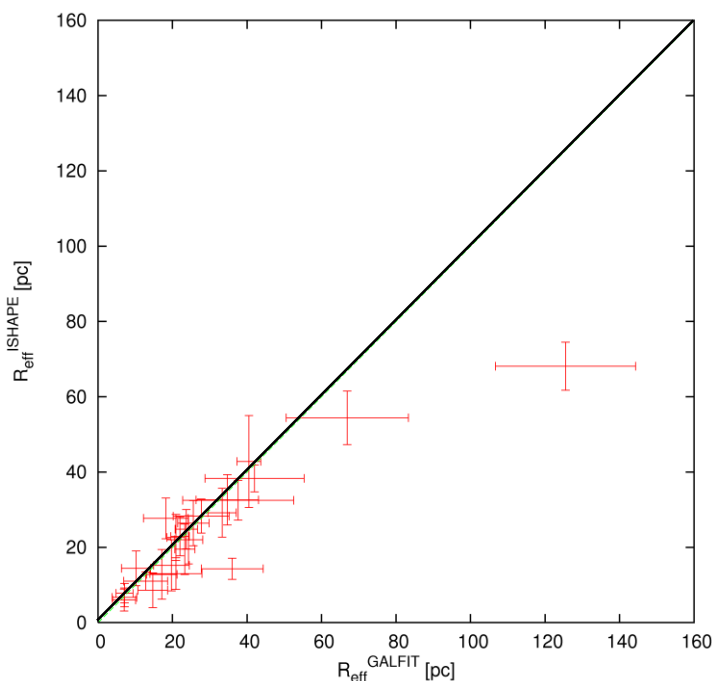


Figura 13. Comparación entre las estimaciones de R_{eff} derivadas con GALFIT e ISHAPE, para una muestra de UCDs en la región central del cúmulo de Coma (Chiboucas et al. 2011). Excepto los valores obtenidos para el objeto más extenso, el resto alcanza un buen acuerdo.

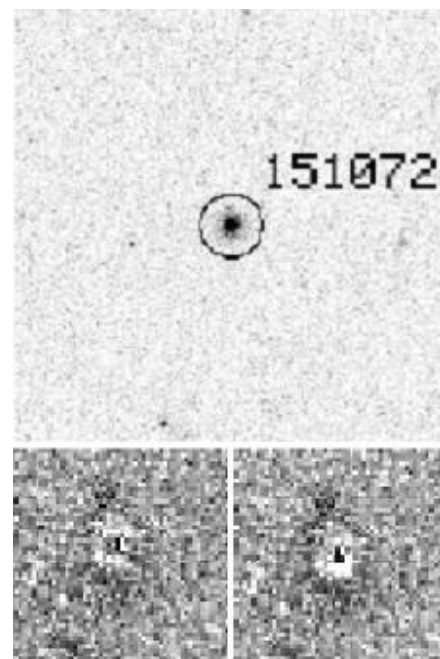


Figura 14. En el panel superior se muestra la imagen del objeto 151072, y en los paneles inferiores, los residuos de los ajustes realizados con GALFIT (izq) e ISHAPE (der). Las imágenes se obtuvieron de Chiboucas et al. (2011).

Madrid et al. (2010) determinaron parámetros estructurales utilizando ISHAPE para una muestra de candidatas a UCDs. Compararon los radios efectivos derivados a partir de los perfiles de King y Sérsic, hallando que las estimaciones no presentan diferencias apreciables. Hay que destacar que, en comparación con otros trabajos citados anteriormente, los objetos estudiados no presentaban radios efectivos superiores a los 50 pc, lo cual indicaría la ausencia de una segunda componente extendida (como sí se apreciaba en las UCDs más brillantes de Fornax y Virgo). Sin

embargo, sí encontró una ligera dependencia en el radio efectivo estimado, y el valor de FITRAD propuesto, para los objetos más brillantes. Esto tiene sentido, ya que aumentar el valor de FITRAD, podría favorecer el muestreo de los objetos más extendidos.

En la Figura 15 mostramos la comparación entre los radios efectivos obtenidos con ISHAPE utilizando dos funciones analíticas distintas para los objetos situados en el campo de NGC 3258. El eje de las abscisas indica el resultado del ajuste de un perfil King, con parámetro de concentración $c=30$, y el de las ordenadas responde a un perfil de Sérsic, con índice $n=2$ (calculados como el producto del FWHM del semieje mayor por el factor de conversión correspondiente para la función). Teniendo en cuenta la dispersión propia de las mediciones, ambos ajustes parecerían alcanzar un buen acuerdo.

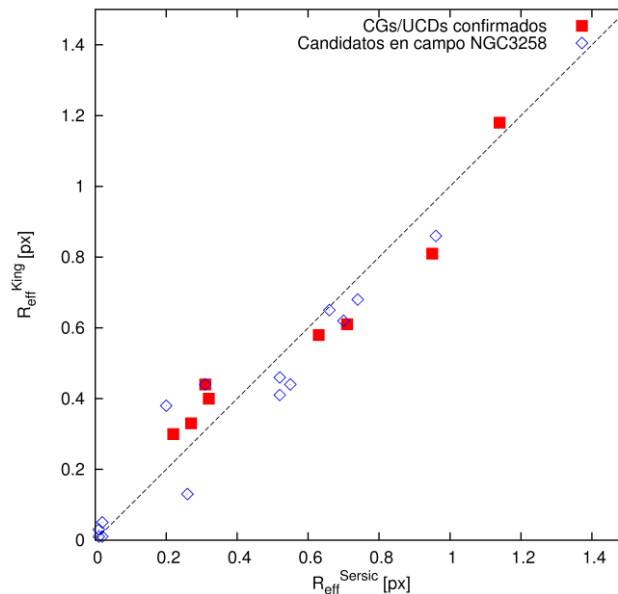


Figura 15. Comparación entre las estimaciones de R_{eff} derivadas con ISHAPE, utilizando un perfil King, con parámetro de concentración $c=30$, y un perfil de Sérsic, con índice $n=2$, para los objetos ubicados en el campo de NGC 3258.

A partir de los resultados que he obtenido hasta el momento, considero que ISHAPE es una herramienta útil para el estudio de objetos extragalácticos marginalmente resueltos. Quizás una de sus mayores limitaciones se encuentre en la imposibilidad de utilizar perfiles compuestos, los cuales han sido necesarios para modelar objetos levemente más complejos, como los mencionados en las páginas precedentes.

La presente monografía fue escrita con el objetivo de introducir a los interesados en el manejo de ISHAPE y sus potencialidades. Espero que la inclusión de resultados surgidos tanto de mi experiencia personal, como de una breve recopilación de algunos de los numerosos trabajos que se han publicado en los últimos años referidos a este software, sea de ayuda para quienes deseen comenzar a utilizarlo.

Referencias

- Larsen, S. S., 1999, A&AS, 139, 393
- Larsen, S. S., 2010, A user guide to ISHAPE and related tasks in BAOLAB
- Elson, R. A. W., Fall, S. M. & Freeman, K. C., 1987, ApJ, 323, 54
- King, I. R., 1962, AJ, 67, 471
- King, I. R., 1966, AJ, 71, 64
- Harris, W. E., 1996, AJ, 112, 1487
- Harris, W. E., et al., 2009, AJ, 137, 3314
- Madrid, J. P., Graham, A. W., Harris, W. E., et al., 2010, ApJ, 122, 1707
- Krist, J., 1995, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 77, Astronomical Data Analysis Software and Systems IV, ed. R. A. Shaw, H. E. Payne, & J. J. E. Hayes, 349
- Bertin, E. & Arnouts, S., 1996, A&AS, 117, 393
- Mieske, S., Hilker, M., Jordán, A., Infante, L., & Kissler-Patig, M., 2007, A&A, 472, 111
- Mieske, S., Hilker, M., Jordán, A., et al. 2008, A&A, 487, 921
- Hilker, M., 2009, "Reviews in Modern Astronomy" of the Astron. Gesell., S.Roeser (ed), vol.21, Wiley-VCH, en prensa (arXiv: 0906.0776)
- Peng, C. Y., Ho, L. C., Impey, C. D., & Rix, H.-W., 2002, AJ, 124, 266
- Sérsic, J. L., 1968, Atlas de Galaxias Australes (Córdoba, Observatorio Astronómico, Universidad Nacional del Córdoba)
- Evstigneeva, E. A., Drinkwater, M. J., Peng, C. Y., et al., 2008, AJ, 136, 461
- Evstigneeva, E. A., Gregg, M. D., Drinkwater, M. J., & Hilker, M., 2007, AJ, 133, 1722
- Chiboucas, K., Tully, R. Brent, Marzke, R. O., et al., 2011, EAS Publications Series, 48, 225
- Madrid, J.P., 2011, ApJ, 737L, 13