

Herramientas VO

Caracterización de cúmulos abiertos con Clusterix 2.0

Joaquín Álvaro Contreras¹

¹FAAE, Madrid, Spain. E-mail: jalvaro@citelan.es.

Keywords: cúmulos estelares, herramientas VO, TOPCAT, Aladin, observatorio virtual, Gaia

© Este artículo está protegido bajo una licencia Creative Commons Attribution 4.0 License

Resumen

En este segundo artículo de la serie dedicada a herramientas del Observatorio Virtual (VO) aplicadas a la caracterización de cúmulos estelares abiertos (OCs) vamos a centrar nuestra atención en Clusterix 2.0 [1]. Clusterix 2.0 (L. Balaguer-Núñez, *et al.*) [2] es una herramienta interactiva, basada en la web y compatible con otras herramientas VO, para la determinación de probabilidades de pertenencia a cúmulos estelares basándose en datos de movimiento propio y utilizando para ello un método totalmente no parametrizado. Exploramos en este artículo el uso de Clusterix aplicándolo igualmente a casos prácticos y veremos también la interoperabilidad de Clusterix con TOPCAT [3], Aladin [4] y VOSA [5].

Abstract

In this second article of the series dedicated to Virtual Observatory (VO) tools applied to the characterization of open star clusters (OCs), we will focus our attention on Clusterix 2.0 [1]. Clusterix 2.0 (L. Balaguer-Núñez, *et al.*) [2] is an interactive, web-based tool compatible with other VO tools, designed to determine membership probabilities in star clusters based on proper motion data using a fully non-parametric method. In this article, we explore the use of Clusterix by applying it to practical cases and also discuss its interoperability with TOPCAT [3], Aladin [4] and VOSA [5].

1. Introducción

Tal como vimos en el anterior artículo de esta serie, la determinación de los componentes de un cúmulo estelar abierto (OC) es un proceso que, si bien no presenta demasiadas dificultades utilizando herramientas VO como TOPCAT [3], puede resultar en cierto modo tedioso y no falto de la sensación de una dependencia directa sobre apreciaciones subjetivas del analista, al menos en los primeros pasos donde la detección de sobre-densidades en el espacio de configuración de movimientos propios va a estar condicionada de alguna manera por la experiencia previa de éste. Incluso, como también vimos, la selección inicial marcando *a mano alzada* la posible *sobre-densidad* puede parecer un procedimiento poco ortodoxo y *artesanal*.

Para compensar esta aproximación inicial, (*a ojo*), nos veíamos obligados a ir refinando el procedimiento con sucesivas etapas de filtrado, lo que supone hacer de este método un proceso inevitablemente supervisado y parametrizado.

Clusterix supera estas etapas iniciales con una determinación empírica de las funciones de frecuencia a partir del diagrama de puntos vectoriales (VPD), (movimientos propios estelares), sin depender de ninguna suposición previa sobre sus perfiles [2]. En el área ocupada por un cúmulo, la función de frecuencias está formada por dos contribuciones: las estrellas del cúmulo y las estrellas de campo. El objetivo es obtener una separación óptima de las dos poblaciones.

El *VPD* se divide en un número grande de celdas. Cada celda se describe por su posición en la matriz total definida por filas y columnas, (i, j) , y los movimientos propios correspondientes a sus respectivos centros, (a_i, b_j) . A cada celda se asigna un valor empírico para la función de frecuencia:

$$\psi(a_i, b_j) = \sum_{k=1}^N k(a_k, b_k) \quad (1.1)$$

donde $k(a, b)$ es la llamada *kernel function*, (Galadi-Enriquez, et al.) [6]:

$$k(a, b) = \frac{1}{2\pi h^2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(a - a_i)^2 + (b - b_i)^2}{h^2}\right] \quad (1.2)$$

siendo h un parámetro de suavizado, (*smoothing parameter*), que ajusta la propia herramienta. El tamaño de las celdas se puede elegir para un análisis rápido (*Normal*) o más refinado (*High precision*).

2. Trabajando con Clusterix 2.0

Sin más preámbulos vamos a iniciar el desarrollo de un caso práctico. Volvemos sobre el cúmulo NGC 2682 que nos permitirá comparar resultados con el trabajo analizado en el artículo anterior. Posteriormente se propondrán varios ejemplos más para ser desarrollados por el lector.

Clusterix 2.0 es una herramienta web. No es necesario por tanto instalar ninguna aplicación adicional en nuestro ordenador, (salvo las ya utilizadas anteriormente: TOPCAT y Aladin). Empezaremos por acceder a Clusterix: <http://clusterix.cab.inta-csic.es/clusterix/>. (Es conveniente asegurarse que se hace desde un navegador compatible. Testado para Chrome, Firefox, Safari, ...).

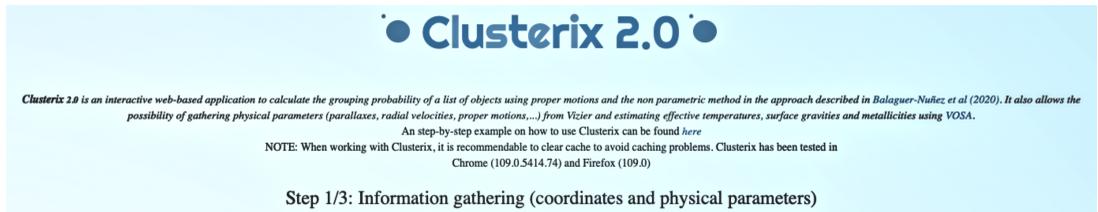


Figura 1. Carátula de presentación de Clusterix 2.0. Ya se advierte que serán tres las etapas del proceso a seguir.

La primera pantalla nos ofrece dos opciones de búsqueda (figura 2): por ID del objeto deseado, (por ejemplo, NGC 2682), o por sus coordenadas. Más tarde necesitaremos estas coordenadas, por lo que de una u otra forma conviene tenerlas a mano. Podemos recurrir para esto a un atlas del cielo (*Aladin*, por ejemplo) o al catálogo de OCs ya utilizado en el artículo previo, (*CDS Vizier* [7]).

Además de centrar una región de cielo, (por ID del objeto, o por las coordenadas), deberemos indicar el radio del cono que define el área de análisis. En este caso tomamos un valor significativamente mayor (3º) que el utilizado en el artículo anterior para NGC 2682 con TOPCAT, que fue de 1º. Igualmente se indica el catálogo desde el que se quiere recopilar la información. Seguiremos utilizando *GAIA/EDR3* [8]. El parámetro *RUWE*, marcado por defecto en un valor de 1.4, sirve para excluir objetos extensos en el campo de trabajo, (por ejemplo, galaxias). También se puede acotar el número de estrellas que se recogerán desde *GAIA/EDR3* poniendo límites (*min, max*) en magnitud visual aparente. No tocaremos aquí y, ya, solicitamos la búsqueda.

En pocos segundos la búsqueda nos devolverá una lista de objetos, en este caso 131 779 estrellas, y un mapa simple sobre el que se puede hacer zoom. Igualmente aparecen tres opciones: descarga de la lista

Figura 2. Definición del campo de cielo a estudiar. Puede hacerse la búsqueda por ID del objeto, o por sus coordenadas. Aquí deben completarse igualmente algunos parámetros para recopilar la información inicial necesaria.

generada, envió a otras herramientas VO, (por ejemplo, TOPCAT, Aladin; si previamente hemos abierto estas aplicaciones). La tercera opción 'componentes a partir de los movimientos propios', marcada con una flecha en la figura 3, nos lleva al segundo paso en el análisis con Clusterix, (figura 4).

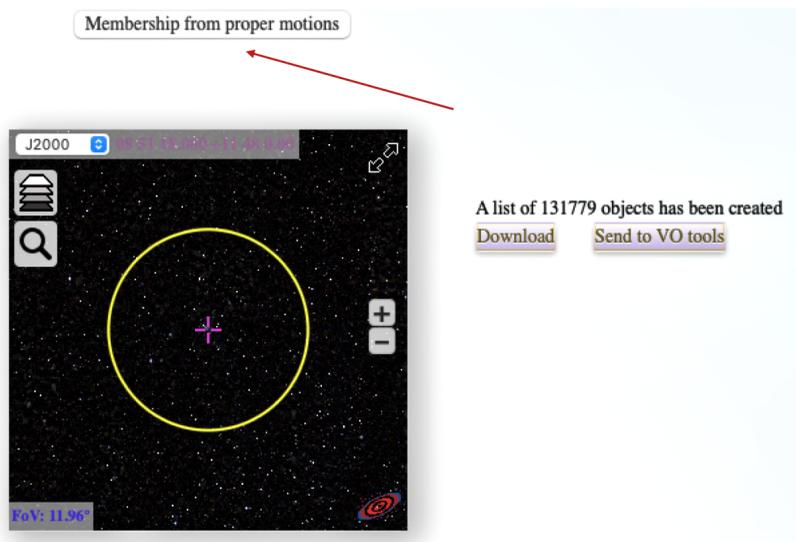


Figura 3. Datos recopilados de GAIA/EDR3 sobre la región de cielo solicitada.

A pesar de que Clusterix se auto define como herramienta no parametrizada, ('no parte de ningún supuesto sobre valores paramétricos de los componentes del cúmulo'), en esta etapa del proceso, (figura 4), debemos configurar diversos parámetros de los que depende sensiblemente el resultado esperado.

Lo primero que debemos definir son tres áreas o regiones:

1. radio del campo de visión en el que se espera estén contenidos los componentes del cúmulo. En este área habrá, por tanto, estrellas del cúmulo y otras que no lo son. [*cluster + field*]

2. un área vacía, que puede estar *contaminada* por estrellas del cúmulo y que se excluye del análisis de frecuencias.
3. y finalmente otra región donde se asume que ya no hay estrellas componentes del cúmulo. Esto, es, de sólo estrellas de campo.

Esto es algo parecido a lo que se hace en fotometría diferencial cuando se establecen *radios de apertura* sobre un objeto para definir su luminosidad comparada con otras fuentes del campo de trabajo.

Figura 4. Paso 2. Definición de 'regiones' y otros parámetros.

La manera de definir estas tres regiones es escribiendo en cada una de las *casillas* un centro y un radio: $((AR, Dec), radio)$. Los valores del *centro*, iguales en los tres casos, corresponden a las coordenadas del objeto de estudio determinadas en el primer paso. Los valores de los radios son progresivamente crecientes, como es lógico, empezando por el que asumimos que contiene al cúmulo y terminando en el radio del campo del que se tienen estrellas, (el fijado también en la selección de objetos del primer paso). En los tres casos es importante!! terminar con $;$;

Los resultados obtenidos dependen críticamente de una buena definición de estas tres regiones. Si no se obtiene un resultado que pueda considerarse válido, conviene probar con otros valores para los radios elegidos. En el mapa adjunto (figura 4, derecha) se dibujan las tres regiones.

Aunque *no se asumen valores* para los diferentes parámetros de los objetos en el análisis, las dos 'viñetas' que siguen, (bajo la selección de regiones), permiten restringir algunos valores con objeto de hacer más liviano el cálculo de la función de frecuencias: por ejemplo, limitando el valor máximo de *movimientos propios*, el *error máximo*, y/o el *rango de magnitudes*. En el ejemplo desarrollado aquí acotamos a 15.0 el máximo en movimientos propios y a un 10% el valor del error relativo asumible.

El valor del parámetro de *smoothing* lo ajusta Clusterix, (como ya se dijo), aunque puede modificarse. Un valor demasiado alto desdibujará los detalles de la función de frecuencias, mientras que un valor bajo producirá un resultado con más *ruido*. Es aconsejable no modificar el valor calculado y, en cualquier caso, si fuera necesario es preferible redefinir los radios de las regiones seleccionadas.

De igual manera, Clusterix por defecto establece un valor umbral (*threshold*) de 3.0 para el cálculo de la probabilidad. Como la función de frecuencia estimada de "campo único" no es una representación perfecta de la verdadera función de frecuencia de campo, esto puede producir valores de probabilidad sin sentido. Para evitar esto, Clusterix restringe los cálculos de probabilidad a los casos donde la *relación señal-ruido* es tres veces superior a este umbral. Este umbral también es modificable y en el caso de resultados poco satisfactorios, se puede establecer en valores ligeramente más altos. Lo preferible en principio es no tocarlo.

Finalmente, en la parte derecha de esta página, (figura 4), tenemos opción a elegir el *tamaño de la matriz* $k(a_k, b_k)$: *normal* (100 x 100), *high precision* (300 x 300), y si el número de estrellas en la *región de campo* supera las 50 000, aparecerá un *warning* indicando que el cálculo puede hacerse pesado. Si así ocurre, puede reducirse este valor con el punto de scroll sobre el warning hasta dejarlo por debajo de las 50 000 estrellas de campo.

2.1. Resultados

Una vez concluido el análisis en esta etapa, (es visible una barra de progreso en la parte inferior de la página), se presenta un cuadro con 4 gráficas como el de la figura 5. (Después de cada modificación en las regiones $c+f$ y f el sistema recalcula y dibuja las funciones empíricas de frecuencia, $\psi_c = \psi_{c+f} - \psi_f$).

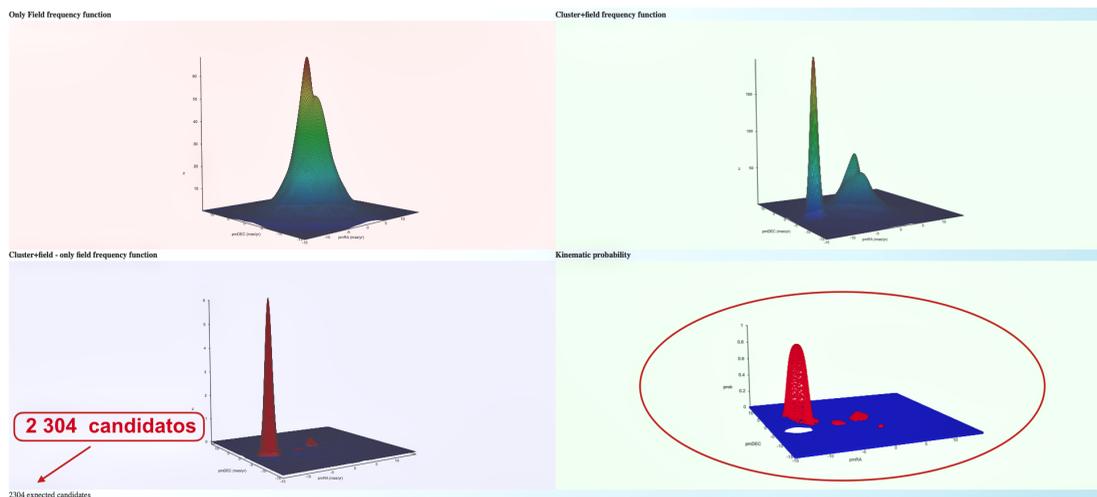


Figura 5. Paso 2. Resultados: representación de la función de frecuencias en las diferentes regiones, y del campo de probabilidad en la viñeta inferior-derecha.

Clusterix nos ofrece 2 304 candidatos a formar parte de NGC 2682, (del total de las 131 779 estrellas presentes en la región del cielo analizada). Lo interesante aquí es que, además de haber localizado la

sobre-densidad en movimientos propios propia del cúmulo, se asigna un valor de *probabilidad* a cada una de las estrellas del campo sobre su pertenencia al cúmulo. Esto queda patente en la gráfica de la parte inferior-derecha de la figura 5. Incluso los pequeños grupos, menos significativos, que aparecen en dicha gráfica, podrían revelar otros posibles cúmulos no contemplados inicialmente.

Este campo de probabilidad es un simple cálculo sobre las funciones de frecuencia de las regiones 1 y 3, (los subíndices 'c' y 'f' hacen referencia a estas regiones, cúmulo y campo, respectivamente):

$$P = \frac{\bar{\psi}_c}{\bar{\psi}_c + \bar{\psi}_f} \quad (2.1)$$

Si pasamos a la etapa 3 del proceso, (botón 'Go to step 3' - ver figura 4), tendremos un resumen pormenorizado de estos resultados, (figura 6).

```

Step 3/3. Determination of membership probabilities

Send to VO tools Save as text

# Results were retrieved using Clusterix software
# http://clusterix.cab.inta-csic.es/
# In case of problems, please, report to: clusterix_archive_support@cab.inta-csic.es
#
# Labels:
#
# STAR_NO      identifier of star retrieved from the input data
# RAJ2000     right ascension of a star
# DECJ2000    declination of a star
# pmRA        proper motion in right ascension
# epmRA       error in proper motion in right ascension
# pmDEC       proper motion in declination
# epmDEC      error in proper motion in declination
# Pll         Parallax
# ePll        error in parallax
# BP          BP magnitude
# eBP         error in BP magnitude
# RP          RP magnitude
# eRP         error in RP magnitude
# G           G magnitude
# eG          error in G magnitude
# RV          Radial velocity
# eRV         error in radial velocity
# Source_ID   Unique Source Identifier
# RUWE        re-normalised unit weight error
# PROB        probability that star belongs to evaluated open cluster
# FLAG        M=Membership NM=No membership
#
# Region values: F = star was inside a "only field" region
#                  C = star was inside a "cluster+field" region
#                  V = star was outside the selected regions
#
# Parameters:
#
# CLUSTER INFO: 132.825,11.800_180_arcmin_GAIAEDR3
# PROPER MOTION CUTOFF: 15.00 mas/yr
# PROPER MOTION ERR CUTOFF: 10.00 mas/yr
# SMOOTH PARAMETER: 0.62
# GAMMA FACTOR: 5.00
# QUERY MIN MAG (STEP 1):
# QUERY MAX MAG (STEP 1):
# QUERY MAX RUWE (STEP 1): 1.4
# FILTERED MIN MAG (STEP 2):
# FILTERED MAX MAG (STEP 2):

```

Figura 6. Paso 3. Resumen de resultados y otras opciones.

Clusterix facilita una tabla en la que, a los datos recopilados inicialmente de *GAIA/EDR3* para cada una de las 131 779 estrellas, añade tres campos más:

1. **PROB**: probabilidad que se asigna a cada estrella de ser componente del cúmulo.
2. **FLAG**: con valores $M = \text{miembro del cúmulo}$ o $NM = \text{no miembro}$.
3. y, **Región** en la que cada estrella se encuentra: F , C y V .

Esta tabla puede ser descargada en formato *.txt* para posterior estudio/manipulación o bien enviada a otras herramientas VO, como TOPCAT, para continuar un análisis más refinado, algo a todas luces conveniente. Para que este envío se produzca, antes de pulsar el botón '*Send to VO tools*' deberemos abrir la aplicación TOPCAT.

3. De nuevo en TOPCAT

Clusterix ya nos ha ofrecido un conjunto de posibles componentes del cúmulo: estrellas identificadas y disponibles en el fichero *.txt* listo para descargar. Podemos asumir que el trabajo está completado ya en este momento. En este sentido Clusterix es autoconsistente y no requiere más apoyo, salvo que parezca necesario o conveniente repetir el análisis ensayando algún cambio en las condiciones de contorno definidas en el proceso con objeto de confirmar resultados o mejorar los mismos, si no hubieran sido demasiado convincentes.

Sin embargo, como vamos a ver, no se deben ignorar las funcionalidades de TOPCAT para testear los datos obtenidos e incluso mejorar el análisis. Por tanto resulta aconsejable *abrir* TOPCAT y proceder a transferir los datos desde Clusterix, ('*Send to VO tools*').

Hecho esto, en TOPCAT tendremos la tabla con los 131 779 objetos iniciales recuperados de *Caia/EDR3* a los que se han incorporado las tres columnas mencionadas, (*PROB, FLAG, Region*).

En una primera exploración de los datos transferidos, ('*Display table cell data*', cuarto icono por la izquierda en el conjunto de herramientas de la parte superior en la ventana de TOPCAT, figura 7), podemos ver que la tabla está ordenada por el valor del campo '*PROB*': aparecen primero los 2 305 objetos calificados como *miembros* del cúmulo, y esto nos da información acerca del criterio seguido por Clusterix en este caso: $member \equiv PROB \gtrsim 70\%$.

También hay que resaltar que entre los candidatos a '*miembros*' hay estrellas en cualquiera de las tres regiones: C , F , V . Esto es algo que se aprecia mejor en un mapa, (figura 9).

Lo primero que haremos es crear el *sub-set* que separa *miembros* de *no-miembros*. Para ello definimos este subconjunto, al que llamaremos '**M67v1**' (siguiendo la nomenclatura del artículo anterior), creando para ello un primer filtro, figura 8:

$$Expression : equals(FLAG, "M") \tag{3.1}$$

También se podría en este punto hacer una selección más restrictiva asumiendo como miembros del cluster sólo aquellos objetos con una probabilidad asignada más alta, por ejemplo del 80 %: $Expression : PROB \geq 0.8$. Seguiremos aquí por ahora con el criterio original sugerido por Clusterix.

Hecho esto, podemos ver las propiedades de los componentes propuestos frente al resto de objetos en el mismo campo de cielo.

Lo reflejado en la figura 9 (izq.) es interesante porque nos está diciendo que:

1. Clusterix no restringe la asignación de *membresía* al espacio definido en el campo '*C*'. Sólo utiliza este área para establecer la función de frecuencia ψ_c , por lo que la elección del radio para esta región en el paso 2 de Clusterix no tiene por qué contemplar una estimación previa, más o menos rigurosa, del tamaño del cúmulo, sino que basta con considerar que sea suficiente para contener un número significativo de componentes del mismo.

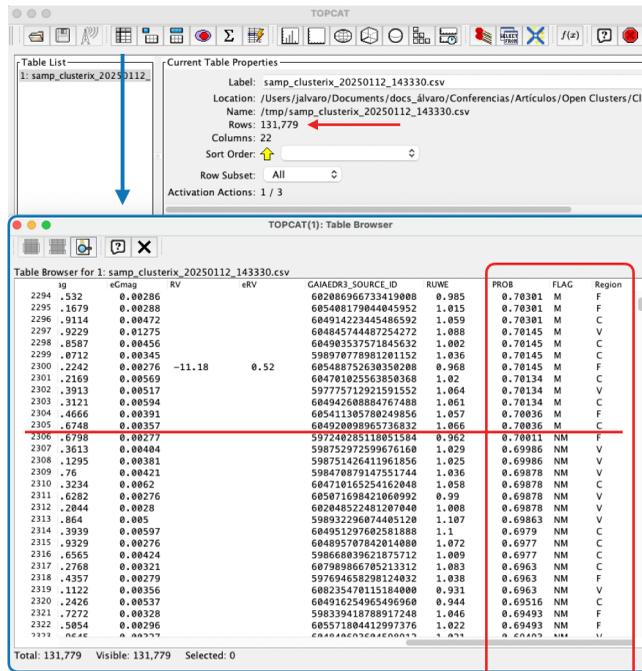


Figura 7. Tabla transferida desde Clusterix a TOPCAT. Están todos los registros analizados por Clusterix e identificados aquellos que han sido considerados como candidatos a formar parte del cúmulo.

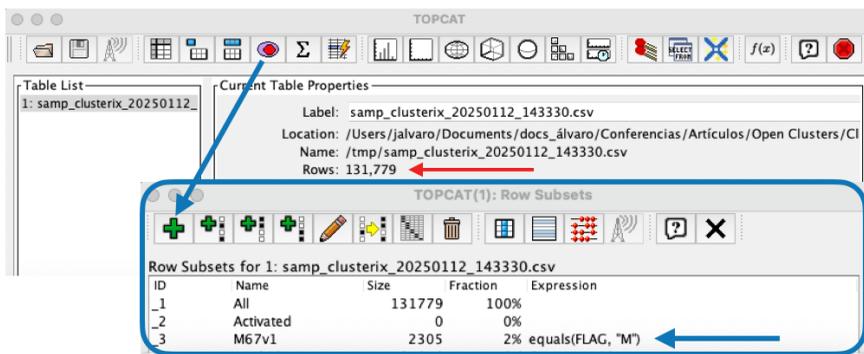


Figura 8. Nuevo sub-set, M67v1, integrado por los candidatos propuestos por Clusterix a formar parte del cúmulo: FLAG = 'M'.

2. Por otra parte, el hecho de encontrar miembros asignados incluso hasta el extremo exterior del área de campo (3^o) puede estar indicando que NGC 2682 tiene en realidad un *halo* más extenso de lo que en principio se esperaba. Algo realmente factible si se tiene en cuenta que la edad de este cúmulo, (unos 3 600 millones de años), es suficiente para haber disgregado ya buena parte de sus miembros iniciales. En este punto surge la idea de repetir el análisis inicial ampliando la definición del campo de cielo a estudiar hasta 5^o o 6^o.

Siguiendo con el estudio de resultados, Clusterix nos deja claro que el análisis que realiza se basa exclusivamente en los movimientos propios de las estrellas presentes en campo definido. No entra a 46

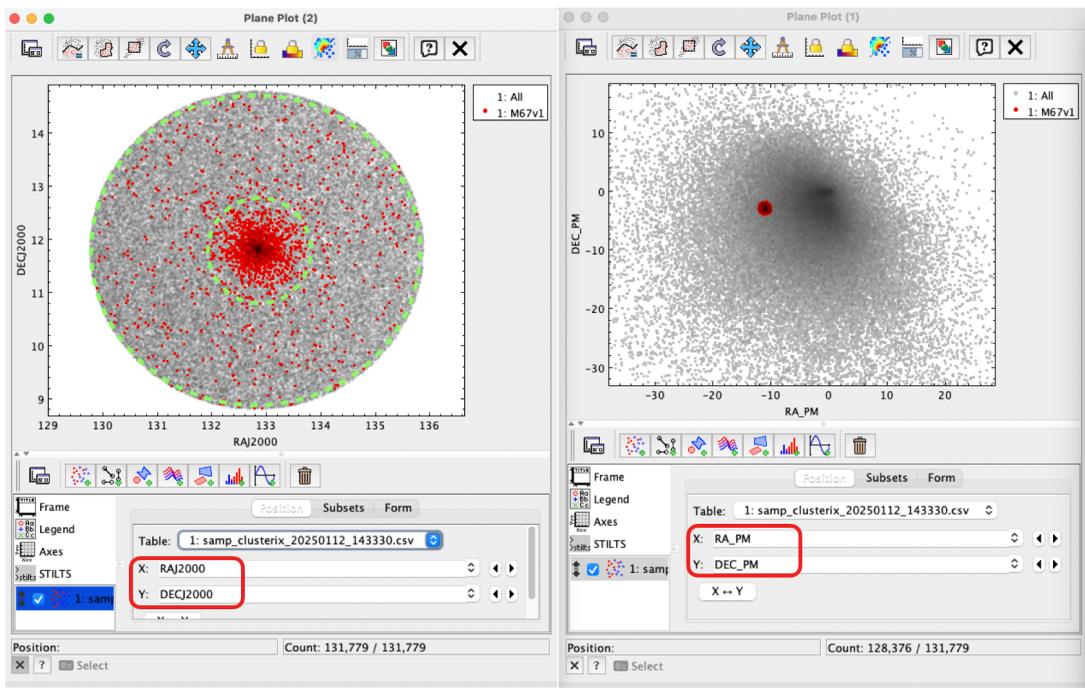


Figura 9. Izq. - posición en un mapa de coordenadas de las estrellas candidatas a formar parte del cúmulo (en rojo), según Clusterix, sobre el fondo del total de objetos extraídos de Gaia/EDR3 para esta región del cielo. Acotadas, con línea de puntos en verde la región 'C' (radio = 1°), y el campo total considerado inicialmente (3°). Dcha. - mapa en el espacio de configuración de movimientos propios. Las funciones de frecuencia analizadas por Clusterix han identificado la sobre-densidad con la que ha hecho su propuesta de membresía.

considerar otras propiedades como la *distancia* de estos objetos, por lo que el conjunto de miembros propuestos puede estar contaminado por estrellas que no formen parte del cúmulo. Es de esperar que los miembros del *cluster* cumplan con la propiedad de estar próximos entre sí, (razonablemente). Por tanto se hace necesario ver qué pasa con el paralaje, (figura 10).

Al igual que hicimos en el artículo anterior, crearemos un nuevo subconjunto, 'M67v2', filtrando sobre M67v1, (aprovechamos para descartar también errores relativos superiores al 10 %):

$$Expression : M67v1 \ \&\& \ PLL < 1.14 + 0.5 \ \&\& \ PLL > 1.14 - 0.5 \ \&\& \ ePLL/PLL < 0.1 \quad (3.2)$$

Hemos aplicado el mismo criterio utilizado entonces para estrechar la selección al rango sobre el paralaje.

$$PLL \equiv \text{media} \pm \text{desviacion estandar} \quad (3.3)$$

Con esto el nuevo subconjunto 'M67v2' se reduce a 1 194 componentes que daremos por definitivo en el ejemplo desarrollado.

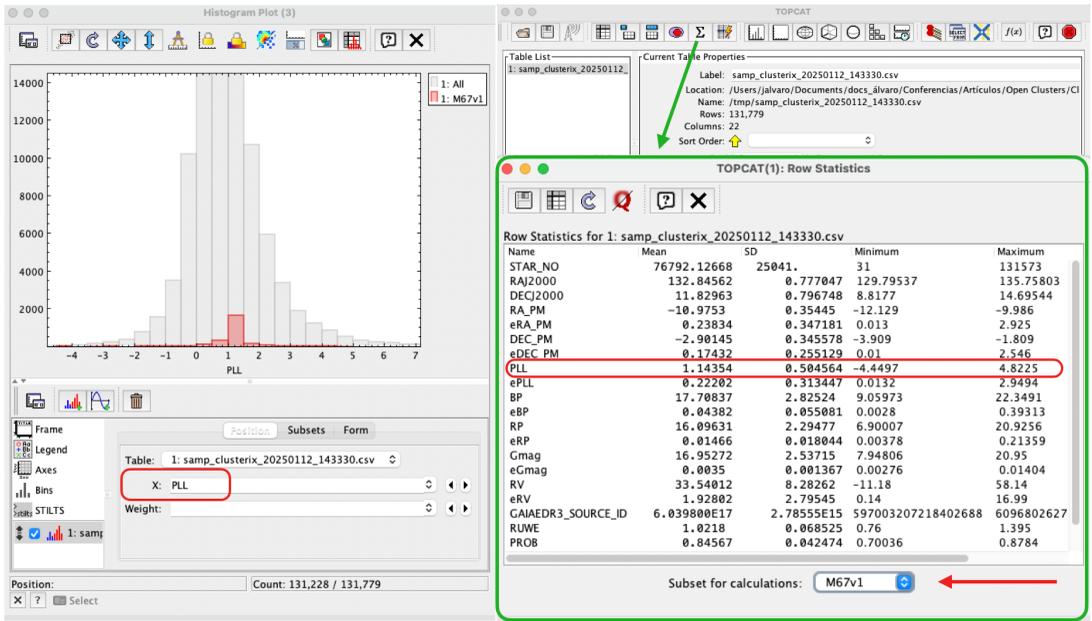


Figura 10. Izq. - Representación del histograma de paralajes. Se aprecia una dispersión en torno al valor medio que conviene estrechar. Dcha. - Datos estadísticos de los valores en el subconjunto 'M67v1', (miembros del cúmulo asignados por Clusterix). Se resaltan los correspondientes al paralaje..

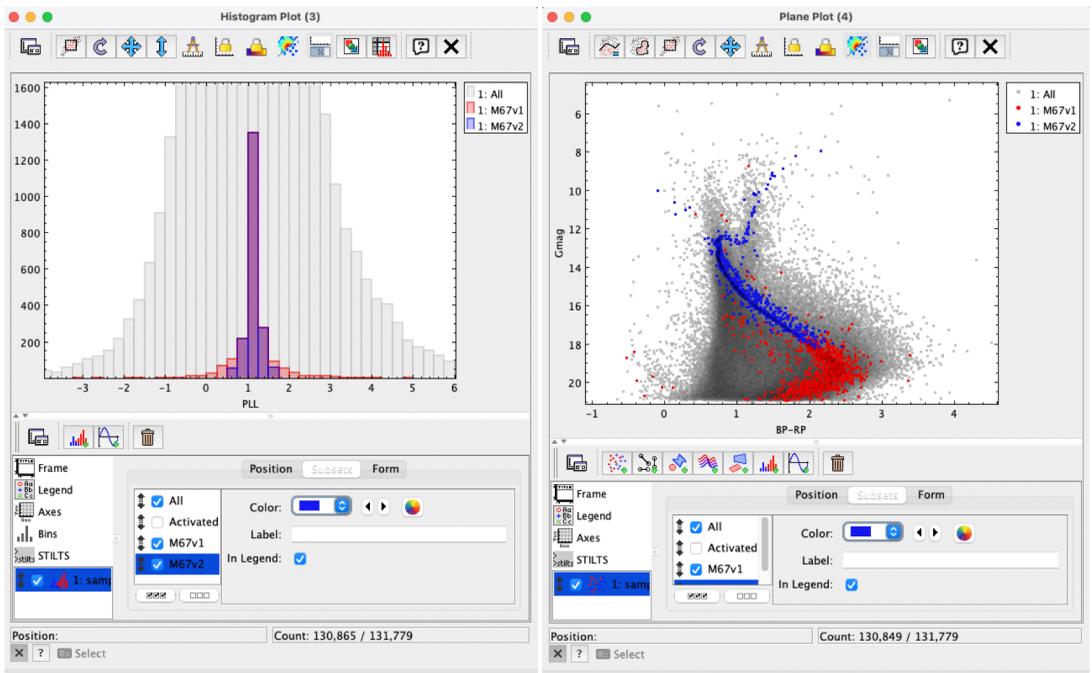


Figura 11. Izq. - Histograma de paralajes de los subconjuntos M67v1 y M67v2 sobre el fondo de estrellas de campo. Dcha. - Diagrama color-magnitud de ambos subconjuntos también sobre el fondo total..

En la figura 11 tenemos el cúmulo acotado en distancia: $869.5(pc) \pm 72(pc)$ ¹. En la parte derecha de la figura se representa el diagrama 'color (BP-RP) / magnitud', (M67v1 en rojo y M67v2 en azul, sobre el fondo total del campo de cielo en gris), con un resultado similar al del primer artículo.

4. Otras consideraciones

La figura 11 (dcha) muestra las estrellas de M67v2 y M67v1 en el diagrama color-magnitud. Recordemos que M67v1 es el subconjunto propuesto por Clusterix y M67v2 es el resultado final que hemos adoptado una vez tradados con TOPCAT los paralajes. Buena parte de las estrellas de M67v1 (en rojo) están tapadas por los miembros de M67v2 (en azul) que están dibujados en una capa por encima.

Una primera conclusión es que el filtrado por paralaje produce un perfil bastante más nítido que el que presenta M67v1. Es especialmente notoria una amplia dispersión al nivel de las magnitudes más altas, (parte inferior del gráfico).

Para entrar más en detalle en esta región vamos a generar un nuevo sub-set a partir de M67v1, en concreto seleccionaremos las estrellas con magnitud Gaia mayor que 19.

$$'M67v3' \equiv Expression : M67v1 \ \&\& \ Gmag > 19 \quad (4.1)$$

Comparamos algunos datos entre M67v2 y M67v3 (figura 12):

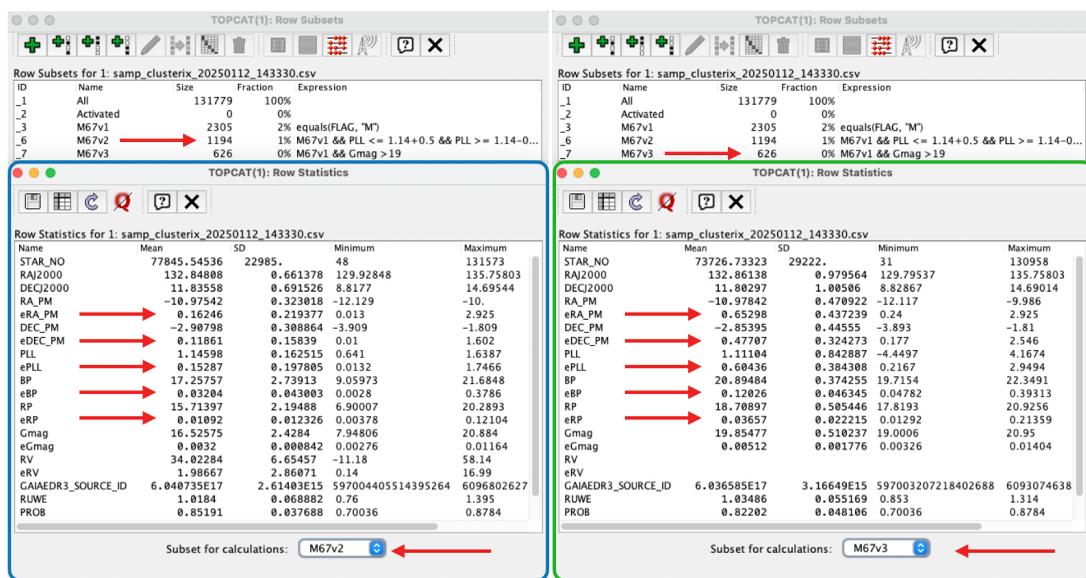


Figura 12. Izq. - Datos estadísticos sobre M67v2. Dcha. - Mismos datos relativos a M67v3. Señalados en la imagen los campos correspondientes a las incertidumbres empíricas sobre diversos parámetros. Son especialmente significativos los que afectan a los índices de color.

Como se aprecia en esta comparación sobre ambas tablas, por encima de la magnitud 19 la precisión de Gaia, tanto en astrometría como en fotometría especialmente, se degrada de manera notoria. En la mayoría de ellos, (movimientos propios y magnitudes BP y RP), prácticamente esta incertidumbre se multiplica por 4. Con datos de Gaia/DR2 esto es aún más notorio.

¹Recordar: distancia (parsec) = 1000 / paralaje (mas)

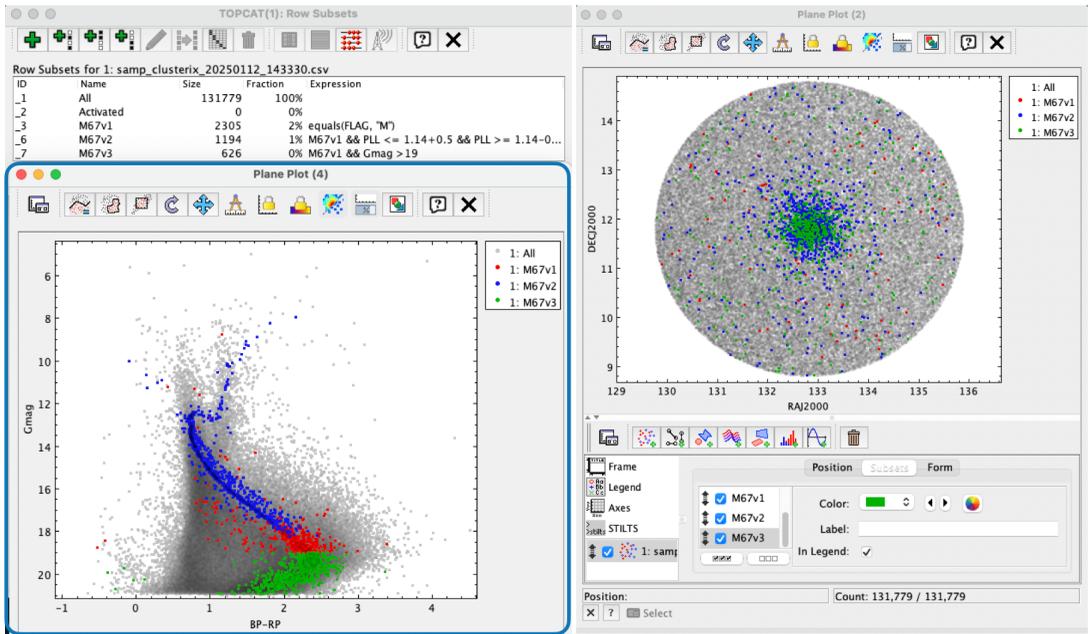


Figura 13. Izq. - Representación color-magnitud de todos los suconjuntos. Dcha. - Mapa de posiciones de los tres subconjuntos.

La conclusión a extraer de aquí es que, a menos que ésta sea una región de interés expreso, conviene excluir de estos análisis los objetos más débiles del espectro de Gaia, (magnitud G de 19 en adelante).

Se propone al lector ejercitarse aplicando estos procesos con otros cúmulos como NGC 2516, NGC 1817, NGC 1750 y 1758, (todos ellos desarrollados en *L. Balaguer-Núñez et al. [2]*). También puede intentarse con Las Pleiades, (M45, *Melotte 22*).

En la próxima entrega haremos uso de otra herramienta del Observatorio Virtual: VOSA.

Agradecimientos

Clusterix 2.0 -

Clusterix 2.0 is an interactive web-based application to calculate the grouping probability of a list of objects using proper motions and the non parametric method in the approach described in Balaguer-Núñez et al (2020)

<http://clusterix.cab.inta-csic.es/clusterix/>

TOPCAT -

This research has made use of "TOPCAT VO"

Author: Mark Taylor, Astrophysics Group, Physics Department, University of Bristol

Email: m.b.taylor@bristol.ac.uk

TOPCAT WWW page: <http://www.starlink.ac.uk/topcat/>

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005ASPC..347...29T/abstract>

Spanish Virtual Observatory-

This research has made use of the Spanish Virtual Observatory <https://svo.cab.inta-csic.es> project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ through grant PID2020-112949GB-I00.

References

- [1] Clusterix 2.0 - <http://clusterix.cab.inta-csic.es/clusterix/>
- [2] L. Balaguer-Núñez et al. - "Clusterix 2.0. A Virtual Observatory tool to estimate cluster membership probability" - <https://arxiv.org/pdf/1910.07356>
- [3] TOPCAT: Tool for OPERations on Catalogues And Tables - <https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>
- [4] Aladin Sky Atlas - <https://aladin.cds.unistra.fr>
- [5] VO SED Analyzer - <http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa/index.php>
- [6] Galadí-Enríquez, D. et al. - "The overlapping open clusters ..." - Astronomy and Astrophysics, v.337, p.125-140 (1998) <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1998A%26A...337..125G/abstract>
- [7] Open Clusters - CDS VizieR Catalogue - <http://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=B/ocl/clusters>
- [8] Misión Gaia (ESA) - <https://sci.esa.int/web/gaia/>
- [9] Spanish Virtual Observatory <https://svo.cab.inta-csic.es>. Escuelas y tutoriales: <https://svo.cab.inta-csic.es/docs/index.php?pagename=Meetings>