

SECTION: HERRAMIENTAS DEL OBSERVATORIO VIRTUAL

Caracterización de cúmulos abiertos - VOSA

Joaquín Álvaro Contreras¹

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

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

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

Resumen

En artículos anteriores de la serie dedicada a herramientas del Observatorio Virtual (VO) aplicadas a la caracterización de cúmulos estelares abiertos (OCs) hemos utilizado aplicaciones como Clusterix 2.0 [1] y TOPCAT [2]. Con estas herramientas hemos conseguido una buena determinación de los componentes de un OC, y con ello una estimación razonable del número de objetos que lo integran, así como su distancia media y dinámica en movimientos propios. Pero es deseable obtener otra información importante como la edad del cúmulo y una valoración de la masa total al menos. Para este propósito utilizaremos otra herramienta del Observatorio Virtual, en este caso VOSA [3].

Abstract

In previous articles of this series on Virtual Observatory (VO) tools applied to the characterization of open clusters (OCs), we made use of applications such as Clusterix 2.0 [1] and TOPCAT [2]. These tools allowed us to reliably identify OC members and, consequently, to obtain reasonable estimates of the number of objects they contain, their mean distance, and their proper-motion kinematics. Nevertheless, it is also desirable to derive other key parameters, such as the cluster's mean age and at least an estimate of its total mass. To this end, we turn to another VO tool, namely VOSA [3].

1. Introducción

El trabajo desarrollado hasta aquí, tomando como ejemplo práctico el cúmulo estelar NGC 2682 (M67), nos ha permitido una estimación del número de objetos del cúmulo identificados individualmente, así como sus respectivas propiedades astrométricas y también una referencia fotométrica ('Gmag' de GAIA/EDR3). Ahora haremos uso de VOSA [3] para ampliar la información relativa a cada uno de los componentes de NGC 2682 y tener así una caracterización más completa del cúmulo.

VOSA (Virtual Observatory SED Analyzer) es una aplicación web desarrollada por el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA) y el Spanish Virtual Observatory (SVO) [4] diseñada para ayudar a construir, analizar y ajustar *Distribuciones Espectrales de Energía* (SEDs, por sus siglas en inglés) de objetos astronómicos usando datos tanto propios como procedentes de servicios del Observatorio Virtual (VO).

A partir del nombre de las estrellas a estudiar y/o de sus coordenadas, VOSA puede consultar múltiples catálogos fotométricos en el entorno VO (Gaia, 2MASS, WISE, Pan-STARRS, SDSS, ...), lo que permite obtener la distribución espectral de energía (SED) de estos objetos. A partir de ahí se hace posible la comparación y ajuste de cada estrella con los diferentes modelos teóricos (BT-Setti, Kurucz, NextGen, PHOENIX, etc.). Integrando la SED de mejor ajuste con los modelos, VOSA calcula luminosidades e isócronas evolutivas para determinar masas y edades.

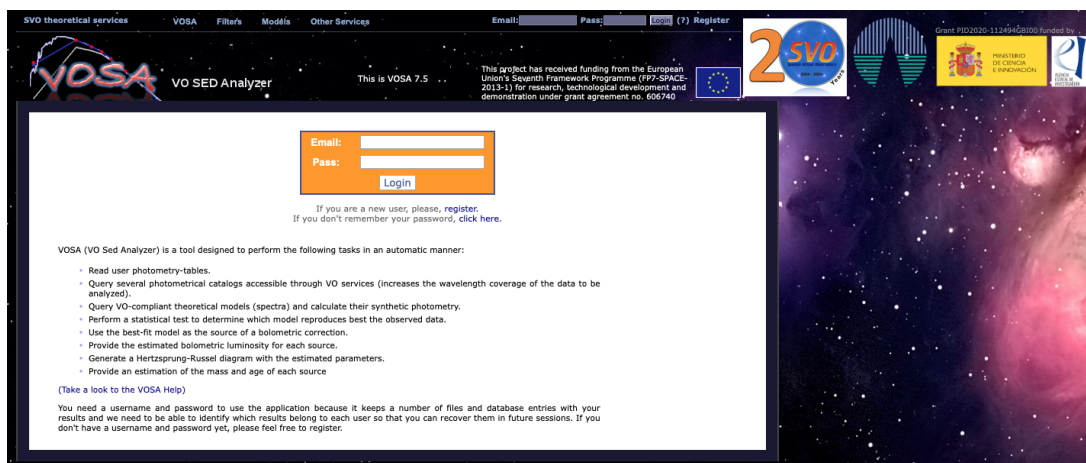


Figura 1. Página de acceso a la aplicación - <http://svo2.cab.inta-csic.es/svo/theory/vosa/index.php>.

2. Trabajando con VOSA

El acceso a VOSA es gratuito, pero requiere crear una cuenta de usuario y utilizar las claves asignadas para hacer uso de la herramienta. Esto tiene una ventaja importante: los datos y tareas realizadas quedan almacenados en la cuenta correspondiente mientras el propio usuario no decida borrarlos y esto permite volver a dichas tareas y/o modificarlas tantas veces como sea necesario.

Asumiendo que esto se ha hecho y que hemos accedido a la aplicación debidamente identificados, empezaremos por importar a VOSA nuestro *set* de estrellas.

Figura 2. Página inicial - importar datos propios / obtener datos de un objeto a partir del VO.

Utilizaremos el conjunto que se dio por válido al final del trabajo anterior con Clusterix/TOPCAT. Pero aquí hay que tener en cuenta un par de consideraciones:

1. el formato de los datos/fichero a importar.
2. el tamaño del fichero y/o el número de registros máximo admitido.

En cuanto al formato hay información suficiente en el *help* de VOSA <http://svo2.cab.inta-csic.es/svo/theory/vosa/helpw4.php?otype=star&action=help&what=format>, pero podemos simplificar diciendo que basta un fichero .CSV con los campos separados por un espacio (" ") y los valores numéricos

con un punto (.) como separador decimal. Los campos no informados se dejarán con tres guiones (- - -). En lo relativo al tamaño del fichero, como se indica en la misma utilidad de 'upload', está restringido a 50 MB, (esto da para mucho ...), pero hay también un valor máximo en cuanto al número de filas que está limitado a 1 000. Si fuera necesario trabajar con un número mayor de objetos, se puede hacer, pero hay que contactar con el administrador del sistema para que lo autorice.

Si echamos mano de la tabla que dimos por buena en el artículo anterior (**M67v2**), vemos que ésta contiene 1 194 estrellas. Con objeto de evitar el límite de 1 000 filas, que nos obligaría a solicitar la excepción a esta restricción, y dado que se trata de un ejemplo/práctica con VOSA, haremos una nueva selección de objetos modificando uno de los filtros empleados en el trabajo anterior de manera que el tamaño de la muestra sea ligeramente inferior. En concreto, aplicaremos el filtro:

$$\text{Expression : } M67v2 \ \&\& \ ePLL/PLL \leq 0.06. \quad (2.1)$$

De esta manera reducimos el error relativo en el parámetro 'parallax' del 10%, empleado entonces, al 6%, con lo que nuestra muestra pasará a ser de 972 estrellas. Podemos emplear de nuevo TOPCAT para hacer esto.

Finalmente, el fichero a importar a VOSA tendrá la forma:

```
STAR_NO RAJ2000 DECJ2000 --- ---
9000 132.77497 9.273203 --- ---
11551 132.823916 9.675918 --- ---
86713 132.999679 12.083028 --- ---
103402 132.074298 12.369349 --- ---
88986 132.622547 12.317817 --- ---
40562 132.428658 11.719099 --- ---
85727 132.742274 11.872869 --- ---
86689 133.136241 12.106948 --- ---
87333 132.48592 11.948121 --- ---
130797 132.043857 14.48867 --- ---
88940 132.741523 12.308915 --- ---
```

Figura 3. Primeras filas del fichero - formato texto asci (.CSV), con 'espacio' como delimitador y '.' como separador decimal.

Como puede comprobarse sólo hemos incluido en este fichero el nombre (o número) de la estrella y las coordenadas (ascensión recta y declinación) con objeto de que VOSA pueda utilizar estas 'coordenadas de usuario' si no hubiera concordancia del nombre con el de los catálogos consultados. El resto de campos se ignoran, ('- - -' '- - -'), y no es necesario añadir más que un par de estos campos vacíos.

Hecho esto, seleccionamos el archivo y lo subimos a VOSA. Quedará en nuestro repositorio y, antes de empezar a trabajar con él, lo seleccionamos y tendremos varias opciones disponibles: 'Save', 'Show Objects', ..., 'Delete'. Cada vez que se entre en VOSA este fichero formará parte de nuestro particular repositorio. Habrá que seleccionarlo y se mostrará una breve información del mismo, así como las acciones ya realizadas sobre él en VOSA en sesiones previas.

2.1. Servicios de VOSA

El hilo de tareas posibles, una vez cargado el fichero sobre el que se quiere trabajar, es sencillo y está bien ordenado siguiendo la secuencia marcada por el menú superior de la aplicación:

2.1.1. Objects

La primera de las acciones a realizar es definir la astrometría de las estrellas objeto de estudio. En concreto aquí es necesario conocer las coordenadas ecuatoriales y la distancia de cada objeto. Estos son

Files	Objects	Build SEDs	Analyse SEDs	HR Diag.	Results	Help
Stars and brown dwarfs (Change)			File: M67v2.csv (info) (Change)			

Figura 4. Menú principal de la aplicación.

datos que ya teníamos después del trabajo hecho con TOPCAT previamente y que podríamos haber incluido en el fichero importado, pero que también VOSA puede resolver.

Si pedimos a VOSA que resuelva las coordenadas de las estrellas, utilizará el servicio 'Sesame' consultando diversas bases de datos (*Simbad*, *NED* y *VizieR*) y recuperarlas de ahí a partir del *nombre* de cada objeto. En nuestro ejemplo no hay concordancia de este nombre con los contemplados en los catálogos referidos, por lo que ya hemos tenido la precaución de añadir estas coordenadas en el fichero importado y VOSA las utilizará como *datos de usuario* válidos para la identificación de cada objeto en las sucesivas tareas.

Object	Final		User Data		Sesame	
	RA (deg)	DEC (deg)	RA (deg)	DEC (deg)	RA (deg)	DEC (deg)
102283	134.428656	13.755897	134.428656	13.755897	---	---
102802	132.111048	12.107285	132.111048	12.107285	---	---
102804	132.122303	12.109806	132.122303	12.109806	---	---
102869	132.232864	12.161909	132.232864	12.161909	---	---
102959	132.087474	12.235831	132.087474	12.235831	---	---

Figura 5. Coordenadas 'User Data' utilizadas por VOSA adelante. El servicio 'Sesame' no ha identificado los objetos por el nombre en los catálogos consultados.

También 'las distancias' (en *parsec*) podríamos haberlas incluido en el conjunto de datos importado a VOSA, pero dejaremos que sea VOSA quien resuelva ya este dato.

El botón 'Distances' nos lleva a la utilidad correspondiente (ver Figura 6), donde podemos asignar un margen de tolerancia en torno a las posiciones para la identificación de los objetos. Por defecto esta tolerancia es de ± 5 *arcsec*, pero puede ajustarse de otro modo si fuera necesario. Al solicitar la búsqueda se inicia el proceso.

Algo a tener en cuenta es que algunas de las tareas en VOSA pueden tardar un cierto tiempo, pero todas son tareas *asíncronas* por lo que podemos abandonar la aplicación si fuera necesario y tendremos los resultados completados al volver a ella.

CoordinatesDistancesExtinction

Object distance

This panel allows you to query VO services to search for object distances using the object coordinates.
Take a look to the corresponding [Help Section](#) and [Credits Page](#) for more information.

You can query some VO catalogues for values for the distance to these objects
Search radius: 5 arcsec

Search for Obj. Distances

Object	Final		User		GAIA DR2							GAIA DR3 (viz)									
	Name	RA (deg)	DEC (deg)	Dis (pc)	ADis (pc)	D (pc)	ADis (pc)	Δ (arcsec)	RA (deg)	DEC (deg)	Pix (mas)	ΔPix (mas)	D (pc)	ADis (pc)	Δ (arcsec)	RA (deg)	DEC (deg)	Pix (mas)	ΔPix (mas)	D (pc)	ADis (pc)
102283	134.428656	13.755897	---	---	---	---	---	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
102802	132.111048	12.107285	---	---	---	---	---	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
102804	132.122303	12.109806	---	---	---	---	---	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
102869	132.232864	12.161909	---	---	---	---	---	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
102959	132.087474	12.235831	---	---	---	---	---	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??

Figura 6. Determinación de distancias.

Una vez resuelto el proceso, VOSA nos presenta una nueva pantalla, (Figura 7), en la que vamos a realizar tres acciones:

1. seleccionar qué valores (distancias) se quieren utilizar -en este caso 'GAIA DR3 (viz)'
2. proceder a los cambios.
3. salvar los datos.

Coordinate Distance Extinction

Object distance

This panel allows you to query VO services to search for object distances using the object coordinates.
Take a look to the corresponding [Help Section](#) and [Credits Page](#) for more information.

You have already searched the VO for distances.
If you want to do it again, please

Delete VO data

Actions for all the objects in the file

Here you can set the "Final" value of the distance for all the objects at the same time. Depending on the choices that you make, the changes will be done for all the objects in the file when you click the "Make all changes" button.

What values do you trust better?

☐ Select first user value if available. And then, if not, always the VO value with the smallest uncertainty (smaller value for $ADis/Dia$).

☐ Select always the value with the smallest uncertainty (smaller value for $ADis/Dia$. (There is no value for $ADis$, we consider it the largest uncertainty).

☒ Select values by ranking:

1: [GAIA DR3, viz] 2: [] 3: []

Apply changes depending on the uncertainty?

☒ Always

☐ Only when $ADis/Dia <$ []

Make all changes

Showing objects 1 to 5. Use pagination options if you wish.

Find object: [102283] Show: [5] objects per page

Go to page: [1] 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 <Prev Next>

Object	RA (deg)	DEC (deg)	Dia (pc)	ADis (pc)	D (pc)	User	GAIA DR2	GAIA DR3 (viz)												
Name	RA (deg)	DEC (deg)	Dia (pc)	ADis (pc)	D (pc)		A (arcsec)	RA (deg)	DEC (deg)	Pix (mas)	APix (mas)	D (pc)	ADis (pc)	A (arcsec)	RA (deg)	DEC (deg)	Pix (mas)	APix (mas)	D (pc)	ADis (pc)
102283	134.428650	12.107285	---	---	---	---	0.005323605600496	134.42865738143	13.755997330546	1.28240963005865	0.030930285207522	779.782	15.807	0	134.42865572120	+13.75599685468	1.2158	0.0190	822.504	12.854
102802	132.111048	12.107285	---	---	---	---	0.005323605600496	132.1110493515	12.107289278638	1.130612898009	0.045567156068892	884.476	35.647	0	132.11104787061	+12.10728408081	1.0696	0.0316	934.929	27.621
102804	132.122033	12.109806	---	---	---	---	0.005323605600496	132.1223044589	12.109806100584	1.0809564358942	0.035279936206673	925.107	30.193	0	132.12230292729	+12.10980570704	1.1227	0.0166	890.710	13.170
102809	132.232864	12.161909	---	---	---	---	0.0068727452774991	132.23286584419	12.161909489398	1.1305058023815	0.033309481558821	884.560	26.063	0	132.23286429093	+12.16190908888	1.1943	0.0239	837.311	16.756
102999	132.087474	12.233831	---	---	---	---	0.005323605600496	132.08747510421	12.233831961048	1.1252399523381	0.045672792418099	888.699	36.072	0.0036	132.08747354914	+12.23383158696	1.1625	0.0337	860.215	24.937

Save Obj. Distances

Figura 7. Determinación de distancias - Proceso concluido - Guardar datos.

2.1.2. Fotometría y Distribución Espectral de Energía

Ahora ya es el momento de recuperar datos fotométricos de nuestras estrellas con los que componer después sus respectivas distribuciones espectrales. Para ello vamos a la pestaña 'Build SEDs'. Aquí aparecen marcados por defecto todos los catálogos disponibles, pero sólo vamos a hacer uso de algunos de ellos con objeto de no hacer de éste un proceso excesivamente pesado.

Desmarcamos todos y procedemos después a seleccionar sólo algunos: **2MASS**, **WISE**, en el infrarojo y **APASS 9**, **Gaia DR3** en el óptico. Y se ejecuta la consulta.

Con esto ya tenemos caracterizada cada estrella también en sus valores fotométricos, en unidades de *flujo*, (figura 8). Pueden analizarse una a una con objeto de estimar si presentan *exceso* en el infrarojo o en el ultravioleta/azul, pero dado que nuestro propósito no se centra en objetos particulares sino en el conjunto global del cúmulo podemos ignorar estos detalles.

2.1.3. Ajuste con modelos teóricos estelares

El siguiente paso es proceder al mejor ajuste 'Chi-square' con los modelos teóricos estelares para cada objeto. También en este caso seleccionaremos sólo alguno de los modelos disponibles. En concreto 'Kurucz ODFNEW/NOVER, alpha: 0.0' y acotamos, en la siguiente pantalla, valores para los parámetros:

1. teff: 3 500 - 20 000 k
2. logg: 4.0 - 5.0 dex

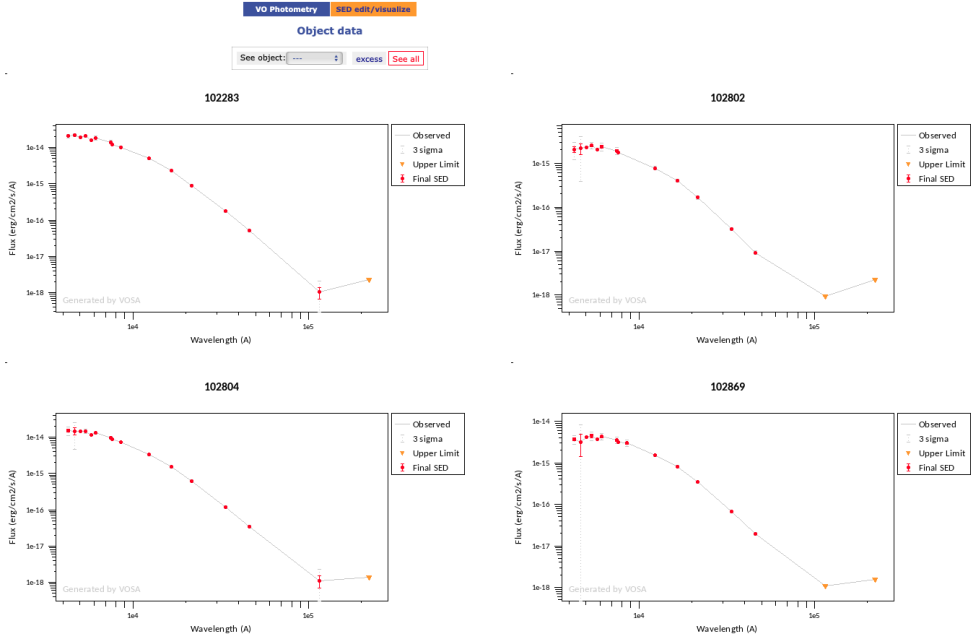


Figura 8. Distribución espectral de los objetos estudiados.

3. $M/H = -0.5 - 0.5$.

El resultado de esta última etapa es muy similar al presentado en la figura 8, pero aquí (figura 9) ya aparecen caracterizadas las estrellas según el ajuste con el modelo empleado.

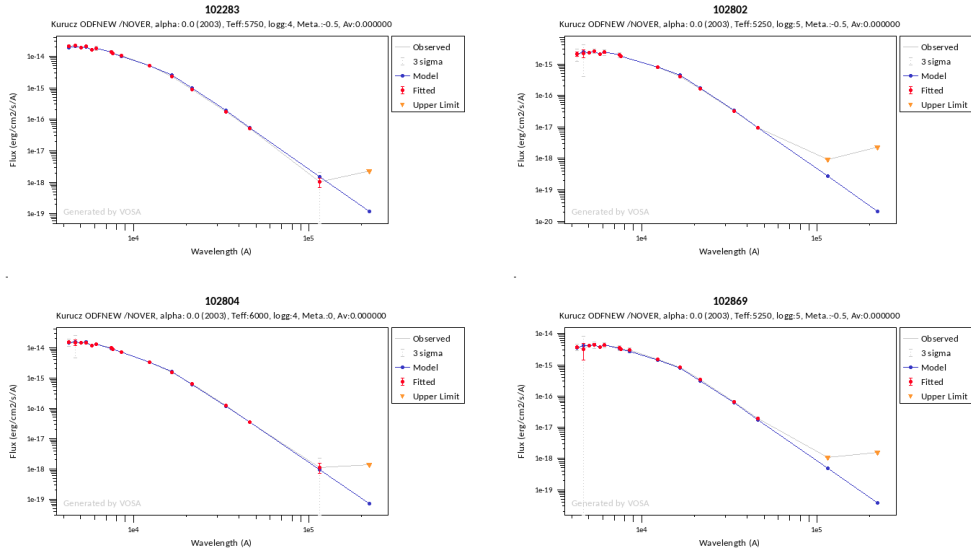


Figura 9. Caracterización estelar por ajuste con los modelos teóricos 'Kurucz ODFNEW/NOVER'.

2.1.4. El diagrama HR

VOSA ya está en condiciones de construir el diagrama H-R de los objetos que componen el cúmulo estimando *masas* para los objetos y definiendo isócronas que nos darán también una edad estimada. Con el modelo *Kurucz* se utilizan isócronas *Siess*. El resultado puede verse en la figura 10.

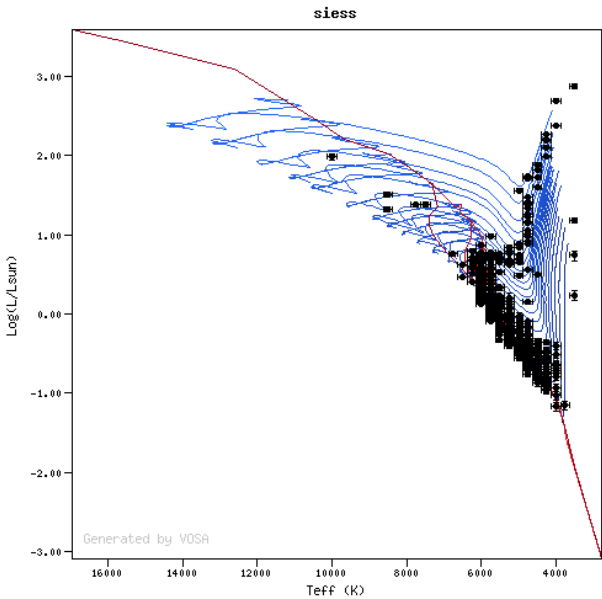


Figura 10. Diagrama H-R con isócronas Siess del modelo 'Kurucz ODFNEW/NOVER'.

VOSA puede exportar datos al ecosistema del Observatio Virtual. Si hemos abierto la aplicación TOPCAT, (o Aladin, por ejemplo), la tabla (figura 11) podrá ser enviada a estas aplicaciones.

Objects											
Object	Model	T _{eff}	LogL		Age		Mass				
78216	siess	4750	(4625,4875)	-0.6458	(-0.6756,-0.6180)	---	[4]	---	---	[4]	
78308	siess	5750	(5625,5875)	0.1785	(0.1623,0.1941)	5.0000	..(---,5.1367)	1.0989	(---,1.2000)	[2]	
78703	siess	5000	(4875,5125)	-0.3644	(-0.3996,-0.3318)	---	[4]	0.8771	(---,0.9004)		
78773	siess	6000	(5875,6125)	0.2335	(0.2169,0.2495)	---	[4]	1.2012	(---,1.2012)	[2]	
78779	siess	4500	(4375,4625)	-0.5919	(-0.6265,-0.5599)	---	[4]	0.8003	(---,0.8568)	[1]	
78817	siess	3500	(3500,3625)	2.8695	(2.8422,2.8952)	---	[4]	---	---	[4]	
78823	siess	6000	(5875,6125)	0.4998	(0.4831,0.5159)	3.7055	..(3.0002,4.4799)	1.3026	(1.2925,1.3217)		
78836	siess	4500	(4375,4625)	-0.7286	(-0.7820,-0.6810)	---	[4]	---	---	[4]	
78878	siess	5750	(5625,5875)	0.1046	(0.0838,0.1244)	2.0253	..(---,5.9878)	1.1001	(---,1.1029)	[2]	
78881	siess	5750	(5625,5875)	0.0652	(0.0448,0.0846)	---	[4]	1.1044	(---,1.1044)	[2]	

Figura 11. Tabla final con datos como temperatura efectiva, luminosidad, edad y masa.

2.1.5. Resultados

Finalmente, la pestaña 'Results' nos permite guardar todas las tablas (o selección) y gráficos generados durante el trabajo/proyecto realizado, incluido el 'Activity Log' donde queda constancia de las acciones realizadas y parámetros aplicados en las mismas. También presenta una reseña completa de las referencias y agradecimientos a considerar en publicaciones relativas al trabajo efectuado.

El proyecto/fichero sigue disponible en la cuenta de usuario, hasta que éste lo borre, pudiendo volver al mismo tantas veces como sea necesario.

3. De nuevo en TOPCAT

Puede ser útil recurrir de nuevo a TOPCAT para hacer uso de algunas de sus facilidades con los datos obtenidos de VOSA. Para esto, como ya se ha comentado, es necesario abrir la aplicación de TOPCAT. Hecho esto, en VOSA aparecerá la opción '*Send results table to SAMP Hub*'. Con la tabla ya en TOPCAT podemos hacer un resumen adicional:

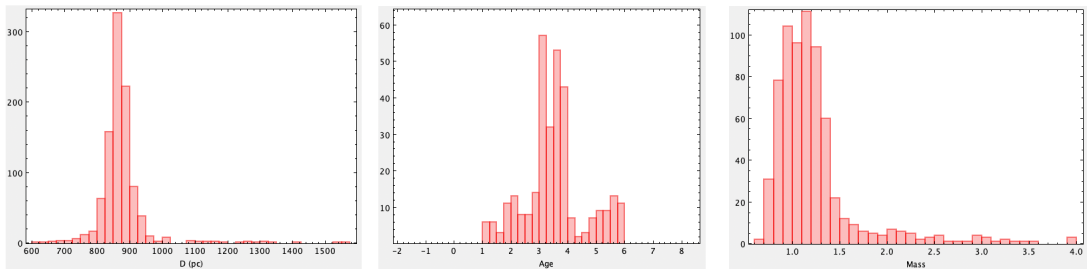


Figura 12. Distribuciones de distancias (en parsec), edades (en miles de millones de años) y masas (en masas solares).

La estimación de *distancia* a M67, realizada por VOSA a partir del *match* por coordenadas, es similar a la establecida en el artículo anterior: $873.09 \text{ pc} \pm 70.69 \text{ pc}$. Respecto a la '*edad*', el ajuste según el modelo *Kurucz/siess* sólo ha determinado un valor posible para 315 objetos con un valor medio de $3.53 \text{ Gyears} \pm 1.08 \text{ Gyears}$. Resulta evidente una dispersión importante. Lo mismo ocurre con la estimación de masas, donde las estrellas valoradas han sido 680 del total (972): masa media = $1.22 m_{\text{sun}} \pm 0.47 m_{\text{sun}}$.

4. Conclusiones

El propósito de estos trabajos ha sido fundamentalmente introducirnos en el uso de algunas herramientas del Observatorio Virtual de la mano de un caso práctico pero sin entrar en detalles de mayor rigor ... Si se persiguen objetivos de más calado, sería conveniente depurar datos espúrios y explorar mejores ajustes con los modelos aplicados.

Por ejemplo, si se añade el modelo BT-Setti en el análisis SED, (más adecuado para estrellas más frías), del conjunto de 972 objetos analizados para NGC 2682, 253 presentan un mejor ajuste con el modelo *Kurucz/Siess* y 719 lo hacen con el modelo *Bt-Setti*. Figuras 13 y 14.

Se propone aquí repetir las tareas realizadas en estos tres artículos de la serie con otro cúmulo estelar. Por ejemplo con *Melotte 22*, también conocido como M45 o *Pleiades*, figura 14. También en este caso se ha ensayado el ajuste SED con los modelos *Kurucz/siess* y *BT-Setti* con isócronas *BHAC15*. En este caso, de 658 estrellas, el modelo *Kurucz* se aplica a 142 objetos y 513 se ajustan mejor con BT-Setti.

M45 es un cúmulo '*jóven*'. Las isócronas *BHAC15* dan una edad media de 250 millones de años, pero con una dispersión/incertidumbre elevada. Mientras que el modelo *Kurucz* las sitúa en 925 millones de años, pero también con unos valores de alta dispersión.

Choose the isochrone/track collections to use for the HR diagram

719 objects (?) have been fitted using the **BT-Settl (CIFIST)** model.

Available ranges of values for this fit model:

- Teff: 2200 - 6400 (K)
- Lbol: 0.0689481 - 491.159 (Lsun)

Use: **BHAC15** isochrones and tracks for the HR diagram.

If you want to use other isochrones/tracks for some values of Teff or Lbol, [click to add more options](#)

253 objects (?) have been fitted using the **Kurucz ODFNEW /NOVER, alpha: 0.0 (2003)** model.

Available ranges of values for this fit model:

- Teff: 3500 - 11000 (K)
- Lbol: 0.0699182 - 740.453 (Lsun)

Use: **Sless** isochrones and tracks for the HR diagram.

If you want to use other isochrones/tracks for some values of Teff or Lbol, [click to add more options](#)

Figura 13. Ajuste y parámetros con los modelos BT-Settl y Kurucz..

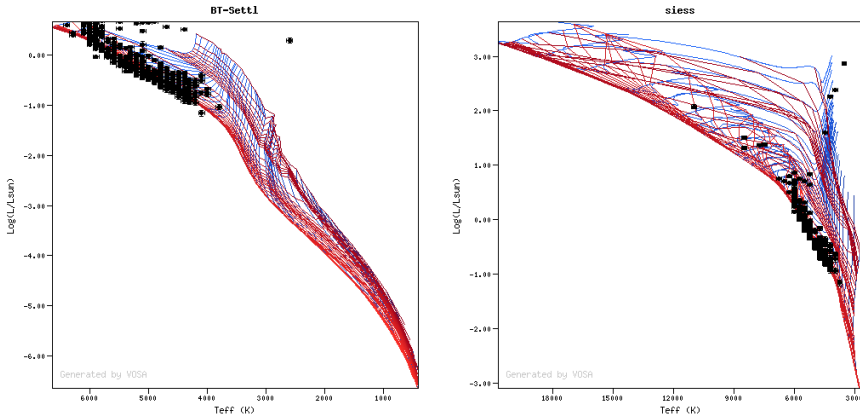


Figura 14. NGC 2682 (M67). Véase que las escalas en los ejes de ambas gráficas no son iguales. El modelo BT-Settl con isócronas Bt-Settl da mayor resolución para estrellas menos luminosas y más frías..

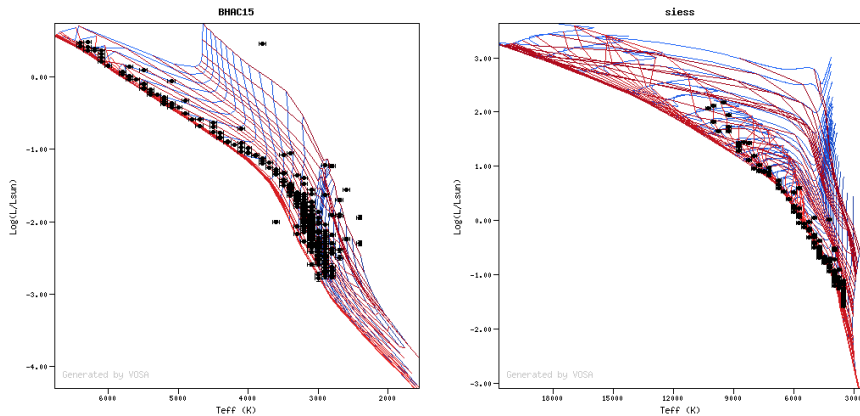


Figura 15. Melotte 22 (M45). También en este caso el modelo BT-Settl con isócronas BHAC15 ofrece una mayor resolución para las estrellas menos calientes..

Agradecimientos

VOSA. This publication makes use of VOSA, developed under the Spanish Virtual Observatory <https://svo.cab.inta-csic.es> project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ through grant PID2020-112949GB-I00. VOSA has been partially updated by using funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme, under Grant Agreement n° 776403 (EXOPLANETS-A)

<http://svo2.cab.inta-csic.es/svo/theory/vosa/index.php>

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/>

<http://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.

Otros

Dereddening. For dereddening the SEDs we make use of the extinction law by Fitzpatrick (1999) improved by Indebetouw et al (2005) in the infrared.

Fitzpatrick, E.; 1999, PASP, 111, 63

Indebetouw et al, 2005, ApJ 619, 931

VO photometry

2MASS All-Sky Point Source Catalog

Skrutskie et al, 2006, AJ, 131, 1163S

Ochsenbein et al 2000, A&AS 143, 221

Acknowledgement :

This publication makes use of data products from the Two Micron All Sky Survey, which is a joint project of the University of Massachusetts and the Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation.

WISE

Acknowledgement :

This publication makes use of data products from the Wide-field Infrared Survey Explorer, which is a joint project of the University of California, Los Angeles, and the Jet Propulsion Laboratory/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration.

Ochsenbein et al 2000, A&AS 143, 221

Wright et al 2010, AJ 140, 1868W

APASS 9

Evans et al. 2002, A&A 395, 347E

Ochsenbein et al 2000, A&AS 143, 221

Gaia DR3 (CDS)

Gaia DR3 Documentation

Gaia DR3 Credit and citation instructions

Ochsenbein et al 2000, A&AS 143, 221

Gaia Collaboration et al. 2016, A&A 595, 1G

Acknowledgement :

This work has made use of data from the European Space Agency (ESA) mission Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), processed by the Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Funding for the DPAC has been

provided by national institutions, in particular the institutions participating in the Gaia Multilateral Agreement.

VO Distance

GAIA DR3 (vizier)

Gaia DR3 Documentation

Gaia DR3 Credit and citation instructions

Ochsenbein et al 2000, A&AS 143, 221

Gaia Collaboration et al. 2016, A&A 595, 1G

Acknowledgement :

This work has made use of data from the European Space Agency (ESA) mission Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), processed by the Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Funding for the DPAC has been provided by national institutions, in particular the institutions participating in the Gaia Multilateral Agreement.

Model Fit: theoretical spectra

Kurucz ODFNEW /NOVER, alpha: 0.0 (2003)

Castelli and Kurucz 2003, IAUS 210, A20

Castelli and Kurucz Atlas

Castelli ATLAS9 grids web page.

HR diagram: Isochrones and Evolutionary Tracks

Siess Isochrones and Evolutionary Tracks

Siess et al 2000, A&A, 358, 593S

References

- [1] Clusterix 2.0 - <http://clusterix.cab.inta-csic.es/clusterix/>
- [2] TOPCAT: Tool for OPERations on Catalogues And Tables - <https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>
- [3] VO SED Analyzer - VOSA - <http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa/index.php>
Bayo, A., Rodrigo, C., Barrado y Navascués, D., Solano, E., Gutiérrez, R., Morales-Calderón, M., Allard, F. 2008, A&A 492,277B.
- [4] Spanish Virtual Observatory <https://svo.cab.inta-csic.es>. Escuelas y tutoriales: <https://svo.cab.inta-csic.es/docs/index.php?pagename=Meetings>