

Diagrama Hertzsprung-Russell

Comparando cúmulos con *Aladin* y *TopCat*.

Ruiz Muñoz, Juan Manuel

Técnicas Experimentales III, Grado de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante.

Enviado 20 de mayo de 2022

ABSTRACT

Context. Contexto: Los diagramas de magnitud-color para el estudio de las estrellas son muy útiles. Sin embargo, se nos presenta un problema cuando intentamos estudiar y comparar estrellas de distintas zonas en el cielo. El principal problema viene de ignorar la distancia a la cual se encuentran de nosotros pues ésta es necesaria si queremos que al presentar diferentes puntos en un diagrama HR éstos tengan correlación y puedan ser comparados.

Es por ello que estudiamos agrupaciones de estrellas, cúmulos, en los cuales podemos ignorar las distancias locales entre estrellas del mismo cúmulo pues éstas son despreciables con la distancia desde que observamos. Así, aún sin saber la distancia que nos separa de ellas debido a que los efectos de las distancias, son iguales para cada una de ellas, la luz que nos llega es independiente de la misma. Nos será posible entonces hacer un estudio de la evolución estelar de las estrellas del cúmulo midiendo tan solo su brillo y su índice de color (temperatura superficial), donde esta última se puede extraer observando el color de la superficie de la estrella.

Aims. Objetivos: Extraer información de cúmulos de estrellas a partir del estudio de sus respectivos diagramas HR.

Methods. Métodos: Haremos uso de los programas Aladin y TopCat, ambos de licencia libre. Los diagramas se construirán de dos formas con ayuda de TopCat. La primera será la presentada en el guión de la práctica 3 de la parte de astrofísica de la asignatura de Técnicas Experimentales III. La segunda será representando los puntos extraídos de Aladin, en TopCat, en diagramas de movimientos propios.

Results. Resultados: Son algo contradictorios ya que a pesar de llegar a conclusiones erróneas el objetivo principal de la práctica queda cubierto pues hemos obtenido diagramas HR de diferentes cúmulos haciendo uso de las herramientas de Aladin y TopCat empleando varios métodos para ello.

Conclusions.

Key words. Palabras clave: Diagrama magnitud-color - Diagrama HR - Magnitud aparente - Índice de color - Secuencia principal - Punto de ruptura de la secuencia principal - Reddening - Redshift.

1. Introducción

La distancia a la cual se encuentran las luces que medimos de las estrellas a estudiar, en nuestro caso cúmulo de estas, son importantes pues por el hecho de viajar hasta la Tierra desde allí hace que tenga efectos sobre la misma. Es decir, que si medimos estrellas, entiéndase medir como estudiar su luz (brillo), no las podremos comparar si no conocemos su lejanía respecto de nosotros pues no seremos capaces de corregir los efectos de la distancia y por ende, no las compararemos. A esto se le conoce como **reddening** y se da debido a que la luz emitida por una estrella a lo largo de su camino hacia nosotros va interaccionando con nubes de gas y polvo.

Por otro lado, tenemos otro efecto, que no debemos confundir con el anterior, que es debido a una variación en la longitud de onda de la luz emitida, **redshift**. Esto es debido a lo que se conoce como efecto Doppler.

En esta práctica solo tendremos en cuenta los efectos de reddening y realizaremos las correcciones oportunas consultando bibliografía.

Para las correcciones del índice de color debido al reddening haremos uso de la expresión (1):

$$(B - V) = (B - V)_{Obs} - (B - V)_0 \quad (1)$$

Concluyendo ya, hacer referencia a que determinaremos para un par de cúmulos sus diagramas de magnitud-color haciendo uso de la paralaje, como bien se explica en el guión. Consultaremos en *symbad* los valores de la paralaje de los mismos junto con sus errores y tomaremos intervalos de varias desviaciones típicas, en función del número de puntos que se nos queden. Veremos más adelante que esto será un problema en algunos casos.

Por otro lado, como alternativa para los casos en los que acotar con la paralaje suponga un problema de datos para visualizar la secuencia principal, construiremos un diagrama de movimientos propios en el cual podremos diferenciar los puntos que pertenecen al cúmulo. Esto será posible siempre que nos quedemos con la región pequeña que mayor densidad de puntos tenga. **¿Y esto a qué se debe?** Podemos pensarla como que los cúmulos de estrellas se mueven como un todo, es decir, todas se mueven en la misma dirección y sentido como un grupo. Cada cúmulo tendrá unos movimientos propios que serán diferentes de las estrellas de fondo o puntos que no son del mismo. Con esto, en un diagrama de movimientos propios observaremos una

pequeña mancha oscura separada del resto de puntos tomados o bien dentro del conjunto de todo ellos. Esta técnica para localizar los puntos que pertenecen al cúmulo no es muy útil y no siempre nos permite distinguir al mismo

Cúmulo	RA(<i>hh : mm : ss</i>)	DEC(<i>dd : mm : ss</i>)	Distancia (pc)	$E(B - V)$	Edad (Ma)
HYADES	04 : 27 : 00	+15 : 52 : 00	42	0.2980 ± 0.0046	625 ± 50
PLEIADES	03 : 47 : 06	+24 : 07 : 32	136.2	0.2351 ± 0.0366	120
Alfa Persei	03 : 24 : 19.4	+49 : 51 : 40	172	0.4371 ± 0.0067	60 ± 10

Tabla 1: Algunos datos de los cúmulos estudiados.

2. Resultados experimentales

Leído y visto el ejemplo que se nos presenta en la guía de la práctica con el cúmulo de las Pleiades podemos afirmar que se trata de un cúmulo abierto de temprana edad, relativamente. En el se puede apreciar la secuencia principal cuando acotamos la totalidad de los puntos tomados desde Aladin a los valores de la paralaje presentados en el guión. Acotando la región por una circunferencia de radio 300arcmin (5°), obtenemos un total de 222 puntos. Limitando estos a aquellos que se encuentren a tres desviaciones típicas del valor de la paralaje de 8.46, $7.80 < PLX < 9.12$ nos quedamos solo con 34.

Row Subsets for 1: PLEIADES				
ID	Name	Size	Fraction	Expression
_1	All	222	100%	
_2	PLEIADES_PLX	34	15% $\$12 > 7.80 \& \& \$12 < 9.12$	

Figura 1: Número de datos para el cúmulo de las Pleiades. La totalidad de ellos versus el conjunto para los valores de paralaje nombrados.

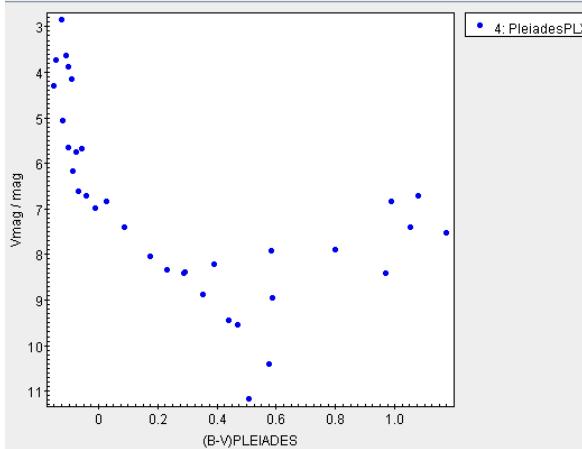


Figura 2: Diagrama HR para el cúmulo abierto de las Pleiades.

En la figura 2 podemos observar que con tan solo 34 puntos podemos discernir una secuencia principal. Estos nos son suficientes para este cúmulo.

Obviamente puede que tengamos puntos que no pertenezcan al cúmulo, ruido. Los puntos que observamos en el diagrama de la figura 2 que se encuentran en la parte derecha inferior tienen pinta de serlo pues se encuentran relativamente desplazados de la secuencia principal estando el punto de ruptura de la secuencia principal en edades tempranas todavía. Esto se observa con facilidad pues vemos que prácticamente ningún punto superior se desplaza hacia la derecha marcándonos esto que, probablemente, tengamos pocas estrellas en fase de gigantes rojas. Puesto que las primeras estrellas en salir de la secuencia principal será aquellas localizadas arriba a la izquierda no es aventurado pensar que los puntos de abajo a la derecha, mencionados, sean puntos que no

pertenecen al cúmulo. Es por esto que podemos intentar hallar el diagrama HR de las Pleiades mediante otras técnicas siguiendo haciendo uso de los programas de Aladin y TopCat.

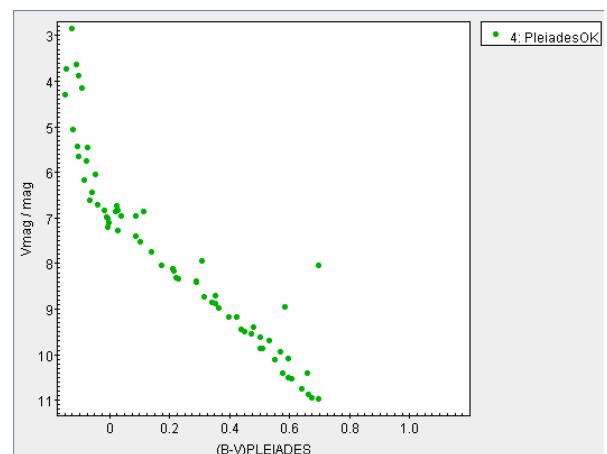


Figura 3: Diagrama HR de las Pleiades a partir de un diagrama de movimientos propios.

Haciendo uso de un diagrama de movimientos propios obtenemos un diagrama HR como el que se presenta en la figura 3. Es de apreciar que ahora obtenemos una secuencia principal muy similar que la de la figura 2. Sin embargo, ya no tenemos tantos puntos de ruido. La secuencia principal se ha poblado de más puntos. En cierta manera, siempre que nuestros procedimientos sean acertados, hemos limpiado el diagrama y hemos encontrado una mayor cantidad de puntos que pertenecen al cúmulo.

Veamos ahora otros casos. Existen algunos cúmulos de los propuesto en los que tendremos que tomar diferentes valores para la región en la que tomamos los puntos, es decir, para el caso de las Pleiades se tomó un radio de 300arcmin (5°), para otro esto no tiene porqué ser lo más conveniente. Y es de tener en cuenta a la hora de restringir luego a los valores de paralaje deseados.

Esto lo podemos apreciar para el caso del cúmulo de la Hyades donde tomados los mismos parámetros en Aladin y acotar a sus valores de paralaje obtenemos muy pocos puntos, insuficientes para diferenciar una secuencia principal.

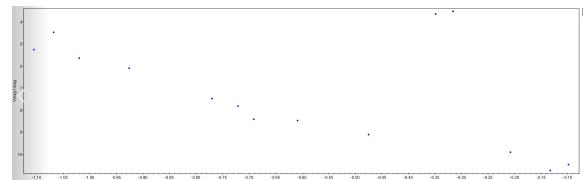


Figura 4: Diagrama HR del cúmulo de las Hyades a partir de Aladin y TopCat.

No obstante este caso nosotros trataremos el caso de Alfa Persei. En este cúmulo si nos es posible a partir de los mismos parámetros obtener un diagrama HR decente. Aquí compararemos directamente ambos diagramas, el obtenido mediante los valores de paralaje y el obtenido apoyándonos en el diagrama de movimientos propios.

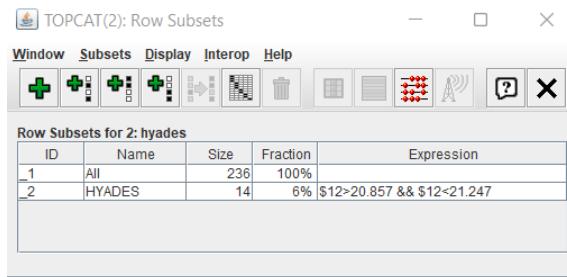


Figura 5: Número de puntos en el cúmulo de las Hyades tras acotar por aquellos que cumplen las ligaduras de paralaje.

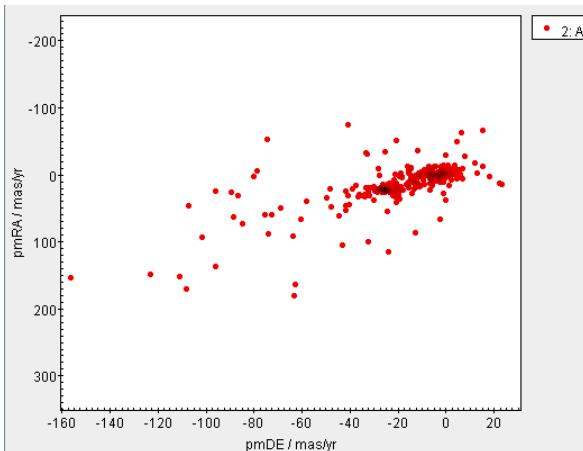


Figura 6: Diagrama de movimientos propios para el cúmulo de Alfa Persei.

En la figura 6 podemos ver el diagrama de movimientos propios para el cúmulo de Alfa Persei donde se representa la ascensión recta en función de la declinación para cada uno de los puntos tomados en Aladin.

Aquí seleccionaremos un subconjunto del total. Este será el conjunto de puntos que forman la mancha densa más pequeña que observamos en el diagrama. Este será nuestro candidato a ser el cúmulo de Alfa Persei, veamos si estos presentan correlación a construir un diagrama magnitud-color.

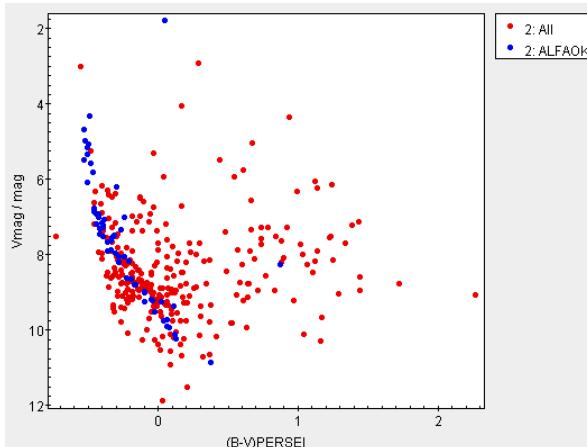


Figura 7: Diagrama HR del cúmulo Alfa Persei a partir de hacer uso de un diagrama de movimientos propios. En rojo se presenta la totalidad de los puntos tomados en Aladin, en azul aquellos que pertenecen a la pequeña mancha roja en la figura 6.

Cuando nos adentramos a intentar construir un diagrama HR de dicho cúmulo haciendo uso de la paralaje nos damos cuenta de que nos ocurre lo mismo que con el cúmulo de las Hyades. Es por ello, que nos limitaremos al obtenido a partir del de movimientos propios, el cual nos ofrece un resultado bastante reconfortante. En él se puede distinguir una secuencia principal.

Llegados a este punto podemos preguntarnos si el hecho de que al construir un diagrama HR nos podamos discernir una secuencia principal es sinónimo de que lo que hemos hecho está mal. La respuesta es que no tiene por qué estarlo.

Basta con observar el caso de *M13* el cual es un cúmulo globular, es decir, de edad avanzada. Si nos disponemos a construir su diagrama HR observaremos que nos será difícil apreciar una secuencia principal y esto es porque la mayoría de sus estrellas se encuentran ya fuera de ésta.

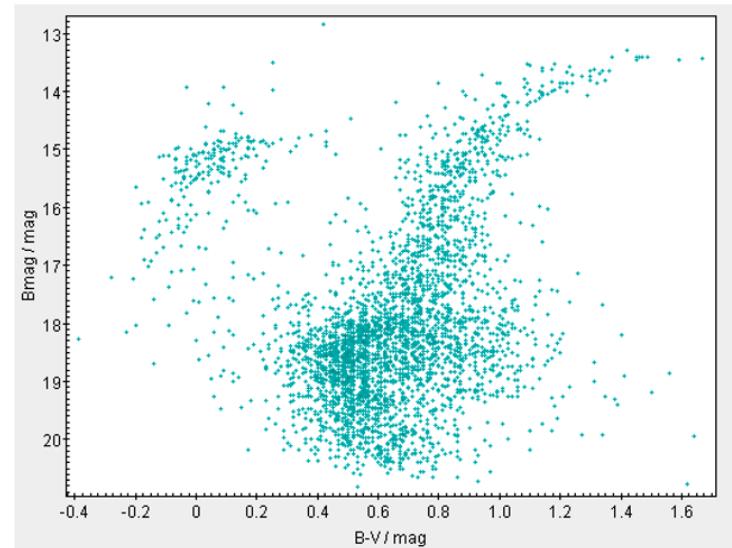


Figura 8: Diagrama HR del cúmulo globular de M13, cúmulo de Hércules.

Row Subsets for 3: table1

ID	Name	Size	Fraction
-1	M13	3532	100%

Figura 9: Número de estrellas tomados desde Aladin.

3. Discusión

Haciendo uso de los resultados que hemos obtenido y construidos podemos afirmar ciertas cosas. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado a la hora de hacerlo y es que de lo obtenido a la realidad hay un trecho.

Por ejemplo, si lo que queremos es comparar y estimar cuál de los tres cúmulos es más joven nos basaríamos en el punto de ruptura de la secuencia principal de cada uno de ellos.

Claro es que no cabe duda de que el cúmulo más con más edad es el de *M13* pues vemos que todas las puntos representados se han desviado de la secuencia principal y se encuentran ya en zonas de gigantes y enanas, en etapas más evolucionadas.

Por otro lado, para los cúmulos de las Pleiades y de Alfa Persei podríamos decir que el más joven de los dos es las Pleiades

pues vemos que todos los puntos que pertenecen al cúmulo se encuentran en secuencia principal mientras que para el caso de Alfa Persei encontramos uno de ellos desplazado a la zona de gigantes. Puede que este sea ruido. Sin embargo, considerando el mismo porcentaje de error para ambos no nos queda otra que concluir, a partir de los datos obtenidos, que el cúmulo de las Pleiades es algo más joven que el de Alfa Persei pues en este último una pequeña porción de todos los puntos del cúmulo se encuentran desplazados hacia zonas más avanzadas de etapas estelares.

Discutido esto, si consultando bibliografía o la tabla 1 de la primera página de este artículo podemos comprobar que es justo al revés. El cúmulo de Alfa Persei es más joven que el de las Pleiades.

Otro aspecto que hay que comentar es el del número de puntos que hemos obtenido para cada uno de los cúmulos. Y es que, si de nuevo, comparamos estos con referencias podremos comprobar que TODOS difieren de la realidad bastante. Esto no quiere decir que todo lo que hemos hecho esté mal sino que los datos que hemos obtenido en referencias (paralajes, reddening, etc) podrían estar mal o mejorables. Hay que decir que para los casos en los que hemos construido diagramas HR hemos tomado datos en regiones de radio igual al del ejemplo de las Pleiades y es claro que esto no tiene porqué ser lo mejor a la hora de restringir la zona de puntos que pertenecen al cúmulo. No obstante, como lo que buscábamos era poder diferenciar una secuencia principal en el diagrama magnitud-color no nos ha hecho falta corregir los valores de radios para los cúmulos tratados. Ya se comentó la problemática con algunos de ellos, donde a la hora de restringir para valores de la paralaje nos quedábamos con muy pocos puntos del total siendo así imposible concluir nada.

Además de lo comentado, los resultados serían diferentes si en lugar de utilizar un marco de error de tres desviaciones típicas, para la paralaje, hubiéramos tomado más o menos desviaciones. Los resultados para cada investigador serán diferentes si no se tiene un acuerdo.

4. Conclusiones

1. Los resultados que hemos obtenido no nos permiten llegar a conclusiones acertadas a la hora de comparar edades entre los cúmulos. Sin embargo, es todo un éxito el hecho de que a pesar de ser grande la discrepancia entre el número de estrellas computacionales que hemos obtenido y el real (bibliográfico) hemos podido obtener secuencias principales bastante buenas, en las que se puede llegar a diferenciar al representarlas.
2. Podríamos haber corregido los valores de los radios para obtener un número de puntos más cercanos a los reales. Sin embargo, como el objetivo era poder llegar a observar una secuencia principal lo que tenemos es más que suficiente.
3. Hemos construido diferentes diagramas HR a partir de diferentes técnicas con Aladin y TopCat. En algunos casos nos fue mejor mediante el método de la paralaje, presentado en el guión, y en otras usando un diagrama de movimientos propios, como en el caso del cúmulo de las Pleiades donde reducimos ruido en la parte baja de la secuencia principal.

5. Referencias

- <https://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>

- Guión de prácticas de la asignatura de Técnicas Experimentales III. Práctica 3 de la parte de Astrofísica.
- [https://es.wikipedia.org/wiki/P1%C3%A9yades_\(astronom%C3%ADA\)](https://es.wikipedia.org/wiki/P1%C3%A9yades_(astronom%C3%ADA))
- https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%BAmulo_de_H%C3%A9rcules
- https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_Persei
- <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=Alpha+Persei+Cluster>
- <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=Pleiades>
- <https://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/bgTools/nph-bgExec>