

## PRESENTACIÓN ORAL

### **Estimación de edades de 15 cúmulos estelares de la Nube Menor de Magallanes**

M.C. Parisi<sup>1</sup>, D. Geisler<sup>2</sup>, J.J. Clariá<sup>1</sup>, A.E. Piatti<sup>3</sup>, A.J. Grocholski<sup>4</sup>,  
A. Sarajedini<sup>5</sup>

(1) *Observatorio Astronómico de Córdoba - Argentina*

(2) *Universidad de Concepción - Chile*

(3) *Instituto de Astronomía y Física del Espacio - Argentina*

(4) *Yale University - USA*

(5) *University of Florida - USA*

**Abstract.** By using  $V$  and  $I$  images obtained with the “Very Large Telescope” (Chile) for 15 star clusters in the Small Magellanic Cloud (SMC), we estimated their ages from the  $\delta V$  parameter, which is defined as the difference between the visual magnitude of the horizontal branch (or “clump”) and the corresponding visual magnitude of the turn off. We first performed the PSF photometry and then built the colour-magnitude diagrams of the clusters wherein we measured  $\delta V$ . This parameter, expressed in magnitudes, was calibrated by Janes & Phelps (1994) as a function of age. The ages here estimated for the 15 clusters, together with the metallicities we had previously derived applying the CaII triplet technique, allowed us to reanalyze the age-metallicity relationship in the SMC.

**Resumen.** Usando imágenes  $V$  e  $I$  de 15 cúmulos estelares de la Nube Menor de Magallanes (NmM), obtenidas con el “Very Large Telescope” (Chile), estimamos las edades de los mismos a partir del parámetro  $\delta V$ , definido como la diferencia entre la magnitud visual de la rama horizontal (o “clump”) y la correspondiente magnitud visual del punto de desvío de la secuencia principal. Realizamos primero la fotometría PSF y luego construimos los diagramas color-magnitud de los cúmulos en los cuales medimos  $\delta V$ . Est parámetro, expresado en magnitudes, ha sido calibrado en función de la edad por Janes & Phelps (1994). Las edades estimadas para los 15 cúmulos, juntamente con las metalicidades previamente derivadas por nosotros aplicando la técnica del triplete del CaII, nos permitieron reanalizar la relación edad-metalicidad en la NmM.

## 1. Introducción

En un trabajo anterior (Parisi et al. 2009), hemos descripto con bastante detalle el procedimiento llevado a cabo para determinar metalicidades de 15 cúmulos estelares, relativamente débiles, de la Nube Menor de Magallanes (NmM). Esta determinación la hicimos utilizando espectros en el infrarrojo cercano obtenidos

con el “Very Large Telescope” ubicado en Cerro Paranal (Chile) y aplicando la técnica conocida como “Técnica del Triplete del CaII”. Usando estas metalicidades y las edades tomadas de la literatura, analizamos en el mencionado trabajo la Relación Edad-Metalicidad (REM) en esta galaxia. Si bien obtuvimos algunos resultados interesantes en este sentido, para realizar un análisis lo más confiable posible de la REM en la NmM, es recomendable que tanto las metalicidades como las edades de los cúmulos utilizados como trazadores de la REM, se encuentren en una escala lo más homogénea posible. Este requisito se cumple efectivamente para las metalicidades de los 15 cúmulos, ya que las mismas fueron determinadas usando siempre el mismo telescopio, la misma configuración instrumental y aplicando siempre la misma técnica. Lamentablemente, sin embargo, las edades de los cúmulos, tomadas de la literatura, han sido derivadas en general por distintos autores, utilizando métodos diferentes. Esta falta de homogeneidad en las edades utilizadas en nuestro primer análisis limita la confianza que podamos asignar a los resultados inferidos y, por supuesto, también al análisis mismo de la REM y a la evolución química en general de la NmM. Lo expresado justifica la necesidad de contar con edades de los cúmulos derivadas en una escala homogénea.

## 2. Diagramas color-magnitud y edades de los cúmulos

Como se explica detalladamente en Parisi et al. (2009), para poder seleccionar las estrellas individuales que fueron luego observadas espectroscópicamente en cada cúmulo, el personal del Observatorio Paranal obtuvo imágenes de los cúmulos en las bandas  $V$  e  $I$  de Johnson (pre-imágenes). Dado que existen calibraciones (Janes & Phelps 1994) que permiten estimar la edad de un cúmulo estelar a partir de la diferencia medida ( $\delta V$ ) entre la magnitud visual  $V$  del “clump” o “pseudorama horizontal” de dicho agregado y la magnitud visual  $V$  del punto de desvío de la secuencia principal del mismo, solicitamos oportunamente al personal del VLT que se incrementaran los tiempos de exposición de las pre-imágenes lo suficiente como para poder alcanzar, en los diagramas color-magnitud (CM), las porciones bien por debajo de los puntos de desvío de la secuencia principal en cada caso. El Observatorio Paranal no provee, en esta etapa, imágenes de estrellas estándar como para calibrar el sistema. Sin embargo, este no constituye un problema ya que el parámetro  $\delta V$  puede calcularse directamente a partir de la magnitud y el color instrumental. Se obtuvieron entonces pre-imágenes con tiempos de exposición de 200 segundos en la banda  $I$  y 100 segundos en la banda  $V$  y, haciendo uso de estas imágenes, realizamos la fotometría PSF (*Point Spread Function*) y confeccionamos diagramas CM en los cuales tanto los “clumps” como los puntos de desvío de las respectivas secuencias principales resultan claramente visibles. Para realizar esta fotometría, utilizamos la versión de paquetes DAOPHOT/ALLSTAR, independiente de IRAF (Stetson 1987). Los cuatro paneles de la Figura 1 (*izquierda*) muestran, a manera de ejemplo, el diagrama CM correspondiente a distintas regiones de uno de los cúmulos observados (L7). Siguiendo un procedimiento descrito por Piatti et al. (2005), construimos para cada cúmulo, 4 diagramas CM incluyendo estrellas dentro de 4 diferentes regiones o intervalos en píxeles. Estos intervalos son:  $r < 100$  px de radio,  $100 \text{ px} < r < 200 \text{ px}$ ,  $200 < r < 300$  y  $r > 300$  px de radio. En todos los cúmulos estudiados, el diagrama CM correspondiente al círculo interior de 100

píxeles de radio es ciertamente el menos contaminado por estrellas del campo. El diagrama CM correspondiente a la región entre 100 y 200 píxeles se encuentra aún dominado por estrellas del cúmulo, mientras que, en general, los dos diagramas correspondientes a las regiones más externas exhiben claramente una mayor contaminación por estrellas del campo. Por lo expresado, para reconocer las características propias de cada cúmulo, esencialmente el “clump” y el punto de desvío de la secuencia principal, utilizamos el diagrama CM construido con las estrellas contenidas dentro de un radio de 200 píxeles. Todos los cúmulos revelan estas características razonablemente bien destacadas. Una vez determinado el parámetro  $\delta V$  para cada cúmulo, utilizamos la calibración de Janes & Pelphs (1994) para derivar la correspondiente edad.

### 3. Relación Edad-Metalicidad en la Nube Menor de Magallanes

Las edades derivadas en este trabajo, juntamente con las metalicidades inferidas en Parisi et al. (2009), han sido utilizadas para construir la REM en la NmM. Dado que sólo hemos observado 15 cúmulos de la NmM, decidimos agregar a nuestra muestra algunos cúmulos para los cuales otros autores han determinado metalicidades en una escala similar, con errores relativamente pequeños. La ampliación de esta muestra permitirá examinar efectos globales y, al mismo tiempo, los errores estadísticos serán por supuesto menores. En la Figura 1 (*derecha*) vemos cómo es la REM resultante. Los círculos abiertos y los triángulos representan los cúmulos estudiados por Da Costa & Hatzidimitriou (1998) y por Glatt et al. (2008), respectivamente. Los cúmulos estudiados en este trabajo se representan con círculos llenos, en tanto que NGC 330, el único cúmulo con metalicidad determinada mediante espectroscopía de alta resolución (Gonzalez & Wallerstein 1999), se identifica con una cruz. Los cuadrados en esta figura representan las metalicidades medias calculadas por Carrera et al. (2006) en 6 intervalos de edad. La línea de trazos cortos representa el modelo de “caja cerrada” de formación estelar continua computado por Da Costa & Hatzidimitriou (1998); la línea llena corresponde al modelo explosivo de Pagel y Tautvaišiene (1998, PT98) y la línea de trazos largos representa el modelo de mejor ajuste de Carrera (2008). Finalmente, la línea de puntos representa la REM obtenida por Harris & Zaritsky (2004).

Del análisis de esta REM, podemos aseverar que el acuerdo general de nuestros datos con el modelo explosivo de PT98 es bastante bueno para los cúmulos con edades menores que unos  $5 \times 10^9$  años, aunque la metalicidad predicha por este modelo en el intervalo de tiempo entre hace  $5 \times 10^9$  y  $10 \times 10^9$  de años es menor que la observada para la mayoría de los cúmulos con edades en este intervalo. Además, el cúmulo más joven, NGC 330, es significativamente más pobre en metales que lo que predice el modelo de PT98. Nuestros datos parecen confirmar tanto el pequeño enriquecimiento químico predicho por el modelo de PT98 para el período intermedio, como el rápido y continuo incremento de la metalicidad ocurrido hace unos  $3 \times 10^9$  de años. El modelo de Carrera ajusta razonablemente bien los datos para las edades intermedias, para las cuales el modelo de PT98 muestra un ajuste más pobre. Por lo tanto, parecería razonable concluir aceptando que los datos de nuestro estudio exhiben un buen acuerdo general, tanto con

el modelo explosivo de PT98, como así también con el modelo de infall + outflow de Carrera. El modelo ideal debería probablemente predecir metalicidades intermedias entre estos dos modelos. Eso sí, no tenemos duda de que se requiere algo más complejo que el simple modelo de “caja cerrada”. Nótese que existen 3 puntos en la REM que corresponden a 3 cúmulos de nuestra muestra con edades mayores que  $10 \times 10^9$  años. De acuerdo al parámetro  $\delta V$ , estos 3 cúmulos aparentan ser algo más viejos que NGC 121, hasta el momento el único “cúmulo globular” genuino de la NmM y sobre el cual se basa todo lo conocido hasta el momento sobre el enriquecimiento químico de esta galaxia en sus comienzos. Todo parece indicar que estamos en presencia de un resultado importante, ya que hemos logrado ampliar el número de cúmulos viejos conocidos en la NmM y, además, estamos aportando nueva evidencia observacional relacionada con el proceso de enriquecimiento metálico en las etapas primigenias de la NmM.

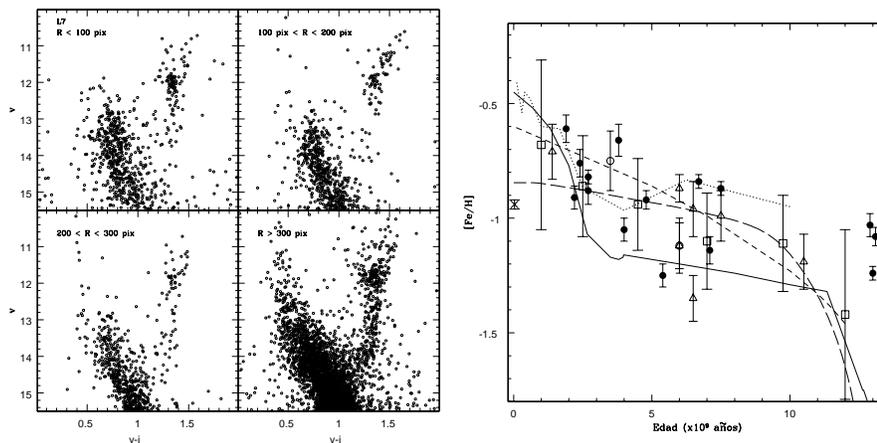


Figura 1. *Izquierda:* Diagramas Color-Magnitud de uno de los cúmulos de nuestra muestra (L7), en cuatro anillos concentricos centrados en el centro del cúmulo. *Derecha:* Relación Edad-Metalicidad de la Nube Menor de Magallanes. El significado de las líneas y los diferentes símbolos se explican en el texto.

## Referencias

- Carrera, R., Gallart, C., Aparicio, A., Costa, E., Méndez, R.A., & Noël, N.E.D., 2008, AJ, 136, 1039  
 Da Costa, G.S. & Hatzidimitriou, D., 1998, AJ, 115, 1934  
 Glatt K. et al., 2008, AJ, 136, 1703  
 Harris, J., & Zaritsky, D., 2004, AJ, 127, 1531  
 Janes, K.A. & Phelps, R.L., 1994, AJ, 108, 1773  
 Pagel, B.E.J., & Tautvaišienė, G., 1998, MNRAS, 299, 535  
 Parisi, M.C., Grocholski, A.J., Geisler, D., Sarajedini, A. & Clariá, J.J., 2009, AJ, 138, 517  
 Piatti, A.E., Sarajedini, A., Geisler, D., Seguel, J. & Clark, D., 2005, MNRAS, 258, 1215