

Ajuste de espectros integrados de cúmulos estelares de la Nube Mayor de Magallanes mediante el código Starlight

Javier H. Minniti¹, Luis R. Vega Neme^{1,2}, Andrea Verónica Ahumada^{1,3} & Juan José Clariá^{1,3}

(1) Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba (OAC-UNC)

(2) Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE-Conicet)

(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet)

El ajuste de espectros sintéticos ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad en la determinación de parámetros astrofísicos de cúmulos estelares (CEs). Dicha metodología es particularmente útil cuando se dispone de espectros integrados de CEs extragalácticos. En este trabajo se presentan resultados obtenidos al aplicar la mencionada técnica, usando el código STARLIGHT, a una muestra de CEs pertenecientes a la Nube Mayor de Magallanes (NMM) observados desde el CASLEO. El ajuste de los datos se realizó mediante modelos de síntesis evolutiva de poblaciones estelares simples (SSPs) de diferentes edades y metalicidades, basados en las librerías estelares MILES. Los espectros integrados de 34 CEs de la NMM fueron ajustados a fin de obtener edad y metalicidad de cada objeto. Se presenta, además, una comparación entre las propiedades derivadas a partir de los ajustes espectrales con el método de confrontación de las observaciones con espectros patrones (templates) de edades bien conocidas.

Motivación

Los cúmulos estelares (CEs) son los objetos ideales para estudiar la evolución estelar y las poblaciones estelares en general. Sus parámetros fundamentales, tales como enrojecimiento, edad, y metalicidad, desempeñan un rol indiscutible a la hora de determinar sus propiedades intrínsecas. Estas propiedades suelen por lo general determinarse fotométricamente, analizando diagramas color-magnitud, o bien espectroscópicamente, mediante la comparación de espectros observados con espectros de referencia (métodos de los templates). Recientemente, a partir de la disponibilidad de modelos sintéticos de poblaciones estelares simples (SSPs), ha surgido una tercera alternativa desarrollada por González-Delgado y Cid Fernandes (2010). En efecto, estos autores obtienen los parámetros astrofísicos de 20 CEs de la Nube Mayor de Magallanes (NMM) mediante el ajuste de espectros sintéticos a espectros integrados observados, resaltando la bondad de esta técnica. Es de notar que las edades de estos CEs superan los 10^6 años y presentan un rango espectral de 1000 Å (3600-4600 Å), por lo que existe ambigüedad en las propiedades derivadas de estos ajustes.

Resultados

Presentamos ajustes realizados a espectros observados de 34 CEs de la NMM con un amplio rango de edades, entre $\sim 2.5 \times 10^7$ y $\sim 10^{10}$ años. Los espectros integrados fueron obtenidos con el telescopio Jorge Sahade de 2.15 m del CASLEO, cubriendo un rango espectral de 3000 Å desde 3800 Å hasta 6800 Å y con una razón señal-ruido (S/N) entre 15 y 77. Aplicando el método de los templates, Minniti et al. (2013) determinaron excesos de color E(B-V) y edades para estos mismos cúmulos. Los valores inferidos por estos autores muestran buen acuerdo con los determinados por otros autores usando otros métodos (Tabla 1).

El objetivo que nos hemos propuesto en este trabajo es encontrar cuál es el mejor espectro modelado o sintético que ajusta nuestros espectros observados, determinando a partir de este nuevo método las edades y metalicidades de la muestra. Hemos usado el código de síntesis espectral STARLIGHT (Cid Fernandes et al. 2005), el cual básicamente combina espectros sintéticos de Poblaciones Estelares Simples (SSPs). En esta primera etapa, usamos los modelos SSPs de Bruzual y Charlot (2003) y la base estelar MILES, la cual representa más de 1000 estrellas con un amplio rango de parámetros estelares cubriendo todo el espectro visible. Cada ajuste mostrado corresponde a la mejor combinación de SSPs, por lo que obtenemos metalicidades y edades medias de las componentes estelares de cada ajuste.

En la Tabla 1 se presentan los valores de las edades determinadas por los ajustes realizados con Starlight. Para fines de comparación, se incluyen además las edades previamente obtenidas a partir del método de los templates (Minniti et al. 2013) y las reportadas en la literatura. En general, las edades determinadas por ambos métodos de ajuste exhiben buen acuerdo. Se consignan, además, las metalicidades medias obtenidas con el código de síntesis espectral. Puede apreciarse que las metalicidades obtenidas para los CEs tienen valores próximos a la metalicidad media de la NMM ($0.4 Z_{\odot}$). En las Figs. 1-6 se muestran los ajustes realizados con Starlight, juntamente con los residuos emergentes de la aplicación del código. Nótese la buena calidad de los ajustes (χ^2 alrededor de 1), aún para los espectros con baja razón S/N. Puede verse, además, que el flujo residual es mayor para los espectros que presentan baja razón S/N.

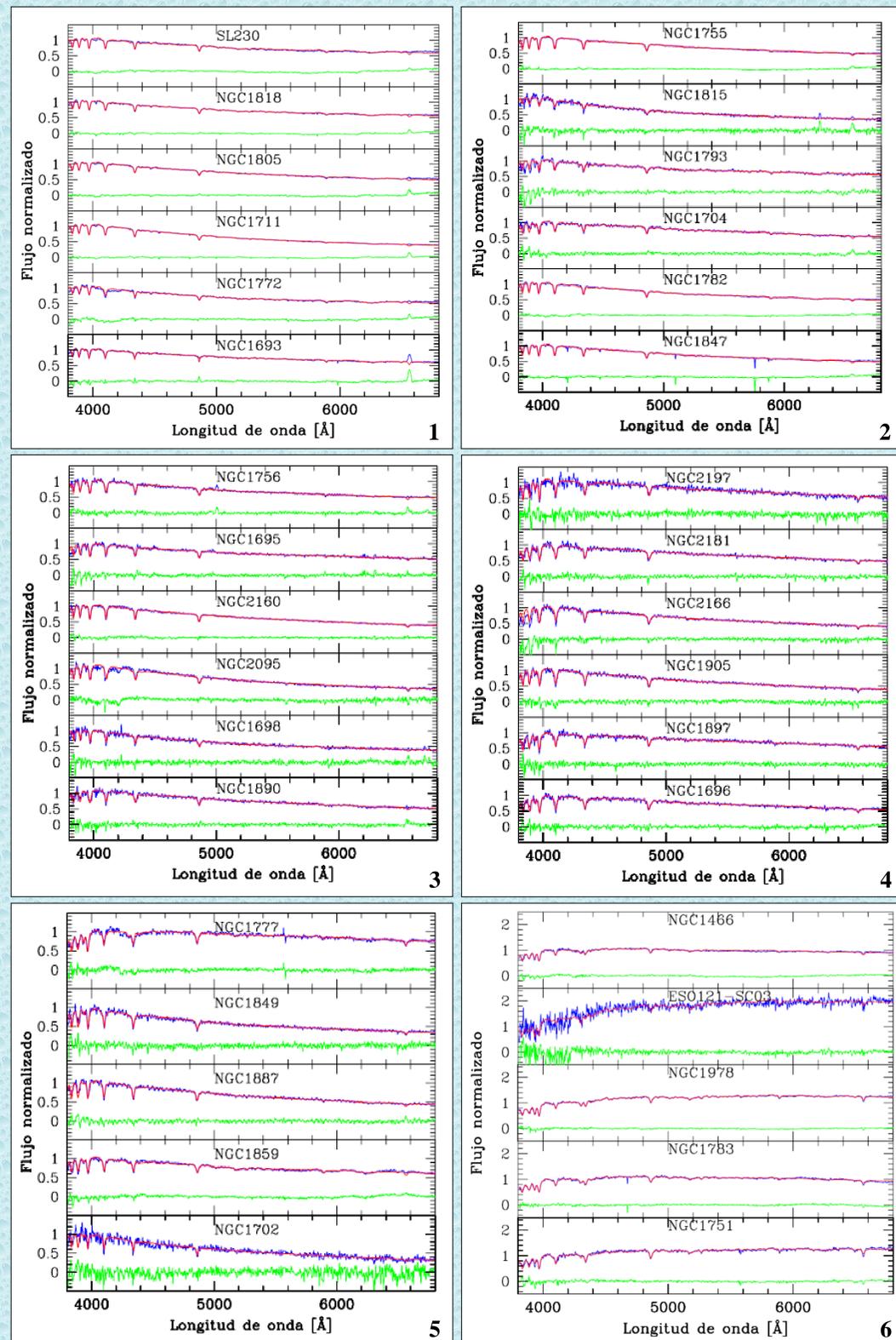
Perspectivas Futuras

La técnica de síntesis espectral demuestra ser muy eficiente para determinar edades y metalicidades de sistemas estelares tanto galácticos como extragalácticos. En una próxima etapa, evaluaremos las posibles diferencias que puedan surgir al aplicar el código Starlight en combinación con diferentes bases espectrales de SSPs, seleccionadas por rangos de edad y/o metalicidad. Tenemos previsto también aplicar esta técnica a los nuevos templates que se vayan creando con espectros observados de CEs, tal como el recientemente generado por Minniti et al (2014).

| Nombre | Edad* (Template) | Edad* (Literatura**) | Log(Edad)* (Starlight) | Z/Z _⊙ (Starlight) | Nombre | Edad* (Template) | Edad* (Literatura**) | Log(Edad)* (Starlight) | Z/Z _⊙ (Starlight) |
|----------|------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|-------------|------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|
| NGC 1466 | >10000 | 12000 (a) | 9.15 | 0.22 | NGC 1815 | 50 ± 20 | 60 (b) | 7.30 | 0.57 |
| NGC 1693 | 25 ± 15 | 60 (b) | 7.16 | 0.61 | NGC 1818 | 30 ± 15 | 20, 45 (b, h) | 7.48 | 0.85 |
| NGC 1695 | 100 ± 50 | 100 (b) | 7.95 | 0.68 | NGC 1847 | 40 ± 10 | 24, 38 (i, j) | 7.95 | 0.41 |
| NGC 1696 | 400 ± 100 | -- | 8.68 | 0.56 | NGC 1849 | 300 ± 100 | 200 (b) | 8.27 | 0.75 |
| NGC 1698 | 60 ± 30 | 100 (b) | 7.65 | 0.67 | NGC 1859 | 250 ± 100 | 125 (b) | 7.91 | 0.97 |
| NGC 1702 | 200 ± 150 | 60 (b) | 7.61 | 0.31 | NGC 1887 | 250 ± 100 | 125 (b) | 8.09 | 0.58 |
| NGC 1704 | 50 ± 30 | 35 (b) | 7.71 | 0.36 | NGC 1890 | 50 ± 20 | 80 (b) | 8.03 | 0.29 |
| NGC 1711 | 30 ± 15 | 60-100 (c) | 7.71 | 0.45 | NGC 1897 | 400 ± 100 | -- | 8.80 | 0.20 |
| NGC 1751 | 1000 ± 500 | 1400 (d) | 8.56 | 0.70 | NGC 1905 | 400 ± 100 | -- | 8.71 | 0.07 |
| NGC 1755 | 50 ± 20 | 25, 55 (b, e) | 8.18 | 0.20 | NGC 1978 | 2000 ± 1000 | ~2000 (c) | 9.4 | 0.23 |
| NGC 1756 | 150 ± 50 | 240 (b) | 8.02 | 0.48 | NGC 2095 | 60 ± 20 | 80 (b) | 8.33 | 0.06 |
| NGC 1772 | 30 ± 15 | 40 (b) | 7.35 | 0.79 | NGC 2160 | 70 ± 30 | 100 (b) | 8.00 | 0.04 |
| NGC 1777 | 500 ± 200 | ~1000 (f) | 8.72 | 0.27 | NGC 2166 | 400 ± 100 | -- | 8.69 | 0.18 |
| NGC 1782 | 40 ± 20 | 16, 36 (b, e) | 7.80 | 0.55 | NGC 2181 | 400 ± 100 | -- | 8.68 | 0.11 |
| NGC 1783 | 1500 ± 500 | ~1500 (g) | 9.18 | 0.25 | NGC 2197 | 400 ± 100 | -- | 8.80 | 0.40 |
| NGC 1793 | 50 ± 20 | 50-100 (b) | 7.65 | 0.36 | SL 230 | 30 ± 15 | 25 (b) | 7.55 | 1.00 |
| NGC 1805 | 30 ± 15 | 40 (b) | 7.60 | 0.52 | ESO121-SC03 | ~9000 | ~9000 (k) | 9.83 | 0.35 |

Tabla 1. Parámetros de los CEs derivados del ajuste de Templates y mediante síntesis espectral: Columna (1) CE, (2) edad (en 10^6 años) derivada del ajuste del template; (3) edades publicadas previamente (ver *); (4) y (5) determinaciones mediante ajustes de síntesis espectral con Starlight de logaritmo promedio de la edad ($< \log(\text{edad}[10^6 \text{ años}]) >$) y metalicidad promedio (Z/Z_{\odot}), respectivamente. La calidad de los ajustes está dada por el valor de χ^2 , típicamente en el rango 0.5 - 1.5.

* Las edades están indicadas en millones de años. ** Las referencias indicadas corresponden a: (a) Johnson et al. 1999, ApJ 527, 199, (b) Glatt et al. 2010, A&A 517, A50, (c) Colucci & Bernstein 2012, apJ 749, 124, (d) Goudfrooij et al. 2011, ApJ 737.4, (e) Bica et al. 1990, A&A 235, 103, (f) Kerber et al. 2007, A&A 462, 139, (g) Mucciarelli et al. 2007, AJ 134, 1813, (h) Lederer et al. 2009, A&A 502, 913, (i) Alcaino & Liller 1987, AJ 94, 372, (j) Popescu et al. 2012, ApJ 751, 122, (k) Xin et al. 2008, MNRAS 384, 410.



Figuras 1 a 6. Espectros observados (azul), mejores ajustes con Starlight (espectros sintéticos, rojo) y flujo residual ($(F_{\text{obs}} - F_{\text{sintético}})/F_{\text{obs}}$ (verde) correspondientes a los 34 CEs de la muestra estudiada. Los rangos de edades, de acuerdo a las determinaciones mediante ajustes de templates, corresponden a: (1) $t < 30 \times 10^6$ años, (2) 40×10^6 años $< t < 50 \times 10^6$ años, (3) 50×10^6 años $< t < 150 \times 10^6$ años, (4) $t \sim 400 \times 10^6$ años, (5) 200×10^6 años $< t < 500 \times 10^6$ años y (6) $t > 1000 \times 10^6$ años. Todos los espectros han sido normalizados a la unidad en longitud de onda $\lambda = 4020$ Å.

Referencias:

- Bruzual, G. & Charlot, S., 2003, MNRAS 344, 1000
 Cid Fernandes, R. et al., 2005, MNRAS 358 363
 González Delgado, R. & Cid Fernandes, R., 2010, MNRAS 403, 797
 Minniti, J. H. et al., 2013, BAAA 56, en prensa.
 Minniti, J. H. et al., 2014, A&A 565, 49.