



Espectroscopía Gemini-GRACES de estrellas evolucionadas con enanas marrones

C. Zuloaga^{1,2}, E. Jofré^{2,3}, R. Petrucci^{2,3} & E. Martioli⁴

¹ *Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, UNC, Argentina*

² *Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina*

³ *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina*

⁴ *Laboratorio Nacional de Astrofísica, Brasil*

Contacto / camila.zuloaga@mi.unc.edu.ar

Resumen / A partir de espectros de alta resolución Gemini-GRACES, aquí se presentan parámetros fundamentales refinados y abundancias químicas detalladas de dos gigantes rojas que albergan enanas marrones, HD 54719 y HD 180314. Las abundancias químicas de ambas estrellas son consistentes con las de aquellas evolucionadas cercanas. HD 180314 presenta una abundancia relativamente alta de litio ($A(\text{Li})_{NLTE} = 1.28$ dex), que probablemente es remanente de su fase de secuencia principal. El análisis de las metalicidades de ambas estrellas indicaría, como tendencia inicial, que las gigantes con enanas marrones son pobres en metales.

Abstract / Based on high-resolution spectra from Gemini-GRACES, here we present refined fundamental parameters and detailed chemical abundances of two red giants hosting brown dwarfs, HD 54719 and HD 180314. The abundances of both stars are consistent with those of nearby evolved thin disk stars. HD 180314 presents a relatively high abundance of lithium ($A(\text{Li})_{NLTE} = 1.28$ dex), which is likely a remnant from the main-sequence phase. The metallicities of both stars show, as an initial trend, that giants with brown dwarfs are metal-poor.

Keywords / stars: abundances — stars: fundamental parameters — stars: individual (HD 54719, HD 180314) — planetary systems — techniques: spectroscopic

1. Introducción

Las estrellas de secuencia principal (SP) que albergan planetas gigantes de corto periodo (SWGPs) son, en promedio, más ricas en metales que aquellas sin planetas detectados (ej., Ghezzi et al., 2010). Esto se conoce como correlación planeta-metalicidad (CPM). Recientemente, Maldonado & Villaver (2017, MA17 de aquí en adelante) sugirieron que las estrellas que albergan enanas marrones (SWBD) no siguen la CPM. De acuerdo a MA17, las SWBD son más pobres en metales que las SWGP, lo cual podría indicar que las enanas marrones se forman por procesos que no dependen fuertemente de la metalicidad, tal como el mecanismo de inestabilidad gravitacional (ej., Boss, 2006). Hasta la fecha, sin embargo, no hay estudios previos que se concentren en la metalicidad de estrellas evolucionadas con enanas marrones (BD).

Por otro lado, el análisis químico detallado en estrellas evolucionadas permite la identificación de patrones anómalos que podrían estar asociados a eventos de contaminación externa, tal como la acreción de compañeras subestelares (ej., Jofré et al., 2015a). Más aún, la obtención de parámetros estelares espectroscópicos de alta precisión en estrellas con planetas permite refinar los parámetros físicos de estos últimos (ej., Jofré et al., 2020). En este contexto, presentamos un análisis espectroscópico detallado de dos gigantes rojas, de tipo espectral K, HD 54719 y HD 180314, que albergan BD.

2. Observaciones

Las observaciones de HD 54719 y HD 180314 se obtuvieron utilizando el instrumento GRACES (Gemini Remote Access to CFHT ESPaDOnS Spectrograph Chene et al., 2014) en el telescopio Gemini Norte de 8.1 m. Las mismas se llevaron a cabo el 12-09-2016 y 31-03-2017 (programas GN-2016A-Q-20 y 2016B-Q-11, IP: E. Jofré) en el modo de una fibra (“object only”), con una resolución de $R \sim 67500$ entre 400 y 1.050 nm. La reducción de los espectros se realizó con el código OPERA (Martioli et al., 2012). La relación señal-ruido S/N de los espectros finales es de $S/N \approx 120$ y $S/N \approx 130$, para HD 54719 y HD 180314, respectivamente.

3. Caracterización estelar

Los parámetros atmosféricos fundamentales, temperatura efectiva (T_{eff}), gravedad superficial ($\log g$), metalicidad ($[\text{Fe}/\text{H}]$) y velocidad de microturbulencia (v_t), fueron derivados a partir de los anchos equivalentes de líneas de hierro. Para ello, se requirieron condiciones de equilibrio espectroscópico, tal como se detalla en Jofré et al. (2020). Los parámetros finales se encuentran listados en la Tabla 1, mientras que en la Figura 1 se muestra la ubicación de ambas estrellas en el diagrama de Kiel a partir de los valores de $\log g$ y T_{eff} derivados en este trabajo. HD 180314 está comenzando su ascenso a la rama de las gigantes rojas (RGB), mientras que HD 54719, en una fase más evolucionada, se encuentra

Tabla 1: Parámetros estelares derivados.

Parámetro	HD 54719	HD 180314
T_{eff} [K]	4385 ± 74	4966 ± 79
$\log g$ [cgs]	1.99 ± 0.33	3.09 ± 0.17
[Fe/H]	-0.20 ± 0.11	0.01 ± 0.05
v_t [km s^{-1}]	1.99 ± 0.12	1.55 ± 0.10
M_* [M_\odot]	2.16 ± 0.37	1.94 ± 0.04
R_* [R_\odot]	31.72 ± 2.04	8.10 ± 0.19
τ_* [Gyr]	0.98 ± 0.45	1.38 ± 0.09

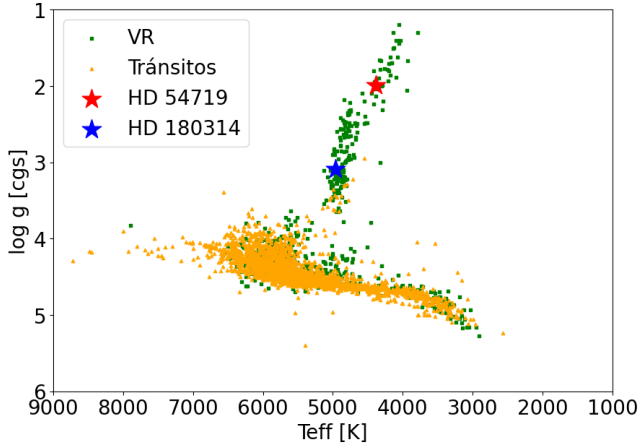


Figura 1: Ubicación de HD 54719 y HD 180314 en el plano T_{eff} - $\log g$, a partir de los valores obtenidos aquí, en comparación con otras estrellas con planetas confirmados (tomado del NASA *Exoplanet Archive* (Akeson et al., 2013)).

localizada en una zona cercana al extremo superior de la RGB.

Se analizó la consistencia de los parámetros derivados comparando con los resultados publicados previamente por Luck & Heiter (2007) y MA17 para HD 54719 y HD 180314, respectivamente. Los valores de T_{eff} , $\log g$ y v_t están en buen acuerdo (dentro de 1σ) con los resultados previos, mientras que las metalicidades acuerdan sólo dentro de $\sim 2\sigma$. El origen de las discrepancias en los valores de [Fe/H], probablemente está relacionado con la calidad de los espectros utilizados, técnicas de análisis y diferentes listas de líneas de hierro (ej. Hinkel et al., 2016).

Por otro lado, se derivaron las abundancias de 19 especies químicas (Li, O, Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc I, Sc II, Ti I, Ti II, V, Cr I, Cr II, Mn, Co, Ni, Zn, Y) utilizando la técnica de la curva de crecimiento tal como se detalla en Jofré et al. (2020).

Finalmente, obtuvimos la masa (M_*), radio (R_*) y edad (τ_*) de HD 54719 y HD 180314 a través de la interfaz PARAM (da Silva et al., 2006) utilizando isócronas PARSEC (Bressan et al., 2012). Para esto, utilizamos como parámetros de entrada los valores de T_{eff} y [Fe/H] calculados anteriormente, las paralajes de Gaia Collaboration (2020) y las magnitudes V reportadas en el NASA *Exoplanet Archive*. Los resultados para estos parámetros también se encuentran listados en la Tabla 1.

4. Búsqueda de anomalías químicas

En la Figura 2 se muestran las tendencias de [X/Fe] vs [Fe/H] para estrellas evolucionadas cercanas obtenidas por Luck & Heiter (2007) para el oxígeno, y Adibekyan et al. (2015) para el resto de los elementos. No se muestran los resultados para los elementos Zn y Y, ya que estos trabajos previos no reportan valores de abundancias para ellos. En general, las abundancias químicas de ambas estrellas no parecen presentar anomalías sino que, más bien, siguen los patrones marcados por las estrellas evolucionadas cercanas del disco fino. En particular, no se encuentran excesos significativos en las abundancias de elementos alfa (Mg, Si, Ti), $[\alpha/Fe]$. Para HD 54719 el valor promedio es de $\langle[\alpha/Fe]\rangle = 0.08$ dex, mientras que para HD 180314 es de $\langle[\alpha/Fe]\rangle = 0.09$ dex.

Otro elemento químico que resulta de particular interés en las estrellas gigantes rojas es el litio. Para HD 54719 se estimó una abundancia de litio $A(Li)_{NLTE} = -0.25 \pm 0.10$ dex mientras que para HD 180314 se obtuvo un valor de $A(Li)_{NLTE} = 1.28 \pm 0.10$ dex. Este último valor está cerca del valor límite para el cual se considera a una gigante roja como rica en litio ($A(Li) \approx 1.5$ dex, ej. Jofré et al., 2015a). Considerando el estado evolutivo de esta estrella (Figura 1), es probable que su contenido “elevado” de litio sea un remanente de la fase de secuencia principal como se ha observado recientemente en otras estrellas evolucionadas (ej., Adamów et al., 2015; Jofré et al., 2020). En concordancia con este escenario, como se detalló anteriormente, no se observan anomalías en otros elementos químicos que pudieran indicar eventos de acreción de objetos subestelares (planetas o BD). Aunque no se derivaron, aún, velocidades de rotación proyectada para este objeto (ni para HD 54719), el perfil de las líneas no se observa ensanchado, lo cual apoya la idea de que el litio en esta estrella no proviene de eventos de acreción masiva sobre la misma (Adamów et al., 2014; Jofré et al., 2015b).

5. [Fe/H] en estrellas gigantes con BD

Analizamos la metalicidad de HD 54719 ([Fe/H] = -0.2 dex) y aquella de HD 180314 ([Fe/H] = 0.01 dex) en comparación con la metalicidad promedio de las muestras de estrellas gigantes con planetas (GWP; N=56; $\langle[Fe/H]\rangle = -0.08$ dex) y sin planetas (GWOP; N=101; $\langle[Fe/H]\rangle = -0.10$ dex) de Jofré et al. (2015b). Teniendo en cuenta estos números, la tendencia inicial sugeriría que, al igual que en el caso de las GWP, las estrellas gigantes con enanas marrones (GWBD) tampoco serían preferencialmente ricas en metales. Es claro que el número de objetos estudiado aquí no es estadísticamente significativo como para realizar un análisis robusto. Sin embargo, dado que actualmente el número de GWBD es $N \sim 10$, es posible, a partir de los resultados de este trabajo, obtener una tendencia inicial tal como se realizó en las primeras investigaciones sobre la CPM en estrellas de secuencia principal (e.g. Gonzalez, 1997) y en estrellas gigantes (Pasquini et al., 2007). Más aún, el promedio de las metalicidades espectroscópicas de las 7 GWBD reportadas por MA17 es de $\langle[Fe/H]\rangle = -0.20$ dex, lo cual apoyaría fuertemente la tendencia

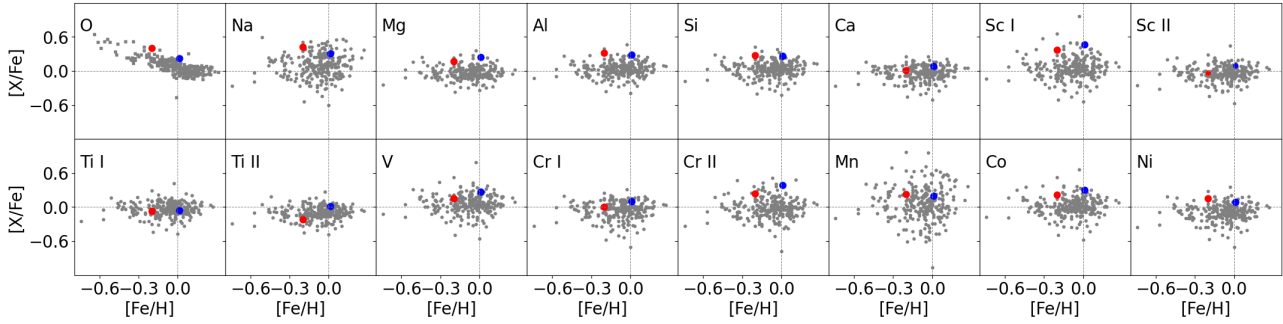


Figura 2: $[X/Fe]$ vs. $[Fe/H]$ para HD 54719 (rojo) y HD 180314 (azul) comparado con los resultados para estrellas evolucionadas cercanas de Luck & Heiter (2007, cuadrados -oxígeno) y Adibekyan et al. (2015, círculos -resto de los elementos). Las líneas a trazos representan los valores solares.

inicial que se reporta aquí.

6. Masas mínimas de las enanas marrones

A partir de los valores de M_* listados en la Tabla 1 y los parámetros derivados de las curvas de VR (semi-amplitud K , período P y excentricidad e) para HD 54719 (Mitchell et al., 2013) y HD 180314 (Sato et al., 2010), se refinaron las masas mínimas ($M_{p, \text{seni}}$) de las compañeras subestelares de ambos objetos. Usando la ecuación (1) de Cumming et al. (1999), se obtuvo $M_{p, \text{seni}} = 19.4 \pm 2.2 M_J$ y $M_{p, \text{seni}} = 18.5 \pm 0.26 M_J$ para las enanas marrones alrededor de HD 54719 y HD 180314, respectivamente. Estos valores son $\sim 6\%$ y $\sim 19\%$ más pequeños que los reportados en las publicaciones de descubrimiento. Dado que las mediciones de la literatura no reportan el error en la masa de las compañeras subestelares, no fue posible comparar las diferencias en la precisión obtenida.

7. Conclusiones

A partir de espectros Gemini-GRACES de alta resolución, en este trabajo realizamos una caracterización detallada de dos estrellas gigantes que albergan enanas marrones, HD 54719 y HD 180314. La caracterización incluyó el refinamiento de los parámetros estelares, lo cual a su vez permitió refinar las masas mínimas de las compañeras subestelares. Por otro lado, se realizó el cómputo de abundancias precisas para 19 especies químicas. Esto último permitió establecer que ambas estrellas no presentan anomalías químicas, sino que siguen las tendencias de otras estrellas evolucionadas del vecindario solar. La abundancia de litio en HD 180314, está ligeramente por debajo del límite estándar considerado para las gigantes ricas en litio. Sin embargo, considerando el estado evolutivo de esta estrella, el perfil no ensanchado de las líneas espectrales, y la falta de anomalías químicas en otros elementos, el contenido de litio es probablemente un remanente de su fase de secuencia principal.

Por otro lado, a partir de las metalicidades obtenidas para HD 54719 y HD 180314, se analizó, por primera

vez, el comportamiento de la CPM en GWBD: la tendencia inicial sugeriría que, al igual que para las GWP, las GWBD tampoco serían preferencialmente ricas en metales. Estos resultados implicarían que las BD que orbitan alrededor de estrellas de tipo solar y de aquellas más masivas que éstas, como lo son generalmente las progenitoras de las estrellas evolucionadas incluidas en los relevamientos de VR, se formarían por mecanismos que no dependen fuertemente de la metalicidad estelar, tal como el proceso de inestabilidad gravitacional (Boss, 2006). Próximamente esperamos poder extender el estudio a una muestra más extensa de GWBD, lo cual nos permitirá confirmar o descartar la tendencia emergente reportada en este trabajo.

Agradecimientos: C.Z. agradece a la AAA por la beca de Estímulo a la Investigación Científica otorgada para el periodo febrero-marzo de 2022. Los autores agradecen al árbitro por las sugerencias y comentarios que contribuyeron a mejorar el artículo.

Referencias

- Adamów M., et al., 2014, *A&A*, 569, A55
 Adamów M., et al., 2015, *A&A*, 581, A94
 Adibekyan V.Z., et al., 2015, *MNRAS*, 450, 1900
 Akeson R.L., et al., 2013, *PASP*, 125, 989
 Boss A.P., 2006, *ApJL*, 637, L137
 Bressan A., et al., 2012, *MNRAS*, 427, 127
 Chene A.N., et al., 2014, *Proc. SPIE*, vol. 9151, 47
 Cumming A., Marcy G.W., Butler R.P., 1999, *ApJ*, 526, 890
 da Silva L., et al., 2006, *A&A*, 458, 609
 Gaia Collaboration, 2020, *VizieR Online Data Catalog*, I/350
 Ghezzi L., et al., 2010, *ApJ*, 725, 721
 Gonzalez G., 1997, *MNRAS*, 285, 403
 Hinkel N.R., et al., 2016, *ApJS*, 226, 4
 Jofré E., et al., 2015a, *A&A*, 584, L3
 Jofré E., et al., 2015b, *A&A*, 574, A50
 Jofré E., et al., 2020, *A&A*, 634, A29
 Luck R.E., Heiter U., 2007, *AJ*, 133, 2464
 Maldonado J., Villaver E., 2017, *A&A*, 602, A38
 Martioli E., et al., 2012, *Proc. SPIE*, vol. 8451, 2
 Mitchell D.S., et al., 2013, *A&A*, 555, A87
 Pasquini L., et al., 2007, *A&A*, 473, 979
 Sato B., et al., 2010, *PASJ*, 62, 1063