

## Espectroscopía de estrellas FGKM para la explotación científica de la búsqueda de exoplanetas con CARMENES

Autor: Emilio Gómez Marfil

Tesis doctoral dirigida por: David Montes

Gutiérrez y Hugo Martín Taberero Guzmán

Centro: Universidad Complutense de Madrid

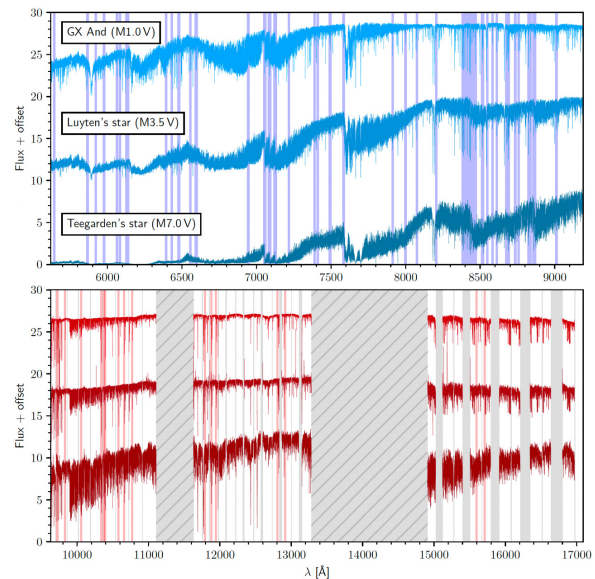
Fecha de lectura: 4 de febrero de 2022

El interés que suscita la búsqueda de exoplanetas ha impulsado el desarrollo de espectrógrafos de alta resolución como CARMENES, instalado en el telescopio de 3,5 m del observatorio de Calar Alto en Almería (España) y diseñado para mejorar las medidas de velocidad radial y permitir así la detección de planetas de tipo terrestre alrededor de estrellas distintas al Sol. Entre ellas, las enanas de tipo M constituyen candidatos ideales dada su ubicuidad en el vecindario solar, sus bajas temperaturas y masas, lo que favorece las detecciones mediante las técnicas de velocidad radial y de tránsitos.

En este contexto, la determinación de los parámetros atmosféricos estelares es crucial para caracterizar los sistemas planetarios y arrojar luz sobre su formación y evolución. CARMENES, gracias a su alta resolución y su cobertura espectral simultánea en el óptico y el infrarrojo cercano, proporciona información valiosa para el análisis de las estrellas frías y brinda la oportunidad de volver a evaluar técnicas clásicas, como el método de las anchuras equivalentes y la síntesis espectral, para estimar el impacto de la región infrarroja en el cálculo de parámetros estelares.

El objetivo principal de la tesis doctoral ha sido la caracterización de estrellas de tipos FGKM observadas con CARMENES en el contexto de la librería estelar y el programa de observaciones de tiempo garantizado del instrumento. Para ello, se han empleado el método de anchuras equivalentes y la técnica de síntesis espectral sobre espectros de alta resolución en el óptico ( $R = 94600, 5200\text{--}9600 \text{ \AA}$ ) y en el infrarrojo cercano ( $R = 80400, 9600\text{--}17100 \text{ \AA}$ ). Los espectros de estrellas de tipo FGK se han caracterizado con el código STEPAR como implementación del método de anchuras equivalentes, mientras que los espectros de estrellas de tipo M se han analizado con el código STEPARYN, una implementación bayesiana de la síntesis espectral basada en cadenas de Markov Monte Carlo. Ambos códigos son adecuados para una determinación precisa de los parámetros atmosféricos estelares de estrellas FGKM, en particular la temperatura efectiva  $T_{\text{eff}}$ , la gravedad superficial  $\log g$  y la metalicidad estelar  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . Como parte integral del estudio, se han empleado diferentes modelos de atmósfera (MARCS, BT-Settl y PHOENIX-ACES) y códigos de transferencia radiativa (MOOG y *Turbospectrum*).

El análisis ha permitido caracterizar 65 estrellas de tipo FGK y 343 enanas de tipo M observadas con CARMENES. La cuidadosa selección de 653 y 23 líneas de Fe I y Fe II, respectivamente, útiles para el método de anchuras equivalentes, ha significado doblar el número de líneas usadas típicamente en estudios restringidos a la región óptica. De la misma manera, 75 líneas de Ti I y Fe I, magnéticamente insensibles, han sido seleccionadas, junto con las bandas y de TiO, para el análisis de las enanas de tipo M con síntesis espectral (ver figura). Para evitar degeneraciones, se han impuesto *priors* en



Espectros modelo obtenidos con CARMENES de GX And (M1.0 V), la estrella de Luyten (M3.5 V) y la estrella de Teegarden (M7.0 V) en el canal óptico (panel superior) y en el canal infrarrojo (panel inferior). Las regiones sombreadas en azul y rojo denotan los rangos sintetizados para el análisis con STEPARYN. Las regiones severamente afectadas de absorción telúrica en el canal infrarrojo se muestran rayadas y sombreadas en gris. El resto de las regiones sombreadas en gris marcan los huecos espectrales entre órdenes.

$T_{\text{eff}}$  y  $\log g$  basados en la información fotométrica multibanda disponible para la muestra. Además, con el objetivo de servir como punto de referencia para validar los resultados, se han destacado diferentes submuestras de especial interés, como las estrellas de referencia *Gaia*, los sistemas binarios FGK+M y M+M, así como las enanas de tipo M con medidas interferométricas del diámetro angular.

El código STEPAR ha demostrado ser una implementación robusta del método de anchuras equivalentes para el análisis de estrellas entre tipos F6 y K4. Como limitaciones del método, se requiere una relación señal-ruido mayor que 20 y una resolución espectral superior a 30000. Además, es necesario excluir binarias espectroscópicas, así como estrellas con velocidades de rotación superiores a  $15 \text{ km s}^{-1}$ .

El estudio del impacto de las líneas infrarrojas de Fe I y Fe II en la determinación de parámetros de estrellas de tipo FGK seleccionadas de la librería estelar de CARMENES ha revelado una escala en  $T_{\text{eff}}$  más profunda que parece estar vinculada a una mayor sensibilidad de estas líneas infrarrojas a  $T_{\text{eff}}$ . Sin embargo, la escasez de líneas de Fe II en la región infrarroja ha impedido un análisis que dependa de esta ventana únicamente.

La metodología empleada para el análisis de las enanas de tipo M ha resultado adecuada en el rango M0.0 V a M7.0 V, pero no más allá, debido a la escasez de líneas de Ti I y Fe I y a la insensibilidad de las bandas de TiO a  $T_{\text{eff}}$ . Aunque la escala de  $T_{\text{eff}}$  obtenida concuerda con las de la literatura, se observan grandes discrepancias entre las escalas de  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . No obstante, hay congruencia con la distribución de metalicidad en el vecindario solar y buena correlación con la pertenencia cinemática de las estrellas a las poblaciones Galácticas. Además, se encuentra buena concordancia en  $T_{\text{eff}}$  para las enanas de tipo M con determinaciones interferométricas del diámetro angular, así como en  $[\text{Fe}/\text{H}]$  entre las componentes en sistemas binarios FGK+M y M+M incluidos en la muestra.

Tesis disponible en: [https://webs.ucm.es/info/Astrof/invest/actividad/tesis/tesis\\_EMarfil.html](https://webs.ucm.es/info/Astrof/invest/actividad/tesis/tesis_EMarfil.html)