Descifrando los parámetros atmosféricos estelares de estrellas M con CARMENES

Dr. Emilio Marfil

XII Jornadas de Introducción a la Investigación
Facultad de Ciencias Físicas – Universidad Complutense de Madrid
22 al 26 de abril de 2024

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG
GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE UNIVERSIDADES
Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU

Presentación

Tesis doctoral

Caracterización de estrellas de tipo FGKM para la explotación científica
de la búsqueda de exoplanetas con CARMENES
Universidad Complutense de Madrid (2022)

Posición actual

Investigador postdoctoral “Margarita Salas” @ Universidad Complutense de Madrid
Sistemas Estelares, Espectrometría y Fotometría (PI: Prof. David Montes Gutiérrez)
Estancia anual en el Observatorio de Hamburgo (2023)

Posiciones anteriores

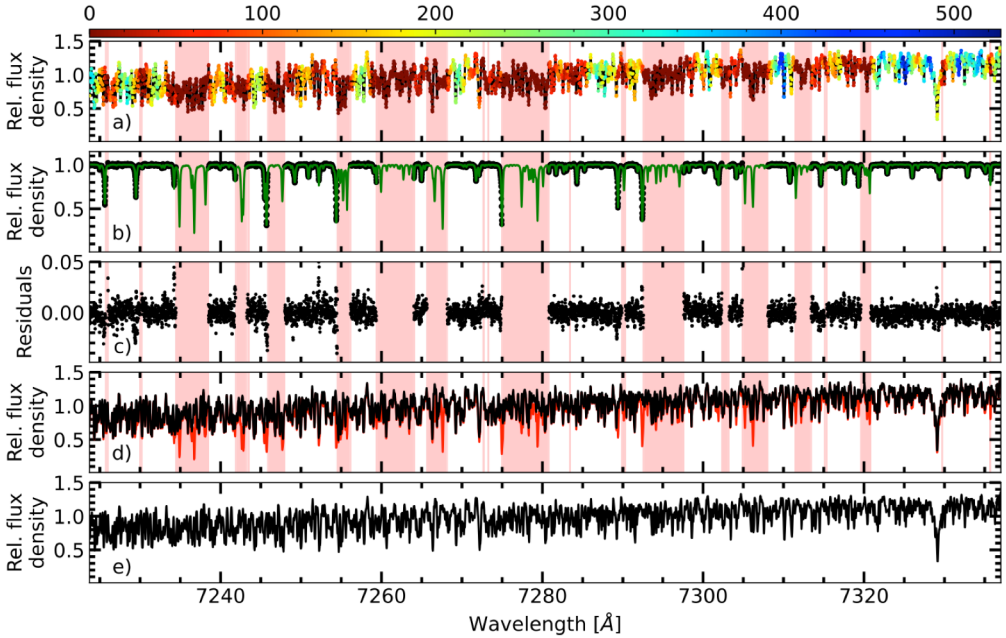
Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA), campus ESAC
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), sede central



Espectroscopía en enanas de tipo M: introducción

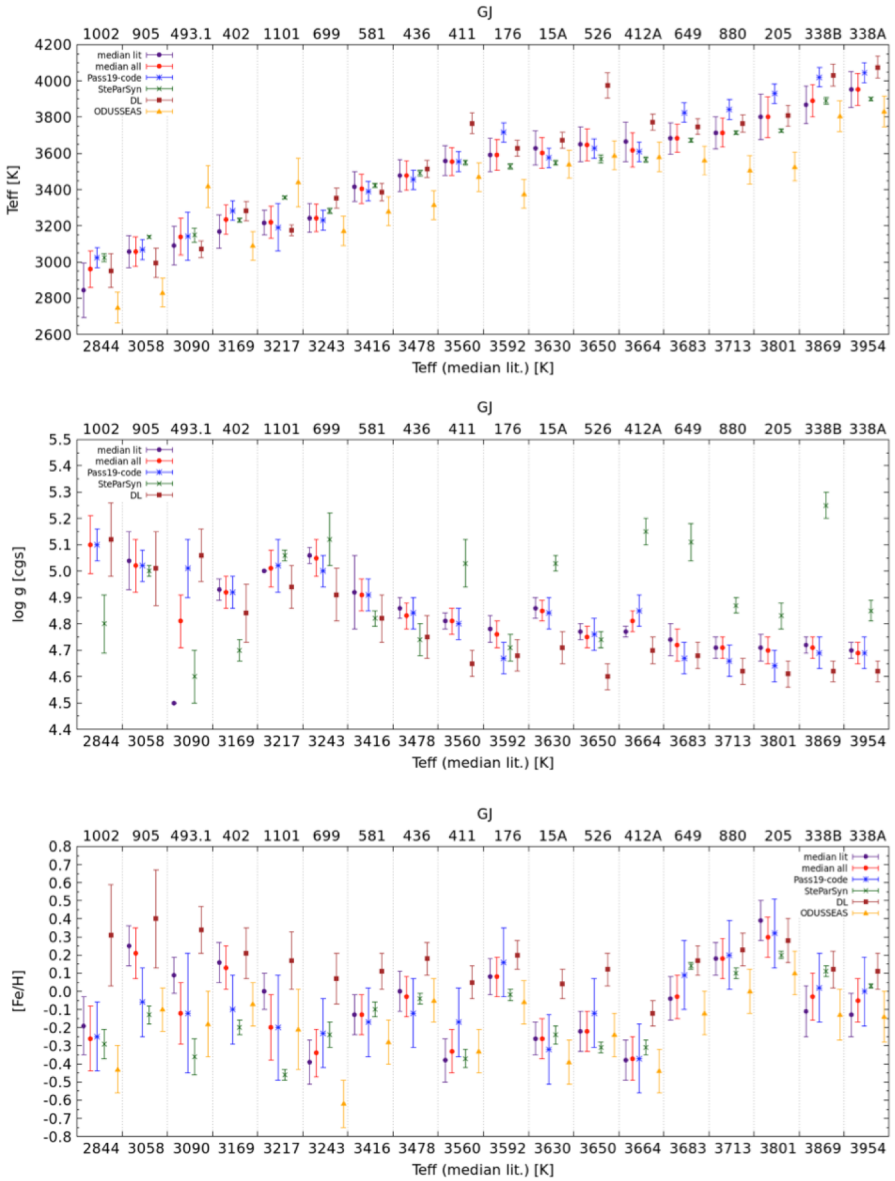
El análisis espectroscópico de enanas M es mucho más complejo que el de estrellas de tipo solar:

- ★ Intrínsecamente débiles y pico de emisión en el infrarrojo cercano
- ★ Absorción telúrica en el infrarrojo cercano causada por la atmósfera terrestre
- ★ Campos magnéticos más intensos y mayor actividad estelar
- ★ Fuertes bandas de absorción molecular causadas por las bajas temperaturas fotosféricas



Nagel et al. (2023)

Espectroscopía en enanas de tipo M: técnicas



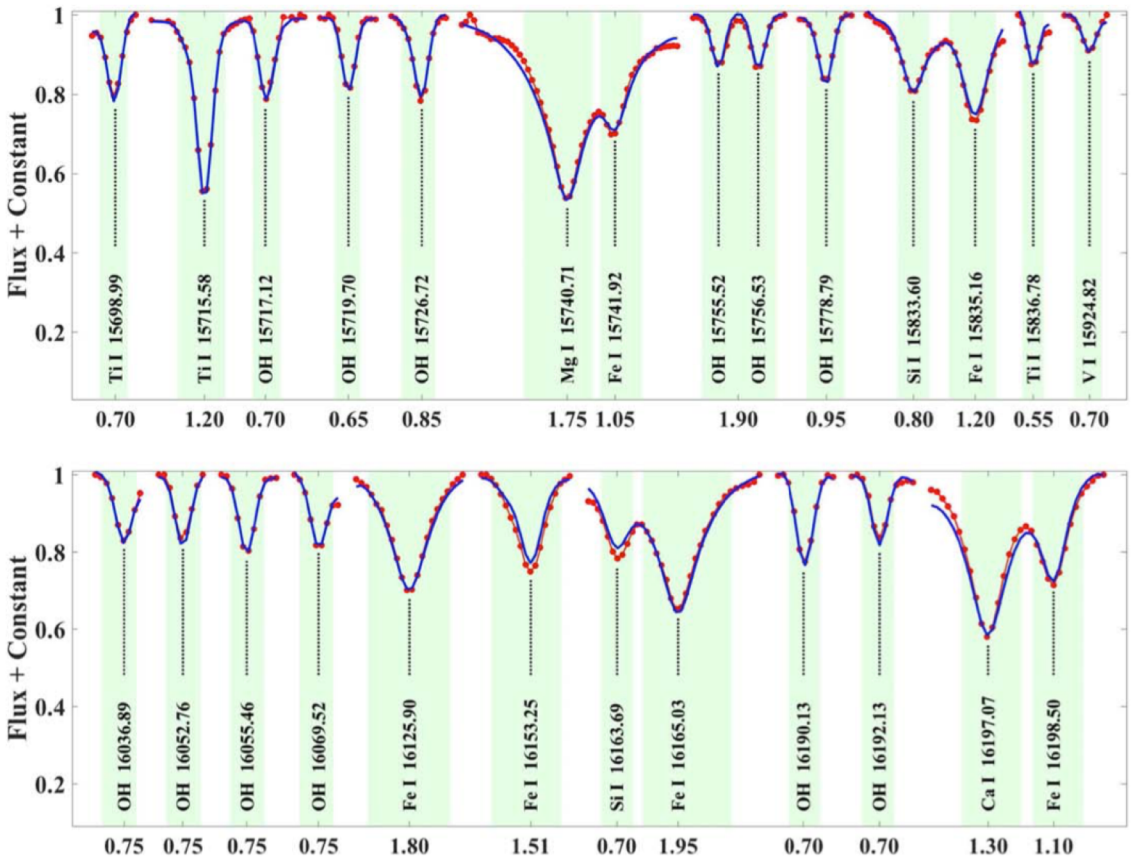
Diferentes enfoques:

- ★ **Modelos de atmósfera**: PHOENIX-ACES, BT-Settl, MARCS…
- ★ **Normalización espectral**: pseudo-continuo, normalización global o local…
- ★ **Algoritmos de minimización**: χ^2, enfoque bayesiano, aprendizaje profundo (deep learning)…

Brecha sintética (deep learning)

Passegger et al. (2022)

Espectroscopía en enanas de tipo M: técnicas



Análisis del espectro IGRINS de WASP-107 (Hejazi et al. 2023)

- ★ Espectro IGRINS (bandas *H* y *K*)
- ★ Minimización χ^2
- ★ Selección de líneas (15 elementos)
- ★ MARCS + Turbospectrum

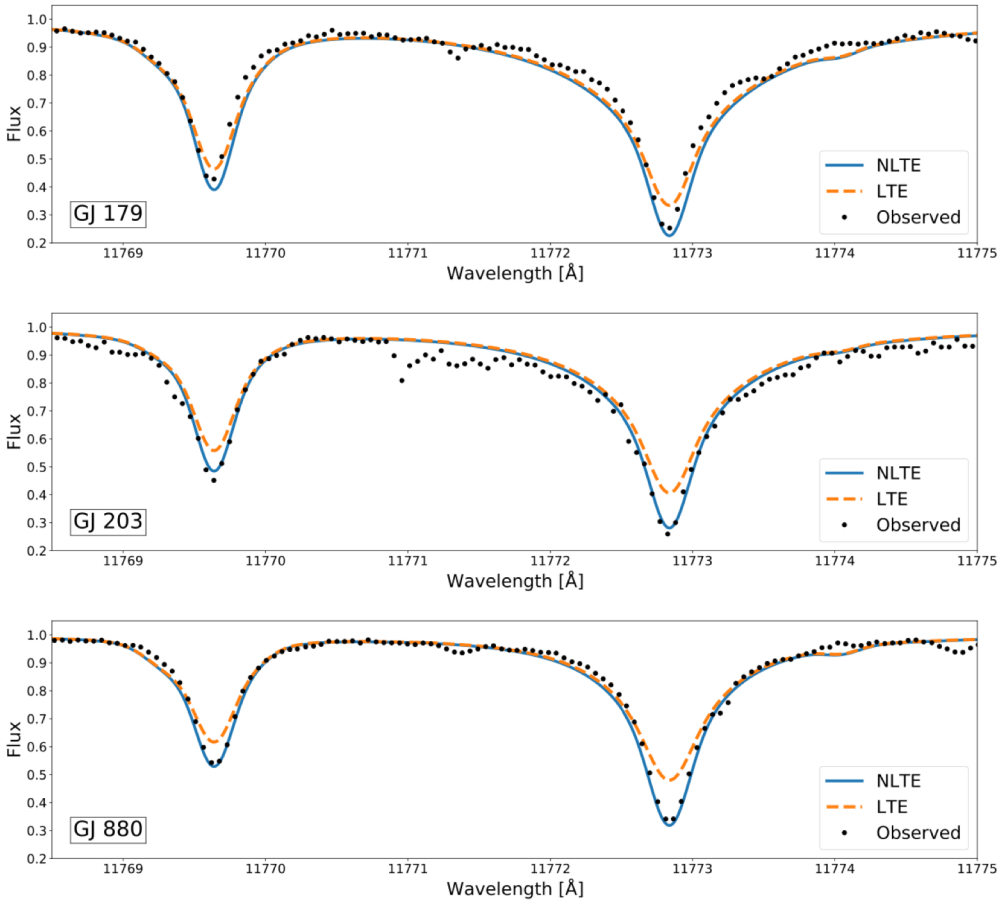
Hejazi et al. (2023)

Espectroscopía en enanas de tipo M: correciones

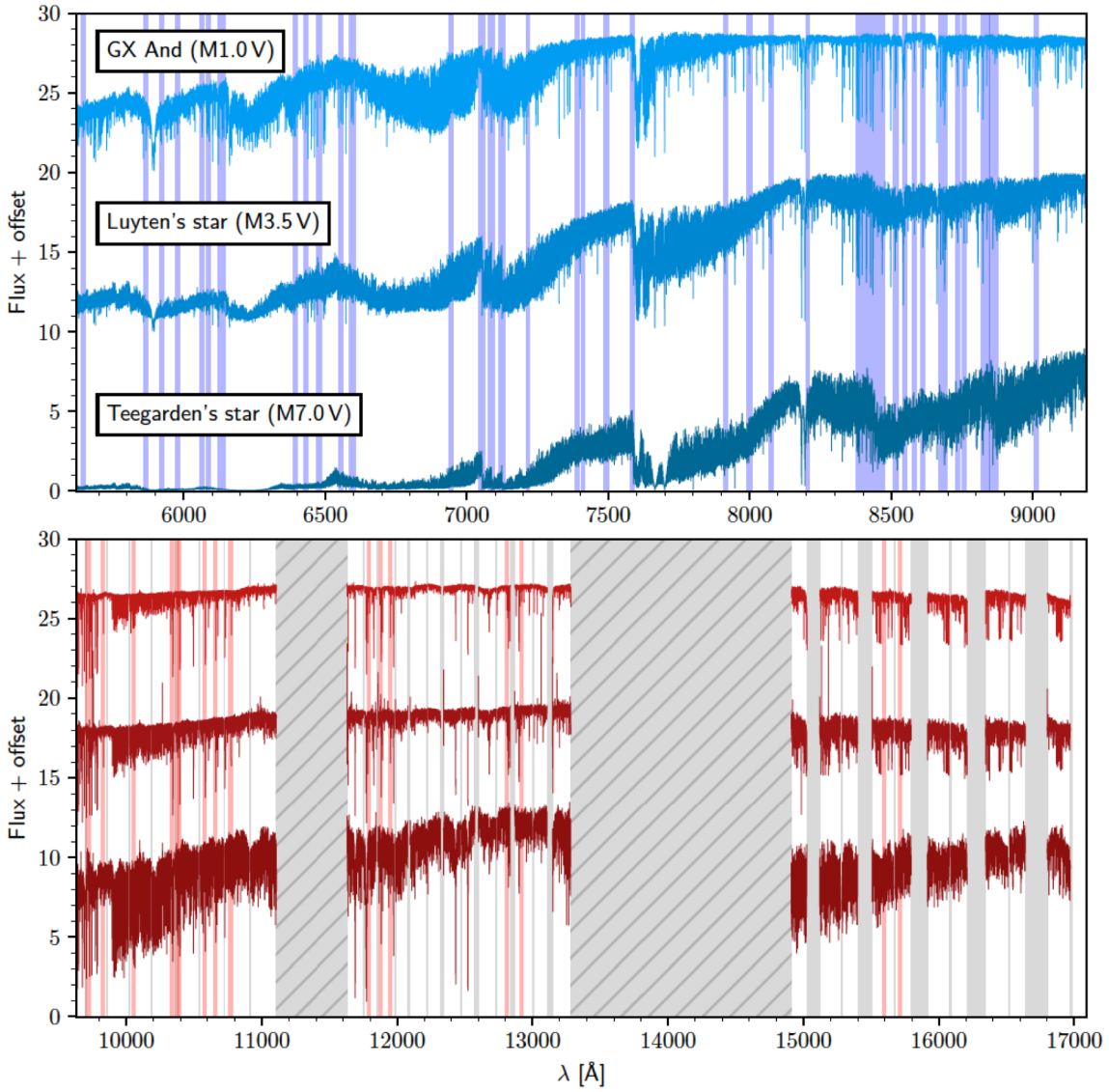
Correcciones adicionales

- ★ Efectos NLTE
  - Olander et al. (2021)
  - Gerber et al. (2023)
- ★ Desdoblamiento hiperfino
  - Shan et al. (2021)
- ★ Desdoblamiento Zeeman
  - Passegger et al. (2019)
  - Marfil et al. (2021)
- ★ Patrón de abundancias

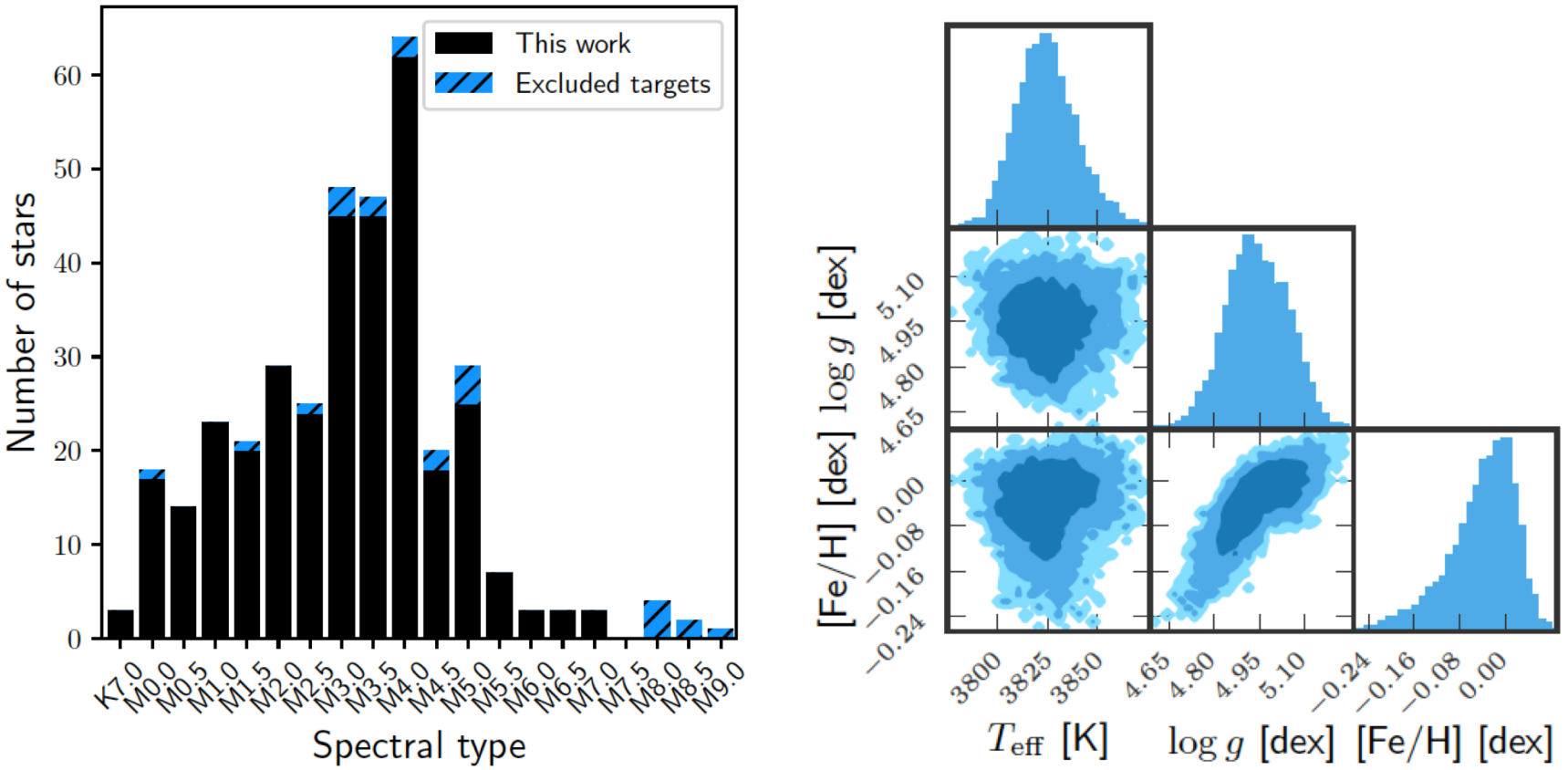
Olander et al. (2021)



Espectroscopía en enanas de tipo M: CARMENES



Espectroscopía en enanas de tipo M: CARMENES



Marfil et al. (2021)

Espectroscopía en enanas de tipo M: CARMENES

Los resultados de Marfil et al. (2021) se han usado en:

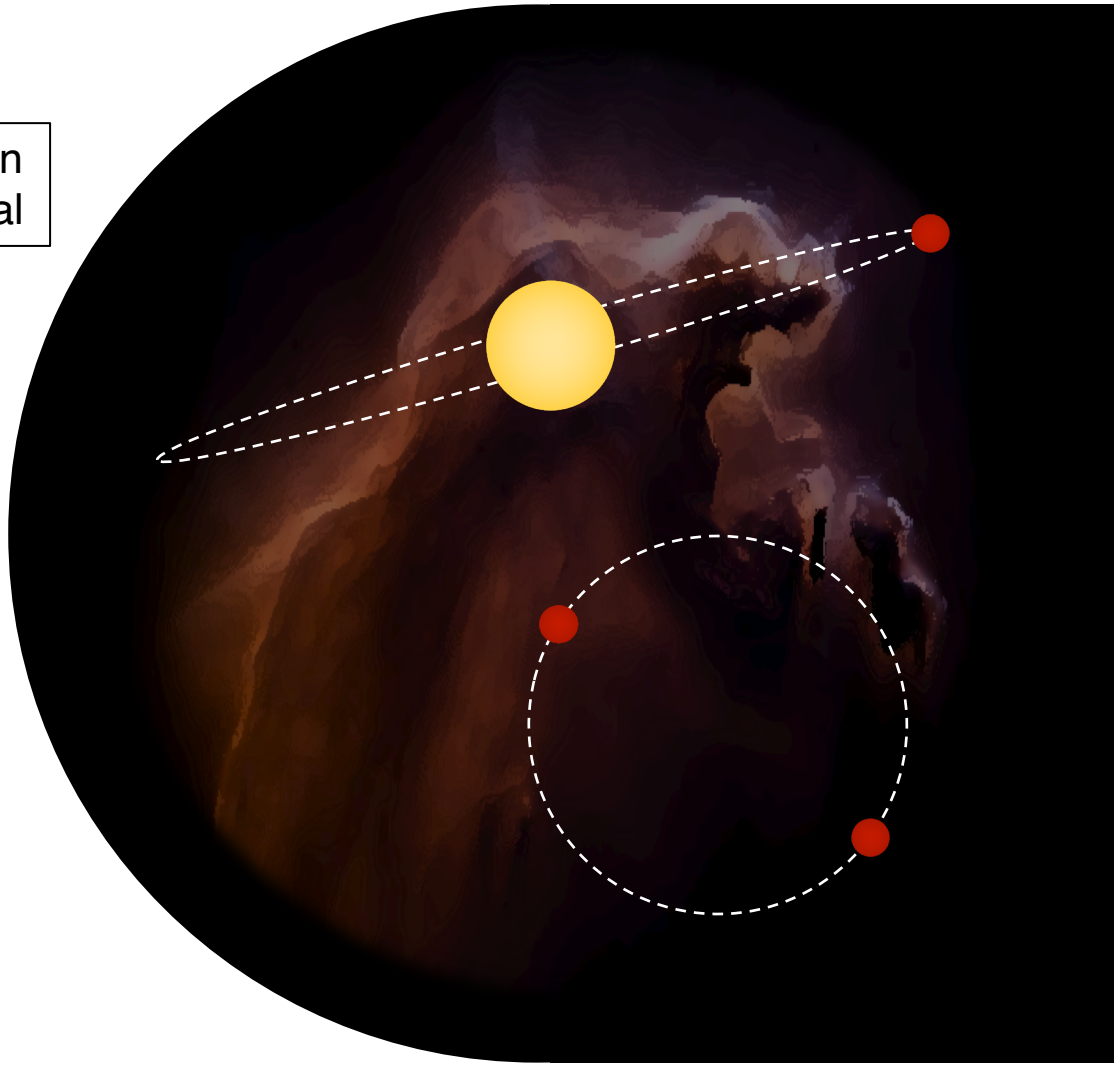
- ★ Two super-Earths at the edge of the habitable zone of the nearby M dwarf TOI-2095 (Murgas et al. 2023)
- ★ A detailed analysis of the Gl 486 planetary system (Caballero et al. 2022)
- ★ Teegarden's Star revisited. A nearby planetary system with at least three planets (Dreizler et al. 2024)
- ★ …

Misma metodología que en Marfil et al. (2021):

- ★ The compact multi-planet system GJ 9827 revisited with ESPRESSO (Passegger et al. 2024)
- ★ …

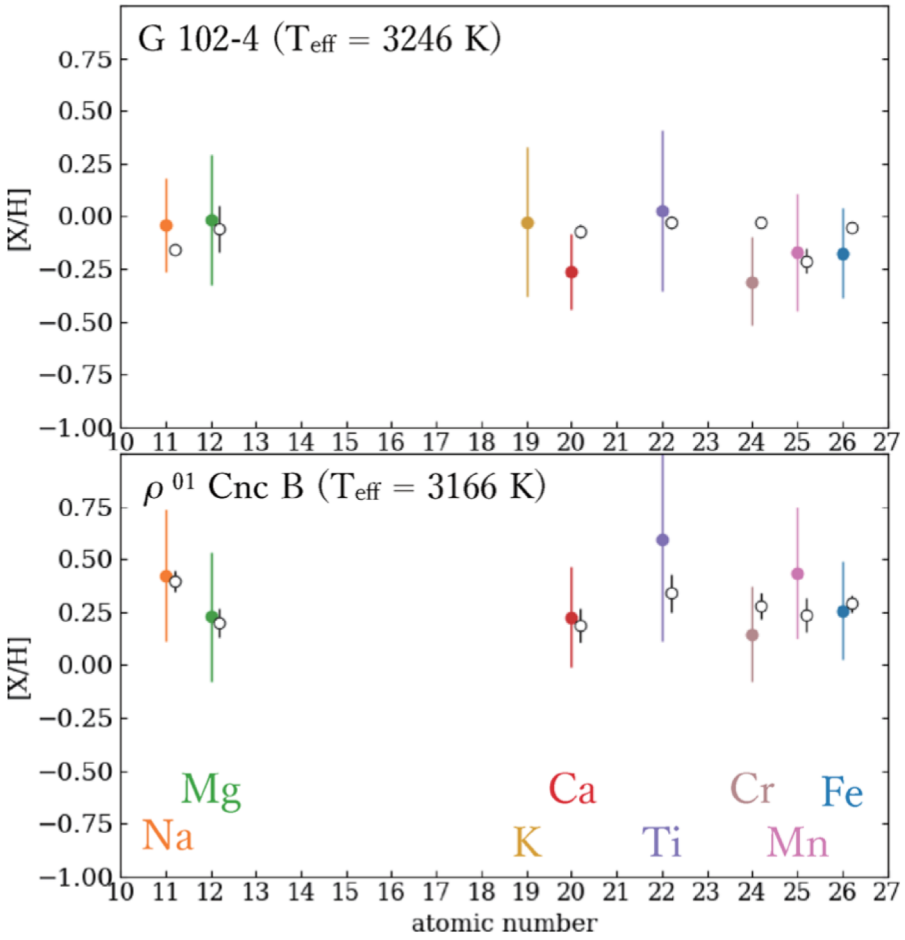
Puntos de referencia: sistemas múltiples

Los **sistemas FGK+M y M+M** nacen de la misma nube molecular parental



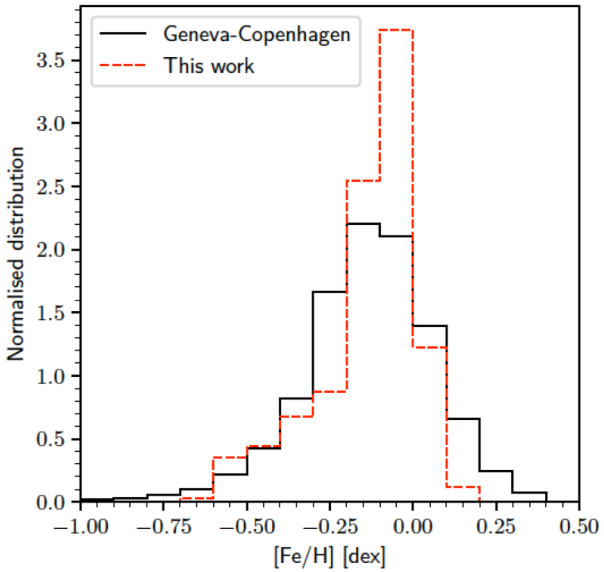
Composición química similar

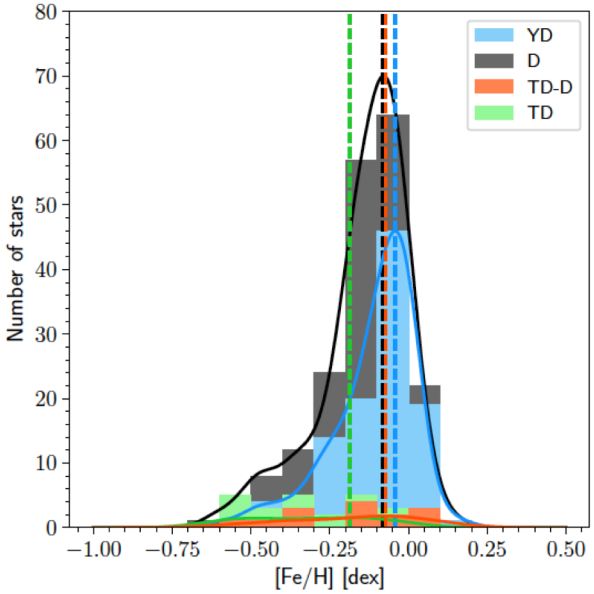
Puntos de referencia: sistemas múltiples

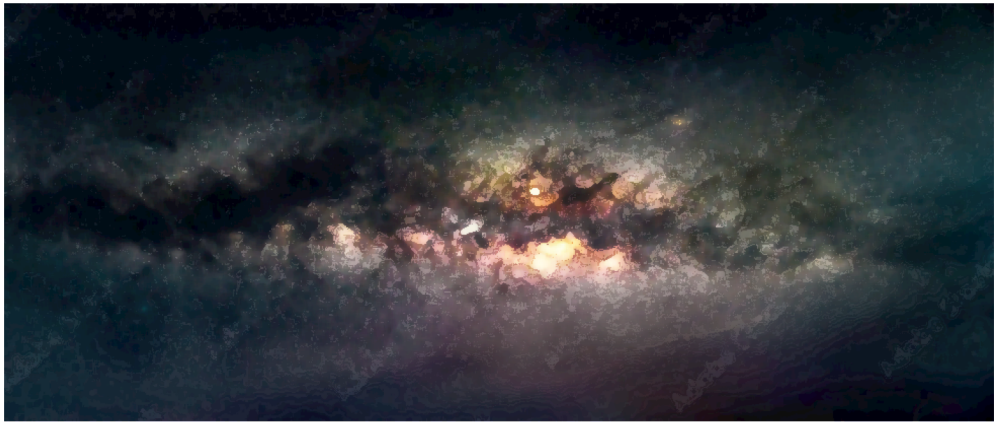


Ishikawa et al. (2020)
5 enanas M en sistemas GK+M
Abundancias químicas (8 elementos)

Puntos de referencia: poblaciones galácticas







¡Concordancia con las poblaciones galácticas!

Poblaciones galácticas:

- ★ Disco joven [YD]
- ★ Disco [D]
- ★ Disco fino [TD]
- ★ Transición disco fino-disco [TD-D]

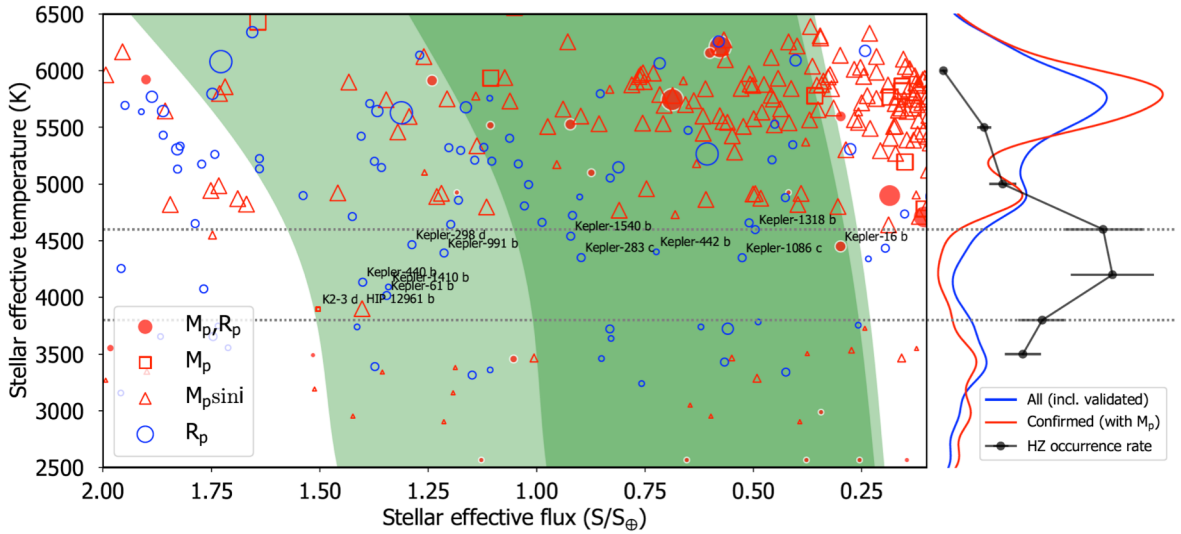
Distribución Geneva-Copenhagen de estrellas FG (Nordström et al. 2004)

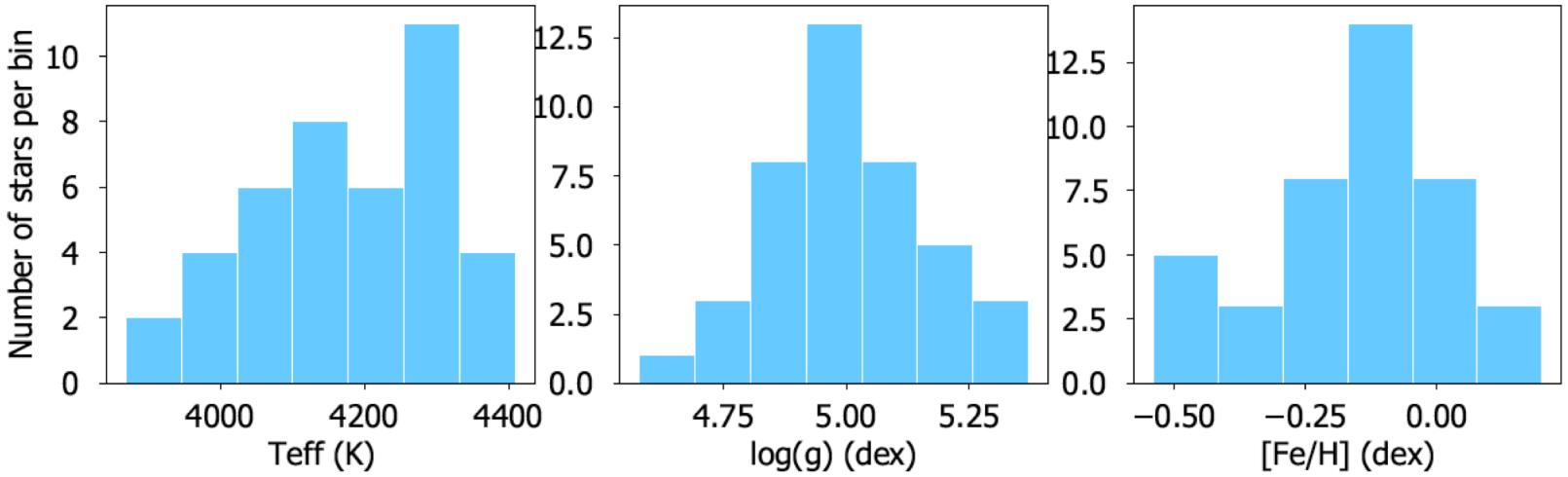
Marfil et al. (2021)

Plus ultra: espectroscopía en enanas de tipo K

El experimento **KOBE**
(Lillo-Box et al. 2022)

- ★ Foco en enanas K
- ★ Muestra de 50 estrellas
- ★ Datos con CARMENES
- ★ STEPARSYN





Resumen

- ★ Proyecto CARMENES: **ingente cantidad de espectros** en el óptico y en el infrarrojo cercano (enanas de tipo M).
- ★ Los espectros de enanas de tipo M son **complejos de analizar** por muchos motivos.
- ★ Grandes **discrepancias** en el análisis de los parámetros atmosféricos estelares en enanas frías.
- ★ Grandes avances en la determinación de **abundancias químicas** en enanas frías.
- ★ Importancia de los **puntos de referencia** (sistemas estelares múltiples, pertenencia a poblaciones galácticas).



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE UNIVERSIDADES

Financiado por la Unión Europea
NextGenerationEU