

CÓDIGOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTELARES

Dr. Hugo M. Tabernero
Postdoc TAU-UCM

Grupo de sistemas estelares, espectroscopía y fotometría

XII Jornadas de introducción a la investigación

Facultad de Ciencias Físicas · Universidad Complutense de Madrid

Contacto: htabernero@ucm.es

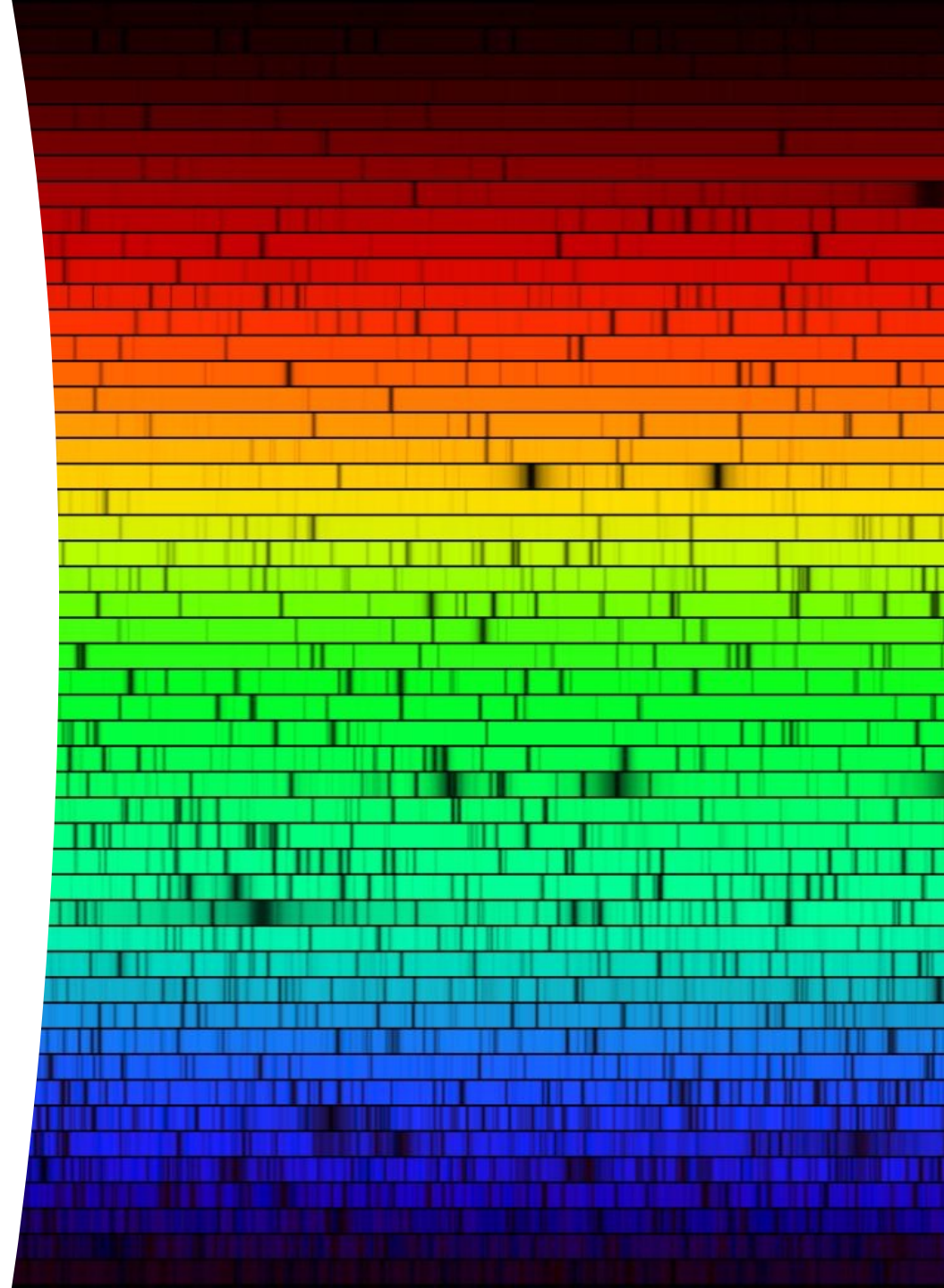


@hmtabernero



ÍNDICE

- Parámetros estelares
 - ¿Qué podemos averiguar con espectroscopía?
 - ¿Qué ciencia podemos hacer?
- ¿Qué tipo de espectroscopia?
 - Visible (+Infrarrojo cercano), $R=10,000-140,000$
- Códigos (Python 3)
 - STEPAR (Tabernero et al. 2019)
 - STEPARSYN (Tabernero et al. 2022a)
- Resumen





PARÁMETROS ESTELARES

¿Qué parámetros?

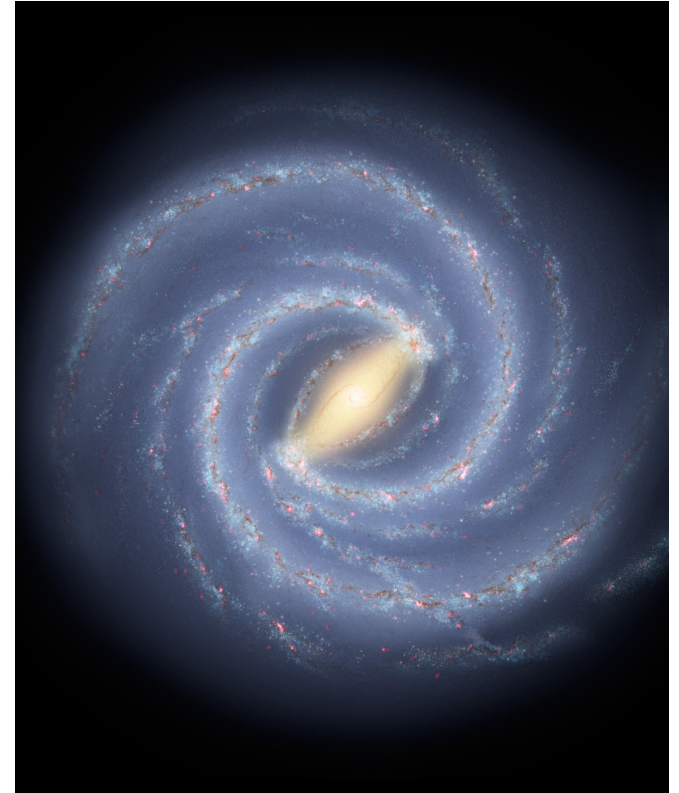
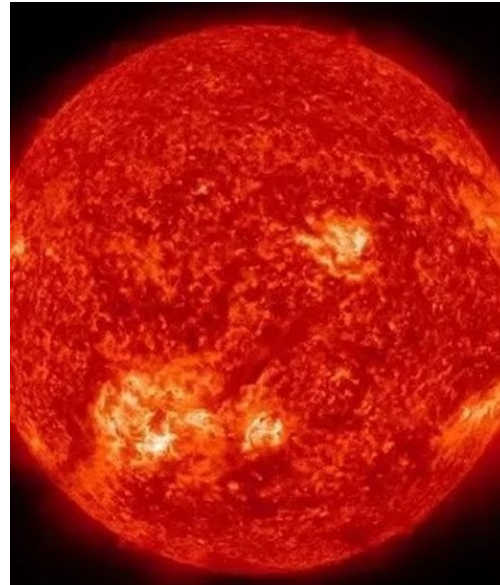
- Temperatura efectiva: T_{eff}
- Gravedad superficial: $\log(g)$
- Metalicidad: $[\text{Fe}/\text{H}]$ o $[\text{M}/\text{H}]$

¿Para qué tipo de estrellas?

- Tipos espectrales FGKM

¿QUÉ CIENCIA PODEMOS HACER?

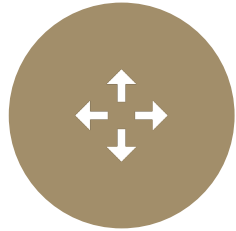
- Arqueología galáctica (Buder et al. 2020)
- Estrellas en galaxias cercanas (Tabernero et al. 2018)
- Estrellas con planetas (Sousa et al. 2018)
- Planetas transitantes (Tabernero et al. 2022b)
- Calcular masas y radios (Schweitzer et al. 2019)
- Determinar abundancias químicas (Duque-Arribas et al. 2024, Tabernero et al. 2024).



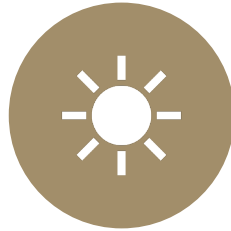
¿CÓMO DETERMINAMOS PARÁMETROS?



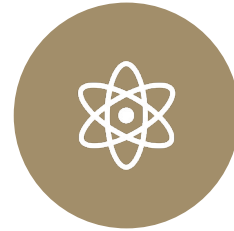
OBSERVACIONES
ESPECTROSCÓPICAS



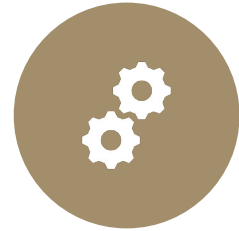
TRANSPORTE
RADIATIVO



MODELOS DE
ATMÓSFERA ESTELAR

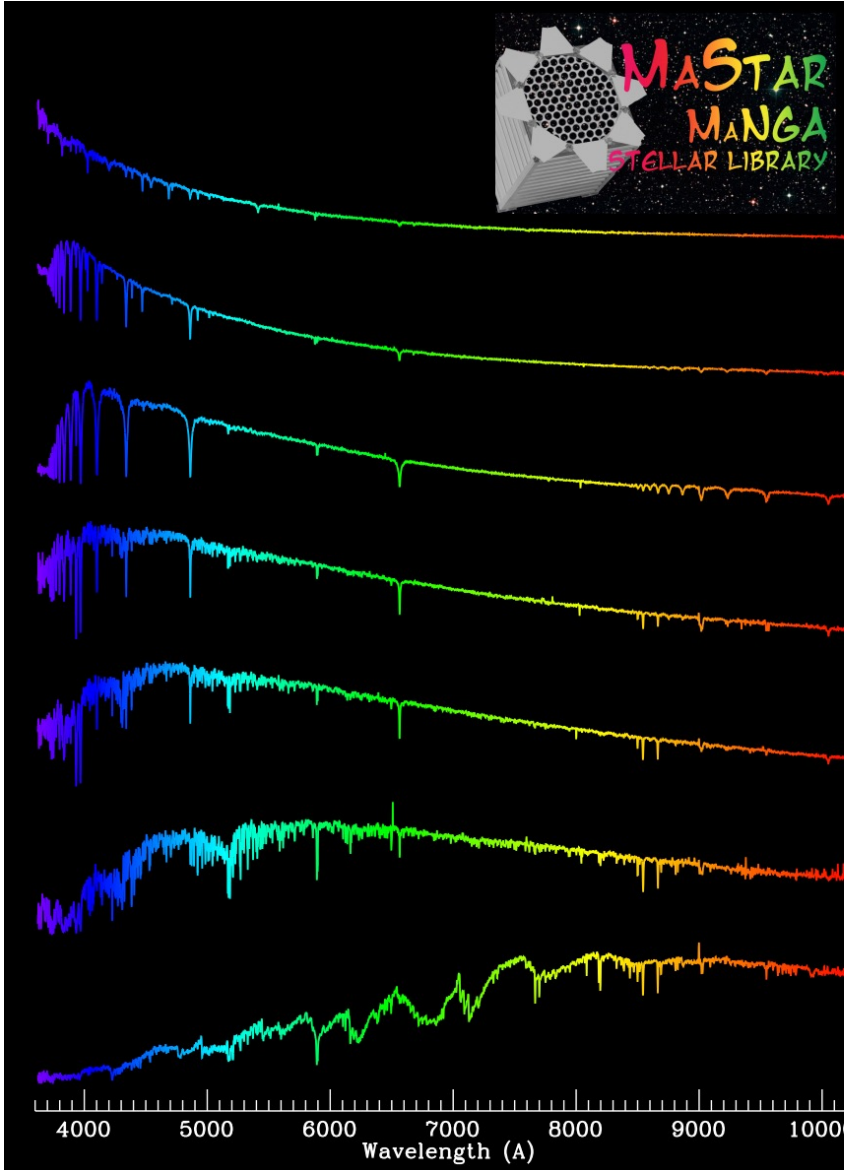


PARÁMETROS
ATÓMICOS Y
MOLECULARES



CÓDIGOS:
STEPAR
STEPARSYN





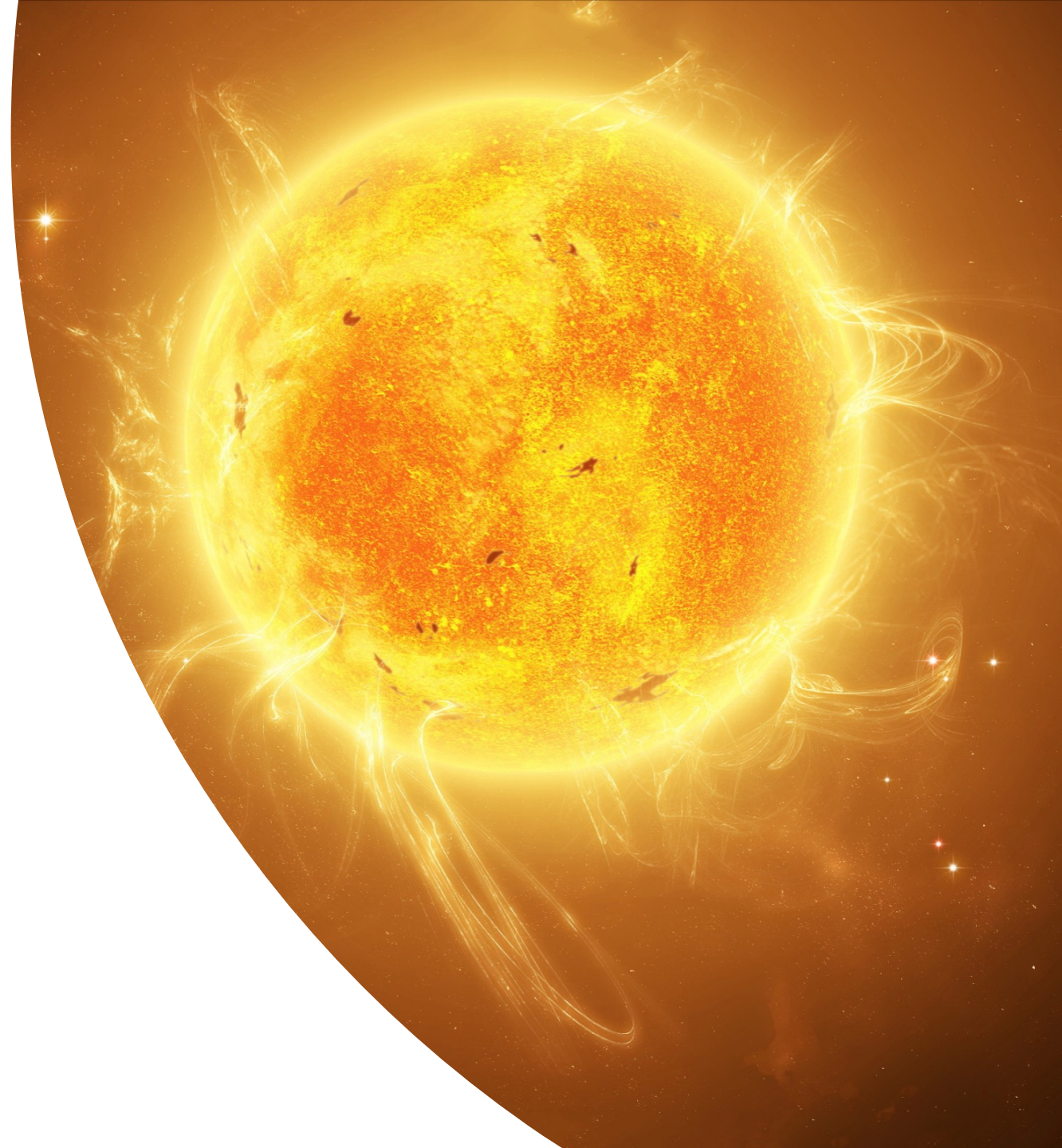
OBSERVACIONES

- Flujo por unidad de tiempo e intervalo de longitud de onda
- Rasgos espectrales
 - Moléculas (TiO, VO, ...)
 - Átomos (H, Mg, Na, Fe, ...)
- Tipos de estrellas: F, G, K, M
 - Líneas metálicas: F, G, K, M
 - Moléculas: M
- Información de los parámetros está contenida en los rasgos espectrales



TRANSPORTE RADIATIVO

- Hay varios códigos disponibles:
 - Turbospectrum, MOOG, SYNTHE, spectrum
- Resuelven la ecuación de transporte radiativo
- Utilizan:
 - Modelos de atmósfera
 - Información molecular y atómica
- Producen:
 - Espectros sintéticos





MODELOS DE ATMÓSFERAS ESTELARES

- ¿Qué modelos?
 - T_{eff} entre 2500 K 7000 K
 - $\log(g)$ entre -0.5 y 5.5 dex
 - $[\text{Fe}/\text{H}]$ entre -5.0 y 1.0 dex
 - Redes de modelos disponibles:
 - PHOENIX, KURUCZ, o MARCS
- Algunos números:
 - El Sol: $T_{\text{eff}} = 5777$ K, $\log(g) = 4.44$ dex, $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$ dex
 - En La Tierra $\log(g) = 3.0$ dex

PARÁMETROS ÁTOMICOS Y MOLECULARES

Átomos: del H al U, ver VALD3 (<http://vald.astro.uu.se/>)

Moléculas: **TiO** **SiH** **MgH** **CaH** **CrH** **FeH** **C₂** **ZrO** **H₂O** **OH** **CN** **CO** **VO**

KURUCZ: <https://kurucz.harvard.edu/molecules>

EXOMOL: <https://www.exomol.com>

B. PLEZ: <https://www.lupm.in2p3.fr/users/plez/>



CÓDIGOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

- ANCHURAS EQUIVALENTES
 - STEPAR
 - Publicado en A&A en Open Access (Tabernero et al. 2019)
 - Disponible en:
 - <https://github.com/hmtabernero/StePar>
- SÍNTESIS SPECTRAL
 - STEPARSYN
 - Publicado en A&A en Open Access (Tabernero et al. 2022)
 - <https://github.com/hmtabernero/SteParSyn>



STePAR (ANCHURAS EQUIVALENTES)

A&A 628, A131 (2019)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935465>
© ESO 2019

Astronomy
&
Astrophysics

STePAR: an automatic code to infer stellar atmospheric parameters

H. M. Tabernero^{1,2}, E. Marfil³, D. Montes³, and J. I. González Hernández^{4,5}

¹ Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), Carretera de Ajalvir km 4, Torrejón de Ardoz, 28850 Madrid, Spain

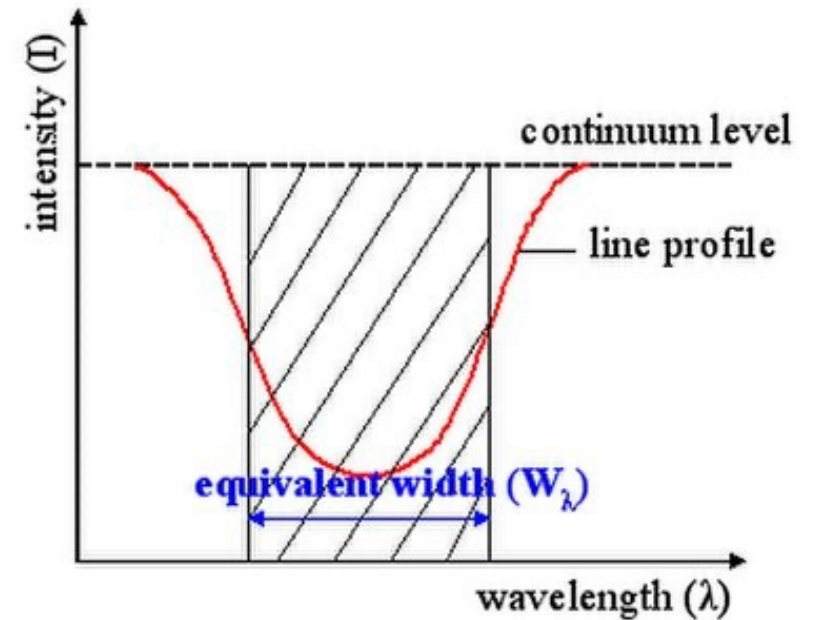
² Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Universidade do Porto, CAUP, Rua das Estrelas, 4150-762 Porto, Portugal
e-mail: hugo.tabernero@astro.up.pt

³ Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica & IPARCOS-UCM (Instituto de Física de Partículas y del Cosmos de la UCM),
Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain

⁴ Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 38205 La Laguna, Tenerife, Spain

⁵ Universidad de La Laguna (ULL), Departamento de Astrofísica, 38206 La Laguna, Tenerife, Spain

Received 14 March 2019 / Accepted 14 July 2019

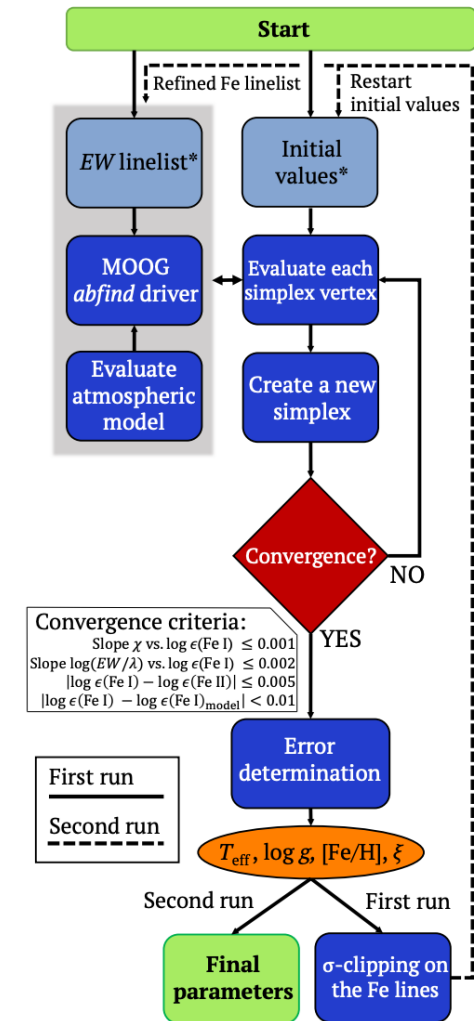
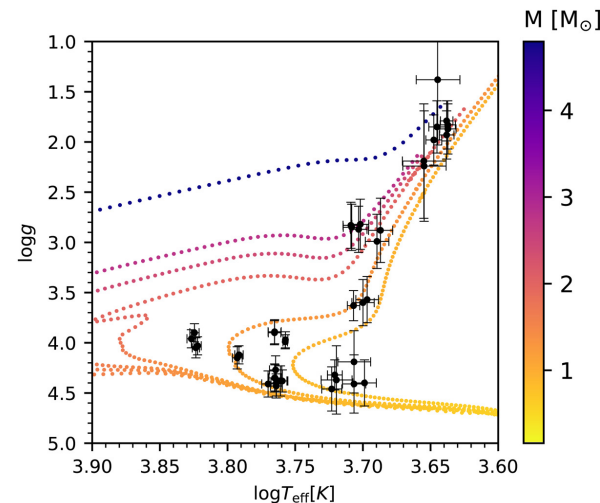


<https://github.com/hmtabernero/StePar>



STePAR (ANCHURAS EQUIVALENTES)

- Anchuras equivalentes de líneas de Fe I-II
- Nelder-mead
- Código de transferencia radiativa:
 - MOOG (Sneden 1973)
- Modelos:
 - MARCS (Gustafsson et al. 2008)
 - KURUCZ (Kurucz 1993)
- Parámetros: T_{eff} , $\log(g)$, $[\text{Fe}/\text{H}]$
- Publicado in Tabernero et al. (2019)
- Disponible en <https://github.com/hmtabernero/StePar>



STEPAR HA SIDO USADO CON ...

- Estrellas FGK de ESPRESSO ([Tabernero et al. 2021b](#), [Suarez-Mascareño et al. 2023](#))
- Estrellas FGK de CARMENES ([Marfil et al. 2020](#))
- Sistemas binarios FGK+M ([Montes et al. 2018](#), [Duque-Arribas et al. 2024](#))
- Estrellas frías observadas dentro Gaia-ESO:
 - [Worley et al. \(2024\)](#)
 - [Gilmore et al. \(2022\)](#)
 - [Randich et al. \(2022\)](#)



STEPARSYN (SÍNTESIS ESPECTRAL)

A&A 657, A66 (2022)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141763>
© ESO 2022

Astronomy
&
Astrophysics

STEPARSYN: A Bayesian code to infer stellar atmospheric parameters using spectral synthesis^{★,★★}

H. M. Tabernero¹, E. Marfil², D. Montes², and J. I. González Hernández^{3,4}

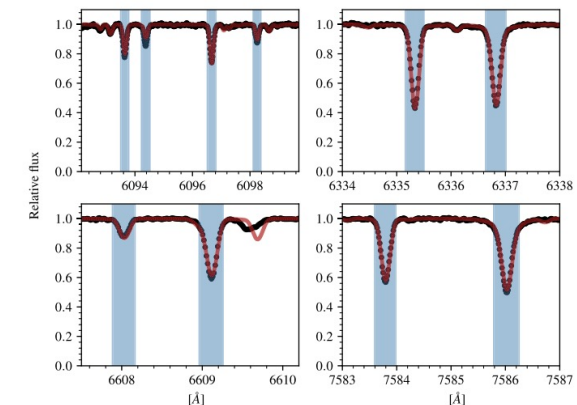
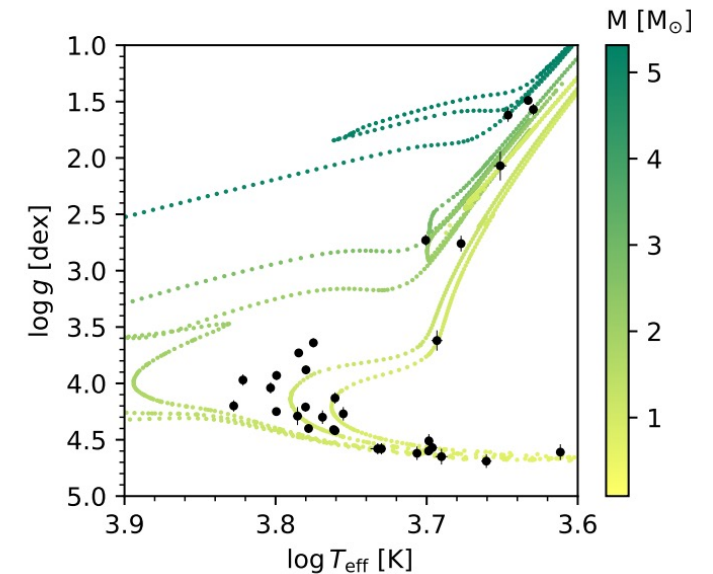
¹ Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), Crta. Ajalvir km 4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, Spain
e-mail: htabernero@cab.inta-csic.es

² Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica and IPARCOS-UCM (Instituto de Física de Partículas y del Cosmos de la UCM),
Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain

³ Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), 38205 La Laguna, Tenerife, Spain

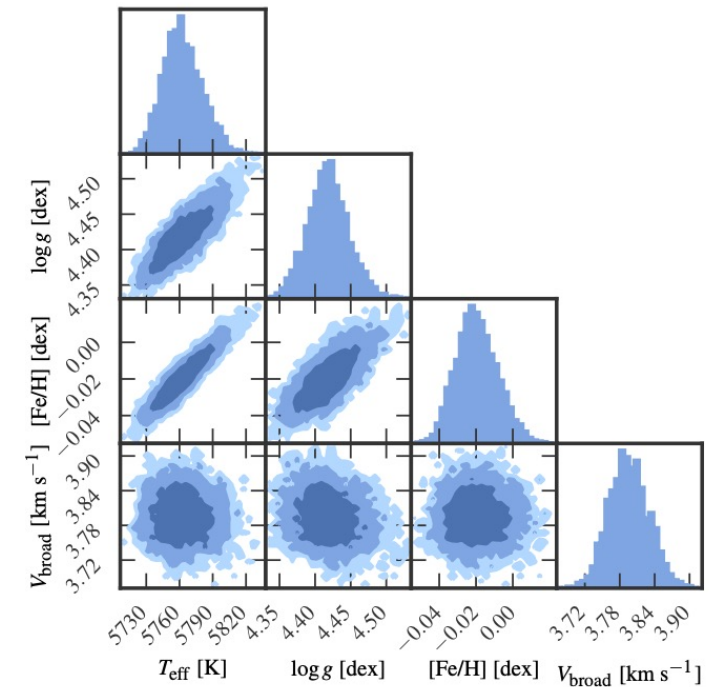
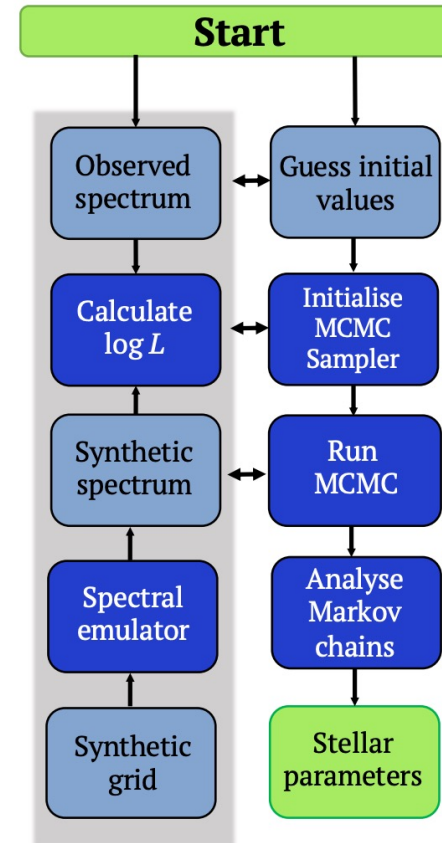
⁴ Universidad de La Laguna (ULL), Departamento de Astrofísica, 38206 La Laguna, Tenerife, Spain

Received 10 July 2021 / Accepted 3 September 2021



STePARSYN (SÍNTESIS ESPECTRAL)

- Síntesis espectral
- Markov Chains Monte Carlo
- Exploramos el espacio de probabilidad
- Red de espectros sintéticos:
 - MARCS, KURUCZ, PHOENIX
- Ajustamos líneas atómicas y/o bandas
- T_{eff} , $\log(g)$, $[\text{Fe}/\text{H}]$
- Publicado en Tabernero et al. (2022a)
- Disponible en:
<https://github.com/hmtabernero/SteParSyn>

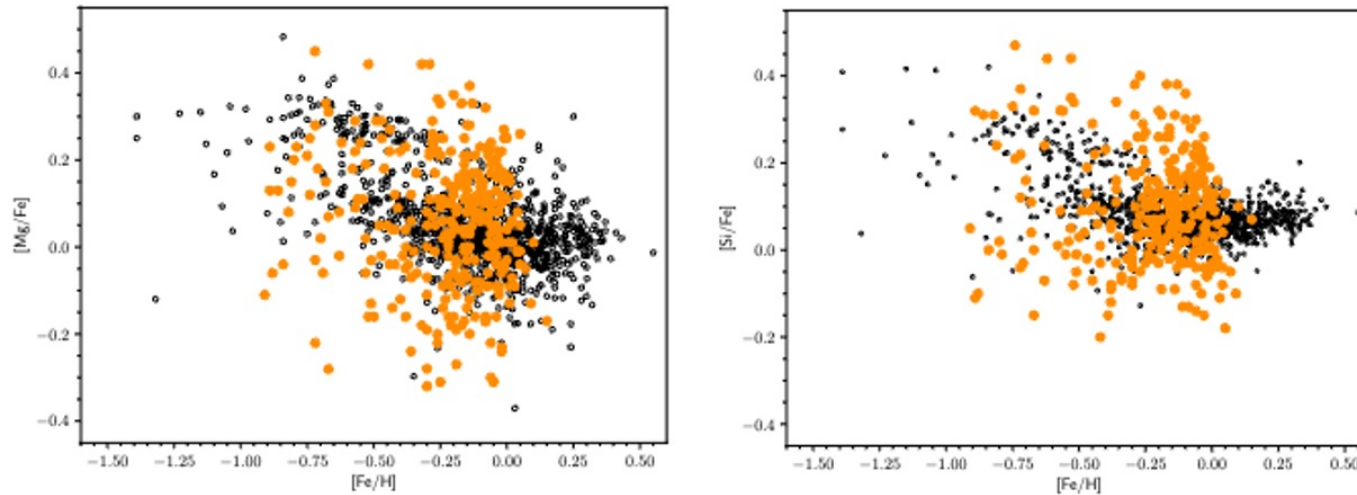


Tabernero et al. (2022a)



STEPARSYN HA SIDO USADO CON ...

- Estrellas FGKM de CARMENES ([Marfil et al. 2021](#), [Mallorquín et al. 2023](#), ...)
- Estrellas FGKM de ESPRESSO ([Barros et al. 2022](#), [Passegger et al. 2024](#), ...)
- Cúmulos abiertos ([Negueruela et al. 2021](#))
- Estrellas de las Nubes de Magallanes ([Tabernero et al. 2018](#))
- ...

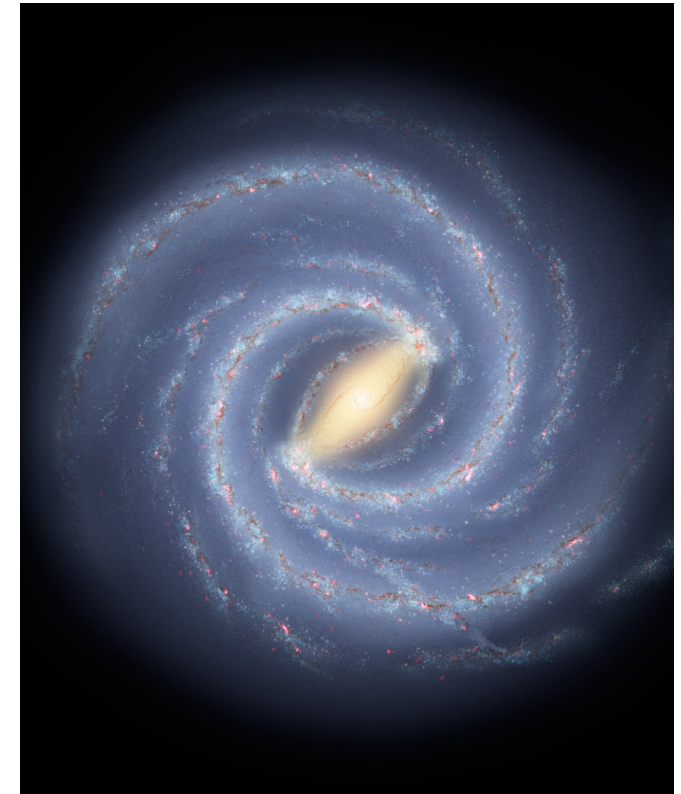
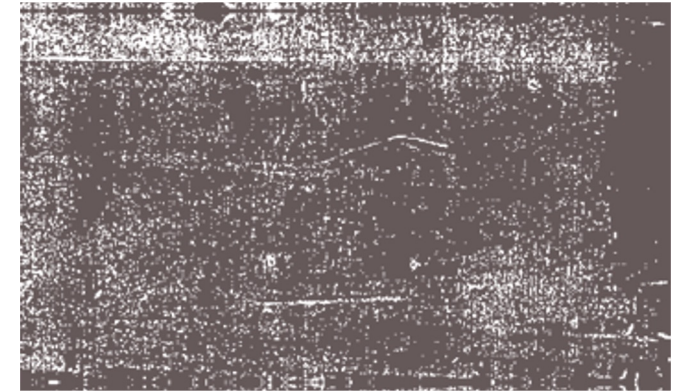
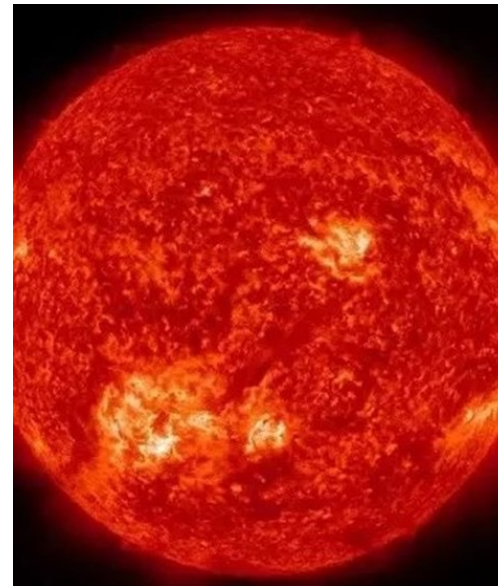


Tabernero et al. (2024)



RESUMEN

- Estudiamos estrellas de tipo F, G, K, y M
- Derivamos sus parámetros estelares
- Casos científicos:
 - Arqueología galáctica
 - Estrellas con planetas
 - Planetas que transitan
 - Estrellas en otras galaxias
- Tenemos dos códigos disponibles:
 - STEPAR
 - STEPARSYN



GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

