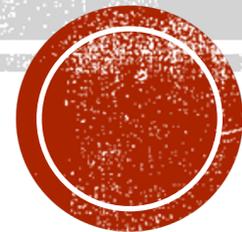


CÓDIGOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ESTELARES

Dr. Hugo M. Tabernero
Postdoc en el Centro de Astrobiología
Colaborador del grupo de sistemas estelares, espectroscopía y fotometría

IX Jornadas de introducción a la investigación
Facultad de Ciencias Físicas · Universidad Complutense de Madrid
Contacto: htabernero@cab.inta-csic.es

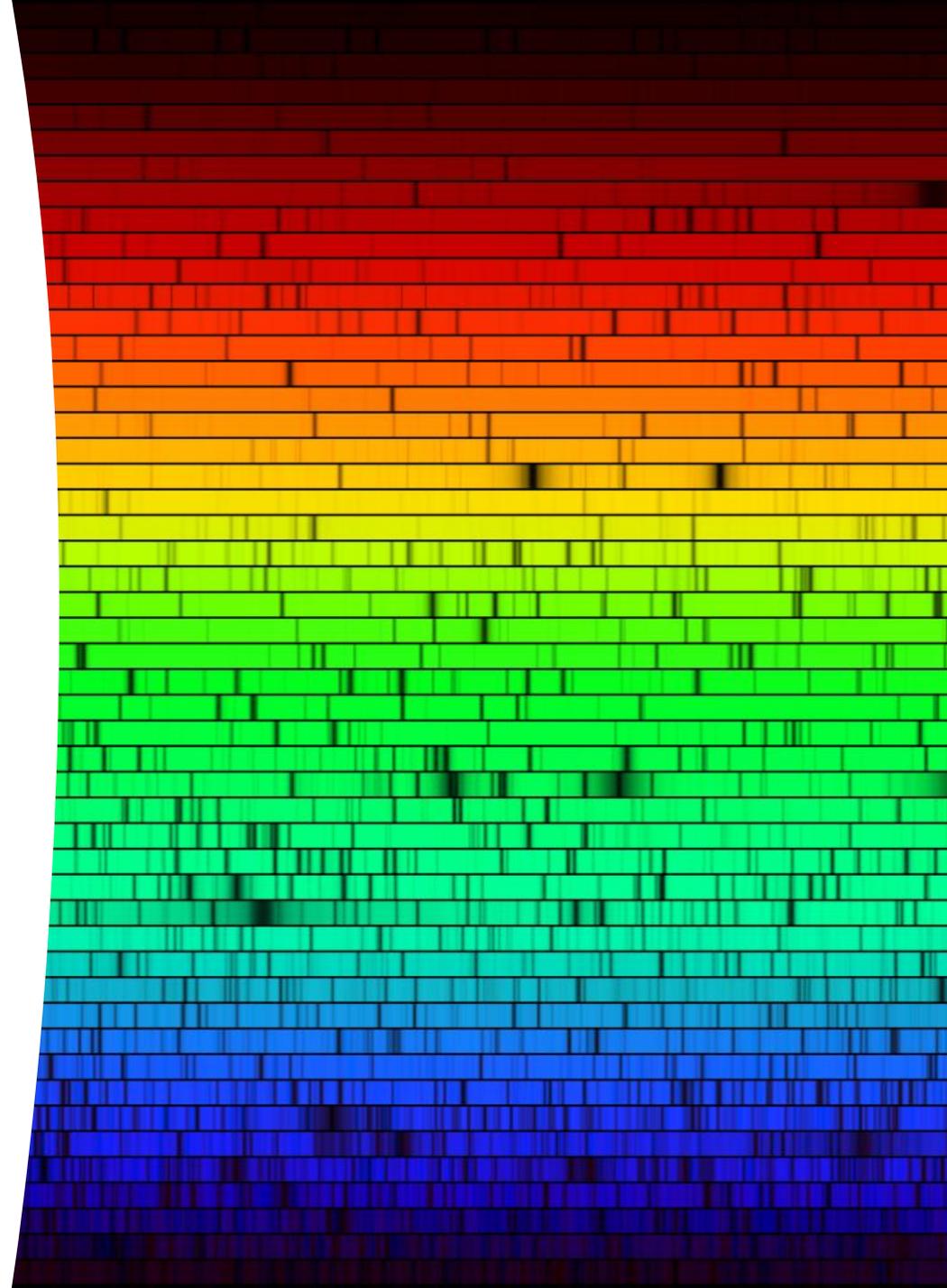


EXCELENCIA
MARÍA
DE MAEZTU



ÍNDICE

- Parámetros estelares
 - ¿Qué podemos averiguar con espectroscopía?
 - ¿Qué ciencia podemos hacer?
- ¿Qué tipo de espectroscopia?
 - Visible (+Infrarrojo cercano), $R=10,000-140,000$
- Programas (Python)
 - STEPAR (Tabernerero et al. 2019)
 - STEPARSYN (Tabernerero et al. 2021c, en preparación)
- Resumen





PARÁMETROS ESTELARES

¿Qué parámetros?

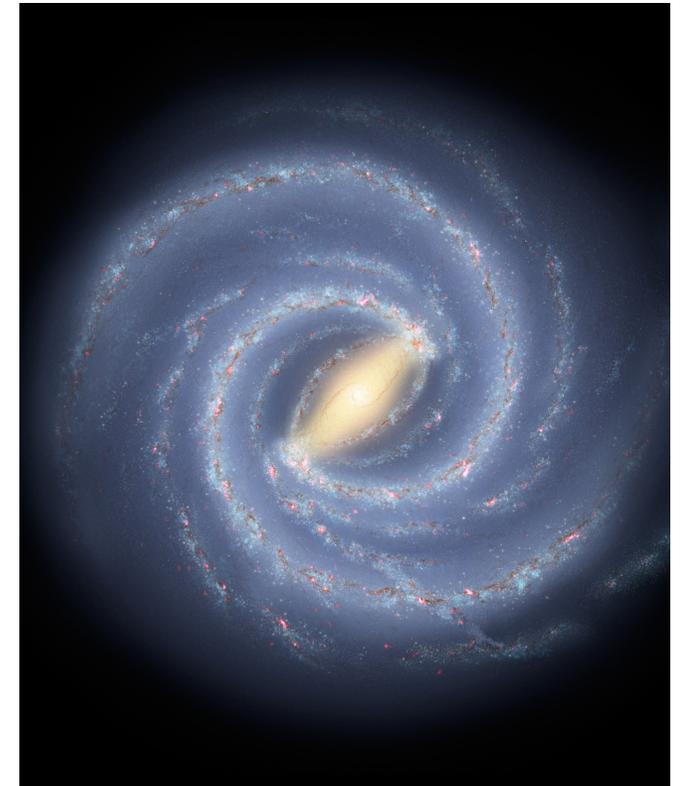
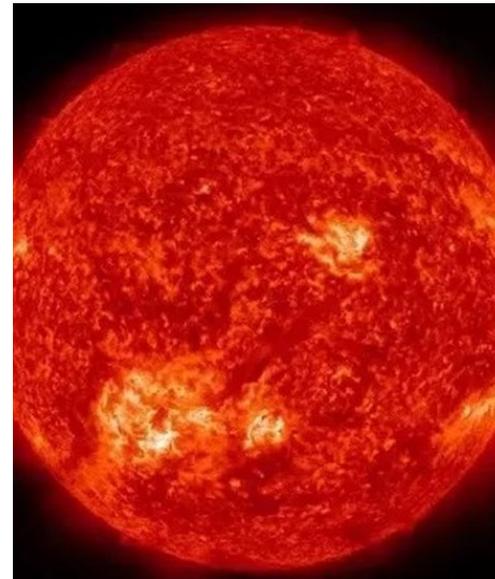
- Temperatura efectiva: T_{eff}
- Gravedad superficial: $\log(g)$
- Metalicidad: $[\text{Fe}/\text{H}]$ o $[\text{M}/\text{H}]$

¿Para qué tipo de estrellas?

- Tipos espectrales FGKM

¿QUÉ CIENCIA PODEMOS HACER?

- Arqueología galáctica (Buder et al. 2020)
- Estrellas en galaxias cercanas (Taberner et al. 2018)
- Estrellas con planetas (Sousa et al. 2018)
- Planetas transitantes (Casayas-Barris et al. 2021)
- Calcular masas y radios (Schweitzer et al. 2019)



¿DÓNDE TOMAMOS LOS DATOS?

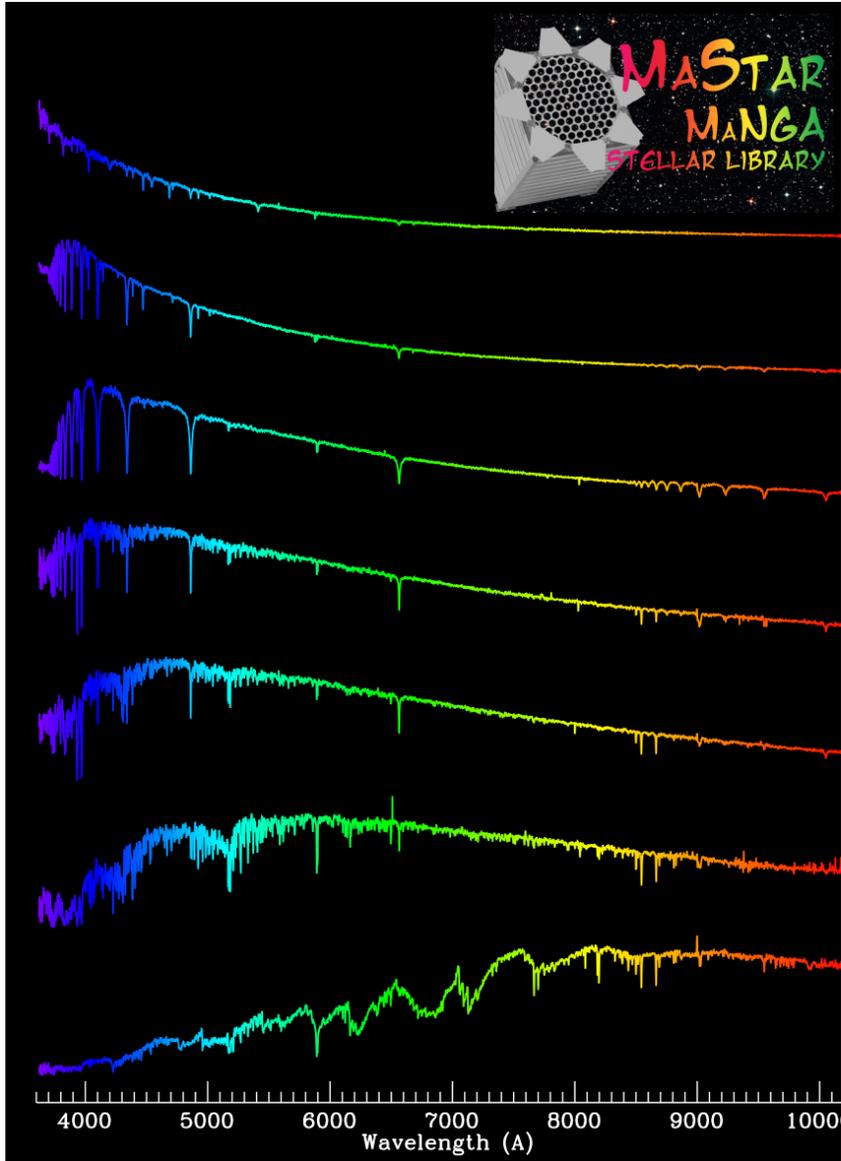
Instalaciones desde tierra

CARMENES, ESPRESSO, HARPS, HARPS-N,
CRIRES+, HORuS, NIRPS, HPF, UVES, HERMES, ...

Grandes cartografiados

GALAH, GES, WEAVE, APOGEE, LAMOST,
SEGUE, LEGUE, ...





¿QUÉ ES UN ESPECTRO?

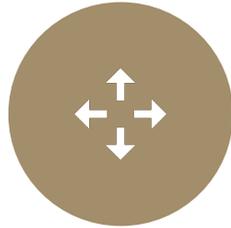
- ¿Qué son?
 - Flujo por unidad de tiempo e intervalo de longitud de onda
- Rasgos espectrales
 - Moléculas (TiO, VO, ...)
 - Átomos (H, Mg, Na, Fe, ...)
- Tipos de estrellas: F, G, K, M
 - Líneas metálicas: F, G, K, M
 - Moléculas: M
- Información de los parámetros está contenida en los rasgos espectrales



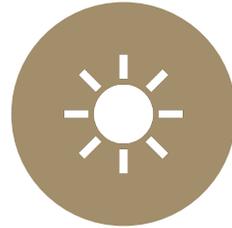
¿CÓMO DETERMINAMOS PARÁMETROS?



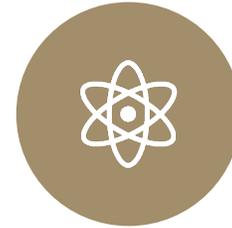
OBSERVACIONES
ESPECTROSCÓPICAS



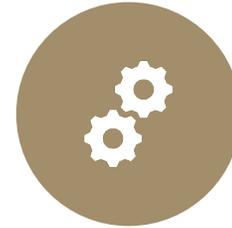
CÓDIGO DE
TRANSPORTE
RADIATIVO



MODELOS DE
ATMÓSFERA ESTELAR



PARÁMETROS
ATÓMICOS Y
MOLECULARES



ALGORITMO DE
OPTIMIZACIÓN



PARÁMETROS ÁTOMICOS Y MOLECULARES

Átomos: H to U, see 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/>



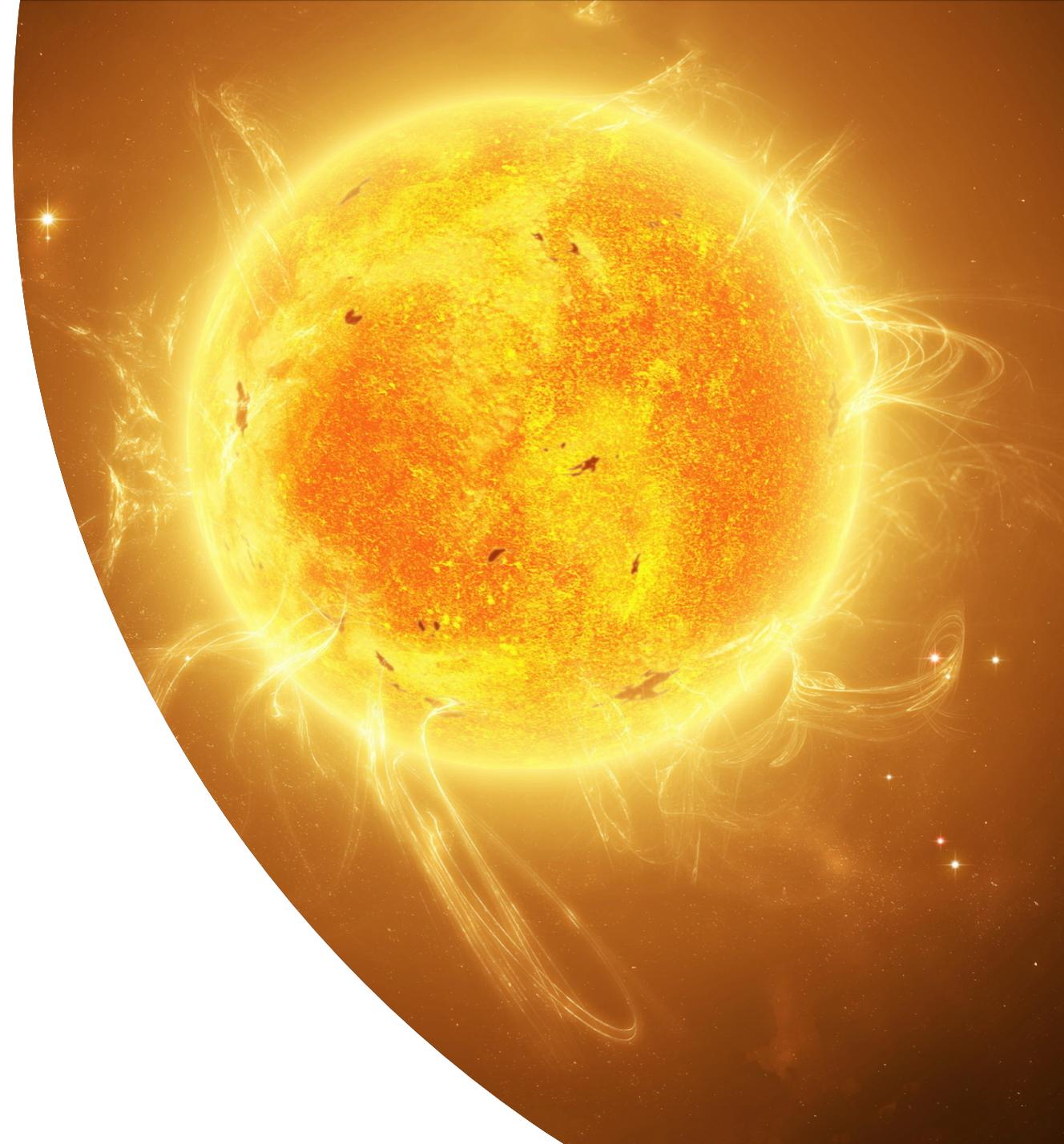


MODELOS DE ATMÓSFERAS ESTELARES

- ¿Qué son?
 - Presión, temperatura, opacidad, ...
- ¿Qué tipo de modelos?
 - Estrellas de tipo F, G, K, M
 - T_{eff} entre 2500 K 7000 K
 - $\log(g)$ entre -0.5 y 5.5 dex
 - $[M/H]$ 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, $[M/H] = 0.0$ dex
 - En La Tierra $\log(g) = 3.0$ dex

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

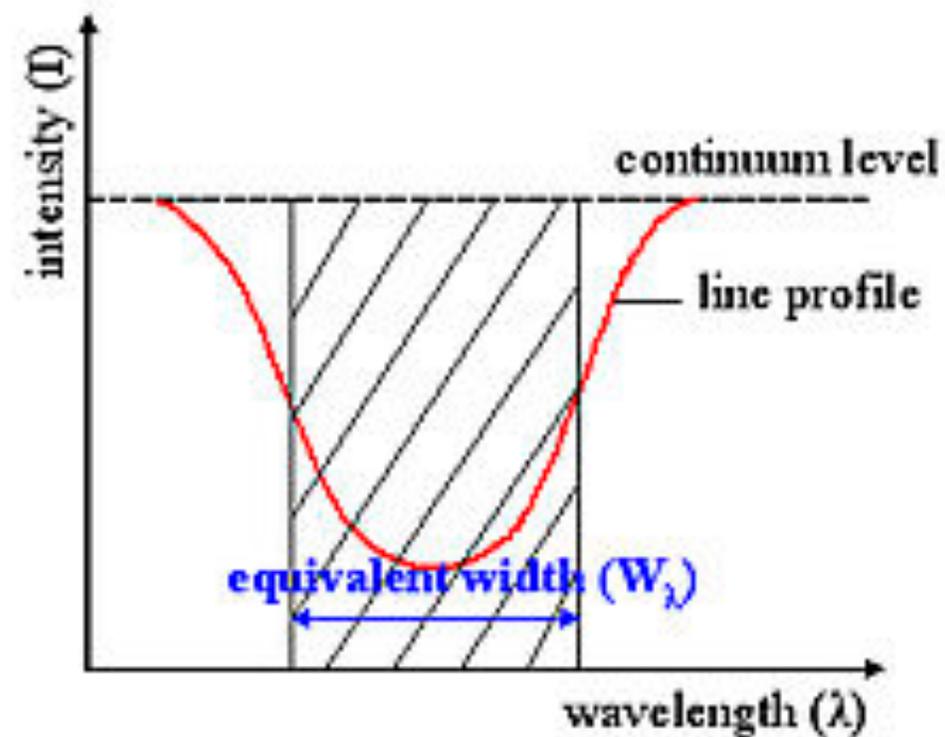


MÉTODOS QUE USAMOS

- ANCHURAS EQUIVALENTES
 - STEPAR
 - Publicado en A&A (Tabernerero et al. 2019)
 - Disponible en:
 - <https://github.com/hmtabernerero/StePar>
- SÍNTESIS SPECTRAL
 - STEPARSYN
 - Artículo en preparación (Tabernerero et al. 2021c)
 - Próximamente disponible

STEPAR (ANCHURAS EQUIVALENTES)

- Anchuras equivalentes de líneas de Fe I-II
- Nelder-mead
- Código de transferencia radiativa:
 - MOOG (Snedden 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 *github*



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. Taberero^{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

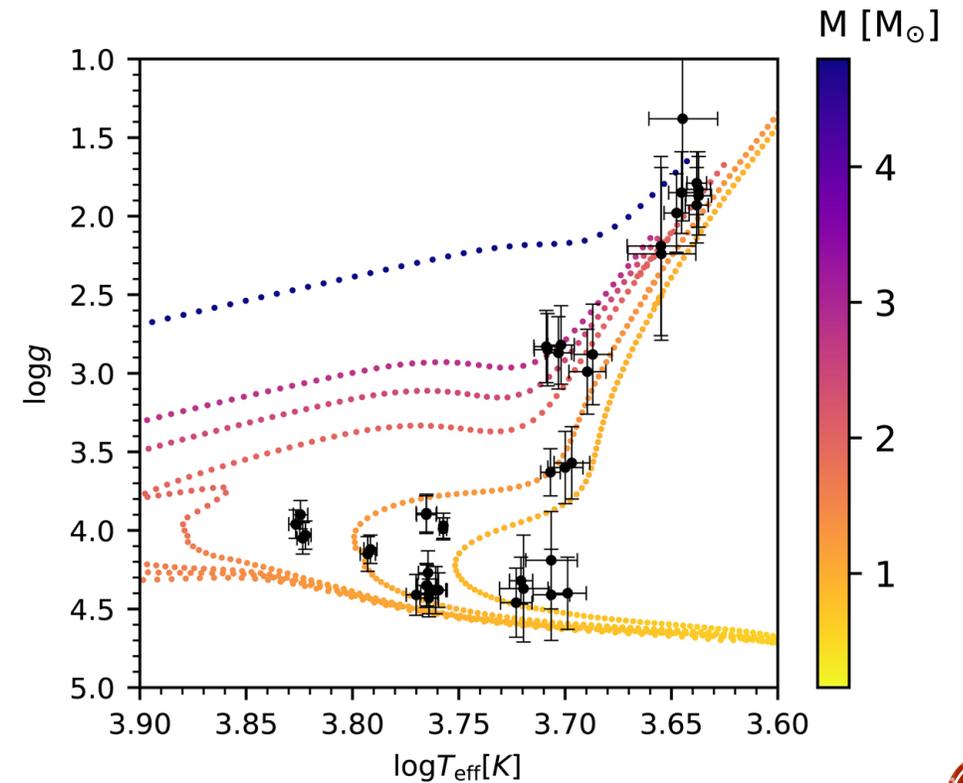
² Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Universidade do Porto, CAUP, Rua das Estrelas, 4150-762 Porto, Portugal
e-mail: hugo.taberero@astro.up.pt

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

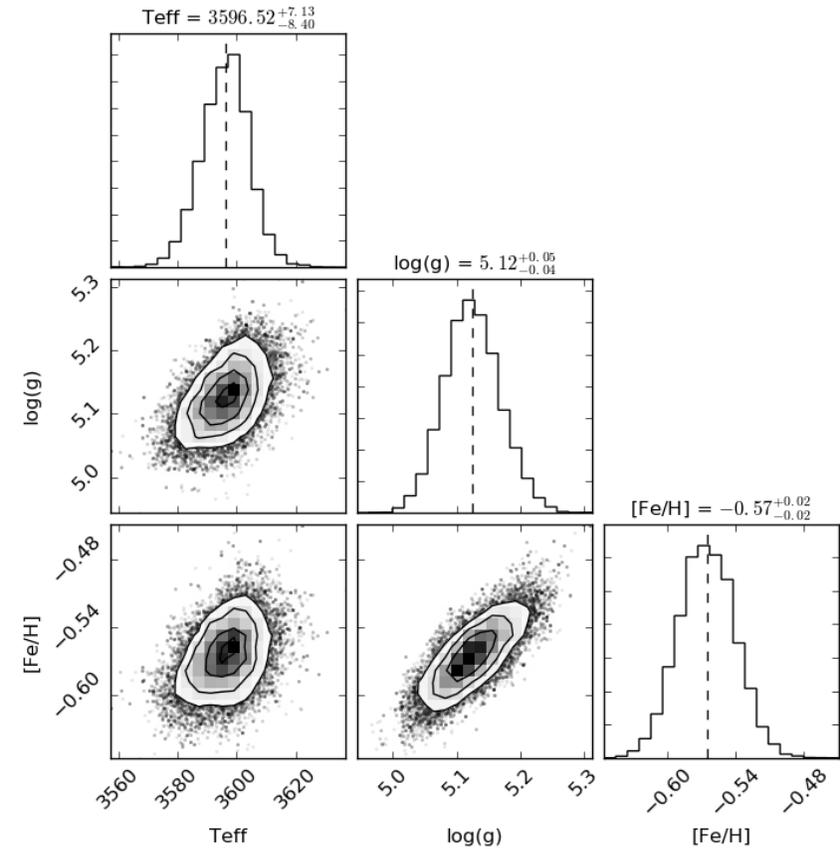
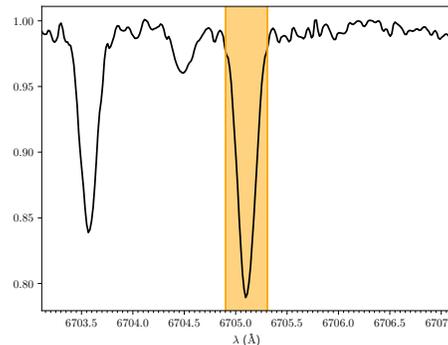
⁵ Universidad de La Laguna (ULL), Departamento de Astrofísica, 38206 La Laguna, Tenerife, Spain

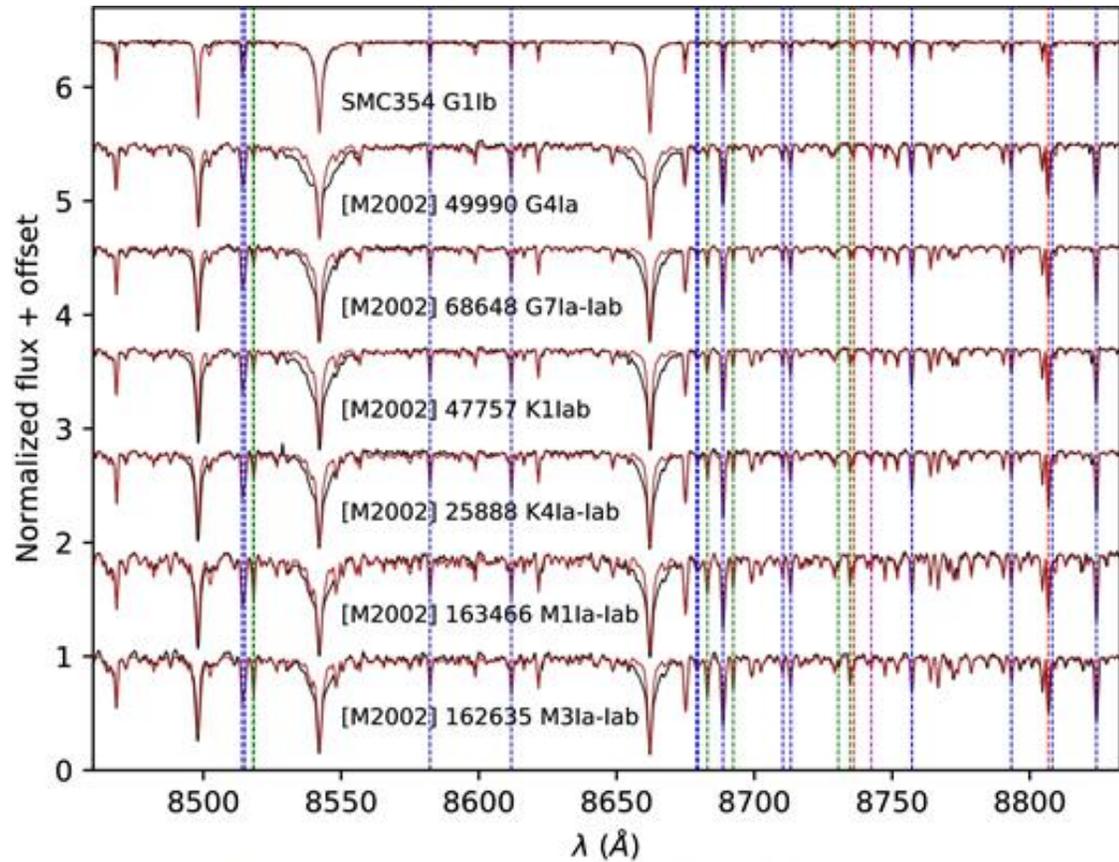
Received 14 March 2019 / Accepted 14 July 2019



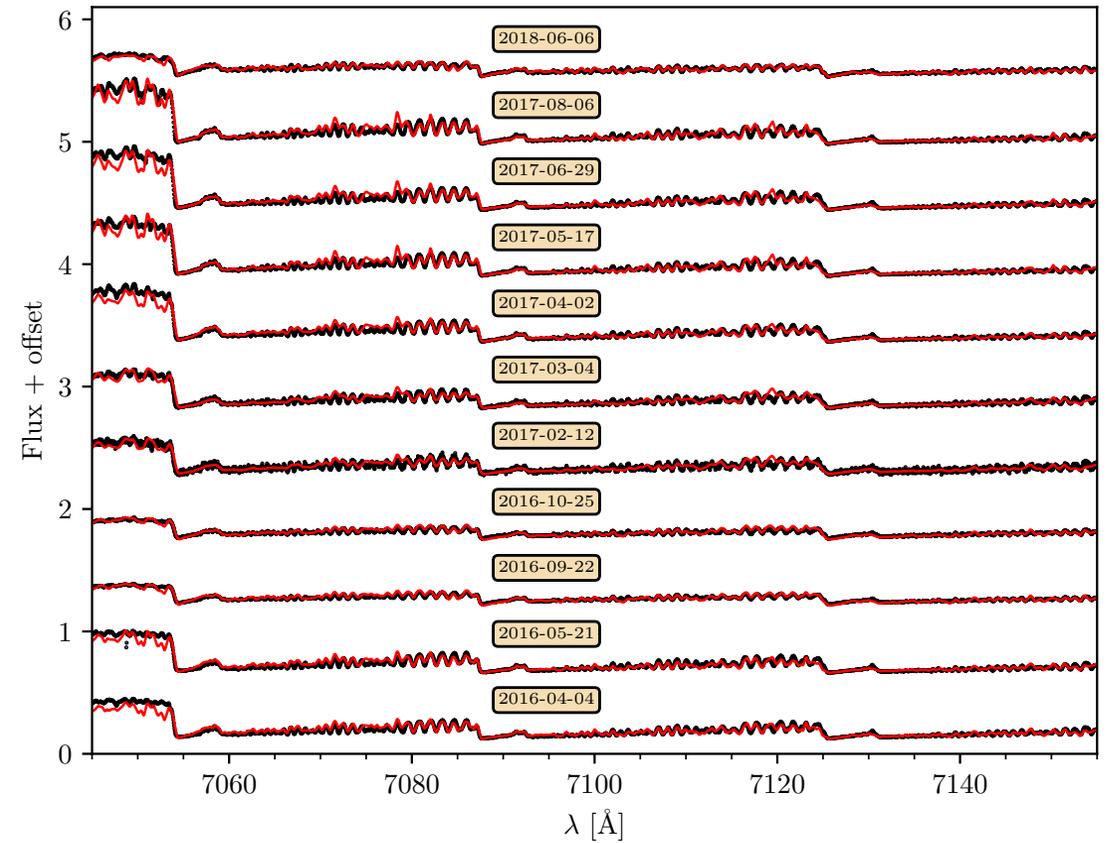
STEPARSYN (SINTESIS SPECTRAL)

- 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} , $\log(g)$, $[\text{Fe}/\text{H}]$





Ajuste de líneas atómicas (Tabernero et al., 2018)



Ajuste a las bandas de TiO en 7050 Å (Tabernero et al., 2021a)

