

# Atmósferas Estelares

## Entregable 1

Javier del Socorro  
Andrés García-Serra

Noviembre de 2021

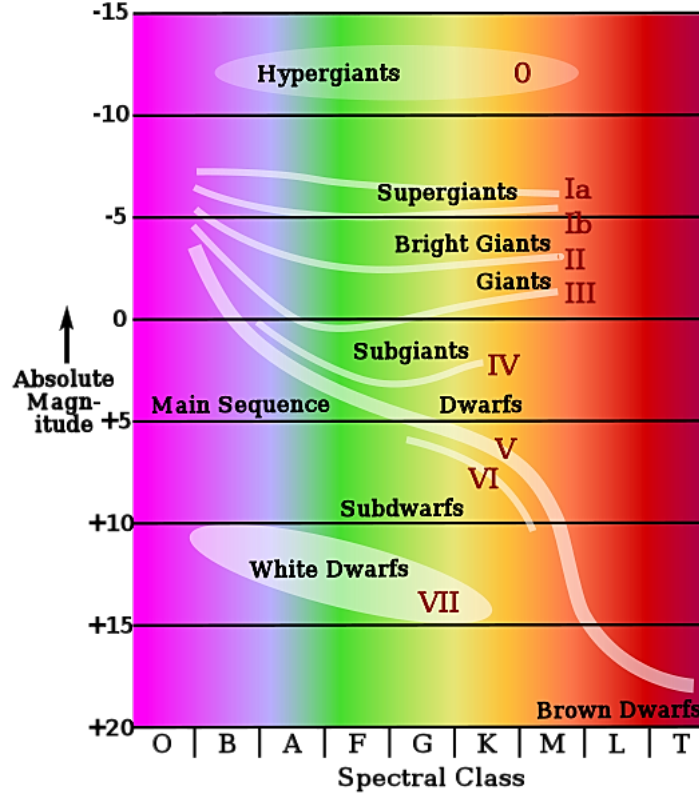
### 1. Introducción

Para poder analizar muchas de las propiedades de las estrellas debemos observar su espectro, es decir, la radiación que emiten a distintas longitudes de onda. Estos espectros siguen aproximadamente la curva que describiría un cuerpo negro a la temperatura efectiva de la estrella. Sobre esta curva se superponen líneas de absorción a ciertas longitudes de onda (y, en algunas ocasiones, líneas de emisión). Estas líneas nos pueden ayudar a identificar y clasificar la estrella en cuestión.

Actualmente las estrellas se clasifican según el sistema de Morgan-Keenan (MK). Este sistema clasifica las distintas estrellas en clases espectrales: *O*, *B*, *A*, *F*, *G*, *K*, *M* (en algunos diagramas también se añaden las clases *L*, *T* para incluir hasta las enanas marrones). Inicialmente se clasificaron según el color observado de las estrellas y después se comprobó que estas clases espectrales dependen inversamente de la temperatura (cuanta más  $T_{\text{eff}}$  más se moverá el máximo espectral de la curva del cuerpo negro hacia frecuencias más azules, por lo que el color se podría usar como indicativo de temperatura). Estas clases espectrales se subdividen a su vez en 10 subclases denominadas con números arábigos (0-9), donde 0 serían las estrellas más calientes y 9 las más frías.

Por último, este sistema también clasifica las estrellas según su clase de luminosidad, un sistema que se basa tanto en la temperatura como en la luminosidad. De una forma más gráfica este sistema los clasifica según su posición en el diagrama Hertzsprung-Russell (HR), donde se grafica luminosidad (o magnitudes) frente a tipo espectral (o temperatura) (ver [Figura 1](#)). Las clases de luminosidad se denominan con letras romanas. Por ejemplo según el sistema MK el Sol es una estrella G2V.

Nuestro objetivo es poder clasificar dos estrellas problemáticas según su tipo espectral y su clase de luminosidad observando su espectro y comparándolo con estrellas de referencia de las cuales ya conocemos su clasificación ([Herrero \(2021\)](#)).



**Figura 1.** Diagrama HR donde se indican las diferentes clases de luminosidad de las estrellas (números romanos) según su posición en el mismo diagrama.

## 2. Metodología

Para la realización de este trabajo disponemos de los espectros de dos estrellas problema con rango entre 3900 y 5000 Å (ver [Figura 2](#), [Figura 6](#)) y de 26 estrellas de referencia (13 supergigantes y 13 enanas) con rango de 3900 a 7000 Å y de resolución  $R = 5000$ .

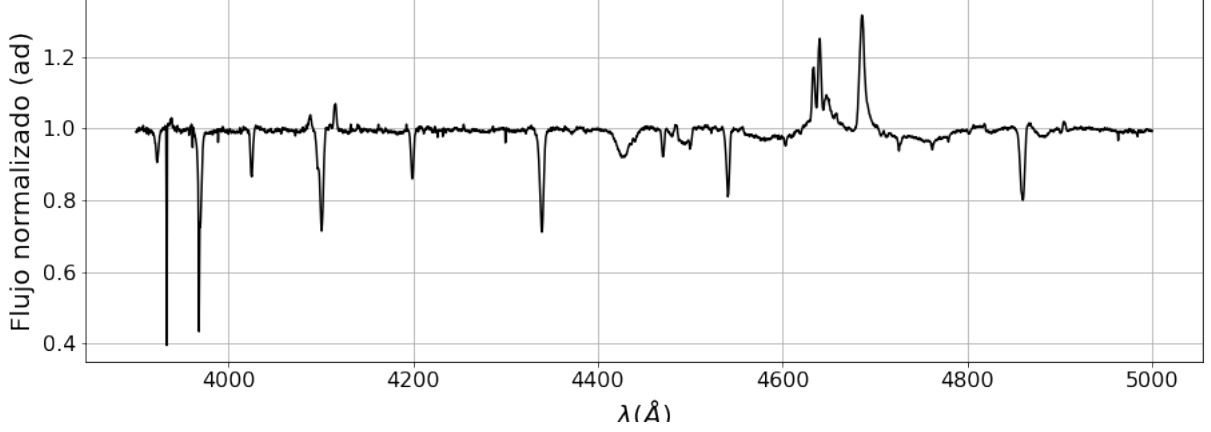
En primer lugar tomaremos los espectros de estrellas estándares que no están normalizados y graficaremos un continuo. Con este continuo normalizaremos cada uno de estos espectros y una vez normalizados los recortaremos al rango de longitudes de onda de las estrellas problema, es decir, de 3900 a 5000 Å.

En segundo lugar tomamos los espectros de estrellas problema y, puesto que tienen muchos más puntos, reduciremos su resolución hasta que coincida con la de los espectros estándar. Para nuestro caso convolucionaremos los vectores ya conocidos de las estrellas problema utilizando un kernel de perfil gaussiano con una desviación estándar de 7. Con esto forzaremos que los nuevos espectros problema tengan un rango de longitudes de onda de 3900 a 5000 Å y con pasos de 0.3 Å entre puntos.

Con los espectros estándar normalizados y los espectros problema convolucionados para igualar la resolución, podemos ya realizar las gráficas necesarias para la comparación de espectros y cálculos de ratios pertinentes.

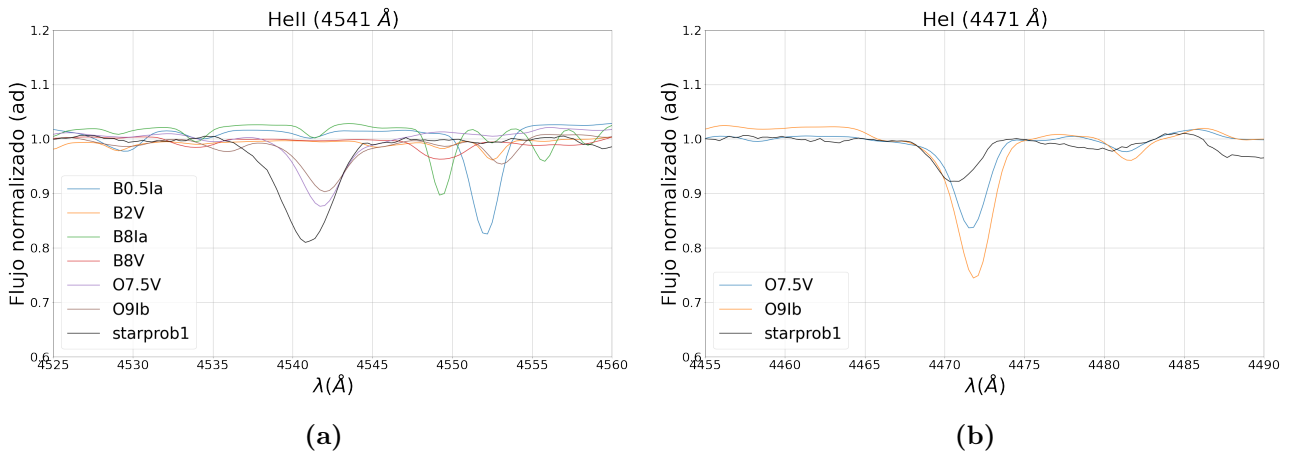
Todo el código escrito y comentado, junto a la realización de las figuras se encuentra en

### 3. Clasificación Estrella Problema 1



**Figura 2.** Espectro normalizado de la estrella problema 1, con resolución bajada a  $R = 5000$ .

Al observar el espectro de nuestra estrella problema (ver [Figura 2](#)) observamos que es un espectro normalizado con escasas líneas de emisión/absorción, pero muy marcadas, por lo que podemos suponer que es una estrella de temperatura elevada, lo que nos permite hacer una criba de las estrellas referencia y comparamos únicamente con las de tipo O y B (en nuestro caso tenemos estrellas estándar de tipos B0.5Ia, B2V, B8Ia, B8V, O7.5V y O9Ib). Si nos fijamos en la línea de absorción del HeII a 4541 Å ([Figura 3a](#)) veremos que nuestro espectro presenta absorción a esa longitud de onda, algo característico del tipo espectral O. Además si miramos el pico HeI a 4471 Å ([Figura 3b](#)) podemos calcular el ratio HeI(4471)/HeII(4541) para nuestra estrella así como para las estrellas referencia O7.5V y O9Ib (ver [Tabla 1](#)).



**Figura 3.** Comparación del espectro de la estrella problema con los espectros de referencia B0.5Ia, B2V, B8Ia, B8V, O7.5V y O9Ib para la línea HeII a 4541 Å (a) y con los espectros O7.5V y O9Ib para la línea HeI a 4471 Å.

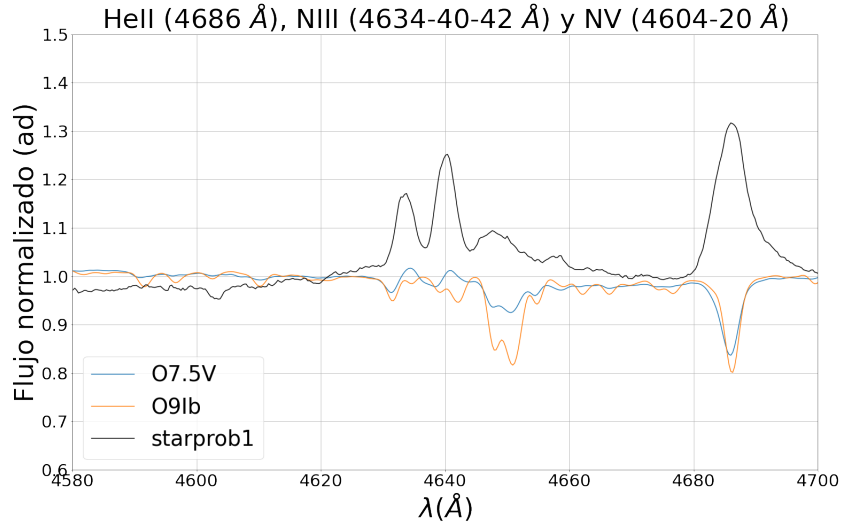
<sup>1</sup><https://github.com/andygarciaserra/atm-spectral-classification>

Estos ratios nos confirman que nuestra estrella es de tipo O y nos dan poca información más, solamente que se trataría de una estrella con más temperatura que las de referencia (pues el ratio decrece para tipos espectrales más tempranos). Para poder ser algo más precisos debemos recurrir a otras líneas espectrales. Giridhar (2010) nos dice que también es interesante observar el HeII a 4686 Å, el triplete de NIII a 4634, 4640 y 4642 Å y el doblete de NV a 4604 y 4620 Å (ver Figura 4).

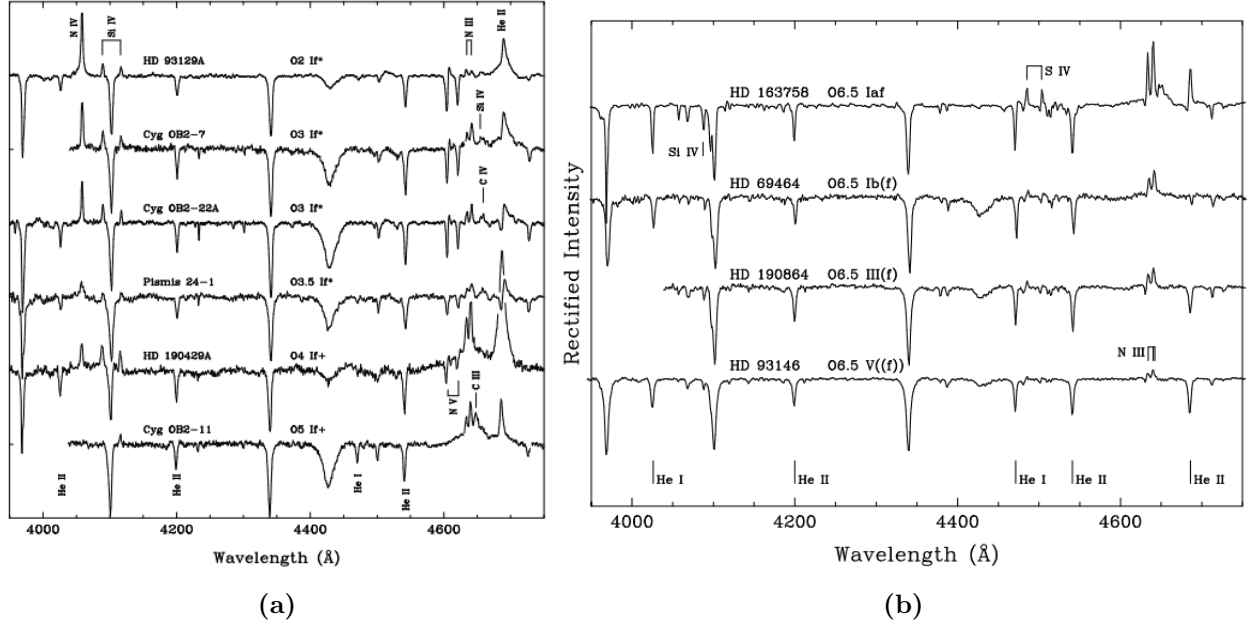
**Tabla 1.** Valores del ratio HeI(4471)/HeII(4541) para las estrellas de referencia con espectros O7.5V y O9Ib y para la estrella problema 1.

	HeI(4471)/HeII(4541)
O7.5V	1.23
O9Ib	2.53
Estrella problema 1	0.39

Como vemos en la Figura 4, para nuestra estrella problema sí que se ve el par NV, pero este es muy débil, por lo que comparando con la Figura 5b podemos suponer que se trata de una estrella O4-5. En cuanto a la clase de luminosidad, si nos fijamos en la línea HeII a 4686 Å nuestra estrella tiene una línea de emisión, mientras que para las de referencia se trata de una de absorción. Comparando con los espectros de la Figura 5a observamos que se trata unequivocamente de una supergigante de clase Ia<sub>f</sub>. Podemos concluir que **nuestra estrella problema 1 se trata de una O4-5Ia<sub>f</sub>**.

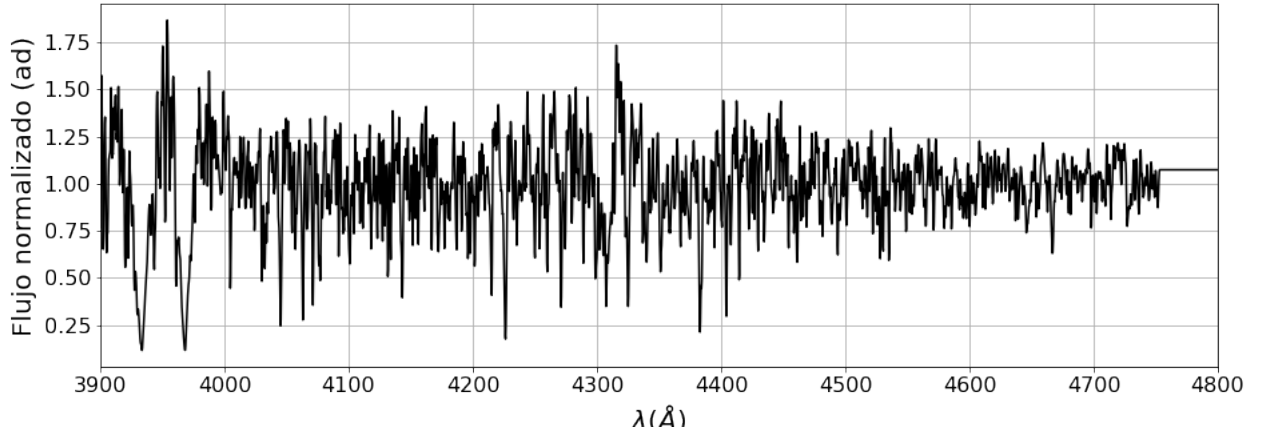


**Figura 4.** Líneas espectrales del HeII a 4686 Å, del triplete de NIII a 4634, 4640 y 4642 Å y del doblete de NV a 4604 y 4620 Å para la estrella problema 1 y para las estrellas de referencia con espectros O7.5V y O9Ib.



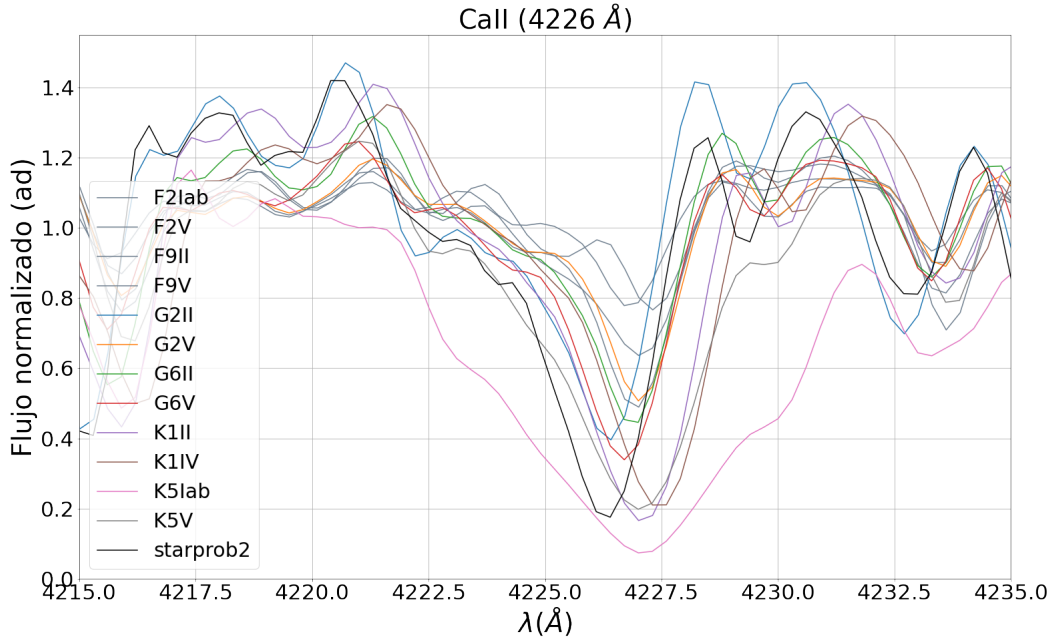
**Figura 5.** Gráficas extraídas del paper [Giridhar \(2010\)](#). Estas gráficas nos comparan los espectros de diferentes estrellas de clase espectral O con distinto subtipo espectral (a) y con distinta clase de luminosidad (b).

## 4. Clasificación Estrella Problema 2



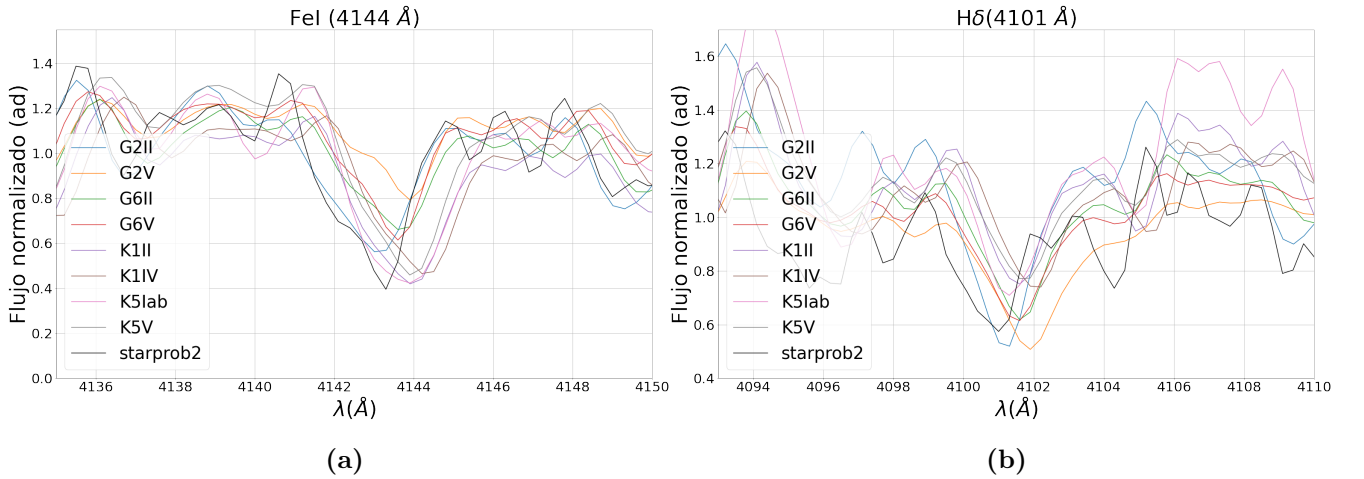
**Figura 6.** Espectro normalizado de la estrella problema 2, con resolución bajada a  $R = 5000$ .

Si representamos el espectro de nuestra estrella problema 2 (ver [Figura 6](#)) podemos observar que esta tiene más líneas que la estrella anterior, por lo que se tratará de un tipo espectral más bajo, de menor temperatura y mayor metalicidad. Un buen indicador del tipo espectral en estos casos es la línea del CaII a 4226 Å, por lo que comparemos esta línea de nuestra estrella con las de las estrellas de referencia de los tipos F, G y K (en nuestro caso F2Iab, F2V, F9II, F9V, G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V), esto último se encuentra representado en la [Figura 7](#).



**Figura 7.** Banda de CaII a 4226 Å para la estrella problema 2 y para las estrellas de referencia con tipos espectrales F2Iab, F2V, F9II, F9V, G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V.

Observamos que en nuestra estrella encontramos una línea de absorción considerablemente más pronunciada que las estrellas F, por lo que descartaremos el F como tipo espectral. Para acotar un poco más podemos calcular los ratios  $\text{FeI}(4144)/\text{H}\delta(4101)$  para nuestra estrella y para las estrellas G y K de referencia (ver [Tabla 2](#)).

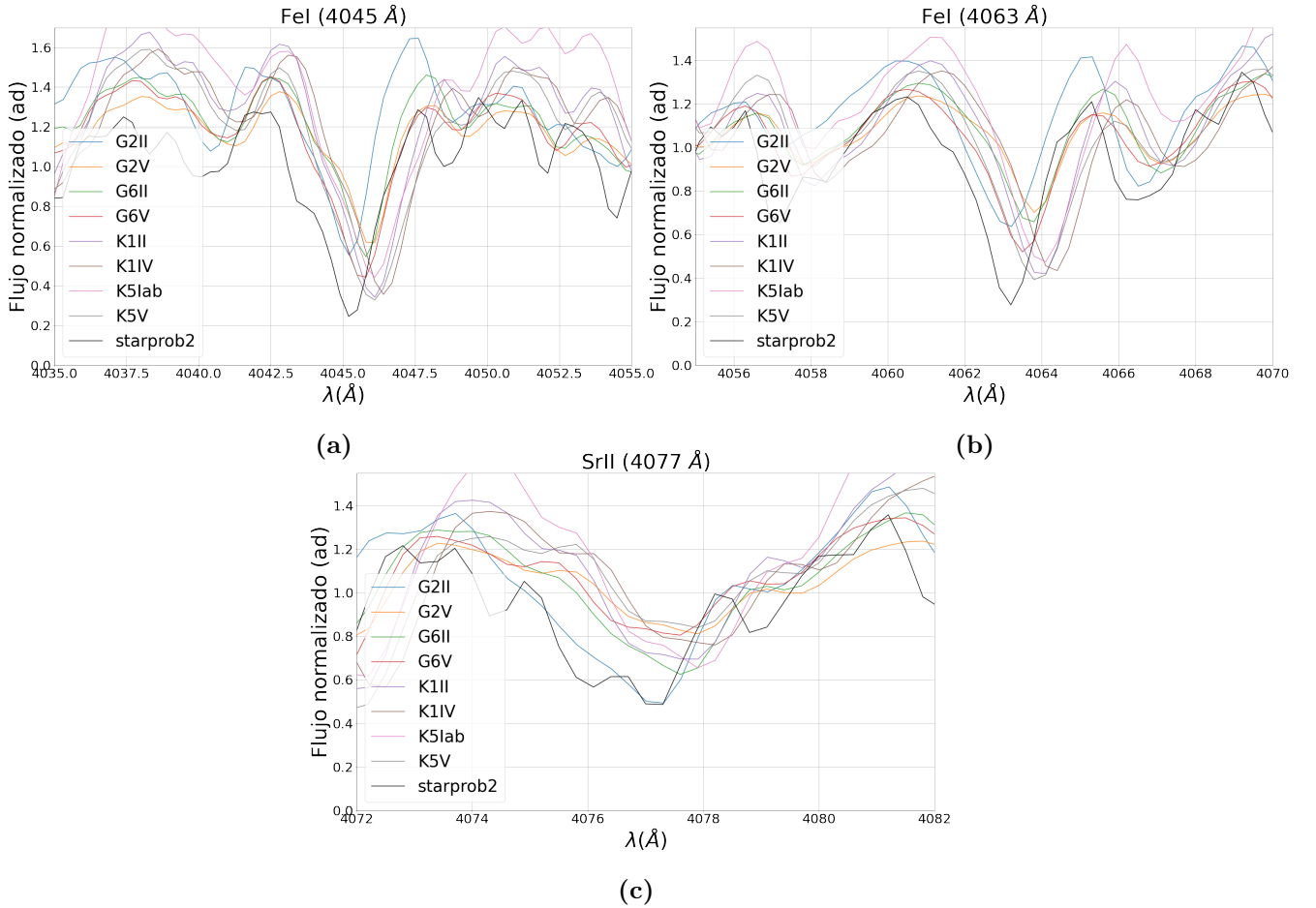


**Figura 8.** Comparación del espectro de la estrella problema 2 con los espectros de referencia G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V para la línea FeI a 4144 Å (a) y para la línea Hδ a 4101 Å.

**Tabla 2.** Valores del ratio  $\text{FeI}(4144)/\text{H}\delta(4101)$  para las estrellas de referencia con espectros G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V y para la estrella problema 2.

	$\text{FeI}(4144)/\text{H}\delta(4101)$
<b>G2II</b>	0.94
<b>G2V</b>	0.42
<b>G6II</b>	0.73
<b>G6V</b>	1
<b>K1II</b>	2.32
<b>K1IV</b>	1.93
<b>K5Iab</b>	1.93
<b>K5V</b>	2.26
<b>Estrella problema 2</b>	1.42

Vemos que el valor del ratio de nuestra estrella se encuentra entre los valores para las estrellas G6 y las K1, por lo que podemos determinar que se trata de una estrella de tipo G tardía, seguramente G8/9. Para determinar la clase de luminosidad podemos recurrir a otros ratios, como el del  $\text{FeI}(4045-63)/\text{SrII}(4077)$  o el  $\text{CaI}(4226)/\text{SrII}(4077)$  (ver [Tabla 3](#)).



**Figura 9.** Comparación del espectro de la estrella problema 2 con los espectros de referencia G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V para el par FeI a 4045 Å (a) y a 4063 Å (b) y para la línea SrII a 4077 Å.

Si observamos los valores de los ratios para las estrellas II y para las V por separado vemos que nuestra estrella encaja mucho mejor en la sucesión de valores de la clase de luminosidad II, por lo que podemos suponer finalmente que **la estrella problema dos es de tipo espectral G8/9II**.

**Tabla 3.** Valores de los ratios  $\text{FeI}(4045\text{-}63)/\text{Sr}(4077)$  y  $\text{CaI}(4226)/\text{Sr}(4077)$  para las estrellas de referencia con espectros G2II, G2V, G6II, G6V, K1II, K1IV, K5Iab y K5V y para la estrella problema 2.

	$\text{FeI}(4045)/\text{Sr}(4077)$	$\text{FeI}(4063)/\text{Sr}(4077)$	$\text{CaI}(4226)/\text{Sr}(4077)$
<b>G2II</b>	0.84	0.7	1.2
<b>G2V</b>	2	1.58	2.47
<b>G6II</b>	1.13	0.89	1.42
<b>G6V</b>	2.75	2.35	3.3
<b>Estrella problema 2</b>	1.5	1.44	1.64
<b>K1II</b>	2.16	1.97	2.77
<b>K1IV</b>	2.74	2.52	3.43
<b>K5Iab</b>	1.29	1.49	2.66
<b>K5V</b>	4.19	3.75	5

## 5. Conclusiones

Mediante el uso de comparaciones con espectros de referencia hemos podido clasificar dos espectros de estrellas problemas: una más temprana con un espectro más “limpio” con menos líneas de absorción y otra más tardía con un espectro más “sucio” con líneas más difíciles de identificar.

Para ello hemos hecho uso de python para igualar las resoluciones de nuestros espectros con los de las estrellas referencia (las cuales hemos normalizado) y también para graficarlas juntas y así poder comparar las profundidades de las distintas líneas de absorción.

Además de las estrellas de las estrellas de referencia hemos utilizado estudios externos (concretamente [Giridhar \(2010\)](#)) para afinar aún más las deducciones realizadas con la primera estrella.

Con todo esto hemos concluido que **la primera estrella problema se trata de una estrella O4-5Iaf, mientras que la segunda sería una estrella G8/9II**.

## Referencias

- Giridhar, S. 2010, Advances in Spectral Classification
- Herrero, A. 2021, Atmósferas Estelares: apuntes Tema 1