Caracterización de estrellas con la ayuda del Observatorio Virtual

Título de la actividad: “Estrellas: ¿puntos blancos o cuerpos negros?”

Autora: *Alba Aller*[1,2]

(1) Observatorio Astronómico Nacional
(2) Observatorio Virtual Español

Objetivo:

Analizar la distribución espectral de energía de Altair (una estrella brillante de secuencia principal, que puede observarse a simple vista en el cielo en la constelación de El Águila, Figura 1) y determinar sus parámetros físicos (temperatura efectiva, luminosidad, masa y radio), conocidas su gravedad superficial y su distancia.

Figura 1: Representación gráfica de la constelación del Águila, con su estrella más brillante: Altair. Créditos: Vito Technology, Inc.

Contexto y planteamiento general del problema:

Desde hace ya varias décadas, sabemos que las estrellas nacen, evolucionan y mueren. Y también que sus vidas serán más o menos tranquilas dependiendo de la masa con la que se forman. Simplificándolo mucho, aquellas que nacen con masas relativamente bajas (similares a la de nuestro Sol), tendrán una vida larga y estable hasta convertirse en asombrosas nebulosas planetarias y quedar como núcleos inertes. Por el contrario, las estrellas más masivas, evolucionan mucho más rápidamente hasta acabar sus vidas de forma más violenta y explosiva, como supernovas, dando lugar a agujeros negros o estrellas de neutrones.

Pero no todo es blanco o negro, y en esta amplia clasificación encontramos un zoo inmenso de estrellas, con un abanico de propiedades muy diferentes que dependen directamente de sus parámetros físicos y de la etapa de sus vidas en la que se encuentren.

Uno de los parámetros físicos que más información nos da sobre las estrellas es su **temperatura efectiva**. Sabemos que **las estrellas se aproximan a cuerpos negros**, en tanto que el color o longitud de onda con la que emiten depende directamente de su temperatura, siguiendo la l**ey de Planck.** Así, las estrellas más calientes son más azules (como la estrella Sirio) y, por el contrario, las más frías son más rojas (como Betelgeuse). Por tanto, tan solo observando la luz que nos llega de una estrella a distintas longitudes de onda, podemos saber su temperatura, de donde los astrónomos son capaces de obtener muchísima información sobre cómo las estrellas se forman, evolucionan y mueren. En este punto es importante distinguir entre temperatura efectiva y la temperatura superficial de la estrella, que son dos conceptos relacionados pero distintos. La primera, como se ha mencionado arriba, es una medida de la temperatura de un cuerpo negro hipotético que emitiría la misma cantidad de radiación total por unidad de área que la estrella en cuestión. Es una forma de representar la temperatura promedio de la superficie de una estrella basada en la energía total que emite. Por otro lado, la temperatura superficial se refiere a la temperatura de la superficie de la estrella. Es una medida más directa de la temperatura en la capa externa visible de la estrella, donde se emite la luz que podemos observar.

Para obtener la luminosidad, se pueden usar varios caminos. Uno de ellos es a partir del flujo de la estrella, integrando su función de Planck y conocida la distancia. El flujo es una medida de la cantidad total de energía radiante que una estrella emite por unidad de tiempo. Finalmente, otros parámetros físicos como el radio o la masa de la estrella, que tanta información nos dan, son fácilmente deducibles una vez que tenemos temperatura, luminosidad y distancia, a partir de la ley de Steffan-Boltzmann y la ley de gravitación universal, respectivamente.

Contenidos del currículo que se tratan en esta actividad:

- Naturaleza de la luz.
- La luz como onda electromagnética.
- Espectro electromagnético. Aplicaciones de ondas electromagnéticas del espectro no visible.
- Otras limitaciones de la física clásica: radiación del cuerpo negro.
- Ley de Planck

Desarrollo de la actividad:

Para el desarrollo de esta actividad usaremos la **herramienta VOSA**[1] (Bayo et al. 2008), disponible on-line. VOSA, que significa *VO SED Analyzer* (Analizador de SED del Observatorio Virtual[2]), es una herramienta desarrollada por el Observatorio Virtual Español (SVO) que permite a los astrónomos analizar la energía que emiten los objetos astronómicos en diferentes longitudes de onda (en concreto óptico, infrarrojo y ultravioleta). Este análisis se

[1] http://svo2.cab.inta-csic.es/theory/vosa/

[2] El **Observatorio Virtual** (**VO** por sus siglas en inglés) es una iniciativa de carácter internacional que nació en el año 2000 y cuyo objetivo es optimizar la explotación científica de los cientos de miles de datos existentes en los archivos astronómicos. La **Alianza del Observatorio Virtual Internacional (IVOA)** engloba una veintena de países, entre ellos España, con el SVO, que se sumó en 2004. El Observatorio Virtual proporciona a la comunidad científica archivos estandarizados, una metodología de investigación novedosa y unas potentes herramientas de análisis que permiten abordar retos antes impensables.

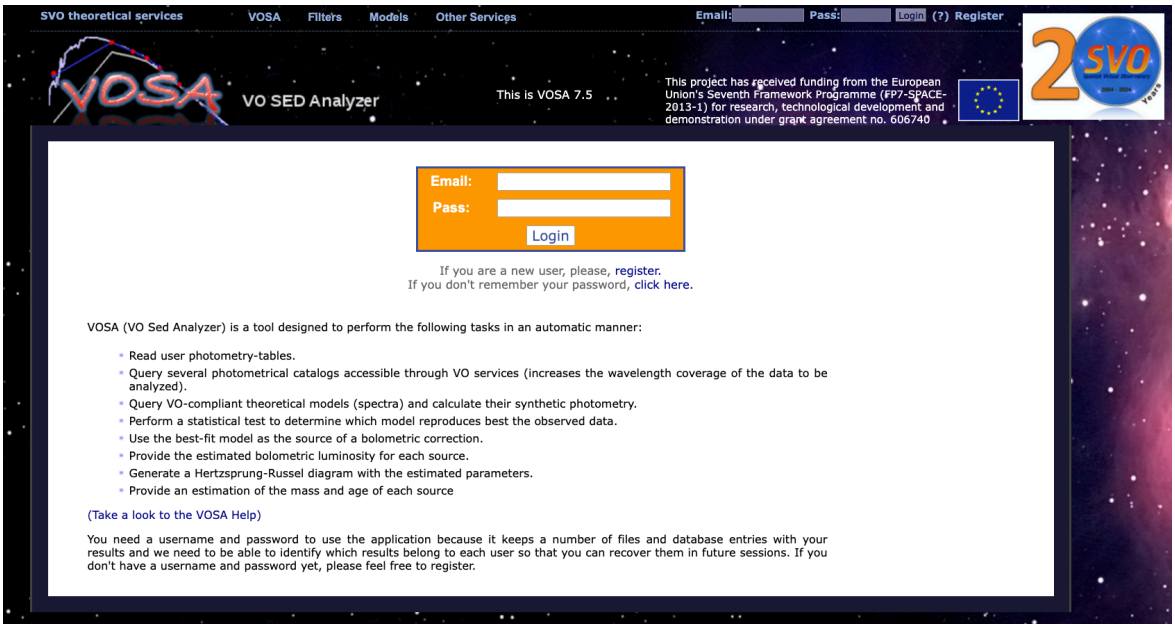
realiza mediante la construcción de una distribución espectral de energía (SED, por sus siglas en inglés *Spectral Energy Distribution*). Una SED es la variación de energía emitida por un objeto astronómico en diferentes longitudes de onda. Básicamente, es una representación de la cantidad de luz emitida por el objeto en diferentes colores. El análisis de las SEDs, permite a los astrónomos entender la composición de los objetos celestes, ya que diferentes materiales emiten luz de manera diferente. La forma de la SED puede decirnos, por ejemplo, la temperatura de la superficie de una estrella, así como darnos información de otros parámetros físicos. Y comparar SEDs de diferentes objetos nos ayuda a entender cómo evolucionan las estrellas y las galaxias.

VOSA es una herramienta muy fácil de usar, con una interfaz amigable que muestra los datos y resultados de manera clara y permite buscar datos astronómicos en tiempo real. Así, el uso de VOSA en el aula puede enriquecer la enseñanza de la astronomía, haciendo que conceptos abstractos sean más concretos y permitiendo a los estudiantes experimentar de primera mano cómo los astrónomos analizan los datos del universo. De manera muy resumida, VOSA ofrece datos fotométricos (medidas de luz) de diferentes catálogos astronómicos. Estos datos provienen de telescopios que observan el cielo en diferentes longitudes de onda, y construye una SED con los mismos. VOSA compara la SED observada con modelos teóricos. Estos modelos predicen cómo debería ser el SED de un objeto dada sus propiedades físicas. A través de esta comparación, VOSA puede proporcionar información sobre la temperatura, la luminosidad, el radio, la masa y otros parámetros del objeto.

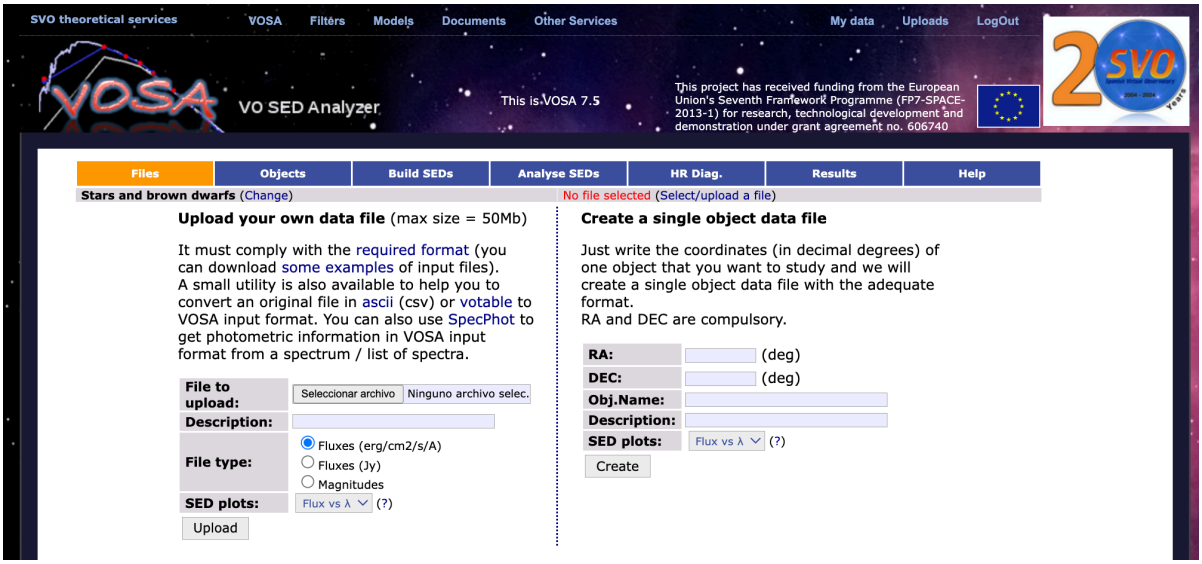
Para acceder a VOSA es necesario disponer de una cuenta de usuario. La cuenta te permite acceder a todas las funcionalidades de la herramienta y gestionar tus proyectos y datos. El registro es inmediato y basta con entrar a la página y proporcionar la información básica, como el nombre, dirección de correo electrónico y una contraseña, en el apartado correspondiente. Esta cuenta puede ser creada por el profesor previamente al desarrollo de la actividad en el aula.

Los pasos a seguir son los siguientes:

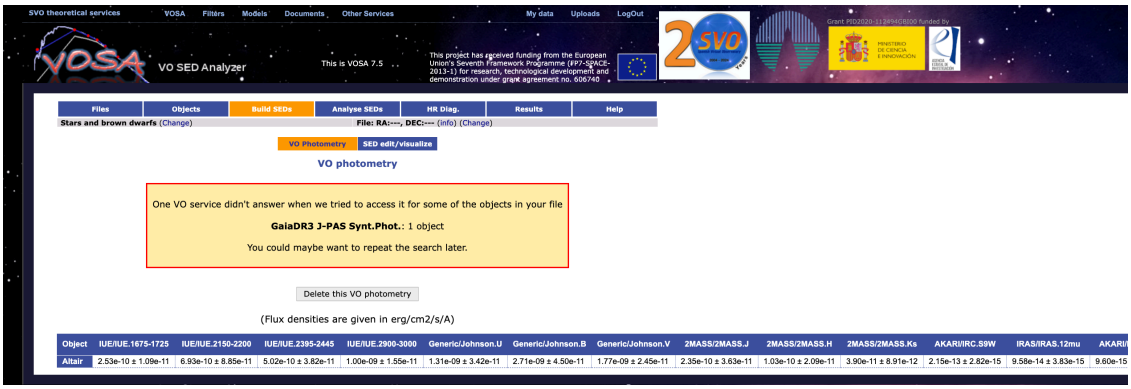
1. Accede a la herramienta **VOSA** (en la que nos hemos registrado previamente).



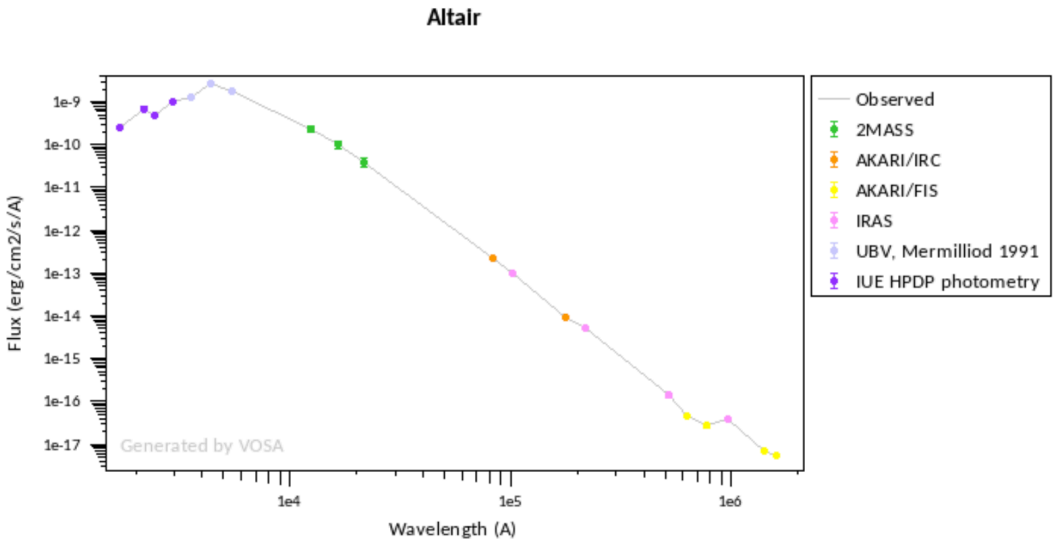
2. Introduce las coordenadas de la estrella Altair. Haz una búsqueda en internet para conseguirlas. También es posible introducir el nombre de la estrella en la casilla "*Obj. Name*". En este caso, en el siguiente paso habrá que buscar las coordenadas de la estrella en la pestaña "*Objects*" y "*Coordinates*" de VOSA.



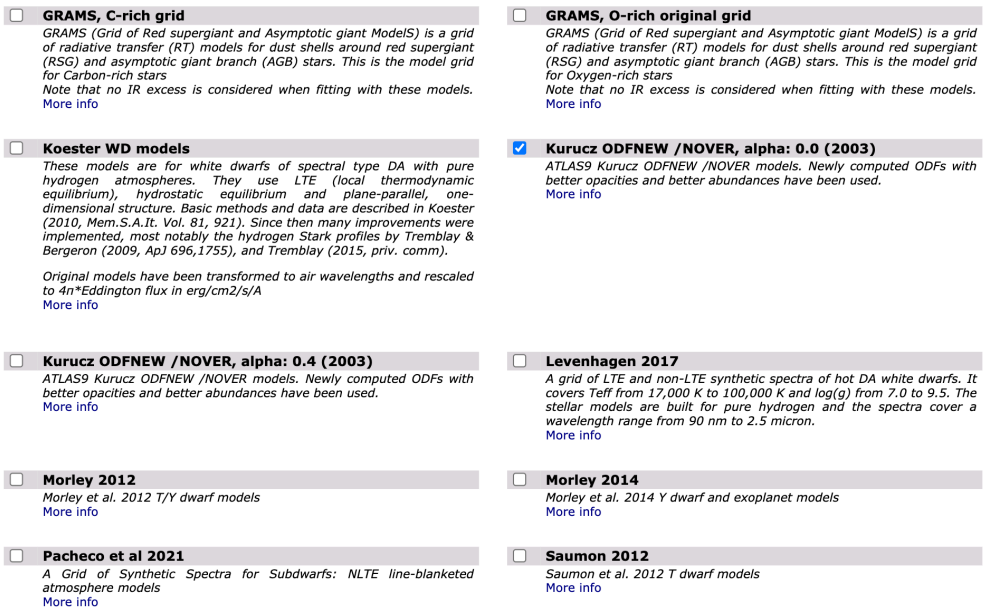
3. Una vez que VOSA ha identificado nuestra estrella, en la pestaña “Build SEDs”, pulsa “VO Photometry”. Aparecerá un listado de diferentes archivos astronómicos (como por ejemplo 2MASS, Gaia, GALEX o WISE, todos satélites que proporcionan datos con los que los astrónomos realizan su ciencia), en los que podemos buscar la información fotométrica (en el rango infrarrojo, óptico y ultravioleta) de nuestra estrella. Por defecto, aparecen todos seleccionado. Pulsamos “*Query selected servers*” en la parte inferior de la página. La búsqueda puede llevar unos minutos. Una vez que haya finalizado, aparecerá una tabla resumen con la fotometría (en unidades de densidad de flujo) disponible.



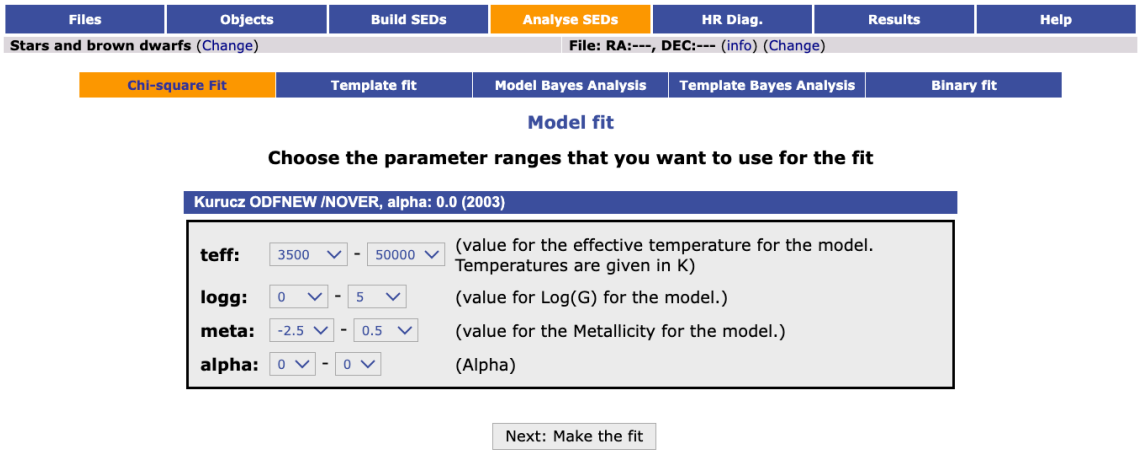
4. Ahora, haz clic con el cursor en la la opción “*SED edit/visualize*”, dentro de la pestaña de “*Build SEDs*”, en la que estamos. Esta opción nos da la posibilidad de visualizar y modificar la SED de nuestra estrella antes de realizar el ajuste con un modelo teórico. VOSA recoge de los servicios del Observatorio Virtual no sólo la información fotométrica, sino también diferentes metadatos de interés (nombre del objeto, fecha de observación e información sobre la calidad). En particular, VOSA utiliza la información sobre la calidad para identificar automáticamente los puntos fotométricos defectuosos y eliminarlos del ajuste. El usuario puede anular manualmente esta selección de puntos fotométricos marcando/desmarcando las casillas correspondientes. No te preocupes por la cantidad de opciones y de datos disponibles: como hemos dicho se trata de una herramienta profesional, con muchas más posibilidades de las que vamos a utilizar aquí. Lo más importante de esta pestaña es que podemos ver cómo varía la luz emitida por la estrella en los diferentes colores.



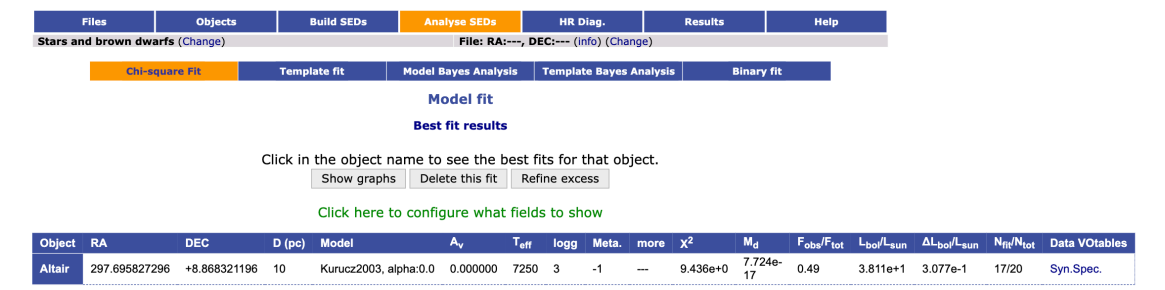
5. Ahora que ya hemos construido la SED de nuestra estrella, podemos ajustar los datos observaciones a modelos teóricos. Para ello, haz clic en "*Chi-square fit*" dentro de la pestaña "*Analyse SEDs*". Aparecerán diferentes colecciones de modelos teóricos que cubren diferentes rangos de parámetros físicos. Para este ejercicio, seleccionaremos la colección de modelos «*Kurucz ODFNEW /NOVER, alpha: 0.0 (2003)*». Los modelos de Kurucz son un conjunto de modelos atmosféricos estelares ampliamente utilizados en astronomía, que permiten simular la atmósfera de estrellas de un amplio rango de parámetros físicos, por ejemplo temperatura y gravedad. Hacemos clic en "*Next: Select model params.*".



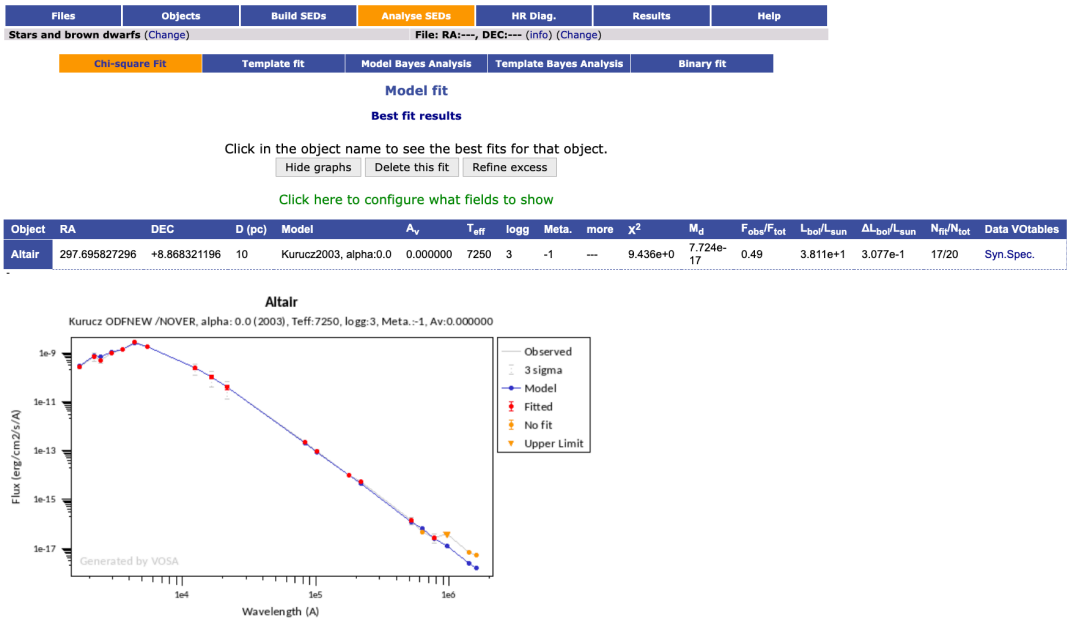
6. En esta ventana, podemos limitar el rango de parámetros físicos usados para el ajuste. En este caso, podemos dejar los parámetros que vienen por defecto, aunque esto puede llevar algunos minutos. Clicamos en "*Next: Make the fit*" para realizar el ajuste de la distribución espectral de energía de la estrella.



7. Tras unos segundos, VOSA nos muestra los resultados del ajuste. La temperatura efectiva de la estrella obtenida tras el ajuste es T_{eff} = 7200 K. Haz una búsqueda rápida en Internet para comprobar si la temperatura superficial de la estrella Altair coincide con la que tú has obtenido. ¿Cuál es el error cometido?



8. En la misma ventana, clica en "*Show graphs*" para comprobar cómo el ajuste (línea azul) se asemeja a la curva de un cuerpo negro de la estrella. Las variaciones son debidas a que la herramienta utiliza correcciones al modelo más sofisticadas de lo que nos interesa en esta práctica.



9. Para obtener información sobre el radio y la masa derivados en VOSA, haz clic en "*Click here to configure what fields to show*" para configurar qué campos mostrar y marca todos los parámetros en la sección de Masas y radios. Después, haz clic en "*Save Config.*". El radio y la masa (obtenidos a partir de dos metodologías diferentes) aparecerán ahora en la tabla resumen. El radio y la masa están unidades de radios solares y masas solares, respectivamente.

10. Finalmente, puedes repetir el proceso con otra estrella. Las estrellas son de distintos colores así que puedes hacerlo con una estrella roja y comparar su temperatura con la de Altair. Entre las estrellas rojas más conocidas están Aldebarán, Antares o Arturo.