

Parámetros fundamentales de estrellas poco masivas en binarias eclipsantes: la relación masa-radio

Autor: Ramón Iglesias Marzoa

Tesis doctoral dirigida por: María Jesús Arévalo (ULL, IAC) y Mercedes López-Morales (CfA, Harvard & Smithsonian)

Centro: Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 23 de julio de 2019

Esta tesis se enmarca en un proyecto observacional a largo plazo para medir de forma fiable los parámetros fundamentales, principalmente masas y radios, de estrellas poco masivas ($M < 1 M_{\odot}$), con el fin de compararlos con los predichos por los modelos teóricos. Estos parámetros solo se pueden obtener simultáneamente de observaciones de velocidades radiales y de curvas de luz de estrellas binarias eclipsantes separadas de doble línea.

Estudios previos sobre estrellas poco masivas muestran que, para una masa dada, los radios son entre 10% y 15% mayores que los predichos por los modelos estelares. Muchos de estos estudios están basados en el análisis de binarias eclipsantes de período corto ($P < 3$ días), en las cuales las componentes están sincronizadas por las fuerzas de marea y la órbita está circularizada. La explicación más plausible para esta discrepancia es la hipótesis del inflado magnético. En esta hipótesis, los campos magnéticos estelares se refuerzan a causa de las altas velocidades de rotación de las componentes sincronizadas. Como consecuencia, la actividad estelar también aumenta y, típicamente, estas estrellas poco masivas muestran manchas extensas que cubren una fracción notable de la superficie estelar. Dado que las manchas estelares suelen ser regiones de menor temperatura, irradian menos flujo luminoso, especialmente a longitudes de onda cortas. Para compensar el flujo bloqueado por las manchas, el radio estelar debe ser más grande que en una estrella sin manchas.

Nuestro proyecto observacional consiste en el seguimiento fotométrico y espectroscópico de algunos sistemas descubiertos en los últimos cartografiados fotométricos de gran campo, con el fin de medir sus masas y radios de forma precisa. En esta tesis se presentan los resultados obtenidos para dos de estos sistemas: T-Cyg1-12664 y NSVS 10653195.

Para ajustar simultáneamente de una forma fiable los parámetros orbitales de binarias espectroscópicas, de las cuales una fracción importante son además binarias eclipsantes, es necesario ajustar una función con seis o siete parámetros, dependiendo de si la binaria es de línea simple o de doble línea. Se ha desarrollado un código robusto llamado *rvfit* que emplea una técnica conocida como *Adaptive Simulated Annealing (ASA)*, que está diseñado para poder hacer el ajuste sin tener ningún conocimiento previo de los valores de los parámetros orbitales. El código asume un sistema estrella-estrella o estrella-planeta en órbitas keplerianas. Para demostrar las prestaciones del programa se han ajustado varios sistemas conocidos, incluyendo binarias de doble línea y de línea simple y sistemas con exoplanetas.

La binaria eclipsante T-Cyg1-12664 (Devor et al., 2008) fue descubierta en el campo T-Cyg1 del cartografiado TrES y está dentro de los límites del campo de visión de la misión *Kepler*. Esto indica que hay una monitorización fotométrica de alta precisión a lo largo de varios años con una cadencia de ~ 27 minutos. Este seguimiento permite estudiar la evolución de las manchas y buscar cambios de período orbital. Nuestra fotometría en tierra se superpone con las observaciones de Kepler, lo que permite caracterizar con precisión el sistema. T-Cyg1-12664 fue analizada por primera vez por Devor (2008) y más tarde por Çakırlı et al. (2013), pero la solución encontrada por estos autores difiere de los valores esperados para estrellas poco masivas. En este último artículo, los autores asumen una órbita circular, pero nosotros demostramos que es ligeramente elíptica. Nuestros resultados muestran que el sistema de T-Cyg1-12664 está compuesto de una primaria G6V inflada y una secundaria M3V cerca del límite de convección completa que está conforme a los modelos.

La estrella binaria eclipsante NSVS 10653195 está listada entre los candidatos a binarias poco masivas del cartografiado NSVS (Shaw & López-Morales, 2007) y su curva de luz fue analizada inicialmente por Coughlin & Shaw (2007). Otras curvas de luz fueron analizadas posteriormente por Wolf et al. (2010), Zhang et al. (2014) y Zhang et al. (2015). En todas estas publicaciones se ajustaron solo curvas de luz; por tanto, las masas de las componentes y la escala del sistema son desconocidos. Nuestro estudio incluye, por primera vez, un análisis conjunto de las velocidades radiales y de las curvas de luz ópticas e infrarrojas y proporciona masas y radios precisos para las dos estrellas. Cuando modelamos este sistema ya estaba disponible el *Gaia Data Release 2 (DR2)* y la distancia al sistema era conocida con precisión. Este sistema binario está compuesto de estrellas K6V y K7V similares y sus dimensiones físicas confirman el escenario de radios inflados.

Finalmente, se presenta el resultado de una calibración fotométrica de varias binarias eclipsantes poco masivas en nuestro programa, con el fin de obtener colores fotométricos fiables fuera de eclipse. Estos colores fotométricos son clave para medir las temperaturas efectivas medias de las binarias.

Página de la izquierda:

Fila superior: composición de imágenes de una secuencia Navcam sky survey y la curva de radiancia observada en función del ángulo de scattering a lo largo de un plano horizontal con misma elevación que el Sol.

Fila inferior: mejores ajustes en la comparación de curvas observadas y simuladas (izquierda) y las funciones de fase que la generan (derecha).