



Estudio de variables cataclísmicas desde la evolución binaria: El caso de SS Cyg

C. Rodríguez¹, M.A. De Vito^{1,2} & O.G. Benvenuto^{1,2,3}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Argentina

Contacto / carorodriguez027@gmail.com

Resumen / Las variables cataclísmicas son binarias de corto período orbital, compuestas por una estrella de secuencia principal de baja masa y una enana blanca que acreta material proveniente de su compañera. La estrella normal llena su lóbulo de Roche y le transfiere masa a la estrella compacta a través del punto de Lagrange L_1 . Presentamos en este trabajo nuestros primeros cálculos dedicados a describir a este grupo de sistemas binarios. En particular, en esta contribución realizamos la búsqueda de un posible progenitor para SS Cyg. Para ello, utilizamos nuestro código de evolución binaria, buscando las condiciones iniciales que nos conduzcan a modelos con características compatibles a las que presenta este sistema en la actualidad.

Abstract / Cataclysmic variables are binaries with short orbital period, composed by a low main sequence star and a white dwarf that accretes mass from its companion. The normal star fills its Roche lobe and transfers mass to the compact star through the Lagrangian point L_1 . We present our first calculations dedicated to describe this group of binary systems. In particular, in this contribution we search for a possible progenitor to SS Cyg. For that purpose, we use our binary evolutionary code, looking for initial conditions that lead us to models with features compatible with those of the system today.

Keywords / stars: evolution — binaries: close — stars: variables: general

1. Introducción

Las variables cataclísmicas (VCs) son sistemas binarios interactuantes en los que una enana blanca acreta material proveniente de su compañera, una estrella de secuencia principal de baja masa. Históricamente, debido a que las VCs eran observadas fotométricamente y parecían no seguir ningún patrón, se las designó con el término de cataclísmicas (del griego *kataklysmos* = inundación, tormenta). Al progresar la forma de obtener datos observacionales, se notó que estos objetos son sistemas binarios ordinarios, que por algún motivo cambiaban su brillo.

El sistema en el que basamos este trabajo, SS Cyg, corresponde a la subclase de novae enanas. Este grupo está caracterizado por una estrella donante menos masiva que la enana blanca, y donde esta última posee un débil campo magnético ($< 10^6$ G). SS Cyg es la nova enana más brillante, con una variación en su magnitud óptica entre ~ 12 y ~ 8.5 mag entre las fases de quietud y erupción, respectivamente. En las novae enanas, el disco de acreción se extiende hasta la superficie de la enana blanca. La acreción toma lugar desde la capa de contacto en el borde interno del disco hasta la superficie de la enana blanca.

Durante el período de inactividad, la baja viscosidad del disco permite que la masa se acumule en él. Una vez que la densidad superficial en el disco alcanza un punto crítico, comienza la inestabilidad junto con un incremento en la viscosidad, lo que permite que la masa fluya desde el disco hacia la enana blanca, liberando

en el proceso energía potencial gravitatoria. El sistema presenta erupciones energéticas que se evidencian en un aumento en brillo desde $V \approx 12$ hasta 8.5 mag y regresa a la inactividad por alrededor de 50 días antes de su próxima erupción. (Hill et al., 2017)

2. Estudio de SS Cyg

Iniciamos el estudio de las VCs dedicándonos en esta contribución a explorar el caso de SS Cyg.

Según las observaciones, este sistema está compuesto por una estrella donante de $0.59 M_{\odot}$ con una temperatura efectiva de 4750 K, una estrella acretora de $0.91 M_{\odot}$ y tiene un período orbital de 0.2751 días (Hill et al., 2017). El radio de la estrella donante es de $0.68_{-0.01}^{+0.03} R_{\odot}$ y la tasa de pérdida de masa es de aproximadamente $(1.4 - 6.4) \times 10^{-9} M_{\odot} \text{ año}^{-1}$ (Giovannelli et al., 1983). Además, el cociente de masas es 0.628 y luego, el radio del lóbulo de Roche es de $0.696 R_{\odot}$ (Eggleton, 1983). Además, se encuentra a una distancia de 166.2 ± 12.7 pc (Harrison et al., 1999).

El objetivo de este trabajo es hallar un posible progenitor para este sistema, que reproduzca sus principales características observacionales: masas de las componentes, período orbital, grado de llenado del lóbulo de Roche, radio de la estrella donante, temperatura efectiva de la estrella donante y cociente de masas.

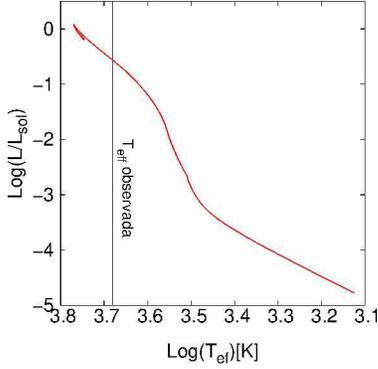


Figura 1: Diagrama de Hertzsprung-Russell para la estrella donante. La línea vertical indica el valor de la temperatura efectiva de la estrella donante en SS Cyg.

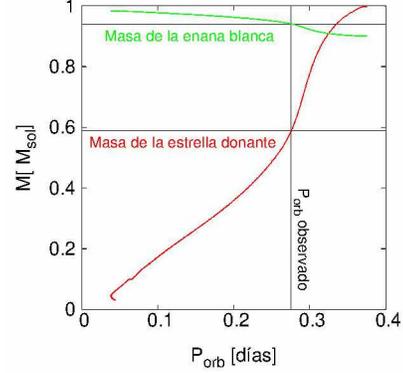


Figura 2: Cambio de las masas de ambas estrellas del sistema en función del período orbital.

2.1. Los cálculos evolutivos

Para desarrollar los cálculos presentados en esta contribución, hemos utilizado el código de evolución binaria que ha sido desarrollado completamente por nuestro grupo de trabajo (Benvenuto & De Vito, 2003). Sus principales características son:

- Calcula la evolución completa de la estrella donante desde la secuencia principal hasta su estado final.
- Incorpora la tasa de transferencia de masa como una nueva variable a iterar, determinando de manera autoconsistente su valor y los instantes de inicio y finalización de las etapas de pérdida de masa.
- Calcula la evolución orbital, teniendo en cuenta procesos de pérdida de energía como la radiación gravitatoria, el frenado magnético y el momento angular que se lleva el material que se escapa del sistema (tratamiento no conservativo).

Para modelar la pérdida de momento angular debida a la masa que se escapa del sistema, δJ , seguimos el tratamiento de Rappaport et al. (1983), de modo que

$$\delta J = \alpha \delta M (1 - \beta) a^2 \omega, \quad (1)$$

donde δM es el elemento de masa perdido por la estrella donante, $(1 - \beta)$ es la fracción de esa masa que se escapa del sistema, a la separación orbital y ω la frecuencia angular orbital.

2.2. Resultados

Para iniciar la búsqueda de un posible progenitor de SS Cyg, en primer lugar, inspeccionamos en nuestra librería de cálculos evolutivos (Benvenuto et al., 2014). Seleccionamos el rango en que deberían encontrarse las masas iniciales de las componentes y el período orbital inicial de un sistema que pudiera conducir a un estado compatible con el de SS Cyg. Luego, realizamos cálculos evolutivos detallados variando estos parámetros iniciales (masas de las componentes y período orbital) hasta encontrar un sistema que reprodujera exitosamente las características actuales SS Cyg.

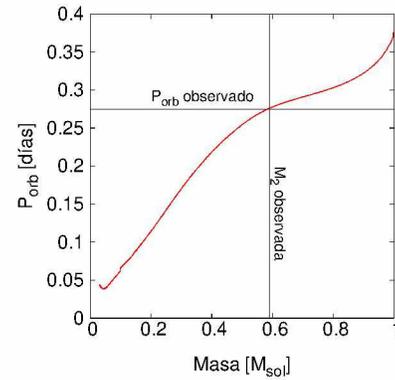


Figura 3: Evolución del período orbital en función de la masa de la estrella donante.

El sistema seleccionado consta de una estrella donante de $1.0 M_{\odot}$, una enana blanca acretora de $0.9 M_{\odot}$, y un período orbital inicial de 0.375 días. Hemos considerado que la estrella donante tiene metalicidad solar, y que el cálculo es no conservativo, de manera que un décimo de la masa que pierde la estrella donante es recibida por la acretora ($\beta = 0.1$), mientras que se consideró un valor de $\alpha = 1$ (usualmente asumido en la literatura).

En la Figura 1 mostramos el recorrido evolutivo realizado por la estrella donante del progenitor. Marcamos con una línea vertical el valor de la temperatura efectiva determinada para la estrella donante de SS Cyg.

En la Figura 2 presentamos la evolución de las masas de las componentes en función del período orbital del sistema. En ella podemos observar que el progenitor propuesto para SS Cyg describe apropiadamente los valores de las masas de las componentes al momento en que el sistema alcanza el valor del período orbital observado.

La Figura 3 muestra la evolución del período orbital del sistema en función de la masa de la estrella donante. Las Figuras 4 a y b muestran que los valores de tempera-

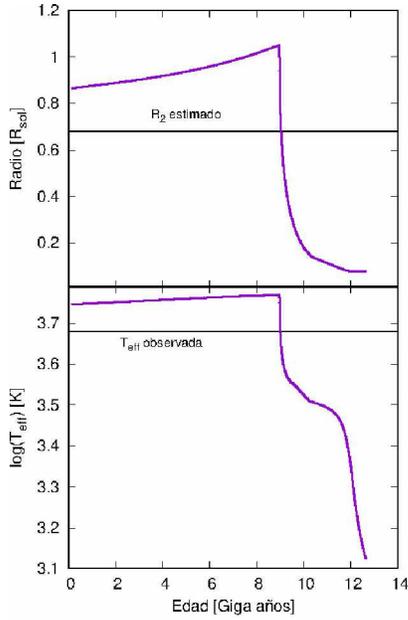


Figura 4: Evolución del radio (*panel superior*) y de la temperatura efectiva (*panel inferior*) de la estrella donante en función del tiempo.

tura efectiva y radio de la estrella donante del progenitor propuesto se alcanzan a una edad de 9 Giga años, y se encuentra perdiendo masa por desborde del lóbulo de Roche, según puede verse en la Figura 5. Observamos que el valor de la tasa de la pérdida de masa es compatible con la estimada por Giovannelli et al. (1983) a una edad de aproximadamente 9 Giga años.

3. Conclusiones y trabajo a futuro

Utilizando nuestro código de evolución binaria hemos hallado un posible progenitor para el sistema binario SS Cyg.

Este sistema binario podría haber estado compuesto originalmente por una estrella normal de $1 M_{\odot}$, una enana blanca de $0.9 M_{\odot}$ y con un período orbital inicial de 0.375 días. La evolución de este sistema conduce a un estado evolutivo que reproduce los parámetros característicos observados para SS Cyg en la actualidad: masas de las componentes, período orbital, temperatura efectiva de la estrella donante, valor estimado de la tasa de transferencia de masa, y radio de la estrella donante. Confirma, además, el estado de desborde del lóbulo de Roche en el que se encuentra la estrella donante.

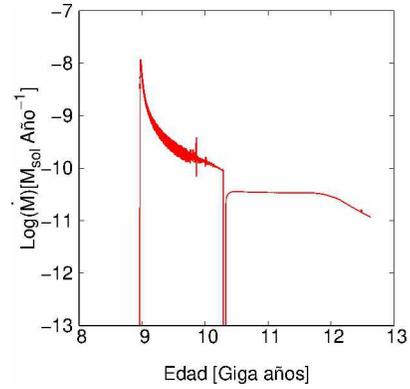


Figura 5: Tasa de transferencia de masa en función del tiempo.

En vista de comparar estos primeros resultados con las publicaciones más recientes que se encuentran disponibles en la literatura, podemos ver el trabajo de Kalomeni et al. (2016). En él, los autores calculan una detallada grilla de modelos en los que el acretor es una enana blanca utilizando el código MESA (Paxton et al., 2011). Los cálculos presentados en este trabajo están en acuerdo con los resultados obtenidos por Kalomeni et al. (2016).

Remarcamos que los valores utilizados para los parámetros α y β en la expresión (1) están dentro de los rangos usados en la literatura. Dejaremos para un estudio posterior explorar la existencia de otros posibles progenitores al variar estos parámetros. Además, planeamos estudiar los casos de progenitores con diferentes masas iniciales, períodos orbitales iniciales, y metalicidades.

Referencias

- Benvenuto O.G., De Vito M.A., 2003, MNRAS, 342, 50
 Benvenuto O.G., De Vito M.A., Horvath J.E., 2014, ApJL, 786, L7
 Eggleton P.P., 1983, ApJ, 268, 368
 Giovannelli F., et al., 1983, AcA, 33, 319
 Harrison T.E., et al., 1999, ApJL, 515, L93
 Hill C.A., et al., 2017, MNRAS, 472, 2937
 Kalomeni B., et al., 2016, ApJ, 833, 83
 Paxton B., et al., 2011, ApJS, 192, 3
 Rappaport S., Verbunt F., Joss P.C., 1983, ApJ, 275, 713