

# CV Evolution

Mauro Jélvez

## 1. Introducción a las Variables Cataclísmicas

### 1.1. Definición y componentes

Las Variables Cataclísmicas (CVs, por sus siglas en inglés) son sistemas binarios cercanos semi-despegados que consisten en:

1. **Acretor (primaria):** Una enana blanca (WD) con:
  - Masa típica:  $M_1 \sim 0.6 - 1.0 M_\odot$
  - Radio:  $R_1 \sim 0.01 R_\odot \sim 7000 \text{ km}$
  - Temperatura efectiva:  $T_{\text{eff}} \sim 10^4 - 5 \times 10^4 \text{ K}$
  - Campo magnético:  $10^4 - 10^8 \text{ G}$  (en CVs magnéticas)
2. **Donante (secundaria):** Una estrella de secuencia principal tardía o enana marrón que:
  - Llena su lóbulo de Roche
  - Transfiere masa hacia la primaria
  - Masa típica:  $M_2 \sim 0.05 - 0.8 M_\odot$
  - Tipo espectral: K-M (enanas rojas) o L-T (enanas marrones para period bouncers)
3. **Disco de acreción:** Estructura formada por el material transferido (en CVs no-magnéticas o débilmente magnéticas)
4. **Hot spot:** Región brillante donde la corriente de acreción impacta el disco

### 1.2. Tasas de transferencia de masa

Las CVs exhiben un rango amplio de  $\dot{M}$ :

$$\dot{M} \sim 10^{-11} - 10^{-7} M_\odot \text{ año}^{-1} \quad (1)$$

Esta tasa determina el tipo observacional:

- **Alta  $\dot{M}$**  ( $\gtrsim 10^{-9} M_\odot/\text{año}$ ): Nova-likes (NL), brillantes y estables
- **Media  $\dot{M}$**  ( $\sim 10^{-10} - 10^{-9} M_\odot/\text{año}$ ): Novas enanas (DN), con erupciones periódicas
- **Baja  $\dot{M}$**  ( $\lesssim 10^{-10} M_\odot/\text{año}$ ): DN con largos tiempos de recurrencia o sistemas muy débiles

## 2. Fundamentos de la Dinámica Orbital

### 2.1. El problema de dos cuerpos

Consideremos un sistema binario con masas  $M_1$  (enana blanca) y  $M_2$  (donante), separadas por una distancia  $a$ . En el marco del centro de masas:

$$M_1 a_1 = M_2 a_2 \quad (2)$$

donde  $a_1$  y  $a_2$  son las distancias de cada componente al centro de masas, y:

$$a = a_1 + a_2 \quad (3)$$

Resolviendo para las distancias individuales:

$$a_1 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} a = \frac{a}{1 + q} \quad (4)$$

$$a_2 = \frac{M_1}{M_1 + M_2} a = \frac{qa}{1 + q} \quad (5)$$

donde hemos definido la razón de masas:

$$q \equiv \frac{M_2}{M_1} \quad (6)$$

En CVs, siempre  $q < 1$  (el donante es menos masivo que la WD).

### 2.2. Tercera Ley de Kepler

La relación entre el período orbital  $P_{\text{orb}}$  y la separación está dada por:

$$P_{\text{orb}}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M_1 + M_2)} \quad (7)$$

Expresando en unidades convenientes:

$$P_{\text{orb}}[\text{días}] = 0.0588 \left( \frac{a}{R_\odot} \right)^{3/2} \left( \frac{M_1 + M_2}{M_\odot} \right)^{-1/2} \quad (8)$$

Para CVs típicas con  $M_1 + M_2 \sim 0.8 M_\odot$  y  $P_{\text{orb}} \sim 3 \text{ h} = 0.125 \text{ días}$ :

$$a \sim 0.0588^{2/3} \times 0.125^{2/3} \times 0.8^{1/3} \sim 1.4 R_\odot \sim 3 \times 10^{10} \text{ cm} \quad (9)$$

### 2.3. Momento angular orbital

El momento angular orbital total del sistema es la suma de las contribuciones de ambas componentes:

$$J = M_1 a_1^2 \omega + M_2 a_2^2 \omega \quad (10)$$

donde  $\omega$  es la velocidad angular (asumiendo órbita circular):

$$\omega = \sqrt{\frac{G(M_1 + M_2)}{a^3}} = \frac{2\pi}{P_{\text{orb}}} \quad (11)$$

Sustituyendo las expresiones para  $a_1$  y  $a_2$ :

$$\begin{aligned}
J &= M_1 \left( \frac{a}{1+q} \right)^2 \omega + M_2 \left( \frac{qa}{1+q} \right)^2 \omega \\
&= \frac{a^2 \omega}{(1+q)^2} (M_1 + M_2 q^2) \\
&= \frac{a^2 \omega M_1}{(1+q)^2} (1+q^3)
\end{aligned} \tag{12}$$

Usando  $\omega = \sqrt{G(M_1 + M_2)/a^3}$ :

$$J = \frac{M_1 M_2}{\sqrt{M_1 + M_2}} \sqrt{Ga} = \frac{M_1^2 q}{(1+q)^{1/2}} \sqrt{Ga} \tag{13}$$

Esta expresión muestra que  $J$  depende de la masa total, la razón de masas, y la separación.

### 3. Ecuaciones de Evolución Orbital

#### 3.1. Derivación completa

Vamos a derivar cómo evolucionan  $P_{\text{orb}}$  y  $a$  cuando el sistema pierde momento angular y transfiere masa. Partimos de la tercera ley de Kepler:

$$P_{\text{orb}}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(M_1 + M_2)} \tag{14}$$

Tomando el logaritmo y diferenciando con respecto al tiempo:

$$2 \frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} = 3 \frac{\dot{a}}{a} - \frac{\dot{M}_1 + \dot{M}_2}{M_1 + M_2} \tag{15}$$

Por lo tanto:

$$\frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} = \frac{3}{2} \frac{\dot{a}}{a} - \frac{1}{2} \frac{\dot{M}_1 + \dot{M}_2}{M_1 + M_2} \tag{16}$$

Ahora necesitamos relacionar  $\dot{a}/a$  con  $\dot{J}/J$  y las tasas de cambio de masa. Partimos de:

$$J = \frac{M_1 M_2}{\sqrt{M_1 + M_2}} \sqrt{Ga} \tag{17}$$

Tomando logaritmo:

$$\ln J = \ln M_1 + \ln M_2 - \frac{1}{2} \ln(M_1 + M_2) + \frac{1}{2} \ln(Ga) \tag{18}$$

Diferenciando:

$$\frac{\dot{J}}{J} = \frac{\dot{M}_1}{M_1} + \frac{\dot{M}_2}{M_2} - \frac{1}{2} \frac{\dot{M}_1 + \dot{M}_2}{M_1 + M_2} + \frac{1}{2} \frac{\dot{a}}{a} \tag{19}$$

Despejando  $\dot{a}/a$ :

$$\frac{\dot{a}}{a} = 2 \frac{\dot{J}}{J} - 2 \frac{\dot{M}_1}{M_1} - 2 \frac{\dot{M}_2}{M_2} + \frac{\dot{M}_1 + \dot{M}_2}{M_1 + M_2} \tag{20}$$

Manipulando algebraicamente (expresando todo en términos de  $M_1$ ,  $M_2$ , y  $q$ ):

$$\begin{aligned}
\frac{\dot{a}}{a} &= 2 \frac{\dot{J}}{J} - 2 \frac{\dot{M}_1}{M_1} - 2 \frac{\dot{M}_2}{M_2} + \frac{\dot{M}_1}{M_1} \frac{M_1}{M_1 + M_2} + \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{M_2}{M_1 + M_2} \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} - \frac{\dot{M}_1}{M_1} \left( 2 - \frac{1}{1+q} \right) - \frac{\dot{M}_2}{M_2} \left( 2 - \frac{q}{1+q} \right) \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} - \frac{\dot{M}_1}{M_1} \frac{2q+1}{1+q} - \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{q+2}{1+q}
\end{aligned} \tag{21}$$

Para transferencia de masa conservativa:

$$\dot{M}_2 = -\dot{M}_1 \tag{22}$$

Entonces:

$$\begin{aligned}
\frac{\dot{a}}{a} &= 2 \frac{\dot{J}}{J} + \frac{\dot{M}_2}{M_1} \frac{2q+1}{1+q} - \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{q+2}{1+q} \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} + \dot{M}_2 \frac{1}{1+q} \left( \frac{2q+1}{M_1} - \frac{q+2}{M_2} \right) \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} + \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{1}{1+q} \left( \frac{(2q+1)q - (q+2)}{q} \right) \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} + \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{2q^2 + q - q - 2}{q(1+q)} \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} - \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{2(1-q^2)}{q(1+q)} \\
&= 2 \frac{\dot{J}}{J} - \frac{\dot{M}_2}{M_2} \frac{2(1-q)(1+q)}{q(1+q)} \\
&= 2 \left[ \frac{\dot{J}}{J} - (1-q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right]
\end{aligned} \tag{23}$$

Sustituyendo de vuelta en la expresión para  $\dot{P}_{\text{orb}}/P_{\text{orb}}$ :

$$\begin{aligned}
\frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} &= \frac{3}{2} \frac{\dot{a}}{a} - \frac{1}{2} \frac{\dot{M}_1 + \dot{M}_2}{M_1 + M_2} \\
&= 3 \left[ \frac{\dot{J}}{J} - (1-q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right] \quad (\text{ya que } \dot{M}_1 + \dot{M}_2 = 0)
\end{aligned} \tag{24}$$

#### 3.2. Ecuaciones maestras

Finalmente obtenemos las ecuaciones fundamentales de la evolución de CVs:

$$\frac{\dot{a}}{a} = 2 \left[ \frac{\dot{J}}{J} - (1-q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right] \tag{25}$$

$$\frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} = 3 \left[ \frac{\dot{J}}{J} - (1-q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right] \tag{26}$$

### 3.3. Interpretación física

Estas ecuaciones revelan la competencia entre dos procesos:

1. **Pérdida de momento angular** ( $\dot{J} < 0$ ):
  - Tiende a **disminuir**  $a$  y  $P_{\text{orb}}$
  - El sistema se contrae
  - Acerca la secundaria a su lóbulo de Roche
2. **Transferencia de masa** ( $\dot{M}_2 < 0$  para  $q < 1$ ):
  - El término  $(1 - q)\dot{M}_2/M_2$  es negativo (ya que  $\dot{M}_2 < 0$ )
  - Tiende a **aumentar**  $a$  y  $P_{\text{orb}}$
  - El sistema se expande
  - Aleja la secundaria de su lóbulo de Roche

### 3.4. Condición de estabilidad

Para que la transferencia de masa sea **estable y continua**, la secundaria debe permanecer en contacto con su lóbulo de Roche. Esto requiere que la órbita se contraiga:

$$\frac{\dot{a}}{a} < 0 \quad (27)$$

Por tanto:

$$\left| \frac{\dot{J}}{J} < (1 - q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right| \Rightarrow \left| \frac{\dot{J}}{J} \right| > (1 - q) \left| \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right| \quad (28)$$

Esta condición establece que la pérdida de momento angular debe ser suficientemente rápida para compensar la expansión orbital causada por la transferencia de masa.

### 3.5. Consecuencia evolutiva

De  $\dot{P}_{\text{orb}}/P_{\text{orb}} = (3/2)\dot{a}/a$  y  $\dot{a}/a < 0$ :

$$\left| \frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} < 0 \right| \quad (29)$$

**Conclusión fundamental:** Las CVs evolucionan generalmente hacia períodos orbitales **más cortos**. La distribución observada de períodos refleja el estado evolutivo de la población.

## 4. Mecanismos de Pérdida de Momento Angular

### 4.1. Frenado Magnético (Magnetic Braking)

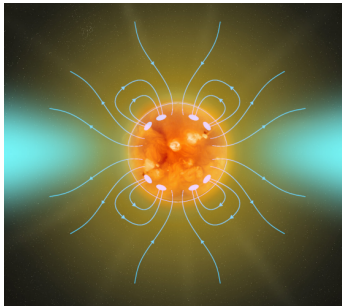


Fig. 1.

### 4.1.1. Fundamento físico

El frenado magnético opera cuando la estrella donante:

1. Posee una **envoltura convectiva** significativa
2. Esta convección genera un **dinamo** que produce campos magnéticos
3. El campo magnético se extiende más allá de la superficie estelar
4. El viento estelar es acoplado magnéticamente, co-rotando con la estrella hasta grandes distancias (radio de Alfvén)
5. El momento angular se transfiere del sistema binario al viento

### 4.1.2. Prescripción de Warner (1995)

Una formulación empírica ampliamente utilizada (aunque ahora sabemos que es incorrecta en detalles):

$$\dot{J}_{\text{MB}} \approx -9 \times 10^{28} M_2^{7/6} R_2^{1/6} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (30)$$

donde  $M_2$  está en  $M_{\odot}$  y  $R_2$  en  $R_{\odot}$ .

### 4.1.3. Dependencia con el período orbital

Usando las relaciones empíricas masa-radio-período para CVs:

$$M_2[M_{\odot}] = 0.065 P_{\text{orb}}^{5/4} [\text{h}] \quad (31)$$

$$R_2[R_{\odot}] = 0.094 P_{\text{orb}}^{13/12} [\text{h}] \quad (32)$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} \dot{J}_{\text{MB}} &\approx -9 \times 10^{28} \times (0.065)^{7/6} P_{\text{orb}}^{35/24} \times (0.094)^{1/6} P_{\text{orb}}^{13/72} \\ &\approx -2.5 \times 10^{27} P_{\text{orb}}^{1.64} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned} \quad (33)$$

**Característica clave:**  $\dot{J}_{\text{MB}} \propto P_{\text{orb}}^{1.64} \rightarrow$  Aumenta con  $P_{\text{orb}}$ , dominante a períodos largos.

### 4.1.4. Frenado magnético moderno

Trabajos recientes (Ortúzar-Garzón et al. 2024) muestran que la prescripción de Warner es incorrecta. El frenado magnético real:

- Depende críticamente de la estructura interna de la estrella
- Cesa o se reduce dramáticamente cuando la estrella se vuelve **completamente convectiva**
- Esto ocurre a  $M_2 \sim 0.35 M_{\odot}$  para estrellas de campo, correspondiente a  $P_{\text{orb}} \sim 3$  h en CVs

### 4.2. Radiación Gravitacional

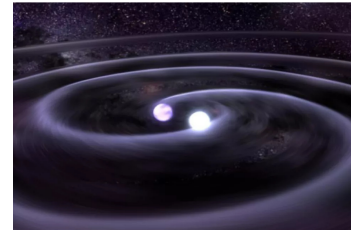


Fig. 2.

#### 4.2.1. Origen físico

Según la Relatividad General, un sistema binario con momento cuadrupolar variable emite ondas gravitacionales, llevándose energía y momento angular del sistema.

La potencia radiada en ondas gravitacionales para una órbita circular es:

$$\mathcal{P}_{\text{GW}} = \frac{32}{5} \frac{G^4}{c^5} \frac{(M_1 M_2)^2 (M_1 + M_2)}{a^5} \quad (34)$$

La energía orbital es:

$$E_{\text{orb}} = -\frac{GM_1 M_2}{2a} \quad (35)$$

Por conservación de energía:

$$\dot{E}_{\text{orb}} = -\mathcal{P}_{\text{GW}} \quad (36)$$

$$\frac{GM_1 M_2}{2a^2} \dot{a} = -\frac{32}{5} \frac{G^4}{c^5} \frac{(M_1 M_2)^2 (M_1 + M_2)}{a^5} \quad (37)$$

Despejando:

$$\dot{a} = -\frac{64}{5} \frac{G^3}{c^5} \frac{M_1 M_2 (M_1 + M_2)}{a^3} \quad (38)$$

El momento angular es  $J = M_1 M_2 \sqrt{Ga} / \sqrt{M_1 + M_2}$ , entonces:

$$\dot{J} = \frac{M_1 M_2}{2\sqrt{M_1 + M_2}} \sqrt{\frac{G}{a}} \dot{a} \quad (39)$$

Sustituyendo  $\dot{a}$ :

$$\dot{J}_{\text{GR}} = -\frac{32}{5} \frac{G^{7/2}}{c^5} \frac{(M_1 M_2)^2 (M_1 + M_2)^{1/2}}{a^{7/2}} \quad (40)$$

#### 4.2.2. Fórmula de Warner

Usando la tercera ley de Kepler para eliminar  $a$  y después de álgebra extensa:

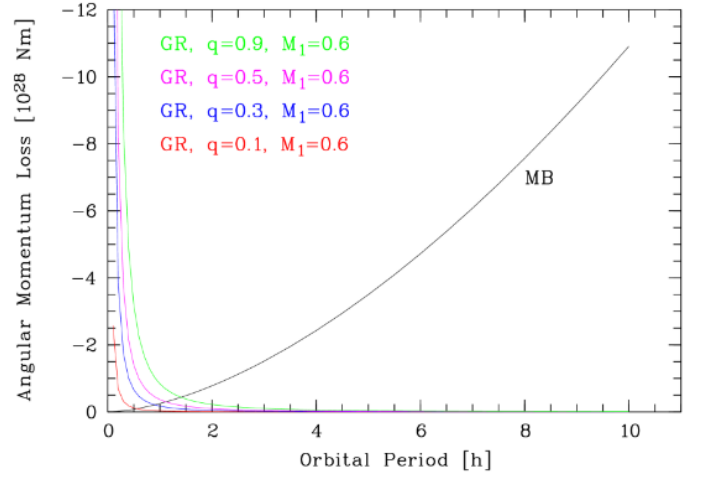
$$\dot{J}_{\text{GR}} \approx -8.5 \times 10^{28} \frac{q^{5/3}}{(1+q)^{2/3}} \frac{M_1^3}{P_{\text{orb}}^2 [\text{h}]} M_2^{1/2} R_2^{1/2} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (41)$$

#### 4.2.3. Dependencia con el período

Usando las mismas relaciones empíricas:

$$\dot{J}_{\text{GR}} \approx -7.1 \times 10^{28} \frac{q^{5/3}}{(1+q)^{2/3}} M_1^3 P_{\text{orb}}^{-1.92} [\text{h}] \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (42)$$

**Característica clave:**  $\dot{J}_{\text{GR}} \propto P_{\text{orb}}^{-1.92} \rightarrow$  Aumenta dramáticamente a períodos cortos.



**Fig. 3.**

#### 4.3. Comparación y regímenes de dominancia

##### 4.3.1. Punto de cruce

Para CVs típicas con  $M_1 \sim 0.8 M_{\odot}$ ,  $q \sim 0.3$ :

$$|\dot{J}_{\text{MB}}| \sim 2.5 \times 10^{27} P_{\text{orb}}^{1.64} \quad (43)$$

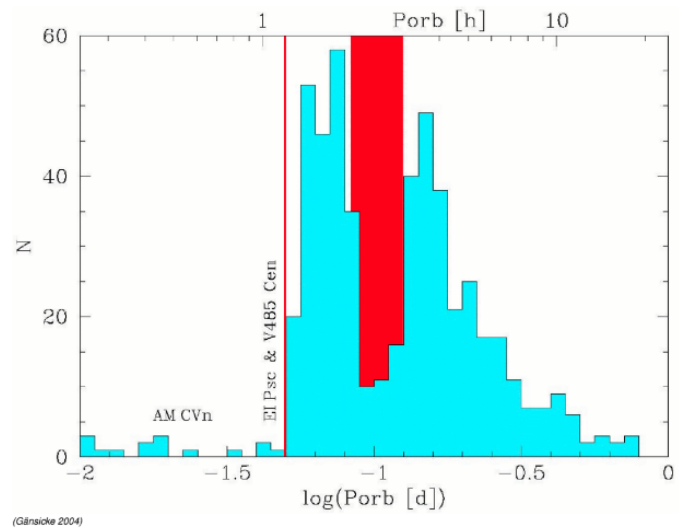
$$|\dot{J}_{\text{GR}}| \sim 1.3 \times 10^{28} P_{\text{orb}}^{-1.92} \quad (44)$$

Igualando, obtenemos  $P_{\text{orb}} \sim 1.6 \text{ h}$ .

##### 4.3.2. Regímenes

- $P_{\text{orb}} \gtrsim 3 \text{ h}$ :  $|\dot{J}_{\text{MB}}| \gg |\dot{J}_{\text{GR}}|$  (frenado magnético domina)
- $2 < P_{\text{orb}} < 3 \text{ h}$ : Transición (frenado magnético se apaga)
- $P_{\text{orb}} \lesssim 2 \text{ h}$ :  $|\dot{J}_{\text{GR}}| \gg |\dot{J}_{\text{MB}}|$  (radiación gravitacional domina)

### 5. El Hueco de Períodos: Análisis Detallado



**Fig. 4.**

### 5.1. Evidencia observacional

La distribución de períodos de CVs muestra una notable **escasez de sistemas** entre aproximadamente  $2 < P_{\text{orb}} < 3$  horas.

Datos cuantitativos (Gänsicke 2004):

- Por encima del gap:  $\sim 30\%$  de CVs conocidas
- Dentro del gap:  $\sim 10\%$  de CVs conocidas
- Por debajo del gap:  $\sim 60\%$  de CVs conocidas

### 5.2. El mecanismo: Transición a estructura completamente convectiva

#### 5.2.1. Estructura interna de enanas rojas

Estrellas de baja masa ( $M \lesssim 0.35 M_{\odot}$ ) desarrollan envolturas convectivas profundas. A medida que la masa disminuye, la zona convectiva se profundiza hasta que:

$$M_{\text{conv}} \sim 0.35 M_{\odot} \Rightarrow \text{Completamente convectiva} \quad (45)$$

En estrellas de campo, esto corresponde a tipos espectrales M3-M4.

#### 5.2.2. CVs vs estrellas de campo

Las secundarias en CVs están **fuera de equilibrio térmico** debido a:

- Pérdida continua de masa
- Irradiación por la WD y el disco
- Rotación sincronizada forzada (marealmente acopladas)

Consecuencias:

- Radio más grande que en secuencia principal para la misma masa
- Temperatura efectiva más baja
- Tipo espectral más tardío (típicamente M4-M6)
- Transición a estructura completamente convectiva a:

$$M_{2,\text{conv}} \sim 0.2 M_{\odot} \text{ en CVs} \quad (46)$$

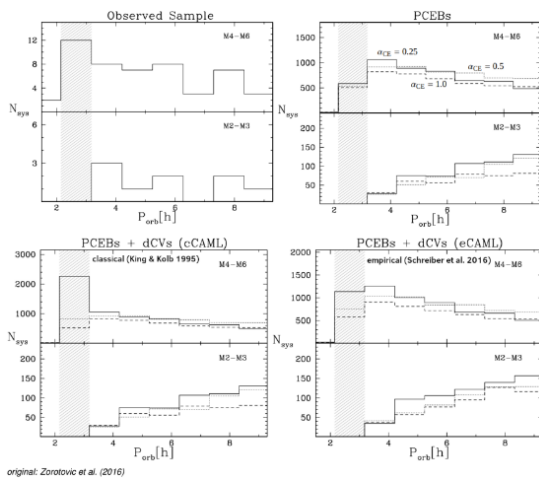


Fig. 5.

### 5.2.3. Cambio en el dínamo estelar

La generación de campo magnético en estrellas depende críticamente de la estructura interna:

#### 1. Estrellas con envoltura radiativa + convectiva:

- Dínamo de **interfaz** (o dínamo  $\alpha - \Omega$ )
- Opera en la tacoclina (interfaz entre zona radiativa y convectiva)
- Genera campos magnéticos **ordenados y fuertes**
- Frenado magnético eficiente

#### 2. Estrellas completamente convectivas:

- Dínamo **turbulento** (o dínamo  $\alpha^2$ )
- Opera en toda la estrella
- Genera campos más **desordenados** y potencialmente más **débiles**
- Frenado magnético mucho menos eficiente o cesado

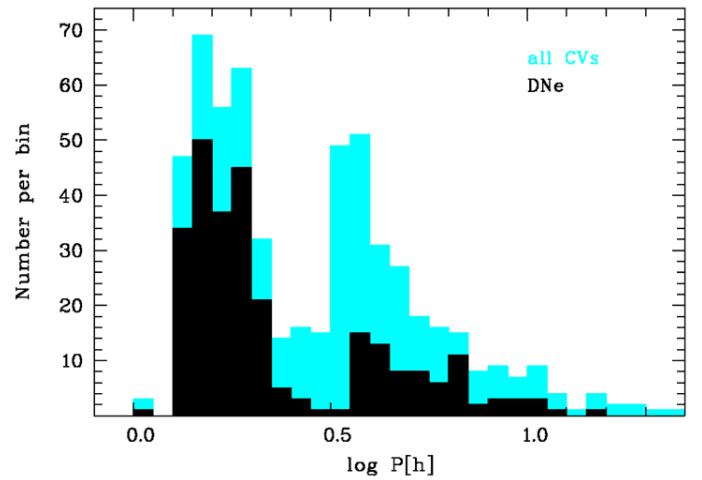


Fig. 6.

### 5.3. Evolución a través del hueco: Paso a paso

#### 5.3.1. Fase pre-gap ( $P_{\text{orb}} > 3$ h)

1. Secundaria tiene estructura parcialmente radiativa
2. Frenado magnético fuerte:  $|J_{\text{MB}}| \gg |J_{\text{GR}}|$
3. Alta tasa de transferencia de masa:  $\dot{M} \sim 10^{-9} - 10^{-8} M_{\odot}/\text{año}$
4. CVs observadas como: Nova-likes (NL) brillantes o Novas enanas (DN) con erupciones frecuentes
5. Tiempo de evolución relativamente **corto** ( $\sim 10^8$  años)

#### 5.3.2. Entrada al gap ( $P_{\text{orb}} \sim 3$ h)

1. La secundaria alcanza  $M_2 \sim 0.2 M_{\odot}$
2. Transición a estructura **completamente convectiva**
3. El campo magnético sufre reorganización fundamental
4. **Frenado magnético cesa o disminuye drásticamente**
5. La pérdida de momento angular pasa a ser dominada por radiación gravitacional:  $\dot{J} \approx \dot{J}_{\text{GR}}$

#### 5.3.3. Condición crítica

La tasa de transferencia de masa antes de entrar al gap era:

$$\dot{M}_{\text{pre-gap}} \sim 10^{-9} M_{\odot}/\text{año} \quad (47)$$

Esta tasa estaba sostenida por  $\dot{J}_{MB}$ . Cuando el frenado magnético cesa, solo queda  $\dot{J}_{GR}$ , que es mucho menor. Para mantener contacto con el lóbulo de Roche, se requiere:

$$\left| \frac{\dot{J}}{J} \right| > (1 - q) \left| \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right| \quad (48)$$

Con  $\dot{J} \approx \dot{J}_{GR}$  (ahora mucho menor), esta condición **no se satisface** al mantener la  $\dot{M}$  previa.

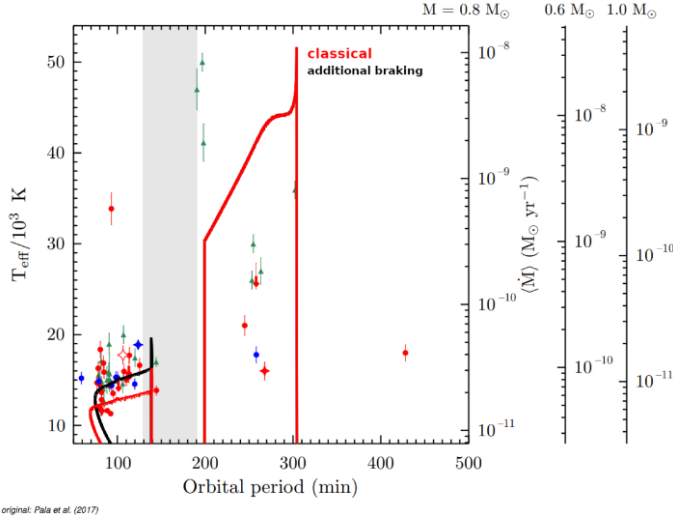


Fig. 7.

#### 5.3.4. Detachment (Separación)

1. La secundaria comienza a **contraerse**
2. El radio de la secundaria se vuelve **menor** que su lóbulo de Roche
3. **La transferencia de masa cesa:**  $\dot{M} \rightarrow 0$
4. El sistema se vuelve **"invisible"** como CV
5. Aparece como una binaria despegada WD + enana roja M tardía

#### 5.3.5. Atravesando el gap ( $2 < P_{orb} < 3$ h)

Durante esta fase:

- $\dot{M} = 0$  (sistema despegado)
- $\dot{J} = \dot{J}_{GR}$  continúa extrayendo momento angular
- La órbita continúa **contrayéndose**:  $\dot{a} < 0$
- El lóbulo de Roche **disminuye** con la separación
- La secundaria permanece en equilibrio térmico
- Tiempo de tránsito:  $\sim 10^9$  años

#### 5.3.6. Re-emergencia ( $P_{orb} \sim 2$ h)

1. El lóbulo de Roche ha disminuido suficientemente para **re-establecer contacto**
2. La transferencia de masa se **reanuda**
3. Ahora a tasa mucho menor:  $\dot{M} \sim 10^{-10} - 10^{-11} M_{\odot}/\text{año}$
4. Esta tasa baja es sostenible por  $\dot{J}_{GR}$  solamente
5. El sistema reaparece como CV observable (aunque más débil)

#### 5.4. CVs Magnéticas y el Hueco

Las CVs magnéticas (polares e intermedios polares) muestran una distribución diferente: las líneas de campo magnético de la WD pueden conectarse con la estrella donante, proporcionando un mecanismo alternativo de frenado magnético que **no** requiere una envoltura convectiva en el donante.

**Resultado: Las MCVs no presentan hueco de períodos.**

Simulaciones (Belloni et al. 2020, Schreiber et al. 2024) reproducen las características observadas.

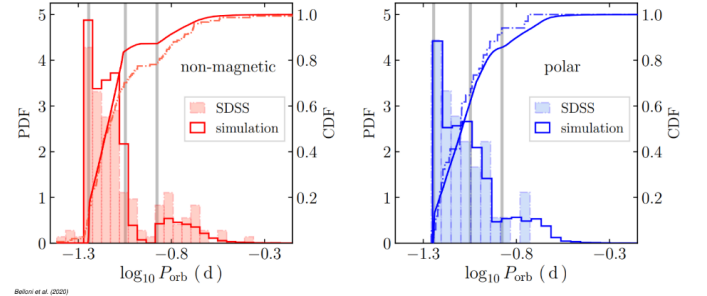


Fig. 8.

### 6. El Mínimo de Períodos

#### 6.1. Observación del mínimo

La distribución de períodos muestra un **corte abrupto** alrededor de:

$$P_{orb, min} \approx 76 - 82 \text{ minutos} \quad (49)$$

#### 6.2. Física de la degeneración

A medida que la secundaria pierde masa, eventualmente alcanza masas donde la presión de degeneración electrónica se vuelve dominante:



Fig. 9.

$$M_2 \lesssim 0.08 M_{\odot} \Rightarrow \text{Secundaria degenerada} \quad (50)$$

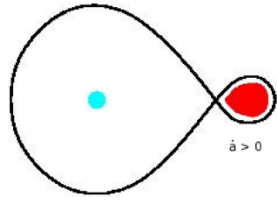
Para materia degenerada no-relativista:

$$R \propto M^{-1/3} \quad (51)$$

#### 6.3. Comparación: MS vs Degenerado

- **Secuencia Principal:**  $R \propto M^{0.8-1.0} \rightarrow$  Al perder masa,  $R$  disminuye
- **Degenerado:**  $R \propto M^{-1/3} \rightarrow$  Al perder masa,  $R$  aumenta

Main-sequence secondary:



Degenerate secondary:

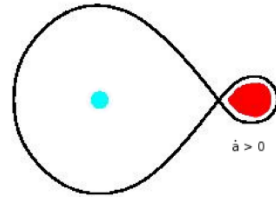
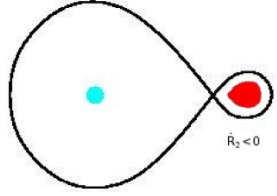


Fig. 10.

Main-sequence secondary:



Degenerate secondary:

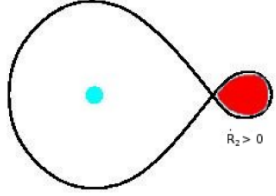
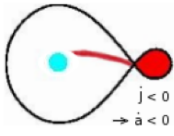


Fig. 11.

Main-sequence secondary:



Degenerate secondary:

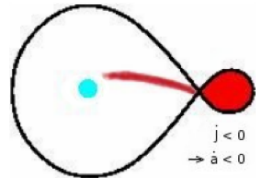


Fig. 12.

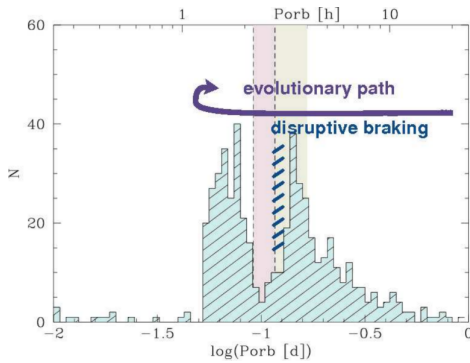


Fig. 13.

#### 6.4. Evolución de la separación

Para una secundaria degenerada:

$$\frac{\dot{R}_2}{R_2} = -\frac{1}{3} \frac{\dot{M}_2}{M_2} \quad (52)$$

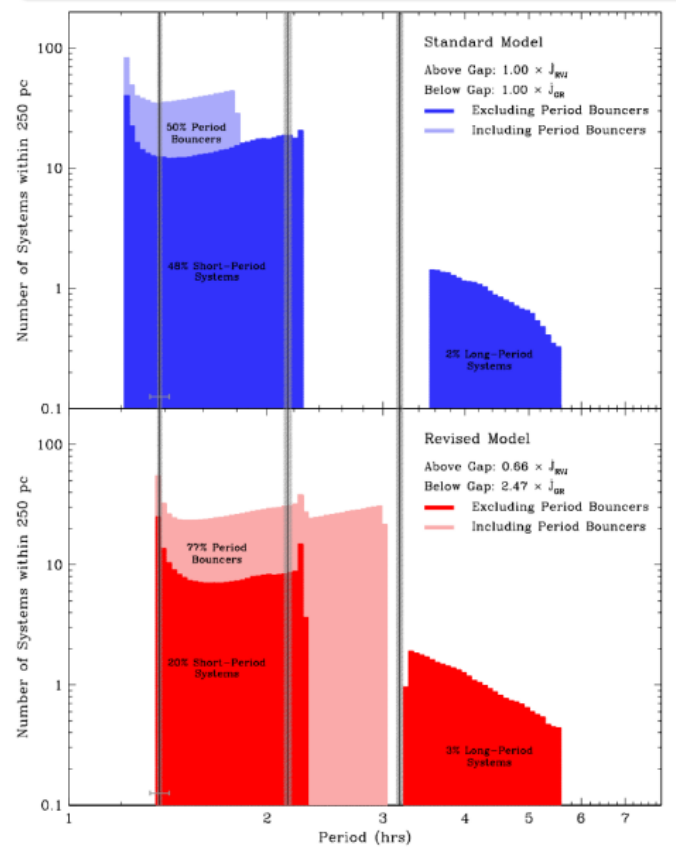
La secundaria debe mantenerse en contacto con su lóbulo de Roche. Para mantener  $R_2 = R_L$ , análisis detallado muestra que:

$$\frac{\dot{a}}{a} = 2 \left[ \frac{j}{J} - (1-q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right] \quad (53)$$

Con  $q$  pequeño y la expansión del donante al perder masa, el término de transferencia de masa domina, resultando en:

$$\frac{\dot{a}}{a} > 0 \quad (54)$$

**Conclusión crucial:** Con  $j < 0$ , obtenemos  $\dot{a} > 0$ . La órbita se **expande** a pesar de la pérdida continua de momento angular.



Knigge et al. (2011)

Fig. 14.

#### 6.5. El punto de inflexión

El mínimo de períodos ocurre cuando:

$$\frac{\dot{P}_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} = 0 \Rightarrow \frac{\dot{a}}{a} = 0 \quad (55)$$

Parámetros en el mínimo:

$$P_{\text{orb, min}} \approx 78 \text{ min} \quad (56)$$

$$M_{2, \text{min}} \approx 0.06 - 0.08 M_{\odot} \quad (57)$$

$$\dot{M}_{\text{min}} \approx 10^{-11} - 10^{-10} M_{\odot}/\text{año} \quad (58)$$

#### 6.6. Period Bouncers

**Period Bouncers:** CVs que han pasado por el mínimo de períodos y están evolucionando **de vuelta hacia períodos más largos**.

Características:

- $P_{\text{orb}} > P_{\text{orb, min}}$  (típicamente 80 – 90 min)
- Donante completamente degenerado (enana marrón)
- $M_2 < 0.06 M_{\odot}$
- $\dot{M}$  extremadamente baja:  $\lesssim 10^{-11} M_{\odot}/\text{año}$



CVs within 150 pc (Gaia DR2):

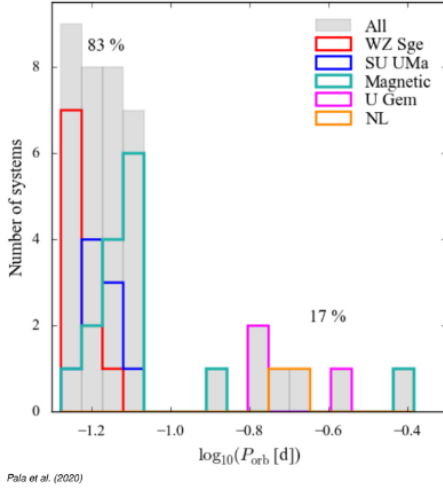


Fig. 15.

–  $q$  muy pequeño:  $q \lesssim 0.05$

Según modelos (Knigge et al. 2011), deberían representar **40-70% de todas las CVs**, pero observacionalmente son extremadamente raras.

## 7. Identificación de Period Bouncers: Superhumps

### 7.1. El problema

Para identificar period bouncers, necesitamos medir  $q$  porque  $q_{\text{bouncer}}(P_{\text{orb}}) < q_{\text{normal}}(P_{\text{orb}})$  a un período dado. Pero el donante es demasiado débil para espectroscopía directa.

### 7.2. Superhumps: Teoría

Los **superhumps** son modulaciones de luz observadas en novae enanas durante **superoutbursts** con:

$$P_{\text{sh}} > P_{\text{orb}} \quad (59)$$

Origen: Durante superoutbursts, el disco alcanza la resonancia 3:1, desarrolla excentricidad, y el disco excéntrico precesa. Definimos el parámetro de superhump:

$$\varepsilon \equiv \frac{P_{\text{sh}} - P_{\text{orb}}}{P_{\text{orb}}} \quad (60)$$

### 7.3. Relación superhump- $q$

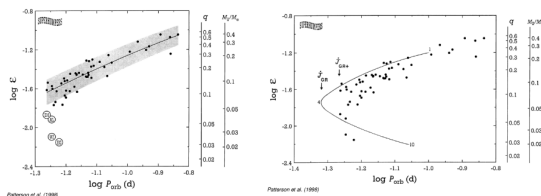


Fig. 16.

La tasa de precesión es proporcional a la masa perturbadora ( $M_2$ ):

$$\frac{\Omega_{\text{prec}}}{\Omega_{\text{orb}}} = \frac{3}{4} \frac{q}{(q+1)^{1/2}} \left( \frac{R}{a} \right)^{3/2} \quad (61)$$

En la resonancia 3:1,  $R \approx 0.46a$ , lo que da:

$$\varepsilon \approx \frac{0.23 q}{1 + 0.27 q} \quad (62)$$

Calibración empírica (Patterson et al. 1998):

$$\varepsilon = \frac{0.18 q + 0.29 q^2}{1 + 0.27 q} \quad (63)$$

Esta relación permite determinar  $q$  de manera robusta, identificando así las period bouncers por su  $q$  anormalmente bajo.

### 7.4. Ejemplo: QZ Lib

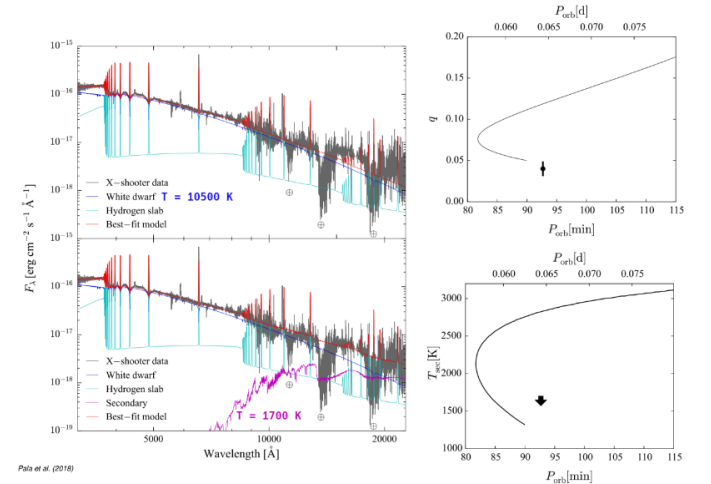


Fig. 17.

Observaciones (Pala et al. 2018):

- $P_{\text{orb}} = 84.5$  min
- $P_{\text{sh}} = 85.9$  min
- $\varepsilon = 0.0166$
- $q \approx 0.045$  (de la relación)

Para  $P_{\text{orb}} = 84.5$  min, esperaríamos  $q \sim 0.08 - 0.10$  para una CV normal.

**Conclusión:** QZ Lib es un period bouncer confirmado.

## 8. La Paradoja de los Period Bouncers

### 8.1. El problema

- **Predicción teórica:** 40-70% de CVs deberían ser period bouncers
- **Realidad observacional:**  $\lesssim 20$  confirmados de  $\sim 3000$  CVs ( $< 1\%$ )

Esta discrepancia es uno de los problemas abiertos más importantes.



## 8.2. Hipótesis del campo magnético tardío

Schreiber et al. (2023) y Schreiber & Belloni (2025) proponen que los campos magnéticos en WDs se generan **tarde**, después de convertirse en CVs, a través de:

### Dínamo por cristalización:

1. Las WDs se enfrían con el tiempo
2. A  $T_{\text{core}} \sim 10^7$  K, el núcleo de C/O comienza a cristalizar
3. La cristalización crea convección en el núcleo
4. Convección + rotación  $\Rightarrow$  dínamo  $\Rightarrow$  campo magnético
5. El campo difunde hacia la superficie en  $\sim 10^8 - 10^9$  años

## 8.3. Consecuencias

Si los campos magnéticos emergen tarde ( $\tau_B \sim 1 - 3 \times 10^9$  años):

- La fracción de MCVs debe **aumentar** con la edad del sistema
- Period bouncers (edad  $> 2 \times 10^9$  años) tienen alta fracción de MCVs ( $\sim 60 - 80\%$ )
- Una vez emerge el campo magnético fuerte:
  - Se conecta con el donante (enana marrón)
  - Transfiere momento angular de espín a la órbita
  - La separación **aumenta**
  - El sistema queda **despegado**: WD magnética + enana marrón

Esto explica la escasez de period bouncers: muchos están despegados durante la mayor parte de su vida.

## 8.4. Predicción testeable

Debe existir una **gran población** de binarias despegadas:

- WD magnética fría ( $T_{\text{eff}} \sim 5000 - 8000$  K) + enana marrón
- $P_{\text{orb}} \sim 80$  min  $- 3$  h
- Número esperado:  $\sim 100 - 1000$  en muestras actuales
- Estado actual: Solo 6 conocidos (Cunningham et al. 2025)

Los próximos años deberían revelar muchos más sistemas de este tipo.

## 9. Novas: Erupciones Termonucleares

### 9.1. Concepto fundamental

#### Principio clave:

Las novas NO son un tipo especial de CV.  
Toda CV experimenta erupciones de nova periódicamente.  
Las CVs observadas son novas entre erupciones.

### 9.2. Física de la ignición

La WD acreta material rico en hidrógeno. La ignición termonuclear ocurre cuando:

$$T_{\text{base}} \gtrsim 10^7 \text{ K} \quad \text{y} \quad \rho_{\text{base}} \gtrsim 10^4 \text{ g/cm}^3 \quad (64)$$

Estas condiciones se alcanzan cuando la masa acretada alcanza la **masa crítica de la envoltura**:

$$M_{\text{env, crit}} = f(M_{\text{WD}}, \dot{M}_1) \quad (65)$$

Dependencia (Townsend & Bildsten 2004, 2005):

- Mayor  $\dot{M}_{\text{WD}} \rightarrow$  Menor  $M_{\text{env, crit}}$
- Mayor  $\dot{M}_1 \rightarrow$  Menor  $M_{\text{env, crit}}$

### 9.3. El tiempo de recurrencia

$$t_{\text{rec}} = \frac{M_{\text{env, crit}}}{\langle \dot{M}_1 \rangle} \quad (66)$$

Ejemplos para  $M_1 = 0.8 M_{\odot}$ :

- $\dot{M}_1 = 10^{-8} M_{\odot}/\text{año} \rightarrow t_{\text{rec}} \sim 10^4$  años
- $\dot{M}_1 = 10^{-9} M_{\odot}/\text{año} \rightarrow t_{\text{rec}} \sim 10^5$  años
- $\dot{M}_1 = 10^{-10} M_{\odot}/\text{año} \rightarrow t_{\text{rec}} \sim 10^6$  años
- $\dot{M}_1 = 10^{-11} M_{\odot}/\text{año} \rightarrow t_{\text{rec}} \sim 10^8$  años

**Consecuencia:** La mayoría de novas observadas son CVs de **alta  $\dot{M}$** .

### 9.4. Distribución de períodos de novas

Observaciones (Pala et al. 2017, Fuentes-Morales et al. 2021):

- Pico fuerte **arriba del gap**:  $P_{\text{orb}} \sim 3 - 5$  h ( $\sim 40 - 50\%$ )
- Pocas novas **en el gap**:  $P_{\text{orb}} \sim 2 - 3$  h ( $\sim 5 - 10\%$ )
- Número moderado **debajo del gap**:  $P_{\text{orb}} < 2$  h ( $\sim 30 - 40\%$ )

Esta distribución refleja que las novas ocurren preferentemente en sistemas de alta  $\dot{M}$  (arriba del gap).

### 9.5. Ejemplos de post-novas

1. **DQ Her** (Nova Her 1934): Polar intermedia,  $P_{\text{orb}} = 4.65$  h

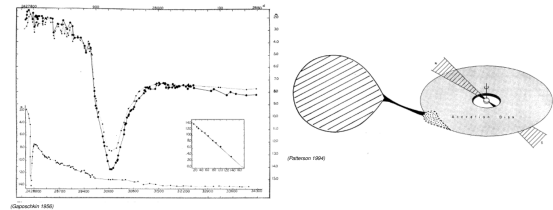


Fig. 18.

2. **V1500 Cyg** (Nova Cyg 1975): Polar,  $P_{\text{orb}} = 3.35$  h

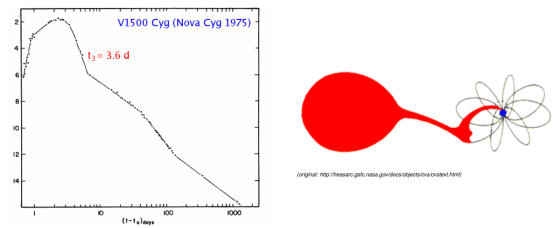


Fig. 19.

- La erupción causó asincronía temporal
- 3. **V446 Her** (Nova Her 1960): Nova enana,  $P_{\text{orb}} = 4.97$  h

### 9.6. Masa eyectada

Observaciones (Yaron et al. 2005, Bode & Evans 2008):

$$M_{\text{ej}} \sim 10^{-5} - 10^{-4} M_{\odot} \quad (67)$$

Si  $M_{\text{ej}} \approx M_{\text{acc}}$ , entonces  $t_{\text{rec}} \approx M_{\text{ej}} / \langle \dot{M}_1 \rangle$ .

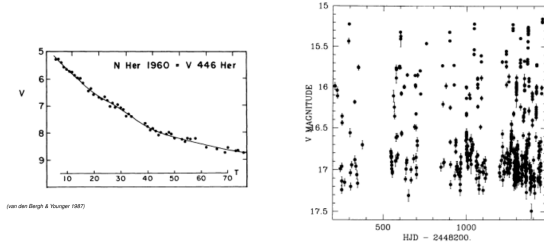


Fig. 20.

## 10. Crecimiento de Masa de la WD y SNe Ia

### 10.1. La pregunta

¿Puede la WD crecer en masa a través de ciclos repetidos de acreción-nova hasta alcanzar  $M_{\text{Ch}} \approx 1.4 M_{\odot}$  y producir una SN Ia?

### 10.2. Análisis cuantitativo

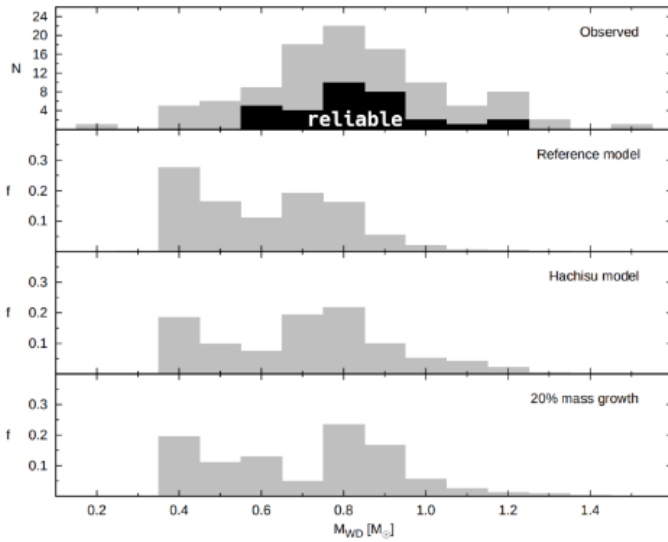


Fig. 21.

Supongamos:

- $M_{\text{ej}} \approx 10^{-4} M_{\odot}$  por erupción
- Eficiencia de retención:  $\eta \sim 20\%$
- $\Rightarrow$  Masa retenida:  $M_{\text{ret}} \approx 2 \times 10^{-5} M_{\odot}$

Para que la WD crezca de  $0.8$  a  $1.4 M_{\odot}$ :

- $\Delta M_{\text{WD}} = 0.6 M_{\odot}$
- Erupciones necesarias:  $N = 30,000$
- Con  $t_{\text{rec}} \sim 10^4$  años:  $\Delta t = 3 \times 10^8$  años

**Problema:** Durante este tiempo, la secundaria pierde:

$$\Delta M_2 = 10^{-8} \times 3 \times 10^8 = 3 M_{\odot} \quad (68)$$

¡Pero la secundaria solo tiene  $\sim 0.3 - 0.5 M_{\odot}$  inicialmente!

### 10.3. Conclusión

**Conclusión robusta:**

La gran mayoría de CVs NO son progenitoras viables de SNe Ia.

## 11. Pérdida Consecuencial de Momento Angular (CAML)

Schreiber et al. (2016) proponen que debe existir un mecanismo adicional:

$$\dot{J}_{\text{CAML}} = f(M_{\text{WD}}) \quad (69)$$

Características:

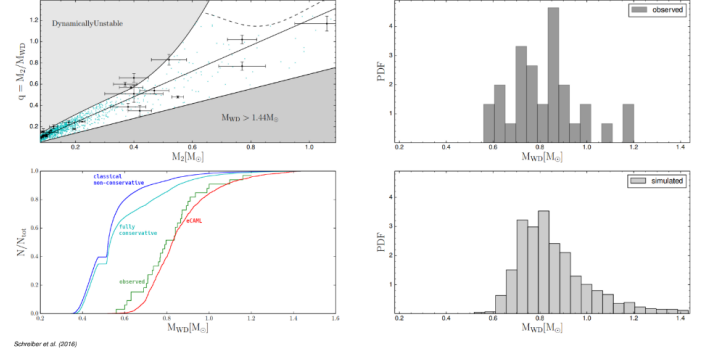


Fig. 22.

- Depende de la masa de la WD
- Más fuerte para WDs más masivas
- Mejora el acuerdo con observaciones

**Hipótesis física:** Las erupciones de nova podrían proporcionar CAML a través de una fase de envoltura común breve (mini-CE), extrayendo momento angular adicional.

La naturaleza física sigue siendo **incierto** y requiere más investigación.

## 12. Hibernación

### 12.1. Modelo clásico

Propuesto por Shara et al. (1986), Prialnik & Shara (1986), refinado por Hillman et al. (2020).

#### 12.1.1. Ciclo completo

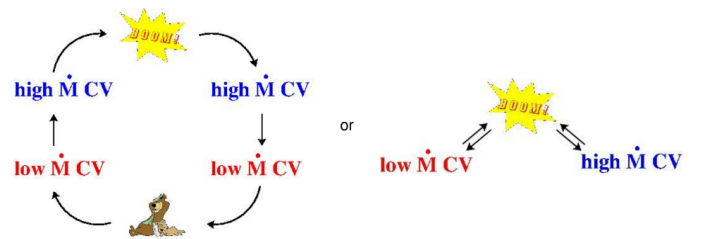


Fig. 23.

1. **Erupción de nova:** La WD se calienta ( $T_{\text{eff}} \rightarrow 10^5$  K)
2. **Calentamiento de secundaria:** WD caliente irradia, secundaria se hincha
3. **Enhanced mass transfer:**  $\dot{M}$  aumenta dramáticamente
4. **Expansión orbital:**  $\dot{a}/a > 0$  debido a alta  $\dot{M}$
5. **Enfriamiento:** WD se enfría, secundaria se contrae
6. **Detachment:**  $R_2 < R_L$ ,  $\dot{M} = 0$
7. **Hibernación:** Sistema despegado por  $\sim 10^4 - 10^5$  años
8. **Re-emergencia:**  $\dot{J}_{\text{GR}}$  reduce órbita, re-contacto

## 12.2. Evidencia

### A favor:

- Post-novas brillantes prolongadamente
- WDs calientes en post-novas viejas

### En contra:

- Escasez de CVs despegadas
- Post-novas con DN tempranas (V728 Sco: DN a 150 años post-nova; V446 Her: DN a 35 años)

## 12.3. Estado actual

La mayoría acepta que alguna forma de perturbación post-nova ocurre, pero:

- Duración debatida:  $\sim 10^3$  o  $10^5$  años?
- ¿Universal o solo en algunos sistemas?

Modelo modificado más aceptado: hibernación **breve** ( $\sim 10^3$  años) en sistemas específicos.

## 13. Búsqueda de Post-Novas

### 13.1. Desafíos

- Cambio dramático de brillo:  $\Delta V \sim 10 - 15$  mag
- Coordenadas imprecisas (novas históricas)
- Campos muy poblados (disco galáctico)
- $\sim 50\%$  de novas sin post-nova identificada

### 13.2. Estrategias

#### 13.2.1. Diagramas color-color

CVs ocupan regiones específicas en  $(u - g)$  vs  $(g - r)$  debido a exceso UV:

$$(u - g) < 0.5, \quad (g - r) \sim -0.2 \text{ a } 0.5 \quad (70)$$

Procedimiento:

1. Fotometría multi-banda del campo
2. Identificar candidatos en región de CVs
3. Espectroscopía de confirmación

#### 13.2.2. Espectroscopía de campo integral (MUSE)

MUSE en VLT es revolucionario:

- Campo:  $1' \times 1'$
- Obtiene espectro de **TODAS** las estrellas simultáneamente
- Búsqueda automática de H $\alpha$  en emisión y HeII
- Altamente eficiente para campos poblados

Ha permitido identificar  $\sim 30 - 40$  post-novas nuevas en los últimos años.

## 14. Preguntas Abiertas

### 14.1. Problemas sin resolver

1. **Paradoja de period bouncers:** Predicción 40-70%, observación  $< 1\%$ 
  - Solución propuesta: Campo magnético tardío + detachment
  - Test: Encontrar binarias WD-BD despegadas
2. **Naturaleza de CAML:** Mecanismo físico desconocido
  - Hipótesis: Erupciones de nova (mini-CE)
  - Necesidad: Simulaciones hidrodinámicas 3D
3. **Hibernación:** ¿Ocurre? ¿Duración?
  - Evidencia mixta
  - Necesidad: Monitoreo largo plazo
4. **Origen de campos magnéticos en WDs**
  - Dínamo por cristalización vs difusión vs fósil
  - Necesidad: Simulaciones y estadísticas

### 14.2. Avances futuros

- **LSST:** Aumentará CVs conocidas  $\sim 30\times$
- **Gaia:** Distancias precisas, muestras limitadas por volumen
- **MUSE y 4MOST:** Espectroscopía sistemática
- **Simulaciones modernas:** Modelos más realistas

## 15. Conclusiones

### 15.1. Síntesis

Las CVs son sistemas cuya evolución está determinada por:

1. **Pérdida de momento angular:** MB (dominante  $P > 3$  h), GR (dominante  $P < 2$  h), posiblemente CAML
2. **Transferencia de masa:** Respuesta de secundaria (MS vs degenerada)
3. **Erupciones de nova:** Ocurren en todas CVs,  $t_{\text{rec}}$  varía  $\sim 7$  órdenes de magnitud
4. **Campos magnéticos:**  $\sim 25\%$  de CVs, posiblemente emergen tarde

### 15.2. Características principales

- **Hueco de períodos** (2 – 3 h): Transición a estructura completamente convectiva, MB cesa
- **Mínimo de períodos** ( $\sim 78$  min): Transición a donante degenerado,  $R \propto M^{-1/3}$
- **Period bouncers:** Mayoría desaparecidos por detachment magnético

### 15.3. Importancia

CVs son laboratorios para:

- Evolución de binarias cercanas
- Física de acreción
- Enanas blancas y estrellas de baja masa
- Campos magnéticos en objetos compactos
- Nucleosíntesis (novas)
- Ondas gravitacionales (LISA)

## 16. Resumen Ejecutivo

### 16.1. Ecuaciones clave

1. **Evolución orbital:**  $\frac{\dot{a}}{a} = 2 \left[ \frac{\dot{J}}{J} - (1 - q) \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right]$
2. **Condición de estabilidad:**  $\left| \frac{\dot{J}}{J} \right| > (1 - q) \left| \frac{\dot{M}_2}{M_2} \right|$
3. **Lóbulo de Roche:**  $R_L \approx 0.46 q^{1/3} a$
4. **Superhump- $q$ :**  $\varepsilon \approx \frac{0.23q}{1 + 0.27q}$
5. **Tiempo de recurrencia:**  $t_{\text{rec}} = \frac{M_{\text{env,crit}}}{\dot{M}_1}$

### 16.2. Conceptos críticos

- CVs evolucionan a períodos cortos:  $\dot{J} < 0$  domina
- Hueco existe: MB se apaga en estructura completamente convectiva
- Mínimo existe: Degeneración invierte  $R(M)$
- Pocas bouncers: Campo magnético tardío causa detachment
- MCVs sin gap: Frenado magnético conectado
- CVs no progenitoras SNe Ia: Secundaria se agota antes
- Transición degeneración:  $M_2 \sim 0.06 - 0.08 M_\odot$
- $\dot{M}$  arriba del gap:  $\sim 10^{-9} - 10^{-8} M_\odot/\text{año}$
- $\dot{M}$  debajo del gap:  $\sim 10^{-11} - 10^{-10} M_\odot/\text{año}$
- Masa eyectada nova:  $M_{\text{ej}} \sim 10^{-5} - 10^{-4} M_\odot$
- Fracción period bouncers (teoría): 40 – 70%
- Fracción MCVs:  $\sim 25\%$

## 17. Apéndices

### 17.1. Apéndice A: Relaciones útiles

#### 17.1.1. Conversión de unidades

$$\begin{aligned}
 1 M_\odot &= 1.989 \times 10^{33} \text{ g} & (71) \\
 1 R_\odot &= 6.96 \times 10^{10} \text{ cm} & (72) \\
 1 L_\odot &= 3.828 \times 10^{33} \text{ erg/s} & (73) \\
 1 \text{ año} &= 3.156 \times 10^7 \text{ s} & (74) \\
 G &= 6.674 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2} & (75)
 \end{aligned}$$

#### 17.1.2. Lóbulo de Roche

Aproximación de Eggleton (1983):

$$\frac{R_L}{a} = \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3})} \quad (76)$$

Para  $q \ll 1$ :

$$\frac{R_L}{a} \approx 0.462 q^{1/3} \quad (77)$$

#### 17.1.3. Período orbital y separación

$$P_{\text{orb}}[\text{h}] = 0.141 \left( \frac{a}{R_\odot} \right)^{3/2} \left( \frac{M_1 + M_2}{M_\odot} \right)^{-1/2} \quad (78)$$

### 17.2. Apéndice B: Órdenes de magnitud

Parámetro	Arriba del gap	Debajo del gap
$P_{\text{orb}}$	3 – 8 h	80 – 120 min
$M_1$	0.6 – 1.0 $M_\odot$	0.7 – 0.9 $M_\odot$
$M_2$	0.2 – 0.8 $M_\odot$	0.05 – 0.15 $M_\odot$
$q$	0.2 – 0.6	0.05 – 0.2
$\dot{M}$	$10^{-9} - 10^{-8} M_\odot/\text{año}$	$10^{-11} - 10^{-10} M_\odot/\text{año}$
$L_{\text{acc}}$	$10^{33} - 10^{34} \text{ erg/s}$	$10^{31} - 10^{32} \text{ erg/s}$
$M_V$	10 – 14	14 – 18
$t_{\text{rec}}$	$10^3 - 10^4 \text{ años}$	$10^6 - 10^7 \text{ años}$
$ \dot{J}/J $	$10^{-9} \text{ año}^{-1}$	$10^{-10} \text{ año}^{-1}$

### 17.3. Apéndice C: Nomenclatura

#### 17.3.1. Tipos de CVs

- **Novas Enanas (DN):**
  - U Gem: Erupciones irregulares
  - Z Cam: DN con standstills
  - SU UMa: DN con superoutbursts
  - WZ Sge: DN muy raras
- **Nova-Likes (NL):**
  - VY Scl: NL con low states
  - SW Sex: Líneas peculiares
  - UX UMa: NL clásicas
- **CVs Magnéticas:**
  - Polares (AM Her):  $B > 10 \text{ MG}$ , sincronizada
  - Polares Intermedias (DQ Her):  $1 < B < 10 \text{ MG}$
- **Novas:**
  - Clásicas: Una erupción
  - Recurrentes:  $t_{\text{rec}} < 100 \text{ años}$

### 17.4. Apéndice D: Recursos

#### 17.4.1. Libros

- Warner, B. (1995). *Cataclysmic Variable Stars*. Cambridge University Press.
- Hellier, C. (2001). *Cataclysmic Variable Stars: How and Why They Vary*. Springer.

#### 17.4.2. Reviews

- Knigge et al. (2011). *ApJS*, 194, 28.
- Zorotovic & Schreiber (2020). *Adv. Space Res.*, 66, 1080.

#### 17.4.3. Bases de datos

- Ritter & Kolb Catalogue
- CVcat (online)
- AAVSO (curvas de luz)

## References

- Belloni, D., et al. (2020). *MNRAS*, 491, 5717.
- Bode, M. F., & Evans, A. (2008). *Classical Novae* (2nd ed.). Cambridge Univ. Press.
- Cunningham, T., et al. (2025). *MNRAS*, en preparación.
- Fuentes-Morales, I., et al. (2021). *MNRAS*, 501, 6083.
- Gänsicke, B. T. (2004). *ASP Conf. Ser.*, 330, 3.
- Gänsicke, B. T., et al. (2009). *MNRAS*, 397, 2170.
- Hillman, Y., et al. (2020). *Nature Astronomy*, 4, 886.
- Knigge, C., Baraffe, I., & Patterson, J. (2011). *ApJS*, 194, 28.
- Ortúzar-Garzón, D., et al. (2024). *A&A*, 683, A145.
- Pala, A. F., et al. (2017). *MNRAS*, 466, 2855.

Pala, A. F., et al. (2018). MNRAS, 481, 2523.  
Pala, A. F., et al. (2020). MNRAS, 494, 3799.  
Patterson, J., et al. (1998). PASP, 110, 1290.  
Priyalnik, D., & Shara, M. M. (1986). ApJ, 311, 172.  
Schreiber, M. R., et al. (2016). MNRAS, 455, L16.  
Schreiber, M. R., et al. (2023). MNRAS, 523, L54.  
Schreiber, M. R., et al. (2024). MNRAS, 528, 3602.  
Schreiber, M. R., & Belloni, D. (2025). Nature Astronomy, en revisión.  
Shara, M. M., et al. (1986). ApJ, 311, 163.  
Tappert, C., et al. (2012). MNRAS, 423, 2476.  
Townsend, D. M., & Bildsten, L. (2004). ApJ, 600, 390.  
Vogt, N., et al. (2018). A&A, 614, A34.  
Warner, B. (1995). Cataclysmic Variable Stars. Cambridge Univ. Press.  
Wijnen, T. P. G., et al. (2018). A&A, 619, A144.  
Yaron, O., et al. (2005). ApJ, 623, 398.  
Zorotovic, M., et al. (2016). A&A, 536, A42.