



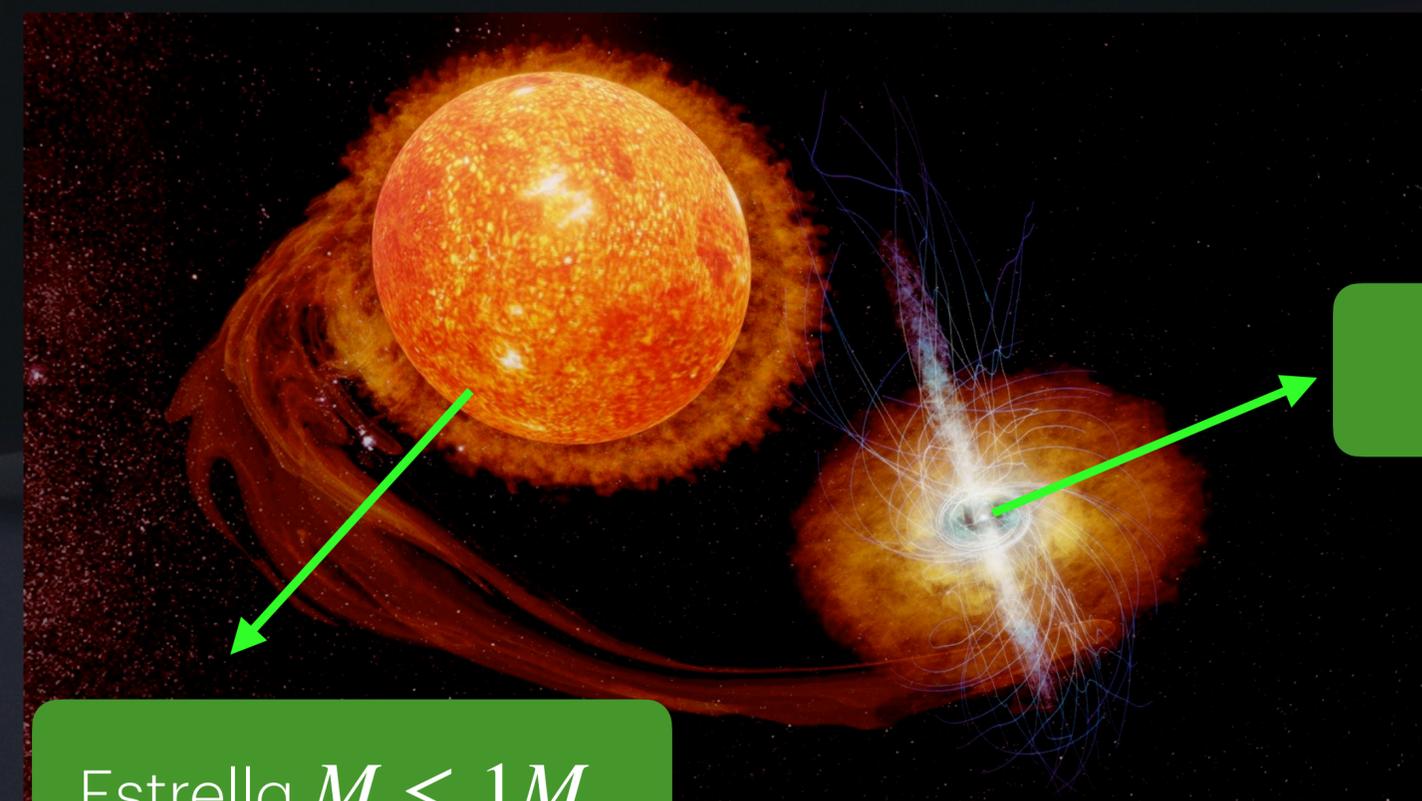
# Microcuásares

Instituto de Astronomía, UNAM

Erick Alejandro Rangel

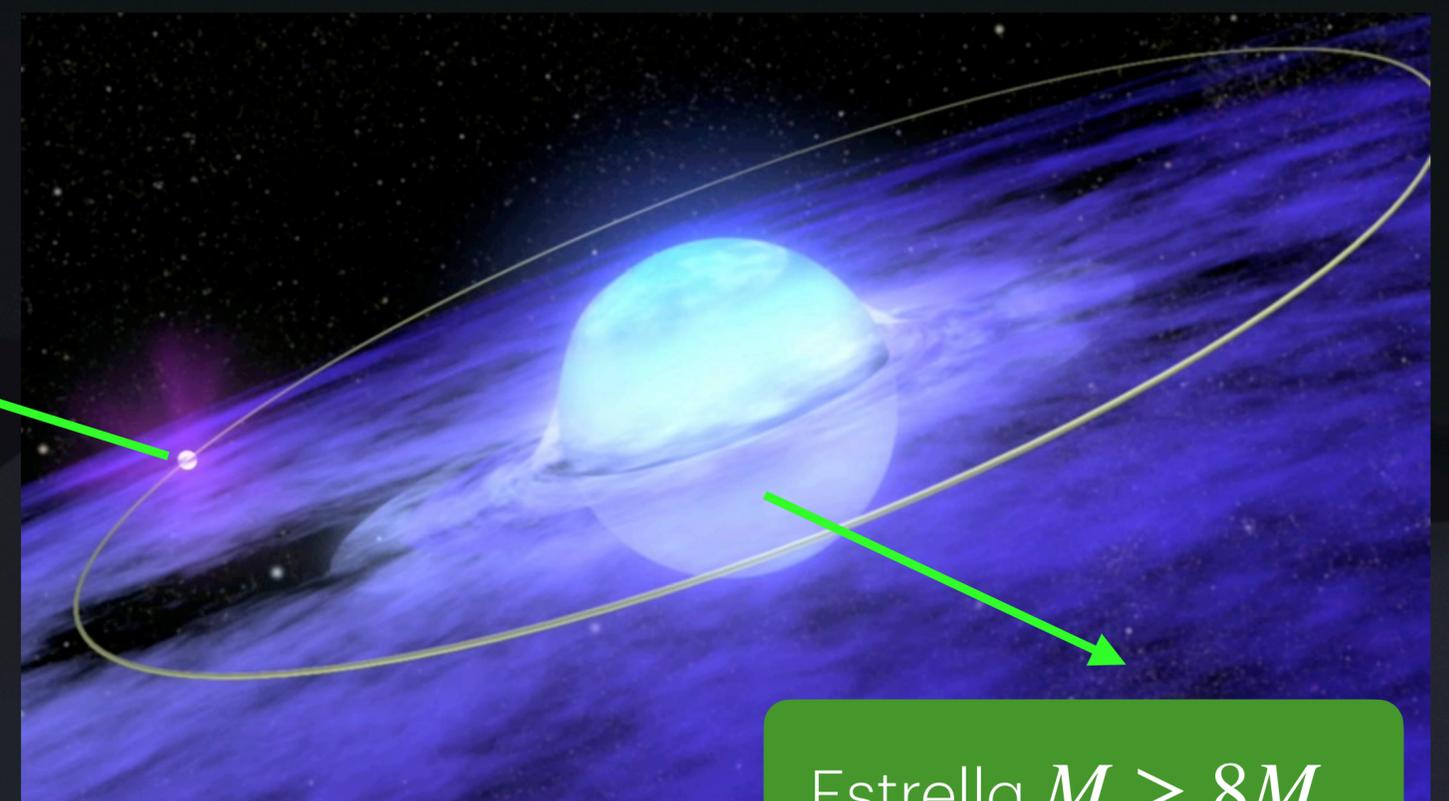
### Sistemas de Baja Masa (LMXBs)

### Sistemas de Alta Masa (HMXBs)



Estrella  $M \leq 1M_{\odot}$

NS o BH



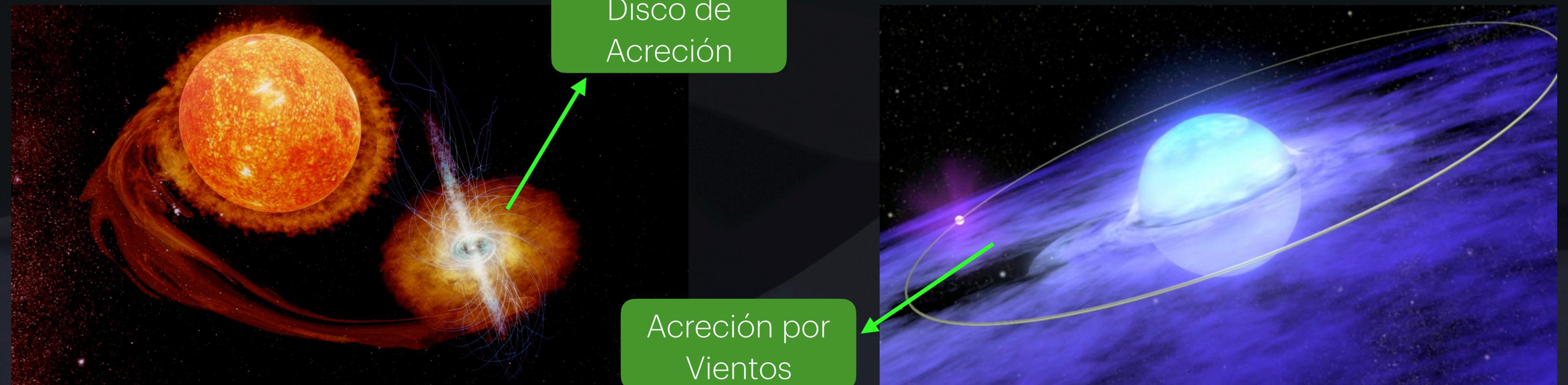
Estrella  $M \geq 8M_{\odot}$

### Sistemas de Baja Masa (LMXBs)

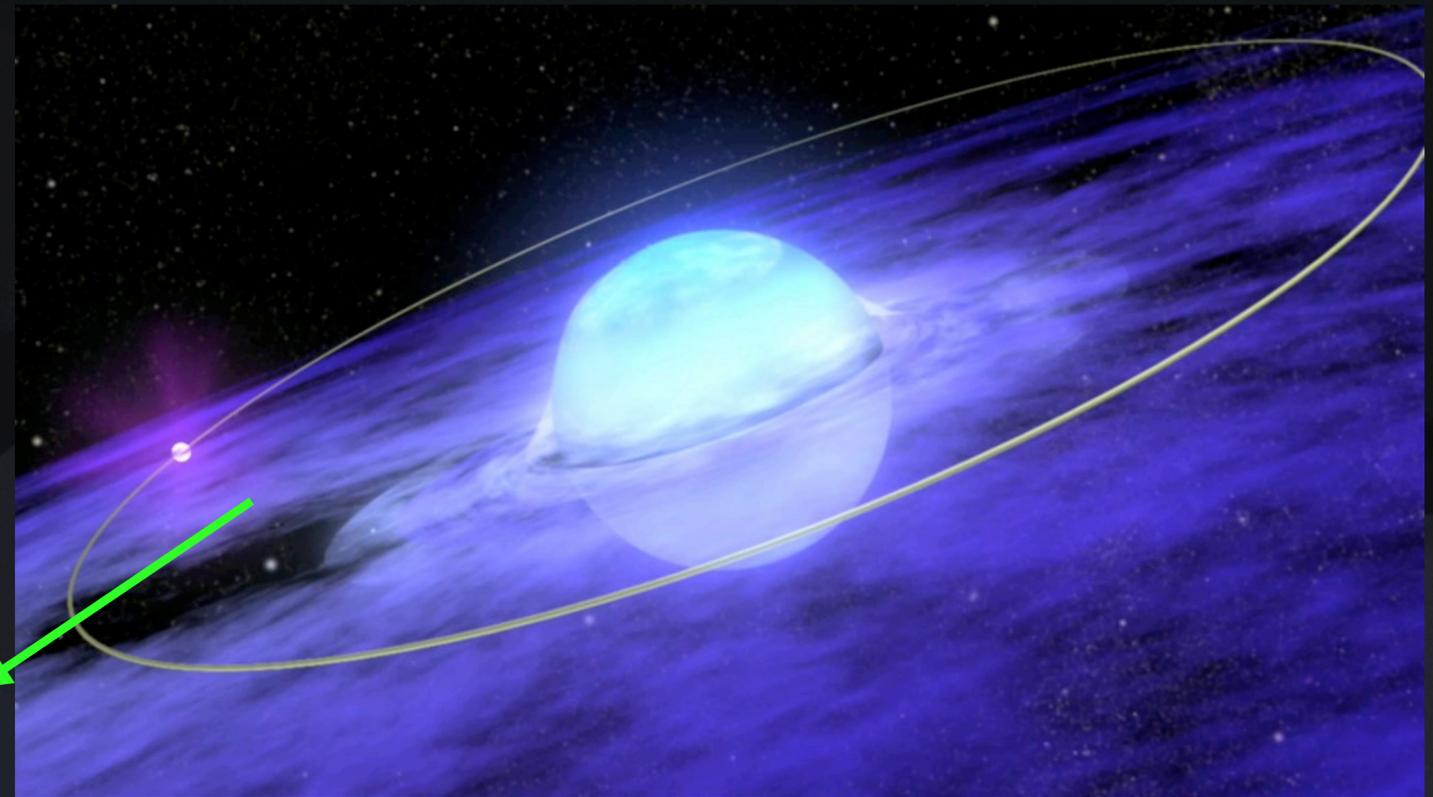
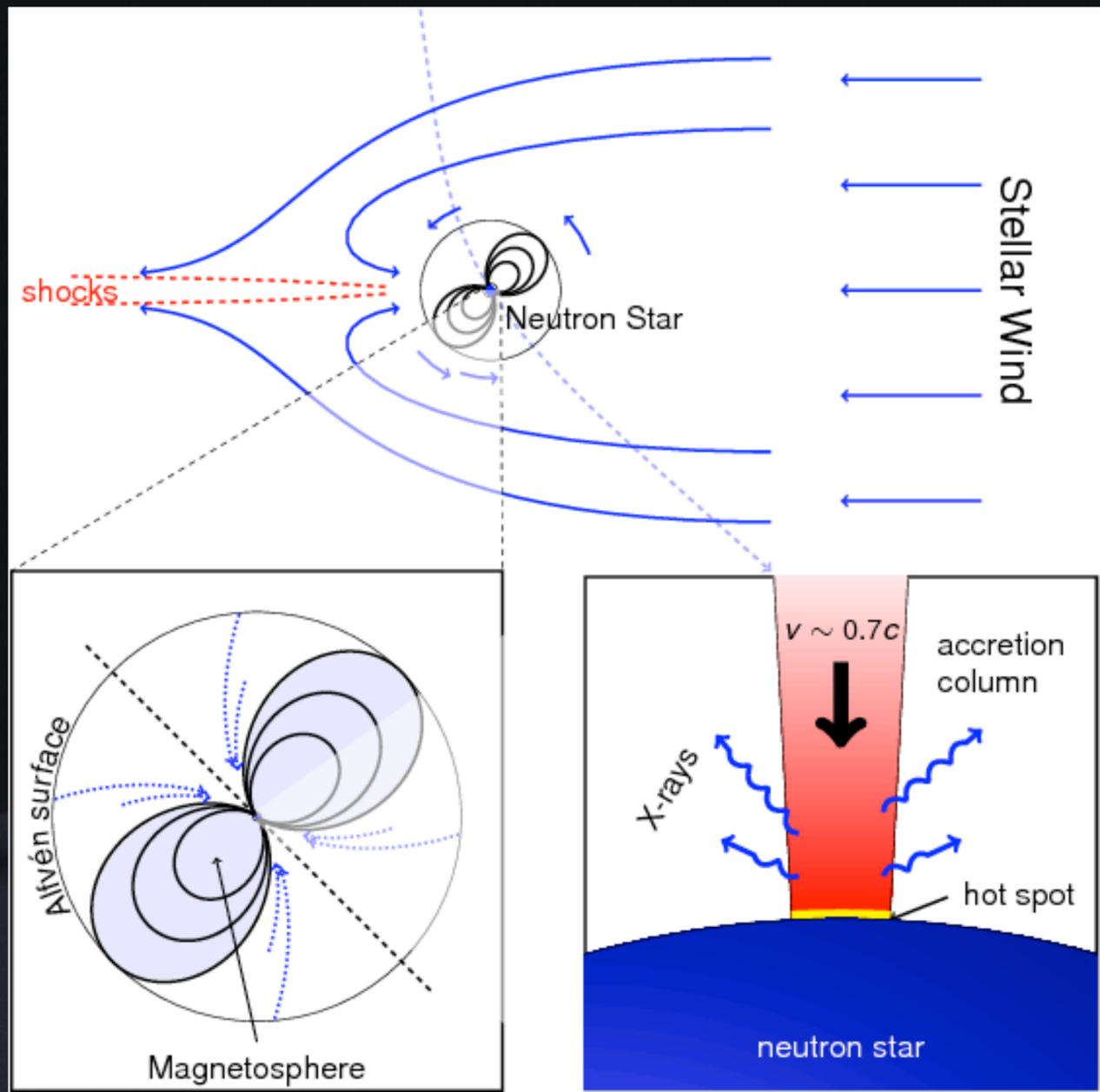
### Sistemas de Alta Masa (HMXBs)

Disco de  
Acreción

Acreción por  
Vientos



### Sistemas de Alta Masa (HMXBs)



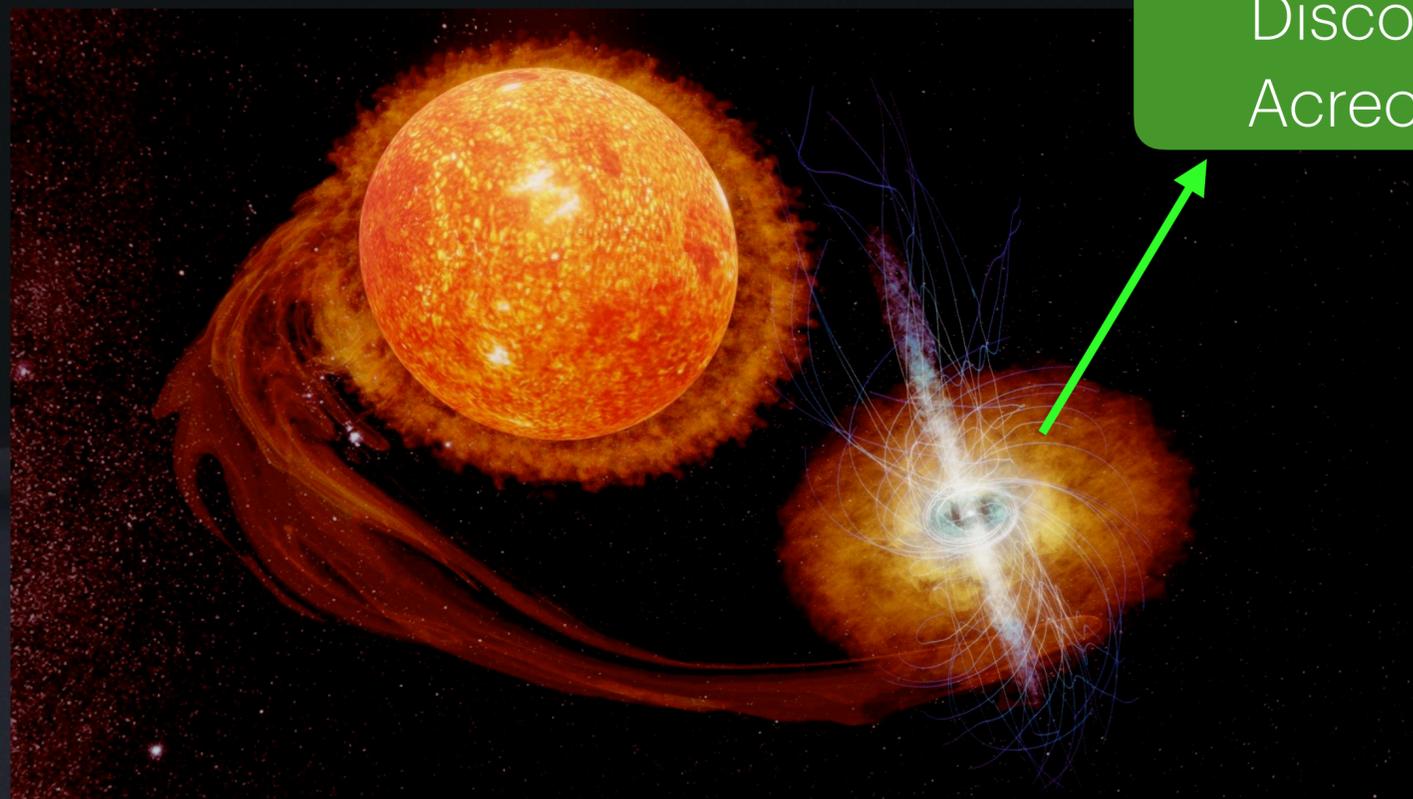
Acreción por Vientos

# Resumen

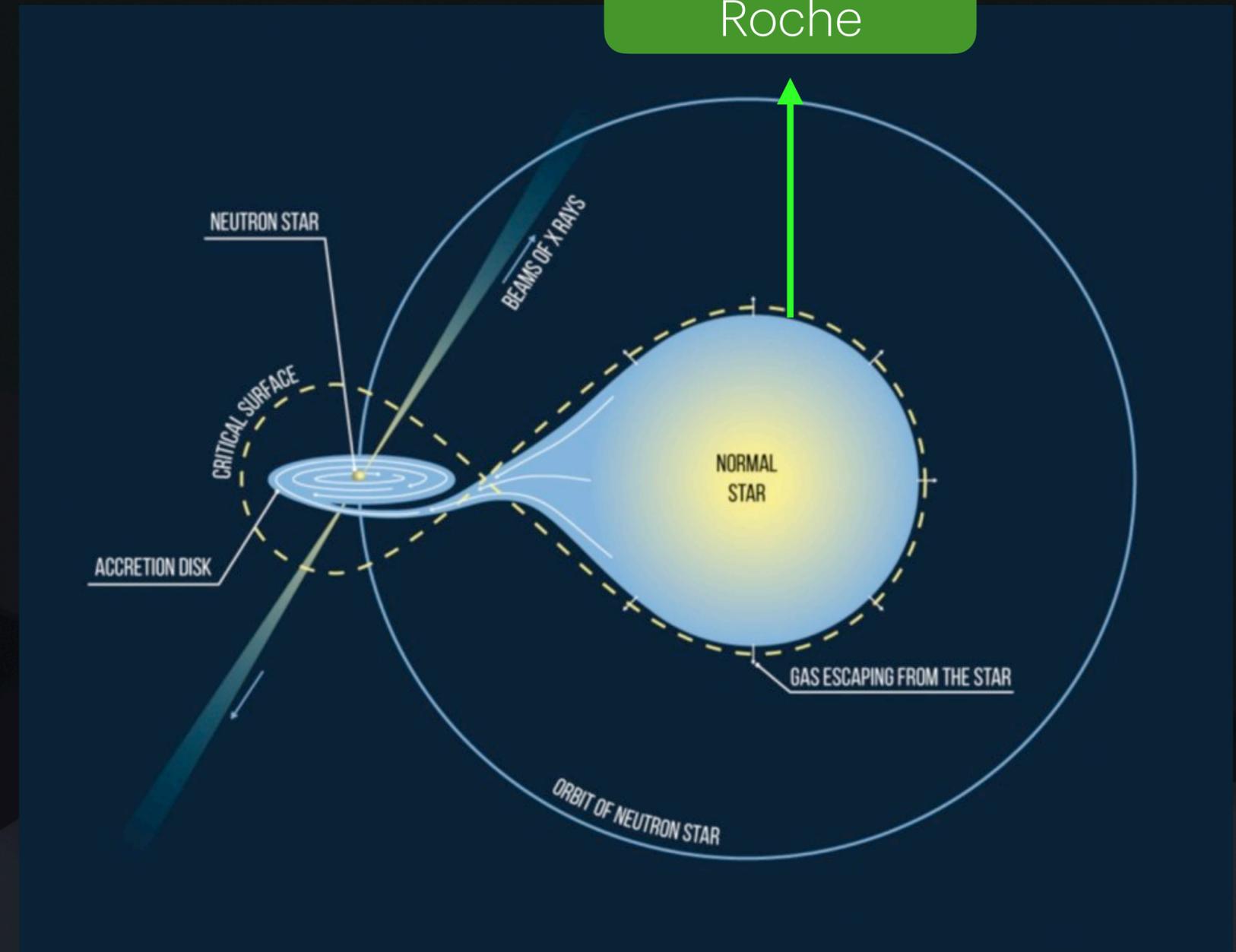
## Binarios de Rayos X

### Sistemas de Baja Masa (LMXBs)

Disco de Acreción



Lóbulo de Roche



# Sistemas Binarios de Rayos X

---

- Características:

- Tasa de transferencia de masa.
- Mecanismo de acreción.
- Luminosidad.
- Ciclo de actividad



## Propiedades de la configuración binaria.

- Separación
- Periodo orbital
- Excentricidad
- Naturaleza de la estrella donante
- Naturaleza del objeto compacto

# Sistemas Binarios de Rayos X

- Características:

- Tasa de transferencia de masa.
- Mecanismo de acreción.
- Luminosidad.
- Ciclo de actividad

Propiedades de la configuración binaria.

- Separación
- Periodo orbital
- Excentricidad
- Naturaleza de la estrella donante
- Naturaleza del objeto compacto

$$L_X \approx 5 \times 10^{35} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1} \left( \frac{M_*}{10M_\odot} \right)^{2.76} \left( \frac{M_c}{1.4M_\odot} \right)^2 \left( \frac{a}{10R_\odot} \right)^{-2} \left( \frac{v_\infty}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right)^{2.76} \left( 1 - 0.9 \frac{M_*}{M_\odot} \frac{R_\odot}{a} \right)^{-4\beta}$$

# Determinar el tipo de Objeto Compacto

---

Métodos de Observación principales:

- Estallidos y Pulsaciones:
  - Estallidos termonucleares (tipo I): Indican una superficie sólida, típica de estrellas de neutrones (NS).
  - Pulsaciones coherentes: Generadas por puntos calientes modulados por la rotación de la NS.
- Velocidad Radial y Masa Dinámica:
  - Estudios ópticos/infrarrojos que estiman la función de masa.
  - Límite inferior de  $\geq 3M_{\odot}$  confirma un agujero negro (BH).
- Acoplamiento Disco-Chorro:
  - Los BH son 5–20 veces más brillantes en radio que las NS para la misma luminosidad en rayos X.

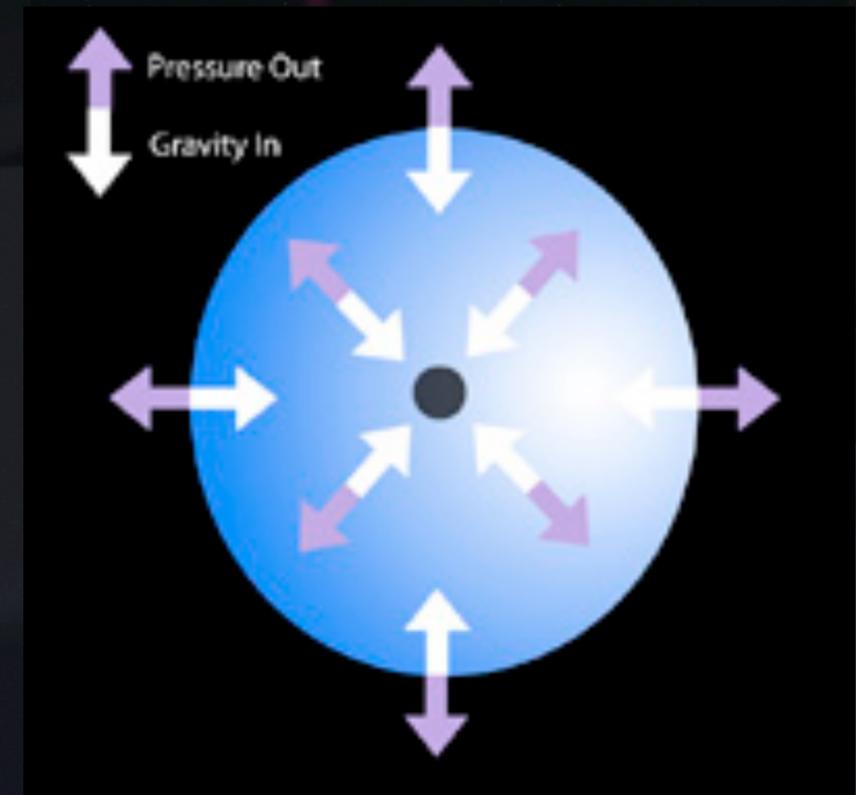
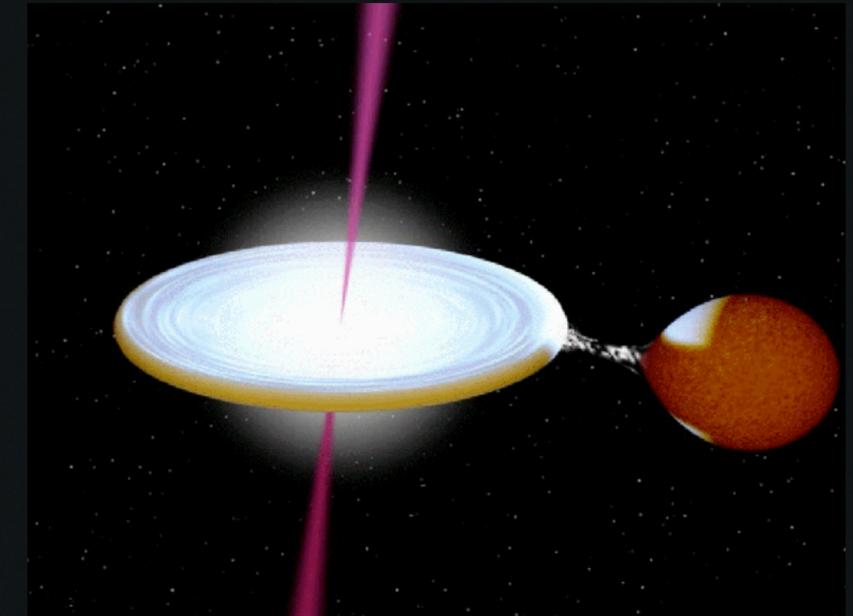
# Luminosidad de Eddington

Acreción

- La emisión de rayos X producida depende directamente de la tasa de acreción de masa.
- Mayor masa  Mayor luminosidad
- ¡Pero existe un límite físico para la tasa de acreción!

LUMINOSIDAD DE EDDINGTON

- Límite de Eddington: Luminosidad del sistema supera  $L_{\text{Edd}}$
- La presión de radiación resultante impide que continúe el proceso de acreción.



# Clasificación de LMXBs

---

Clasificación por configuración del sistema:

- LMXBs con estrella de MS o Gigante roja.
- Sistemas Binarios de Rayos X Ultra-Compactos (UCXBs)
- LMXBs Eclipsantes
- LMXBs Alimentados por Viento
- Acreción Canalizada Magnéticamente en LMXBs

# Clasificación de LMXBs

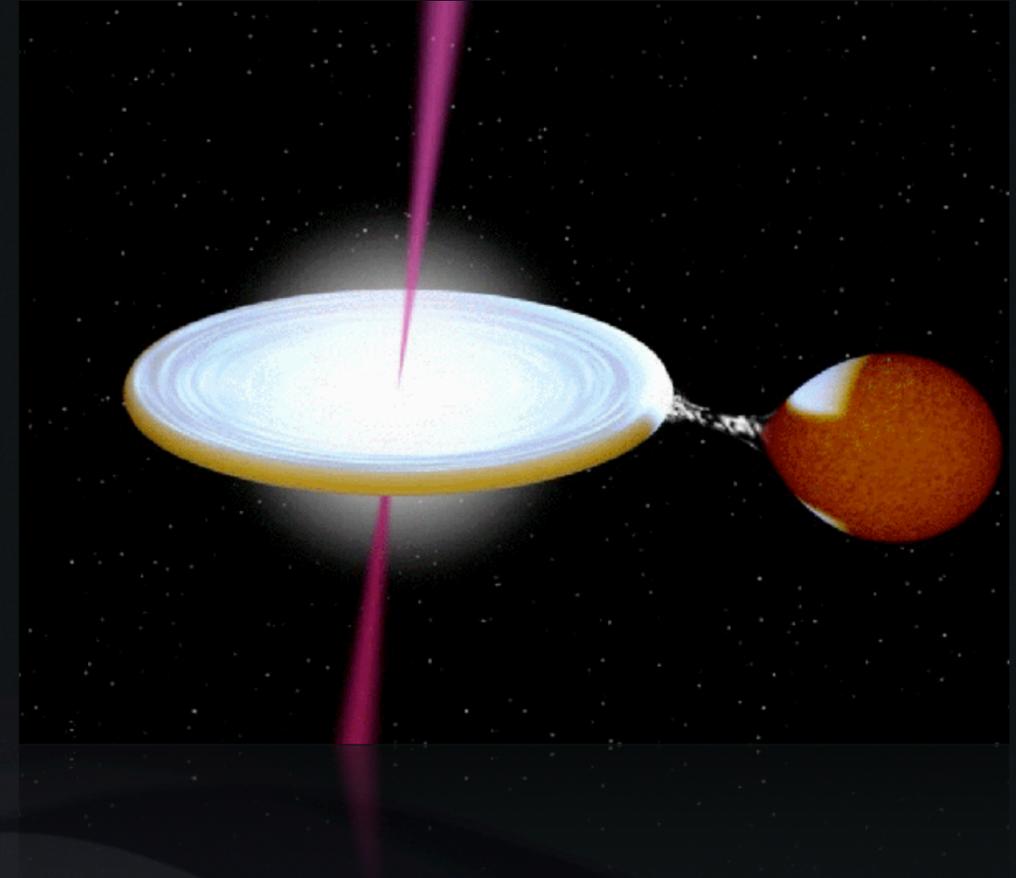
## LMXBs con estrella de MS o Gigante roja.

Periodo Orbital:

- Estrellas de secuencia principal: del orden de horas.
- Estrellas gigantes rojas: del orden de días o semanas.

Luminosidad y comportamiento en rayos X:

- En estallidos, alcanzan luminosidades de  $0.01 - 0.5L_{\text{Edd}}$
- En reposo, la luminosidad en rayos X es menor o igual a  $10^{-5}L_{\text{Edd}}$
- Durante la acreción activa, la emisión está dominada la acreción.



# Clasificación de LMXBs

## Sistemas Binarios de Rayos X Ultra-Compactos (UCXBs)

Periodo Orbital:

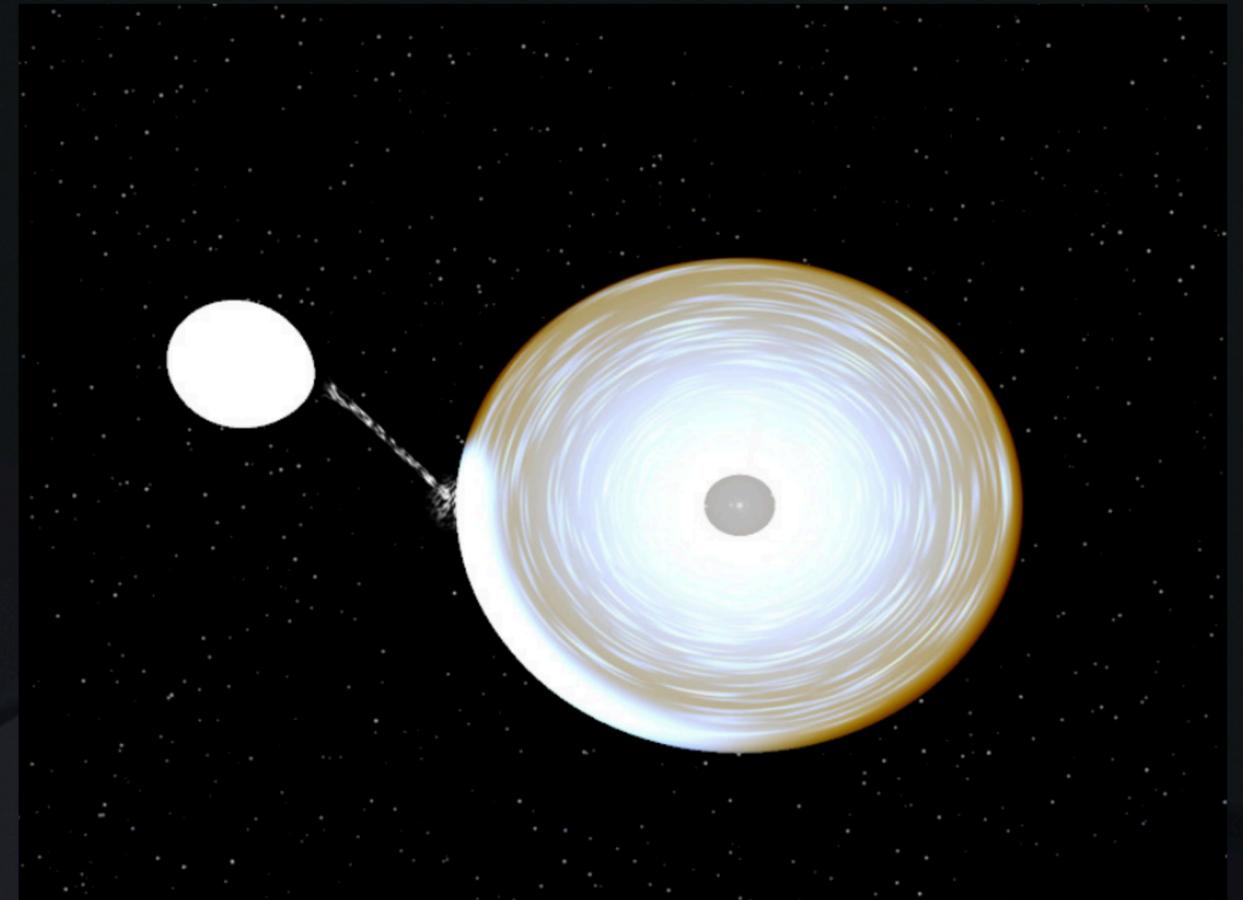
- Corto período orbital, que es de menos de  $\sim 80$  min

Estrella compañera:

- Sub-enana quemadora de He
- Enana blanca

Luminosos en rayos X:  $L_X > 10^{36} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

Transitorios: Períodos de reposo ( $L_X < 10^{32} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$ ) alternados con estallidos



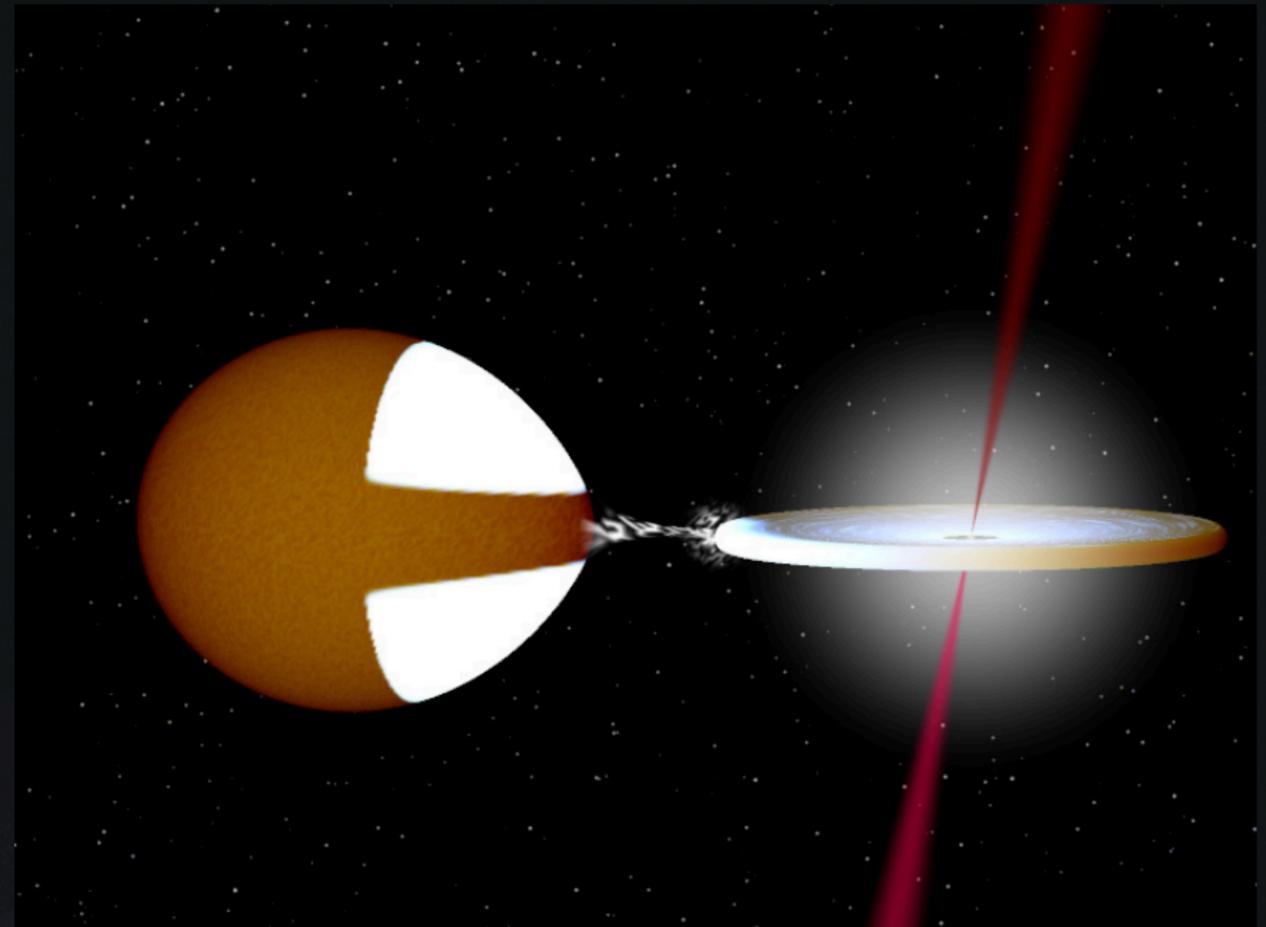
# Clasificación de LMXBs

## LMXBs Eclipsantes

Alto ángulo de inclinación ( $i \sim 90^\circ$ ) del plano orbital respecto a nuestra línea de visión

Se han identificado  $\sim 12$  en la Galaxia

- Propiedades del disco de acreción mediante mapeo de eclipses
- Evolución del período orbital en escalas de años o décadas
- La física de los jets mediante el estudio de eclipses en la banda de radio



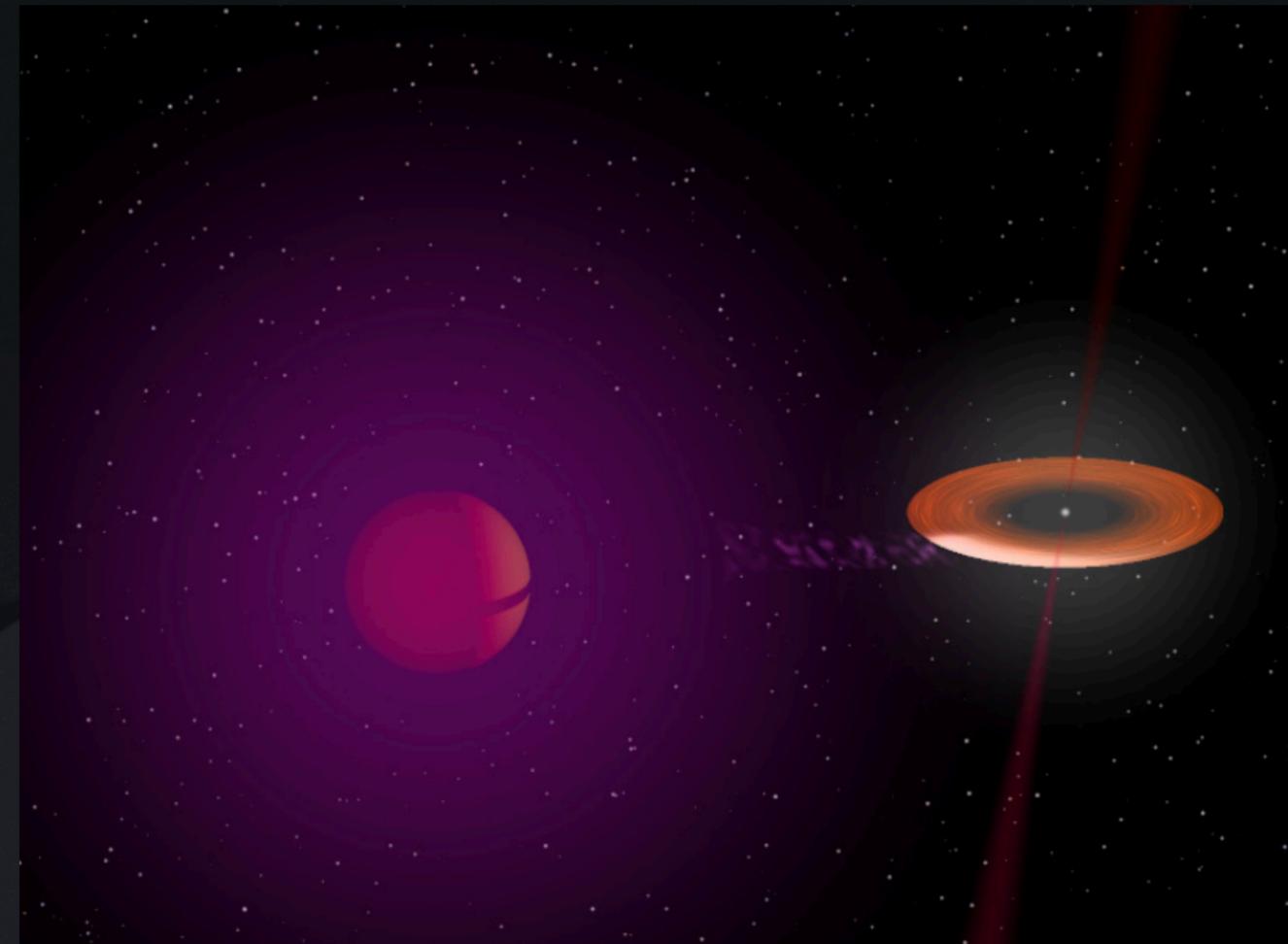
# Clasificación de LMXBs

## Simbióticas de Rayos X

Ausencia de acreción por desbordamiento del lóbulo de Roche.

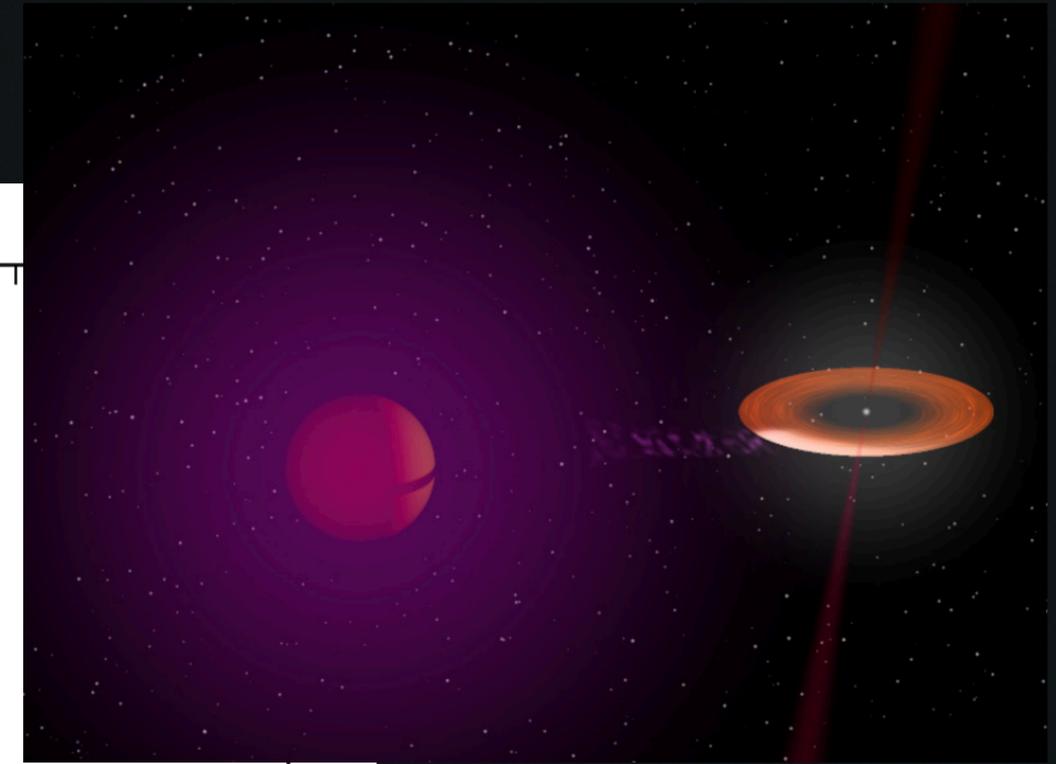
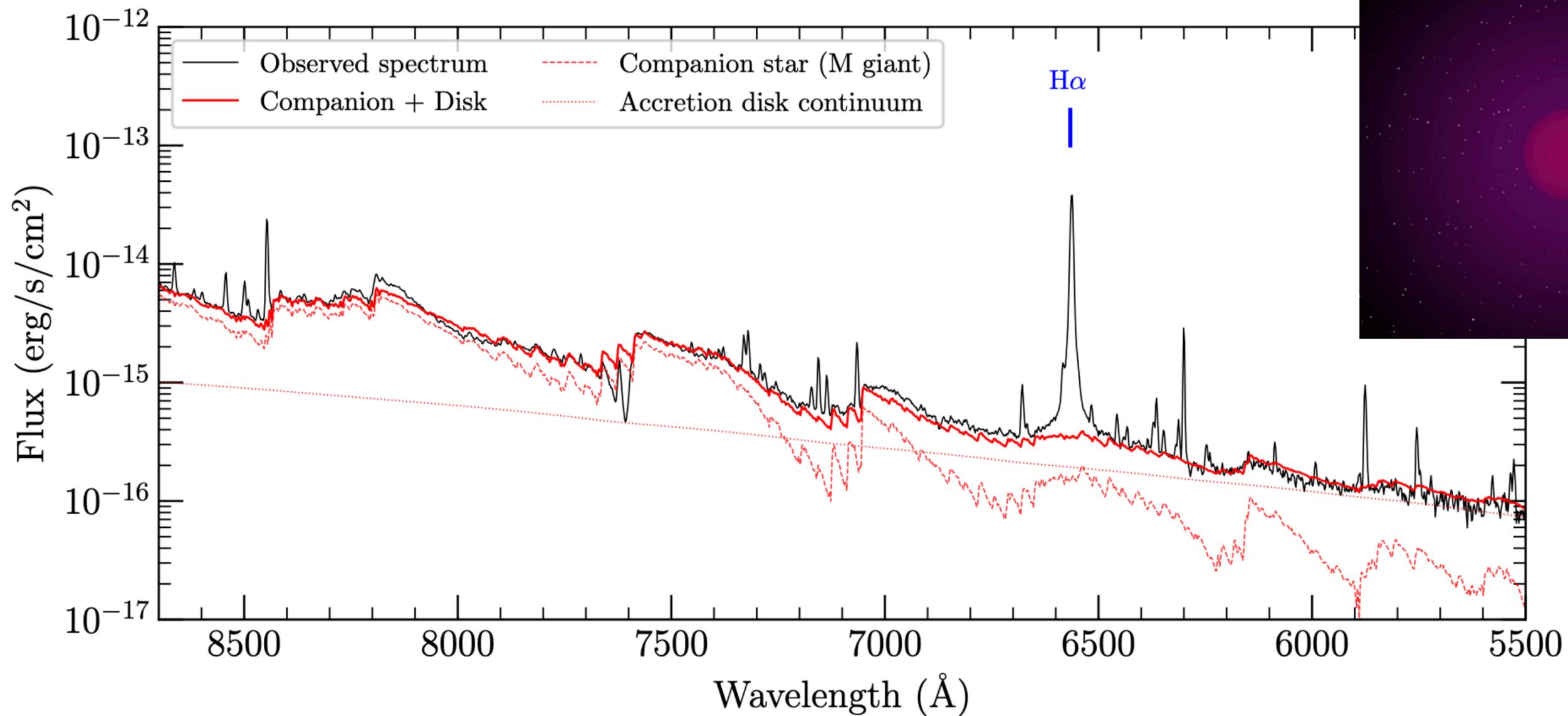
Objeto compacto acreta material proveniente de los vientos de una gigante roja (tipo K-M III)

- Fuerte variabilidad rápida: Escalas de horas o días.
- Largos periodos orbitales: decenas a miles de días.
- Emisión visible/NIR dominada por la estrella compañera



# Clasificación de LMXBs

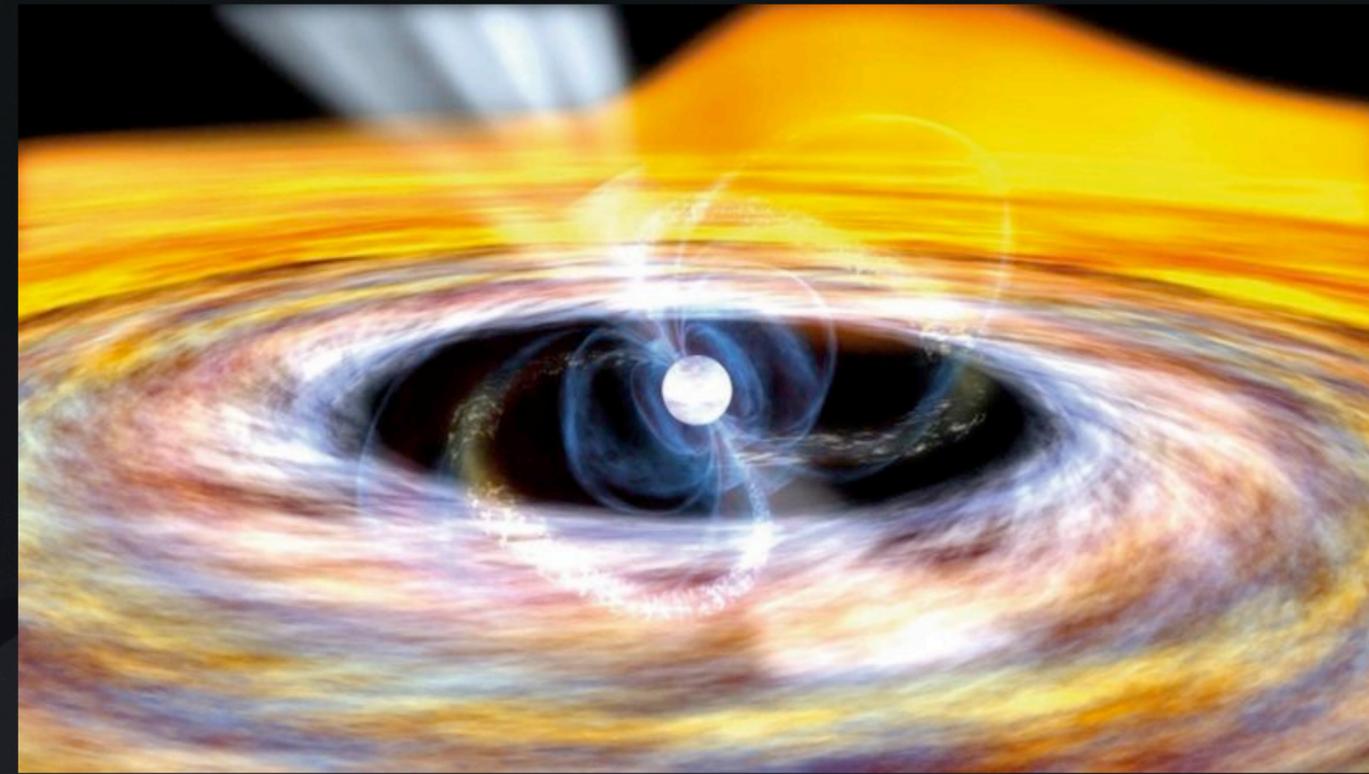
## Simbióticas de Rayos X



# Clasificación de LMXBs

## Acreción Canalizada Magnéticamente en LMXBs

- Acreción del material canalizado a lo largo de las líneas del campo magnético de la NS hacia sus polos magnéticos.
- Formación de puntos calientes que generan pulsaciones de rayos X
- Pulsares de Rayos X de Milisegundos en Acreción (AMXP): pulsaciones rápidas de rayos X, en un rango de ~1-10 ms
- Campos magnéticos débiles  $< 10^9 G$



De las principales características en binarios de rayos X es la variabilidad:

La luminosidad de los LMXBs:

- $L_X \sim 10^{30}$  (estado de reposo)
- $L_X \sim 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$  (acreción cerca del LE)

Se pueden clasificar a los LMXBs en dos tipos:

- Variabilidad a largo plazo: Meses a años.
- Variabilidad a corto plazo: Días a segundos.

# Variabilidad

## LMXBs

De las principales características en binarios de rayos X es la variabilidad:

La luminosidad de los LMXBs:

- $L_X \sim 10^{30}$  (estado de reposo)
- $L_X \sim 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$  (acreción cerca del LE)

Se pueden clasificar a los LMXBs en dos tipos:

- Variabilidad a largo plazo: Meses a años.
- Variabilidad a corto plazo: Días a segundos.

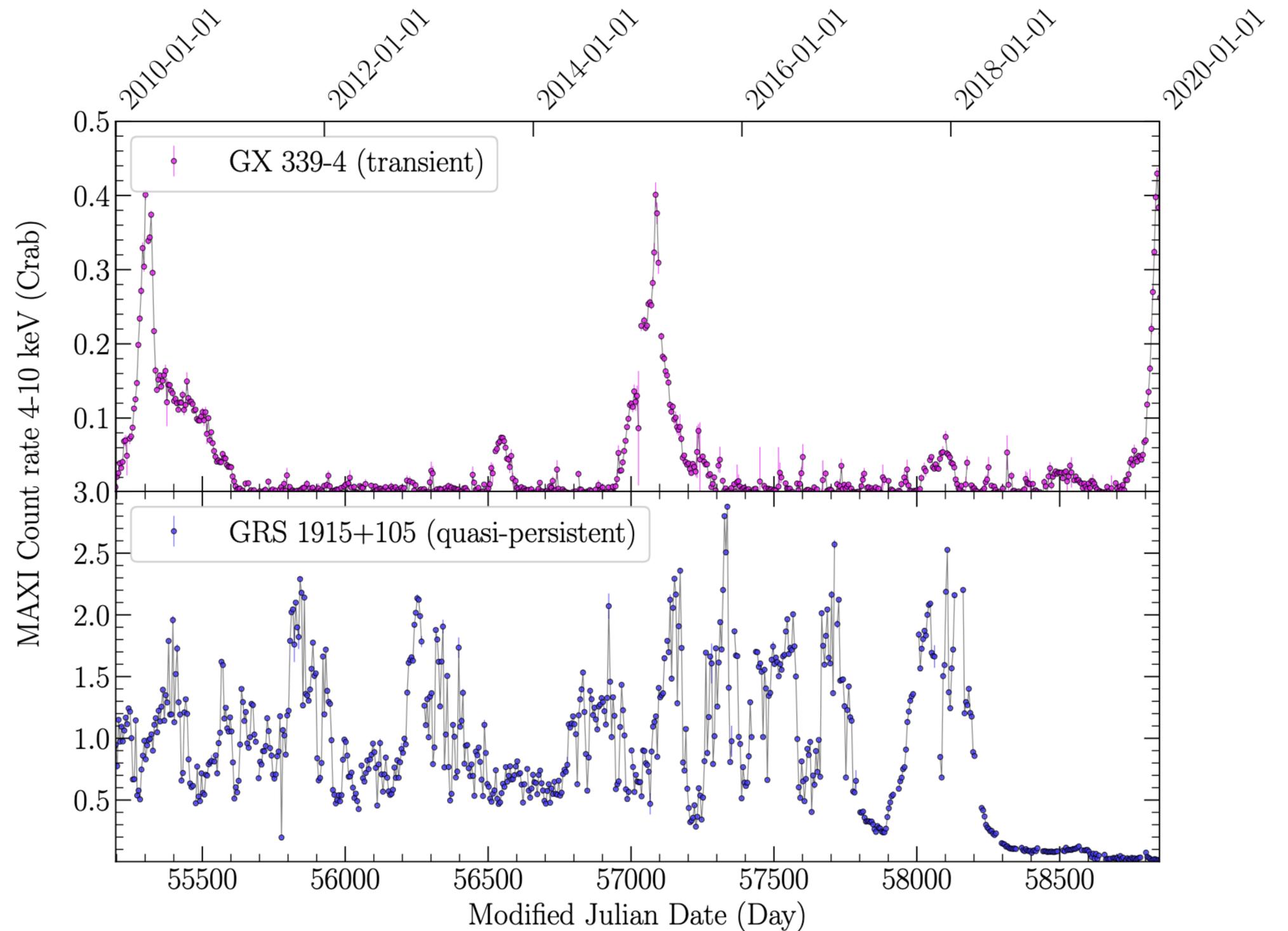
- LMXBs Persistentes:
  - Acreción constante, variabilidad en  $L_X$
- LMXBs Transitorios:
  - Grandes fluctuaciones en  $L_X$ , cambios en un factor  $> 1000$

# Variabilidad

LMXBs

- LMXBs Transitorios

- LMXBs Persistentes



# Variabilidad

LMXBs

De las principales características en binarios de rayos X es la variabilidad:

La luminosidad de los LMXBs:

- $L_X \sim 10^{30}$  (estado de reposo)
- $L_X \sim 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$  (acreción cerca del LE)

Se pueden clasificar a los LMXBs en dos tipos:

- Variabilidad a largo plazo: Meses a años.
- Variabilidad a corto plazo: Días a segundos.

- Cambios rápidos en  $L_X$ :
- Diferentes estados espectrales
- Variación morfológica del disco de acreción

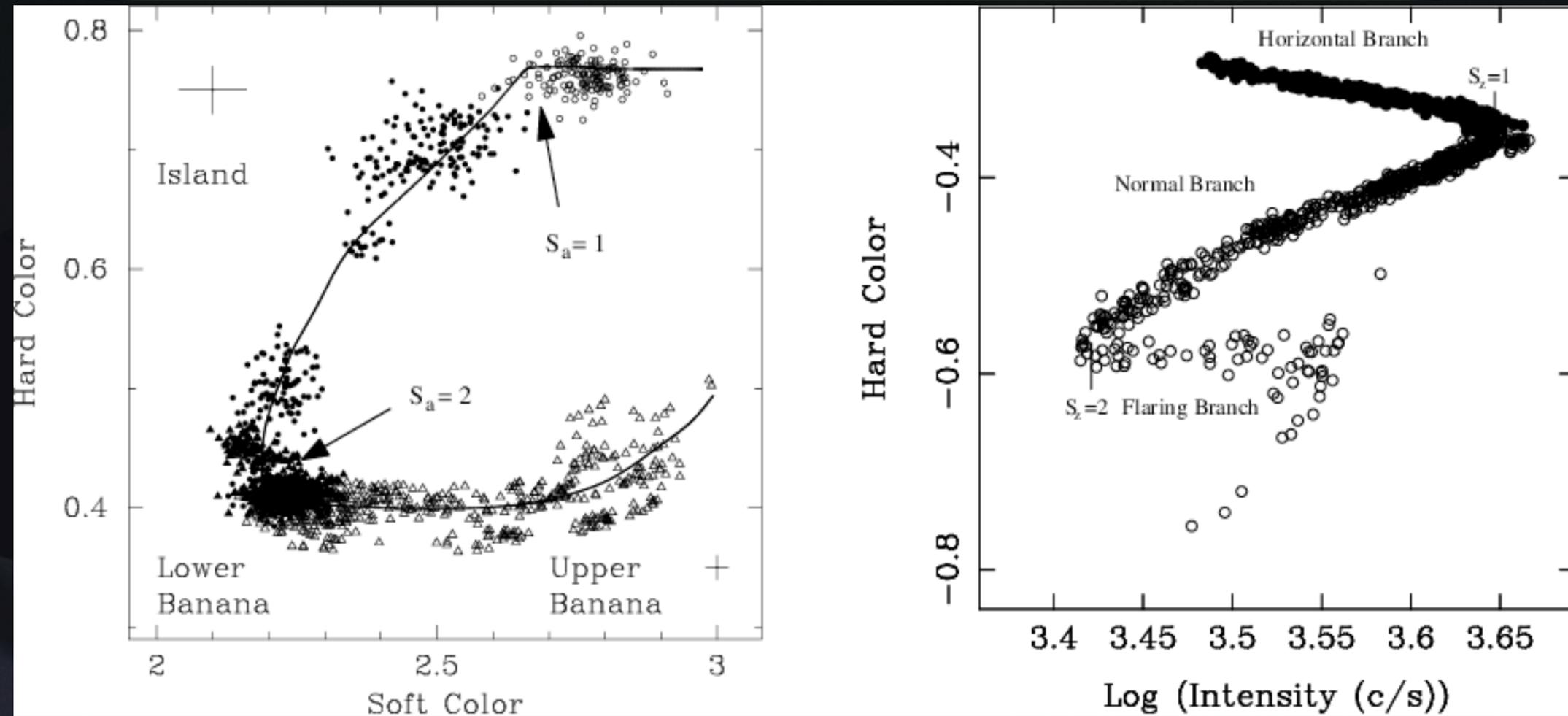
# Variabilidad

LMXBs

- Variabilidad a corto plazo

- Se toman 4 bandas de energía: A, B, C y D (crecientes)
- Soft Color: B/A
- Hard Color: D/C

- Ejemplos:
  - Fuentes Z
  - Fuentes Atoll



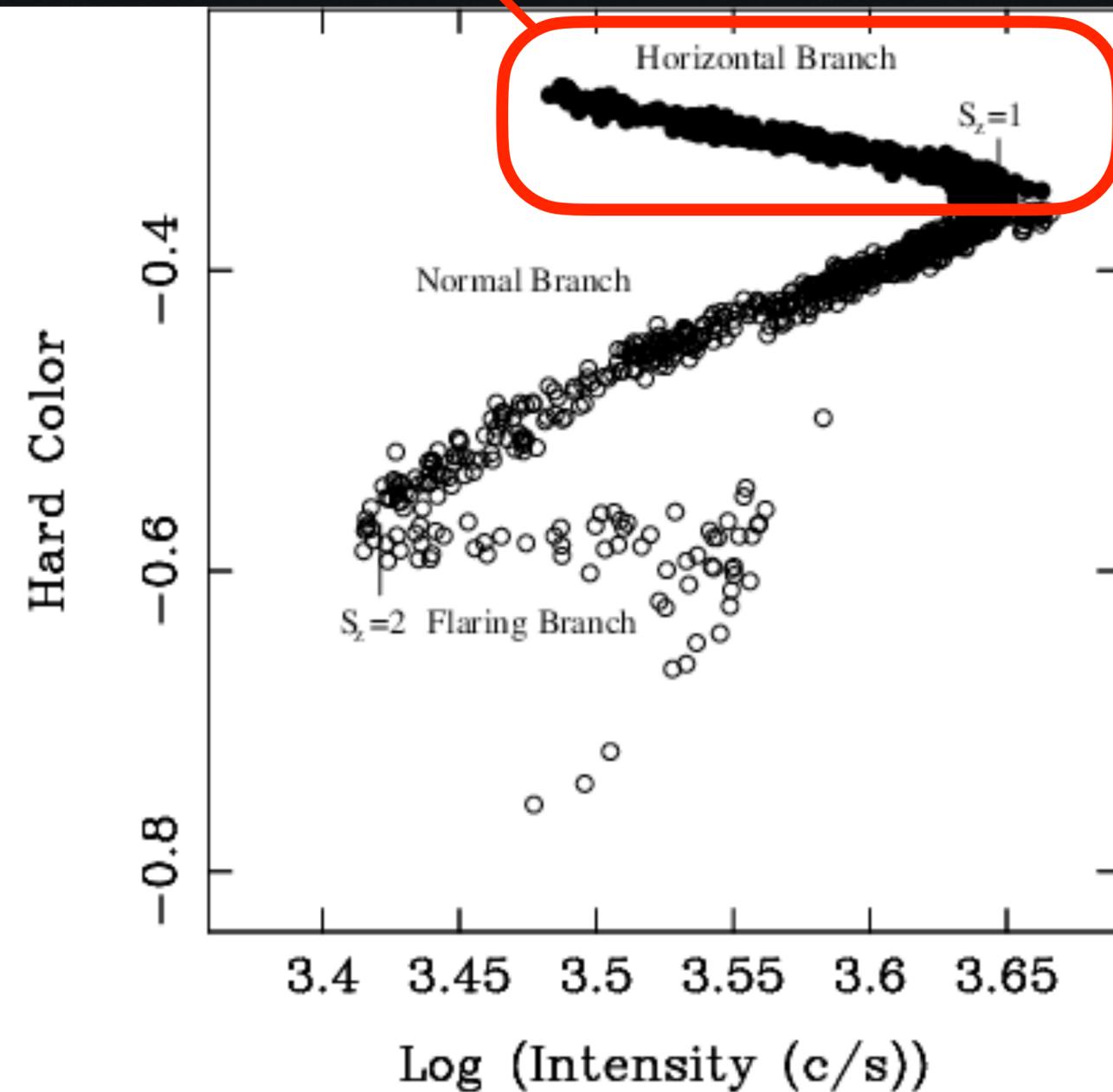
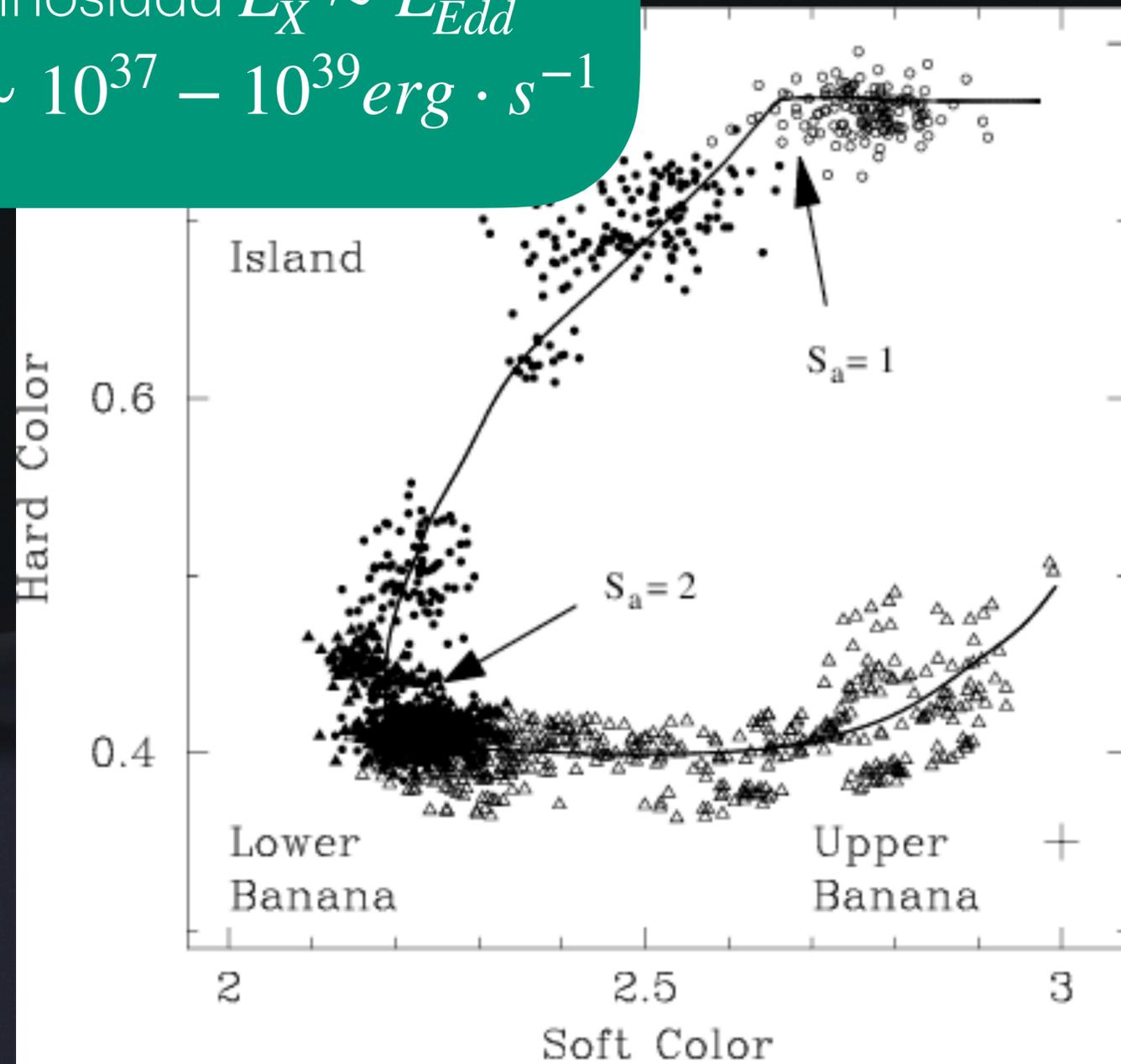
# Variabilidad

LMXBs

Fuentes Z:

- Luminosidad  $L_X \sim L_{Edd}$
- $L_X \sim 10^{37} - 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

- Emisión dominada por disco interno. Alta luminosidad



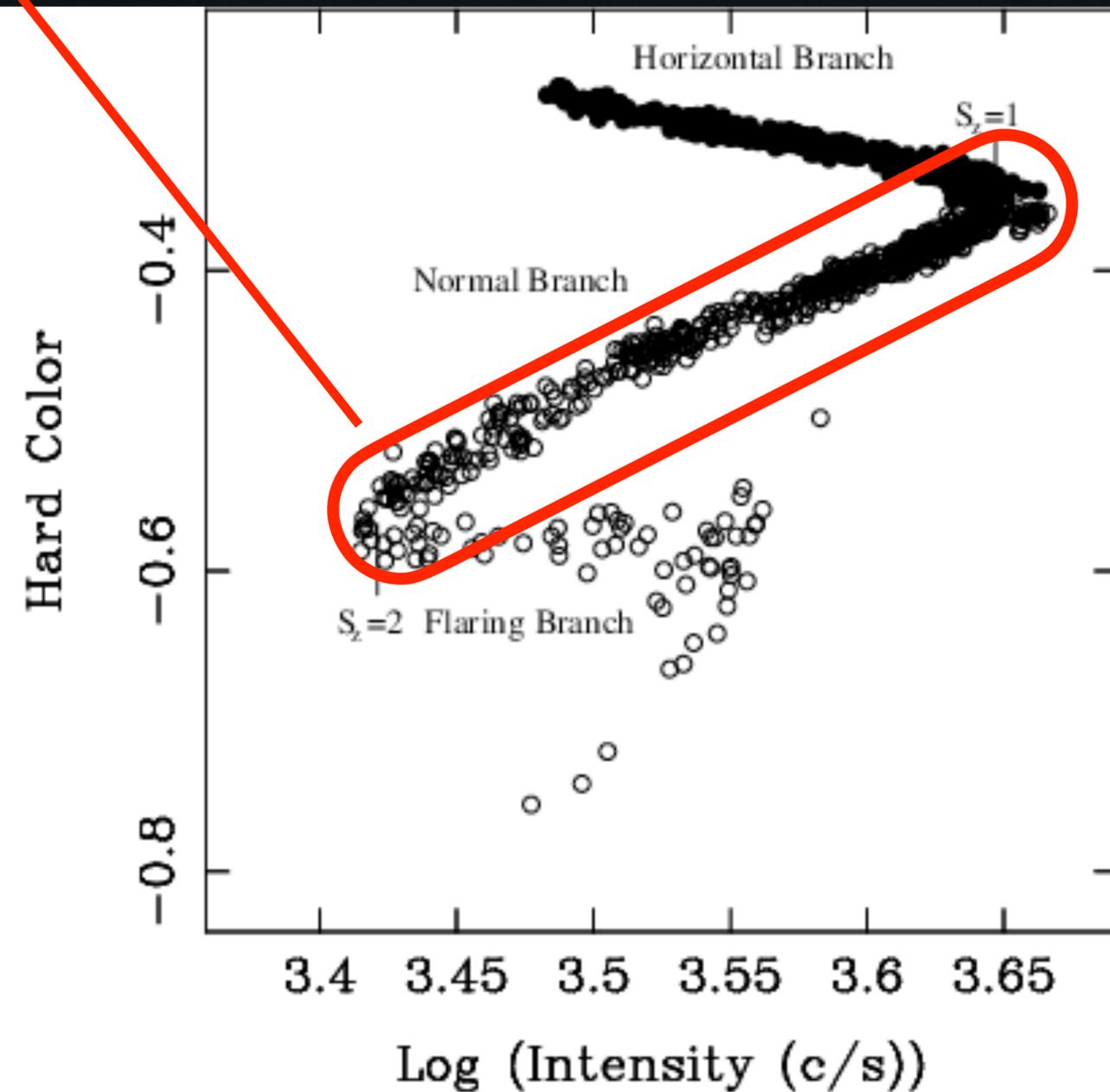
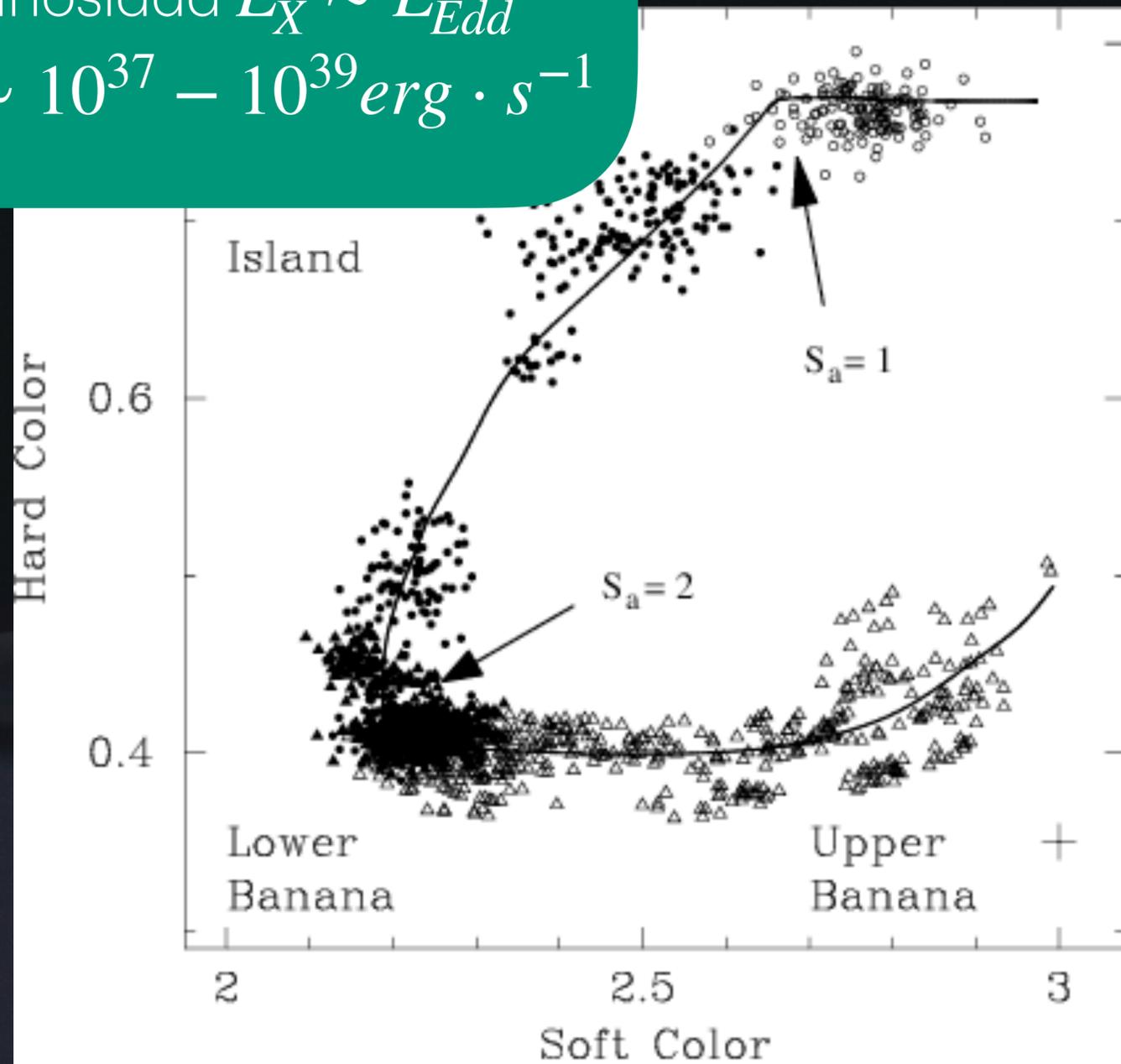
# Variabilidad

LMXBs

Fuentes Z:

- Luminosidad  $L_X \sim L_{Edd}$
- $L_X \sim 10^{37} - 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

- Transición entre disco y corona



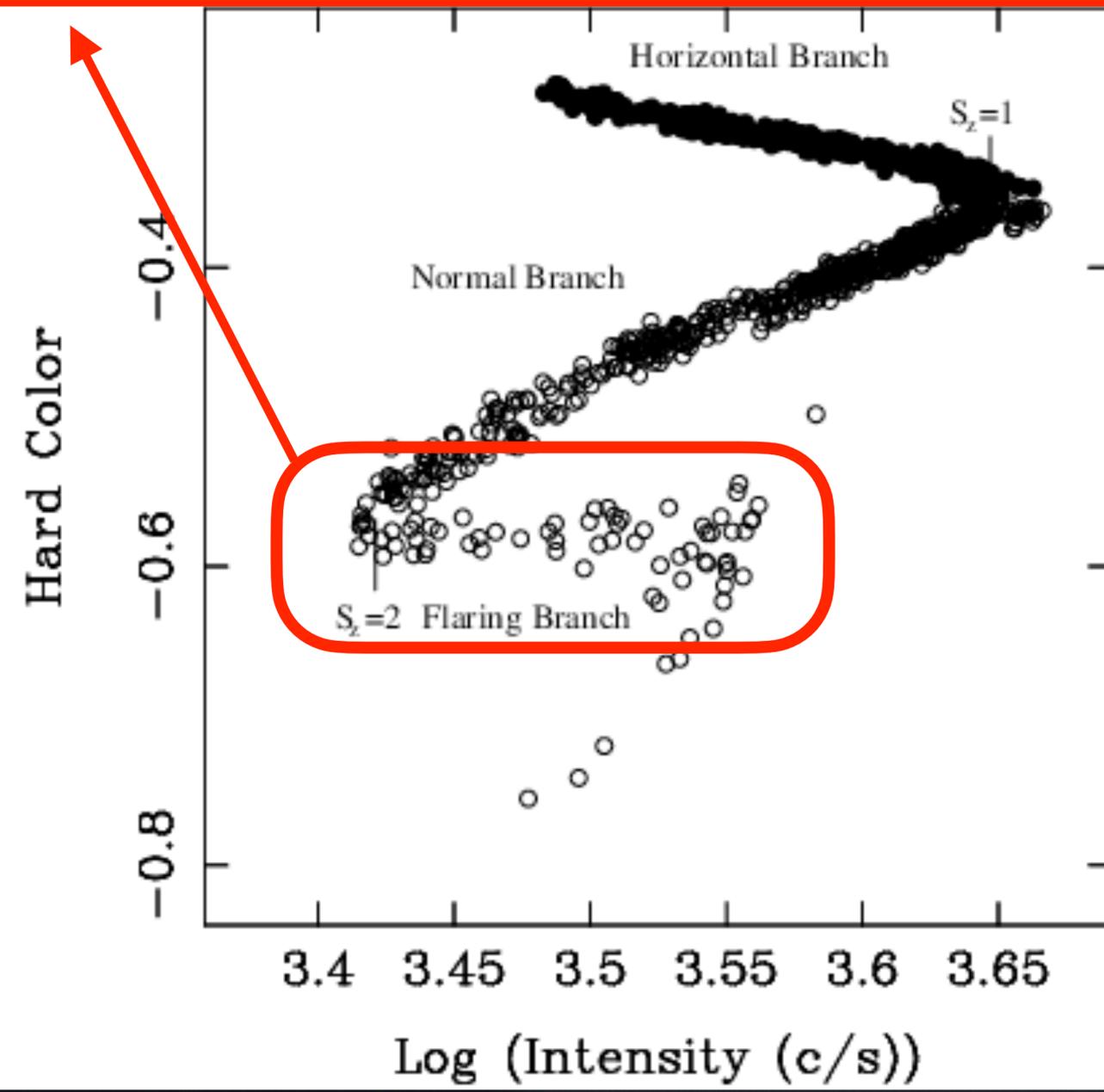
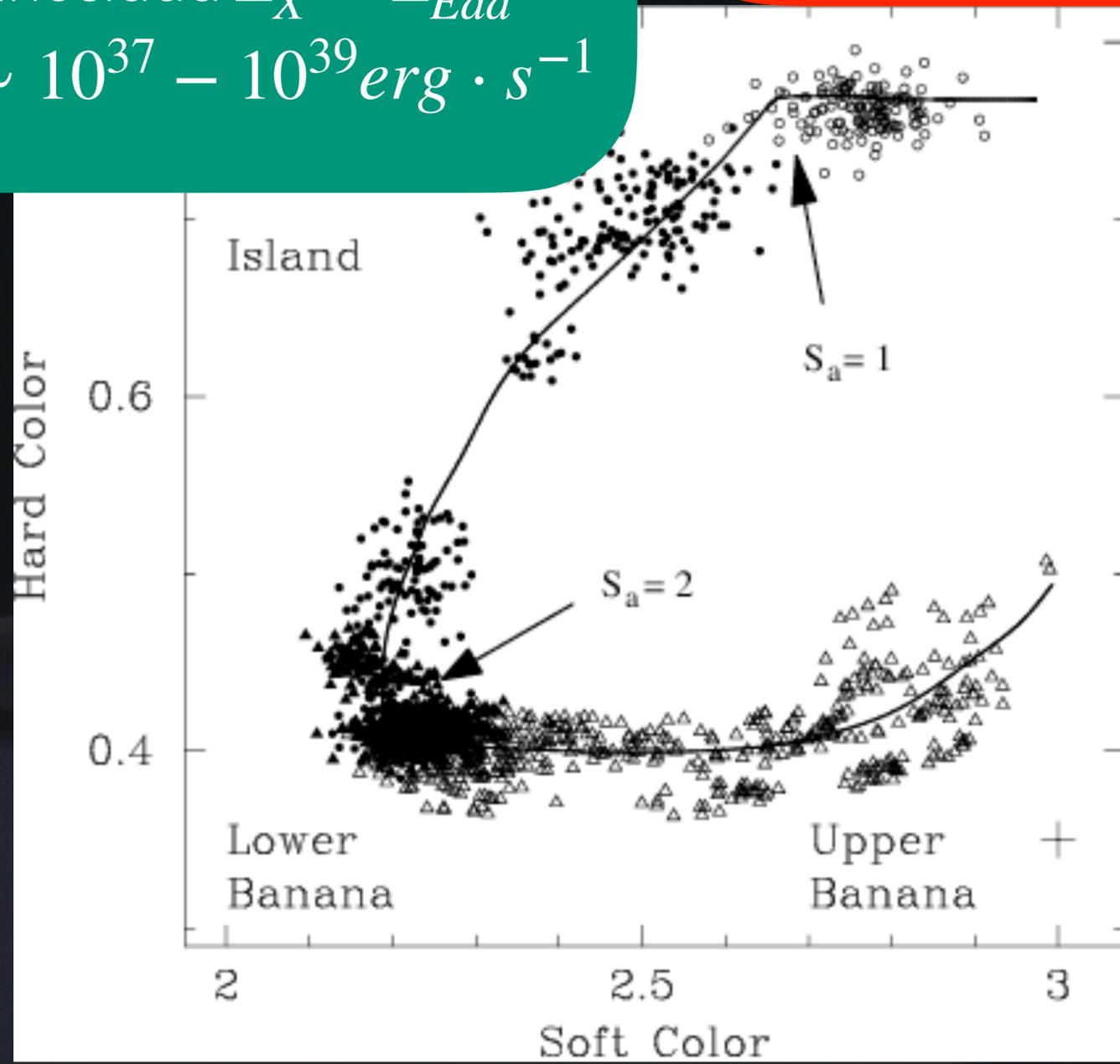
# Variabilidad

LMXBs

Fuentes Z:

- Luminosidad  $L_X \sim L_{Edd}$
- $L_X \sim 10^{37} - 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

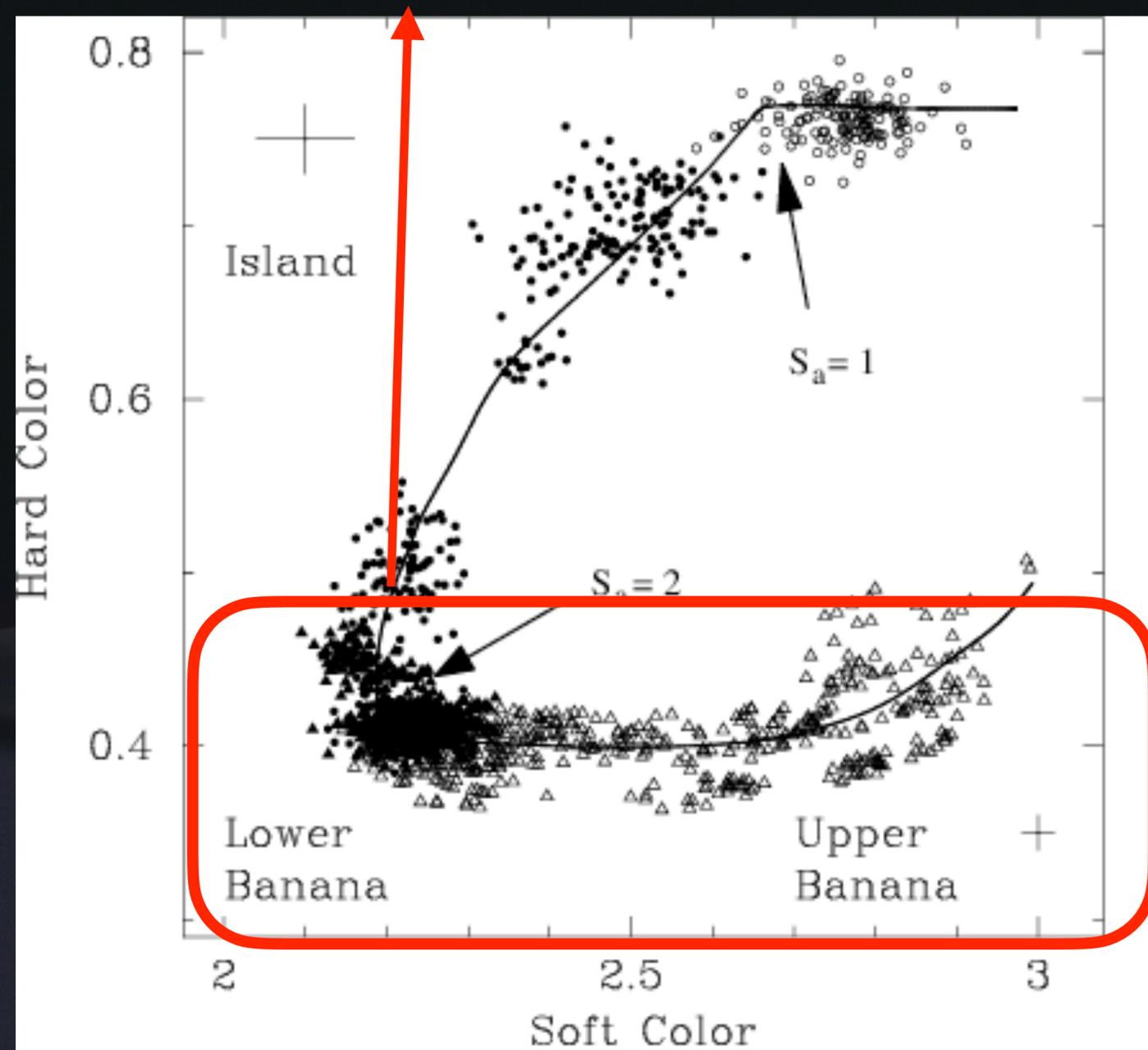
- Variaciones rápidas e intensas de  $L_X$
- Emisión térmica: procesos inhomogéneos en el disco o vientos de acreción.



# Variabilidad

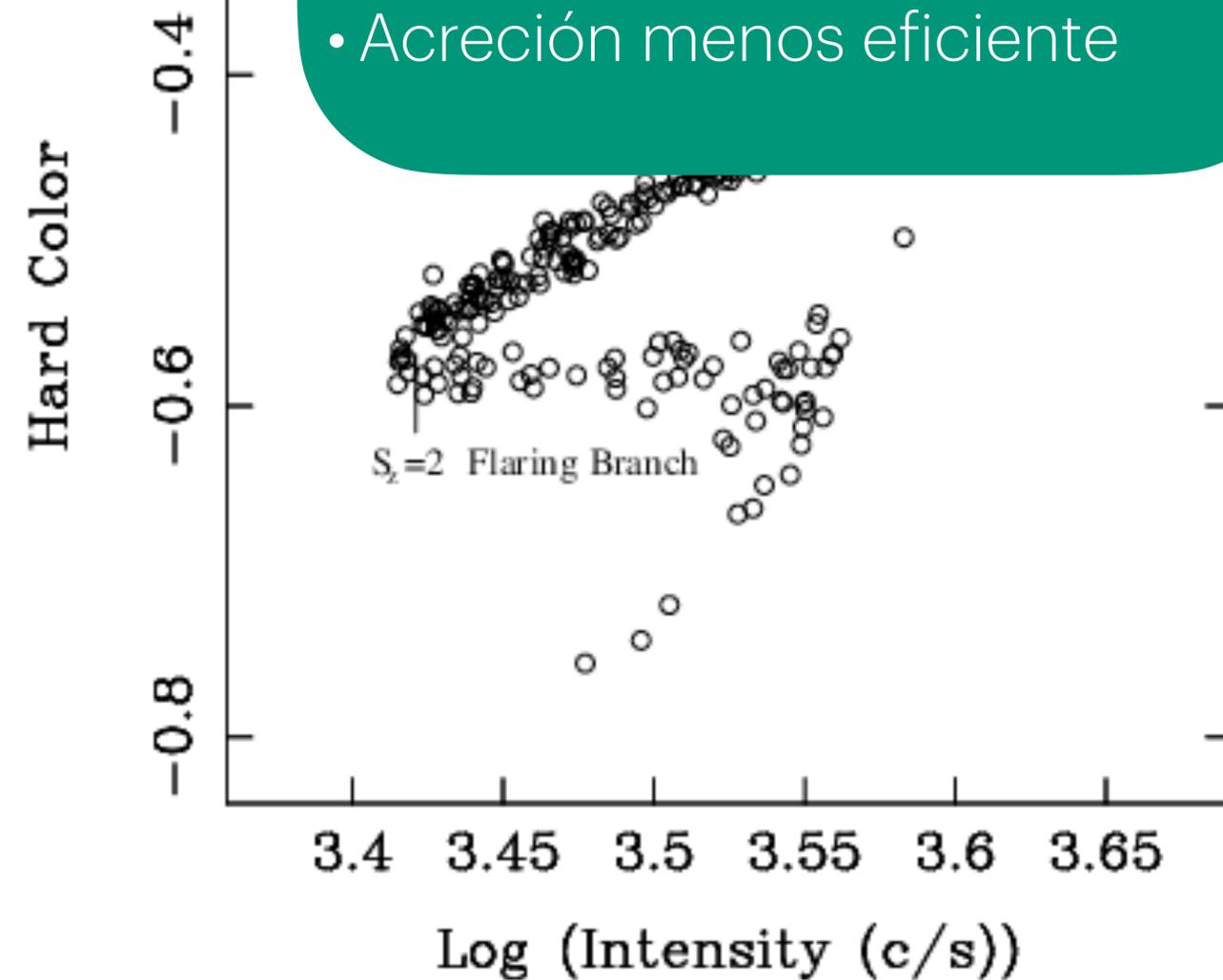
LMXBs

- Bajo dura: Dominada por la corona



Fuentes Atoll:

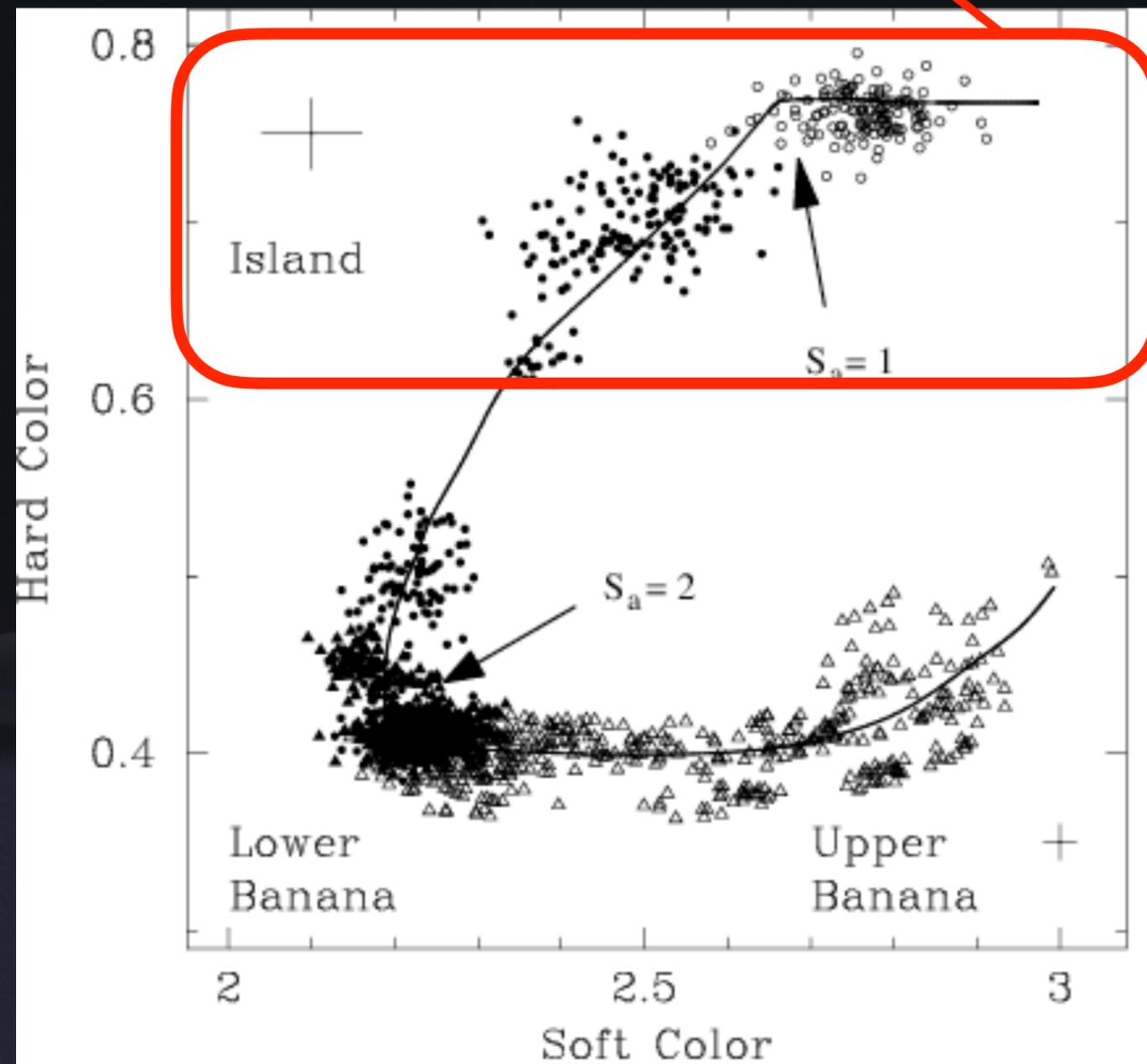
- Luminosidades más bajas
- $L_X \sim 10^{36} - 10^{37} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Acreción menos eficiente



# Variabilidad

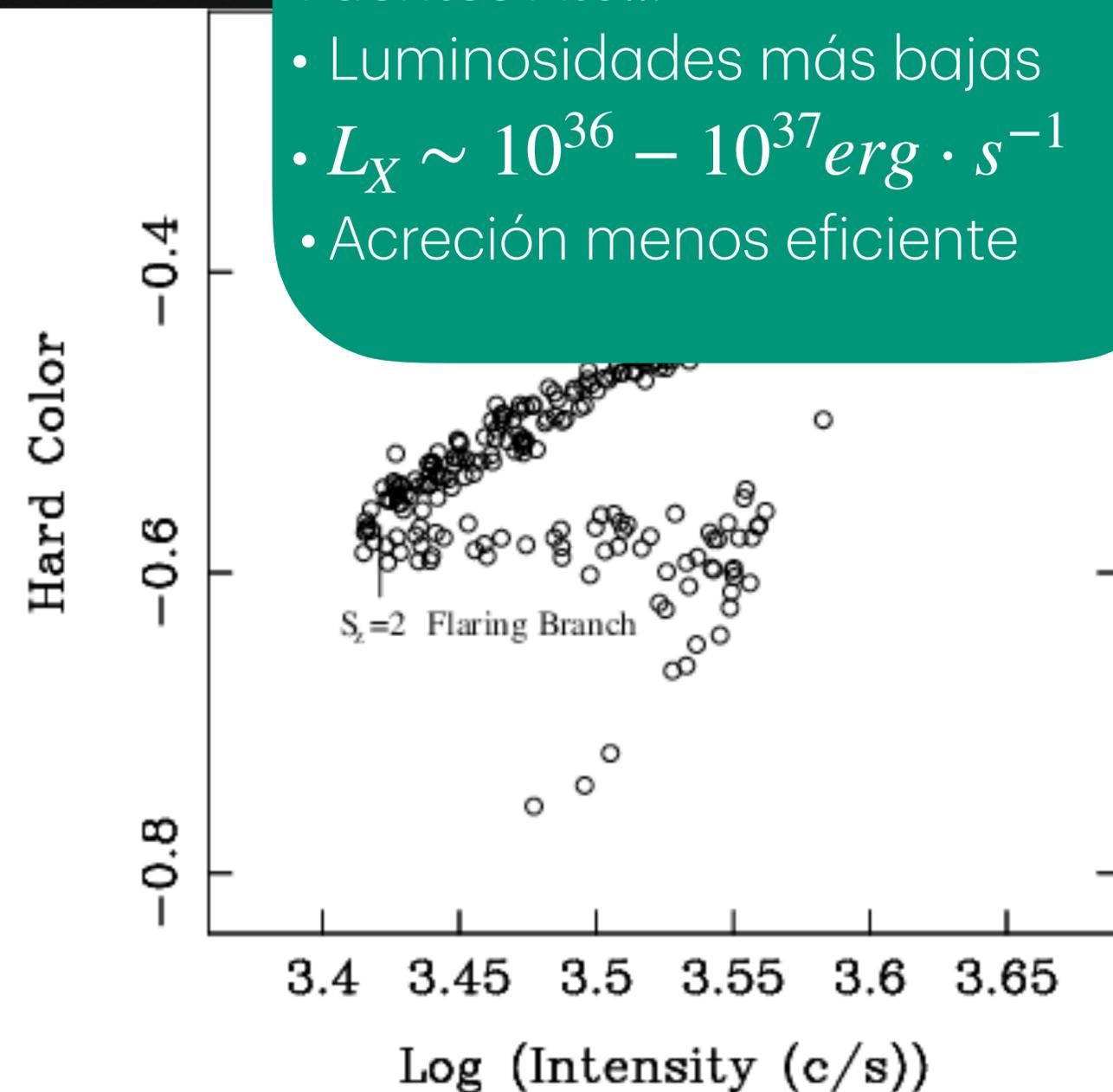
LMXBs

- Bajo dura: Dominada por el disco



Fuentes Atoll:

- Luminosidades más bajas
- $L_X \sim 10^{36} - 10^{37} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Acreción menos eficiente



Los LMXBs se pueden clasificar por su luminosidad:

- Muy brillantes:  $L_X \sim 10^{37} - 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

- Tenues:  $L_X \sim 10^{36} - 10^{37} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

- Muy Tenues (VFXBs):  $L_X < 10^{36} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$

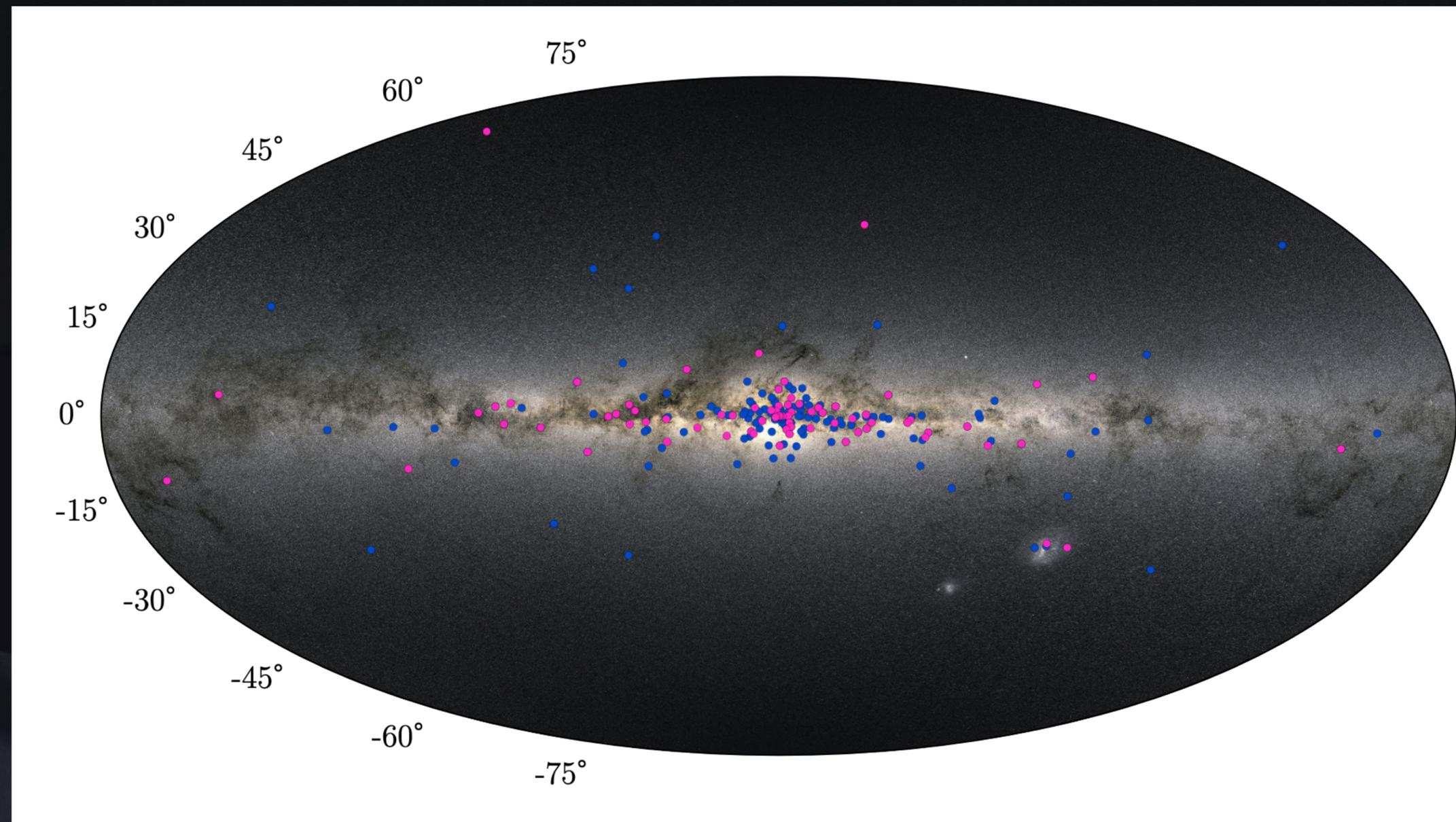
- Difíciles de detectar:
  - SWIFT, INTEGRAL
- Albergan NS:
  - Explosiones Termonucleares

- Al formarse el objeto compacto se genera una patada, lo que desplaza al LMXB de su lugar de nacimiento.
  - Si no se mueven, trazan regiones viejas de formación estelar (CG, bulbo)
- Los HMXBs tienen una estrella compañera muy masiva, pasan la mayor parte de su vida en el lugar de nacimiento.
  - Trazadores de regiones de formación estelar.

# Distribución en la Galaxia

LMXBs

- La distribución de los LMXBs:
  - Mayor concentración en la región central de la galaxia ( $R \sim 2\text{kpc}$ )
  - $\sim 50\%$  se encuentran en el disco.
  - $\sim 25\%$  se encuentran en el bulbo.

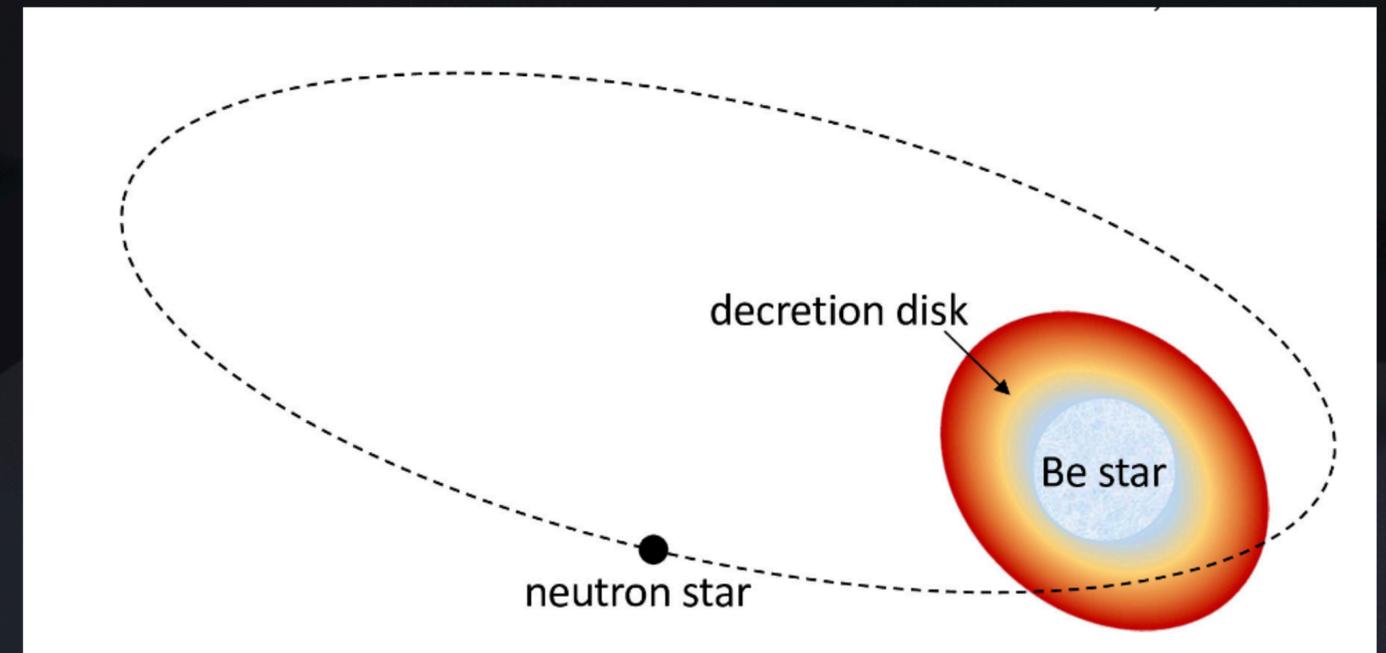


# Clasificación de HMXBs

La mayoría de los objetos compactos aciertan material por vientos en los HMXBs, se clasifican por:

- Tipo espectral de estrella compañera:
  - Supergigantes (Sg XBs).
  - Estrellas Be (Be XBs).
  - Estrellas Wolf-Rayet
  - Binarias de rayos gamma
  - Ultraluminosos de rayos X (ULXs)
- Tipo de objeto compacto

- NS orbitando una estrella Be.
- Disco ecuatorial decrecional (vientos lentos)

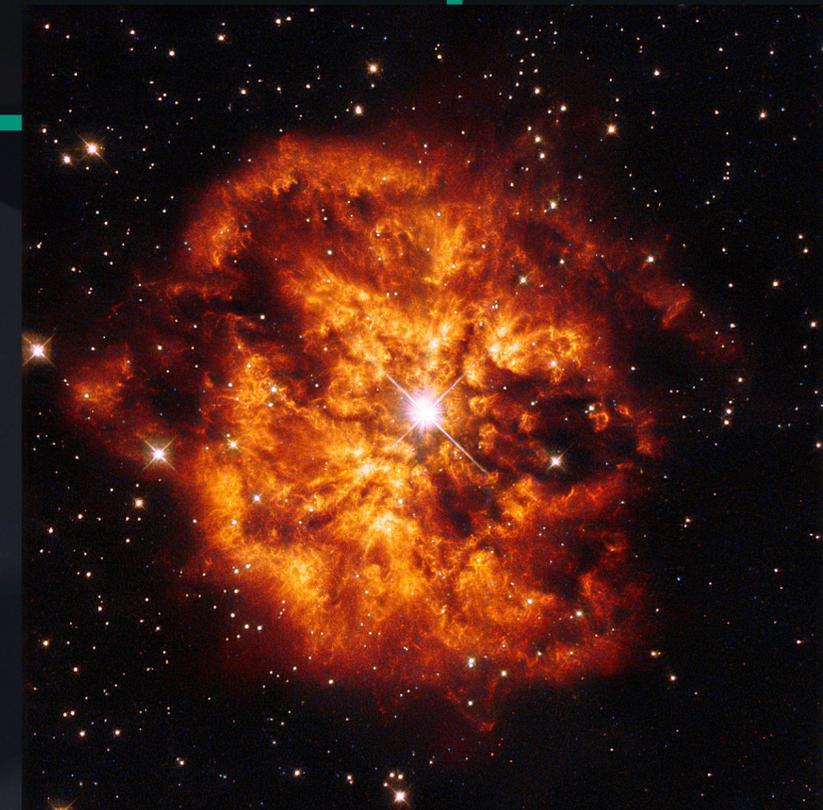


# Clasificación de HMXBs

La mayoría de los objetos compactos aciertan material por vientos en los HMXBs, se clasifican por:

- Tipo espectral de estrella compañera:
  - Supergigantes (Sg XBs).
  - Estrellas Be (Be XBs).
  - Estrellas Wolf-Rayet
  - Binarias de rayos gamma
  - Ultraluminosos de rayos X (ULXs)
- Tipo de objeto compacto

- Estrella WR donante.
- Posible formación de sistema binario de objetos compactos.
- **Cygnus X-3**



HMXBs en rayos gamma

# Clasificación de HMXBs

---

La mayoría de los objetos compactos aciertan material por vientos en los HMXBs, se clasifican por:

- Tipo espectral de estrella compañera:

- Supergigantes (Sg XBs).
- Estrellas Be (Be XBs).
- Estrellas Wolf-Rayet

- Binarias de rayos gamma

- Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

- Tipo de objeto compacto

- Estrella WR donante.
- Posible formación de sistema binario de objetos compactos.
- **Cygnus X-3**

# Clasificación de HMXBs

---

## Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

- Fuentes puntuales con luminosidades:  $L_X \sim (1 - 2) \cdot 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Corresponde al límite de Eddington para BH de  $M \sim 10 - 20 M_\odot$
- Posible explicación: acreción por desbordamiento del RL tasa de acreción super-Eddington.
- Discos de acreción supercríticos:
  - Vientos potentes que se originan en discos gruesos durante la acreción supercrítica.
  - Ondas de choque producidas por jets relativistas o vientos.

# Clasificación de HMXBs

## Ultraluminosos de rayos X (ULXs)

Ejemplo: Microcuáasar SS 433

- Fuentes puntuales con luminosidades:  $L_X \sim (1 - 2) \cdot 10^{39} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$
- Corresponde al límite de Eddington para BH de  $M \sim 10 - 20M_\odot$
- Posible explicación: acreción por desbordamiento del RL tasa de acreción super-Eddington.
- Discos de acreción supercríticos:
  - Vientos potentes que se originan en discos gruesos durante la acreción supercrítica.
  - Ondas de choque producidas por jets relativistas o vientos.