



Los efectos de un jet auto-regulado durante la fase de la envoltente común en sistemas binarios

Diego López-Cámara (IA-UNAM)

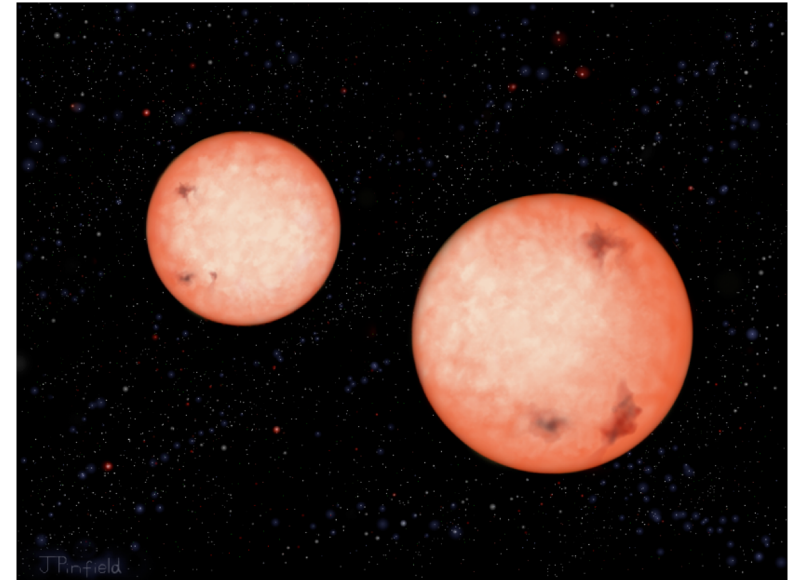
Fabio De Colle (ICN-UNAM)

Enrique Moreno-Méndez (FC-UNAM)

BSs (intro)

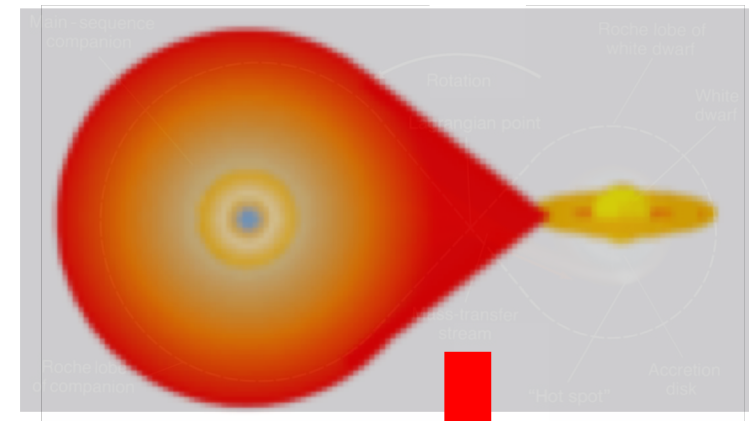
La mayoría (~50-71%) de las estrellas masivas se encuentran en sistemas binarios (BSs).

(Sana et al. 2012, 2013)



Roche Lobe (RL)

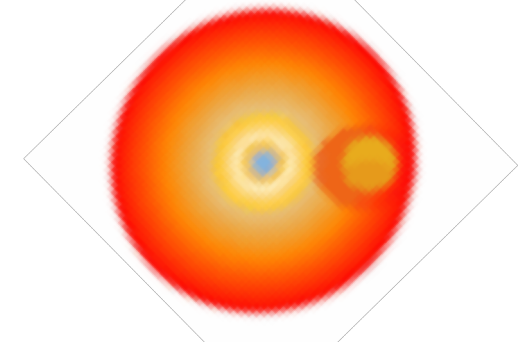
(Brown & Weingartner 1994)



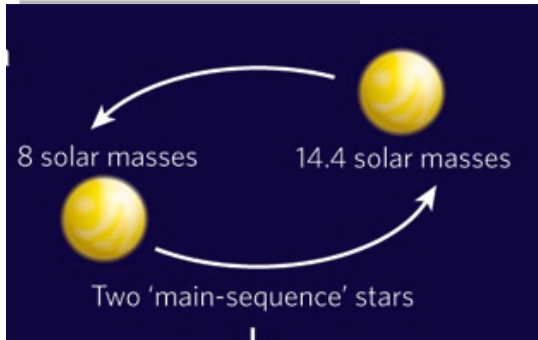
(una fracción de los BS)

Envolvente común (EC) (Paczynski 1976)

$\tau \leq 10^3$ años (Meyer et al. 1979, Ivanova 2013)



BSs (canales evolutivos):



$\sim 10 M_{\odot}$

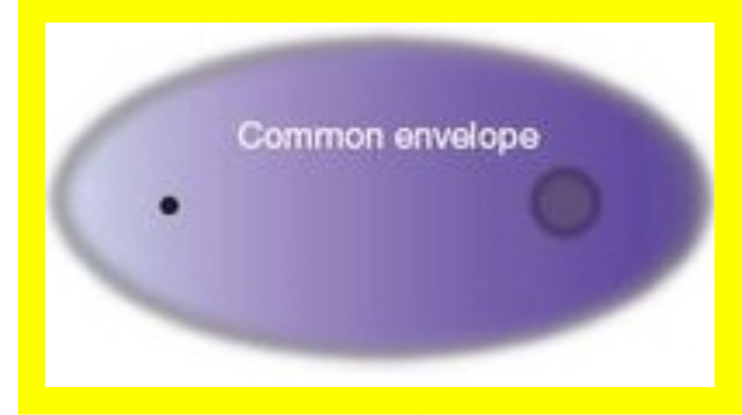
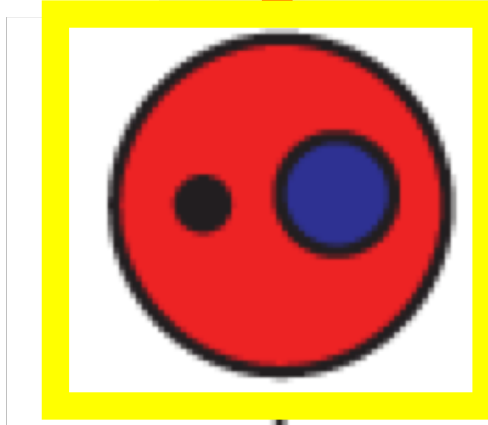
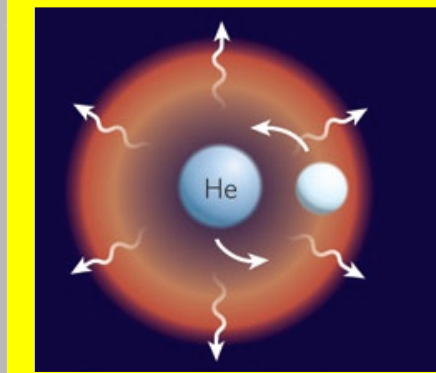
$\sim 15 M_{\odot}$

$\sim 30 M_{\odot}$

$\sim 1 M_{\odot}$

$\sim 95 M_{\odot}$

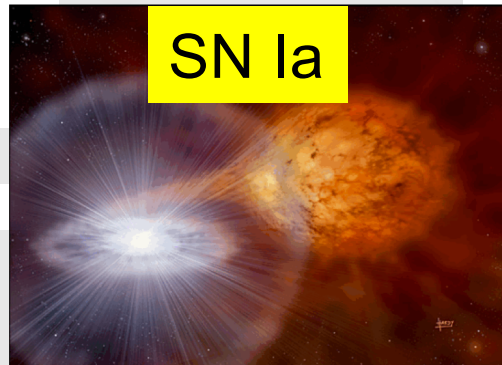
$\sim 60 M_{\odot}$



GRBs

SN Ia

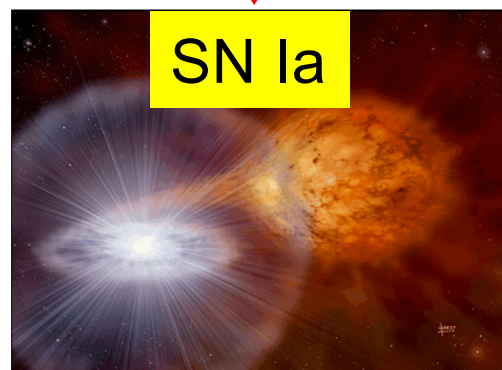
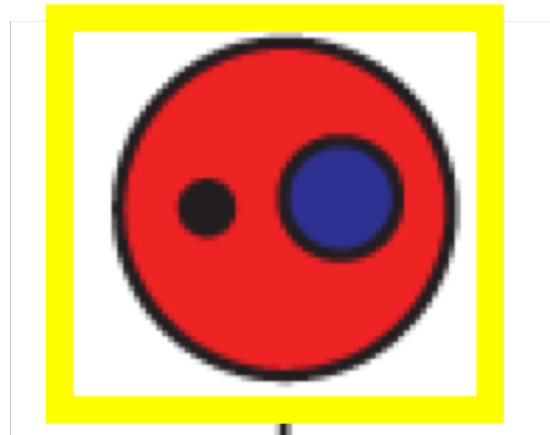
GWs



CE + un OC:

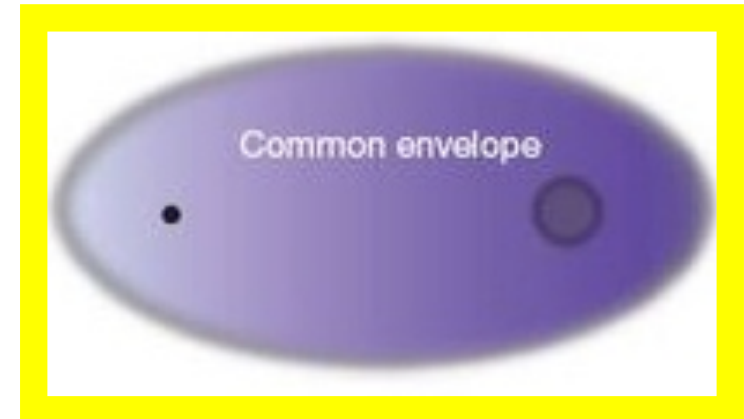
Envolvente común + un OC en la evolución de algunos SBs...

Postnov & Yungelson (2014)



SN Ia

Abbott et al. (2016)



GWs

CE (término):

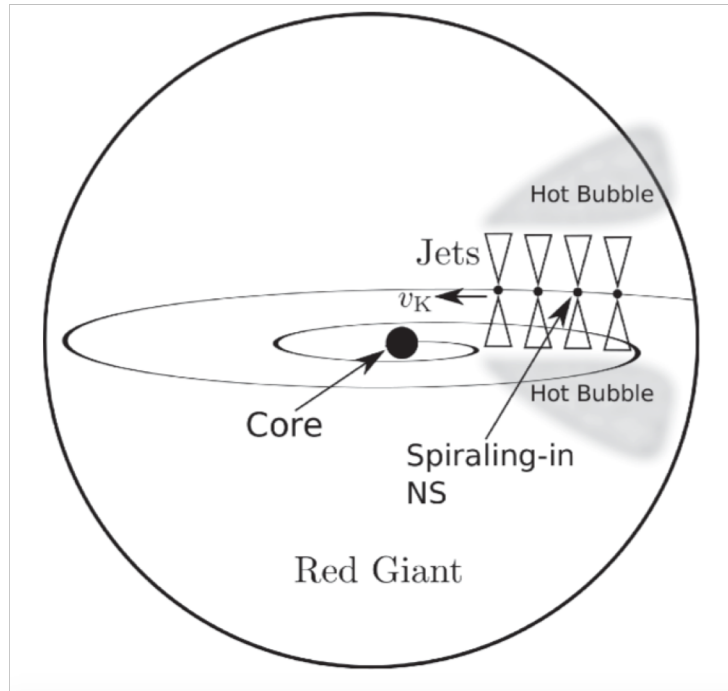
Mecanismos propuestos:

- Una fracción de la ΔE_{orb} (van den Heuvel et al. 2006)
- ΔQ_{tidal} (Iben et al. 1993)
- $\Delta \Phi_{\text{G,CE}}$ y la $\Delta E_{\text{int,CE}}$ (Iben et al. 1994)
- B (Regos et al. 1998)
- Momento angular (Nelemans et al. 2000)
- ΔE_{acc} (Voss et al. 2003, Soker et al. 2004)
- Entalpía (Ivanova et al. 2011)
- ΔE_{rec} (Grichener et al. 2018)

Ni uno es capaz de terminar la CE

CE (término + jet):

$$\frac{Gm_1m_{1,\text{env}}}{\lambda R_1} = \alpha_{\text{CE}} \Delta E_{\text{orb}} + E_{\text{jet}} \quad (\text{Armitage \& Livio 2000, Soker 2004, Soker 2014})$$

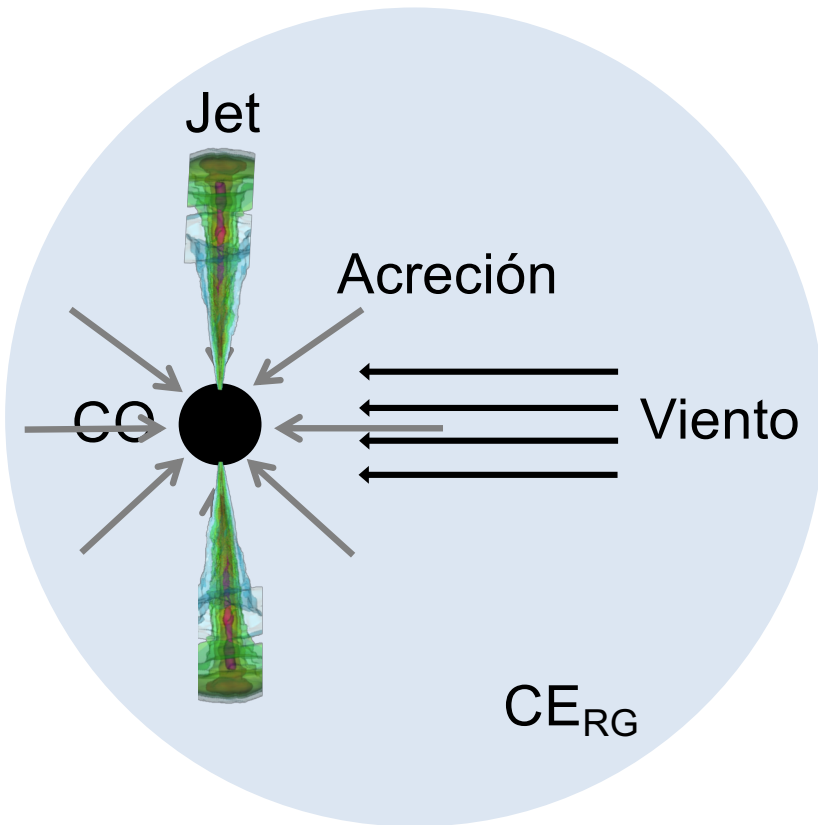


$$\rho_e \simeq Ar^\beta = 0.68 \left(\frac{r}{R_\odot} \right)^{-2.7} \text{ g cm}^{-3}$$

RG + WD + jet (Soker 2004)

La E_{jet} puede terminar la CE (estudio analítico) (Papish, Soker & Bukay 2015)

Modelo (CE + CO + jet):



RG (16 M_{\odot} , Papish & Soker 2015)

CO (1.4 M_{\odot} ó 5 M_{\odot} , $a=1.1 \times 10^{13}$ cm)

Sistema de ref en el CO (viento)

Acreción

Jet

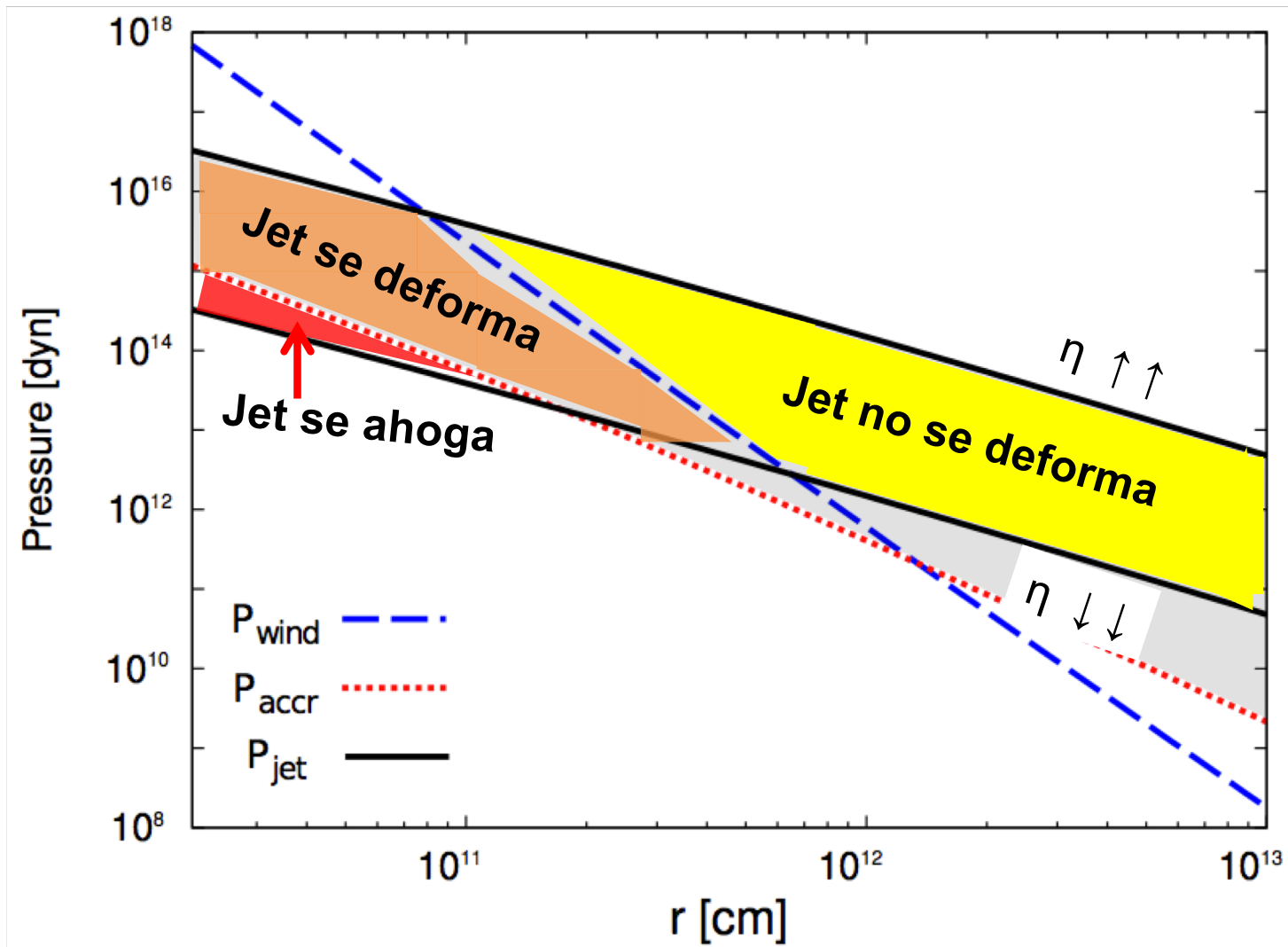
CE + CO + jet (analítico):

Para el caso $P_j = \eta P_w$

$$P_j = \rho_j v_j^2 = \rho_\infty v_\infty^2 \left(\frac{GM_*}{rv_\infty^2} \right)^2 \frac{2\epsilon v_j}{\theta_j^2 v_\infty}$$

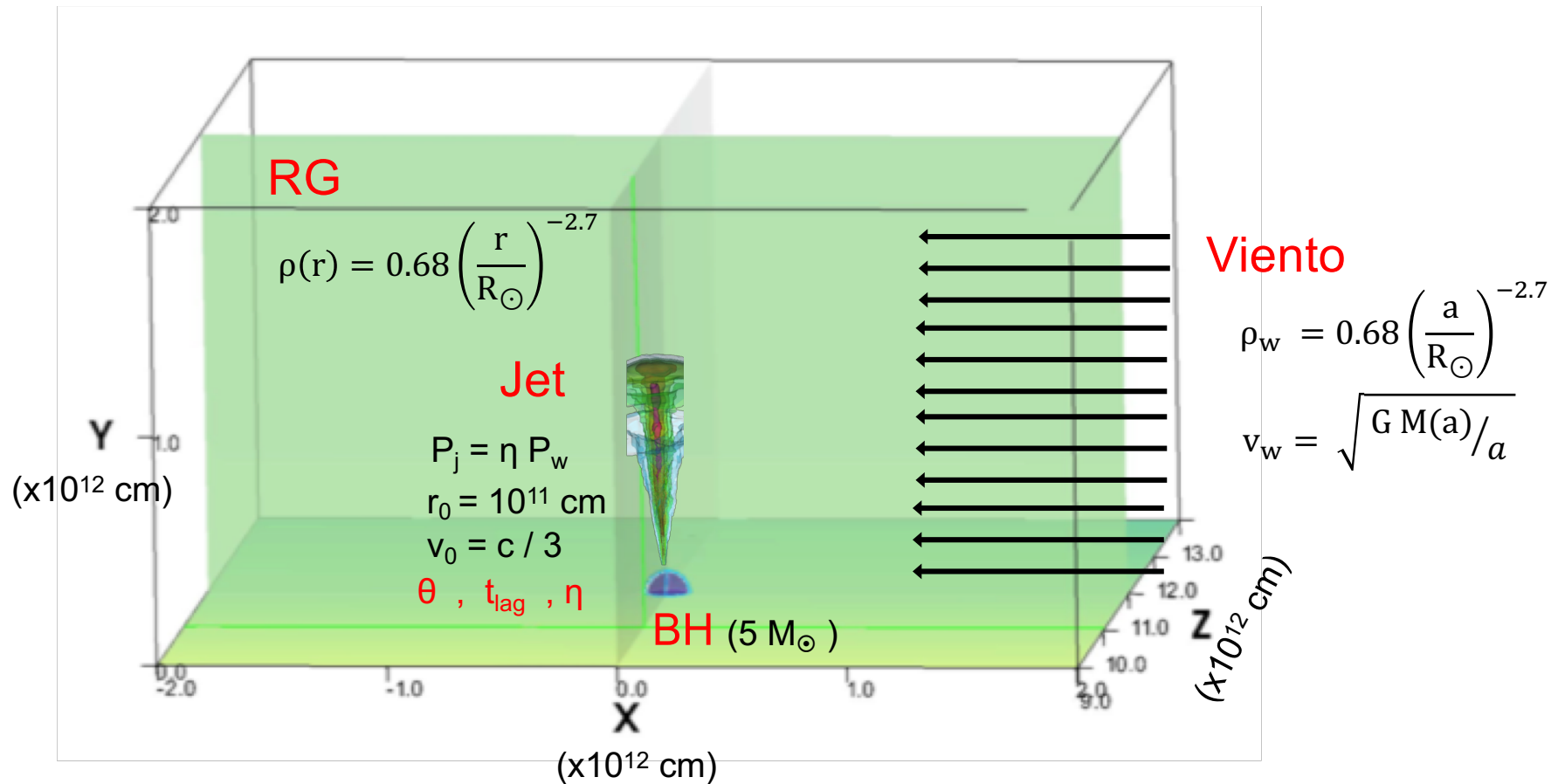
$$P_a = \rho_a v_r^2 = \rho_\infty v_\infty^2 \left(\frac{GM_*}{rv_\infty^2} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4GM_*}{rv_\infty^2}}}$$

$$P_w = \rho_\infty v_\infty^2 = \rho_\infty \frac{GM(a)}{a}$$



CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{cte}$):

1er acercamiento vía simulaciones numéricas (3D)...
(para el caso $P_j = \eta P_w$)



Mezcal (3D + eulerian + AMR, De Colle et al 2012)

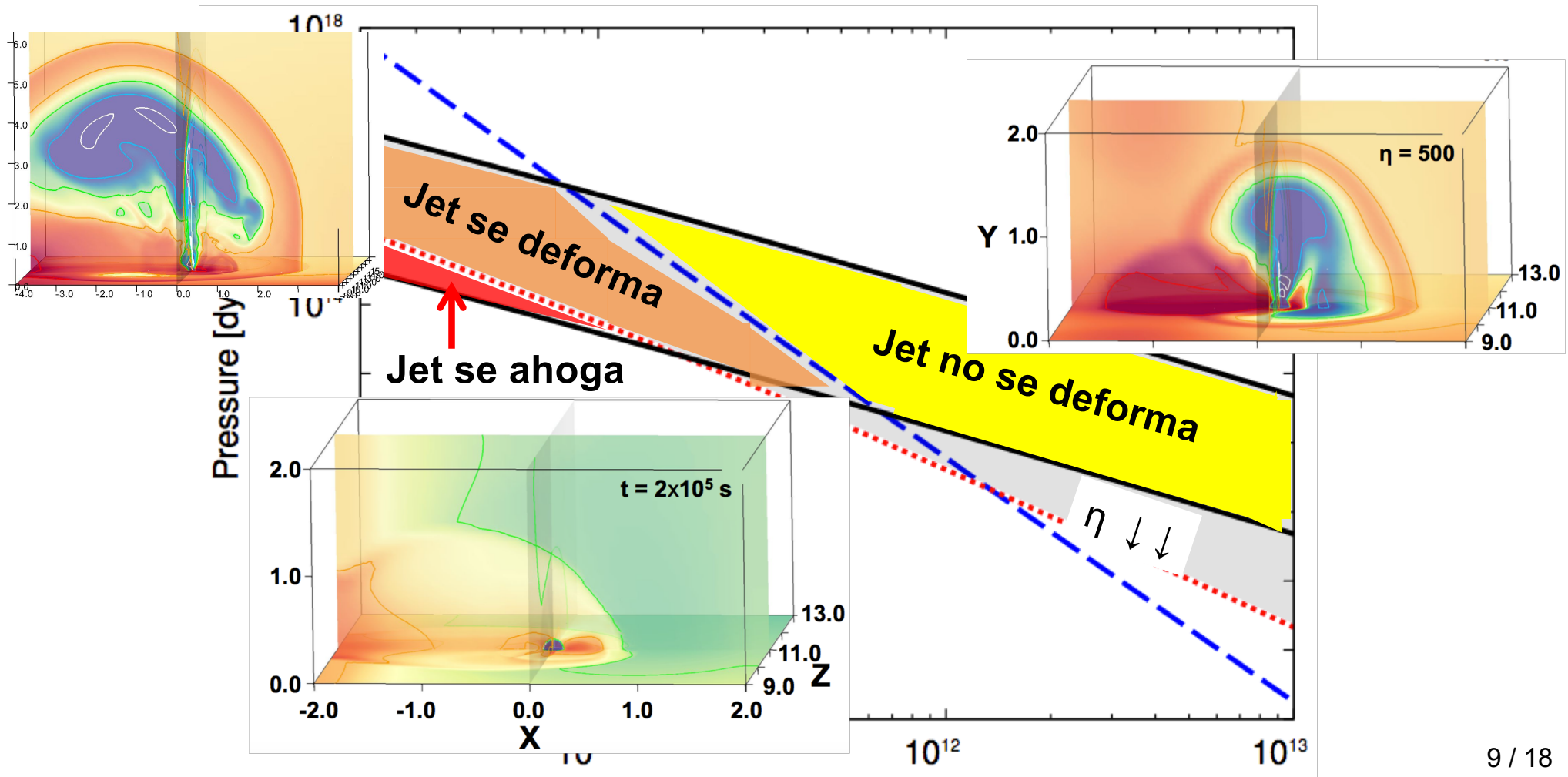
Resolución: $\Delta = (7.8125, 15.625) \times 10^9$ cm

(Moreno-Méndez, López-Cámara, De Colle 2017)

CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{cte}$):

1er acercamiento vía simulaciones numéricas (3D)...
(para el caso $P_j = \eta P_w$)

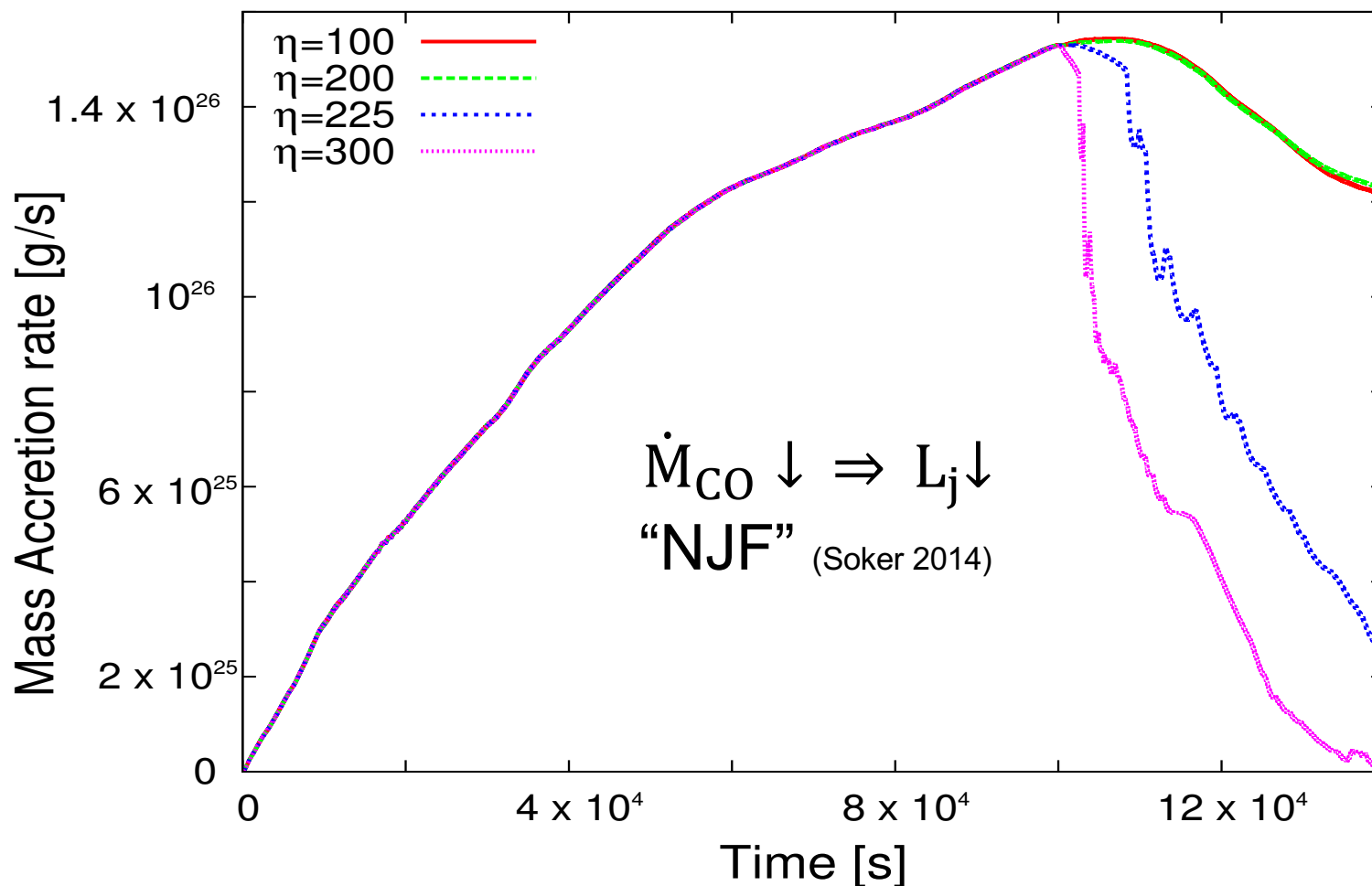
Las simulaciones son consistentes con las soluciones analíticas



CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{cte}$):

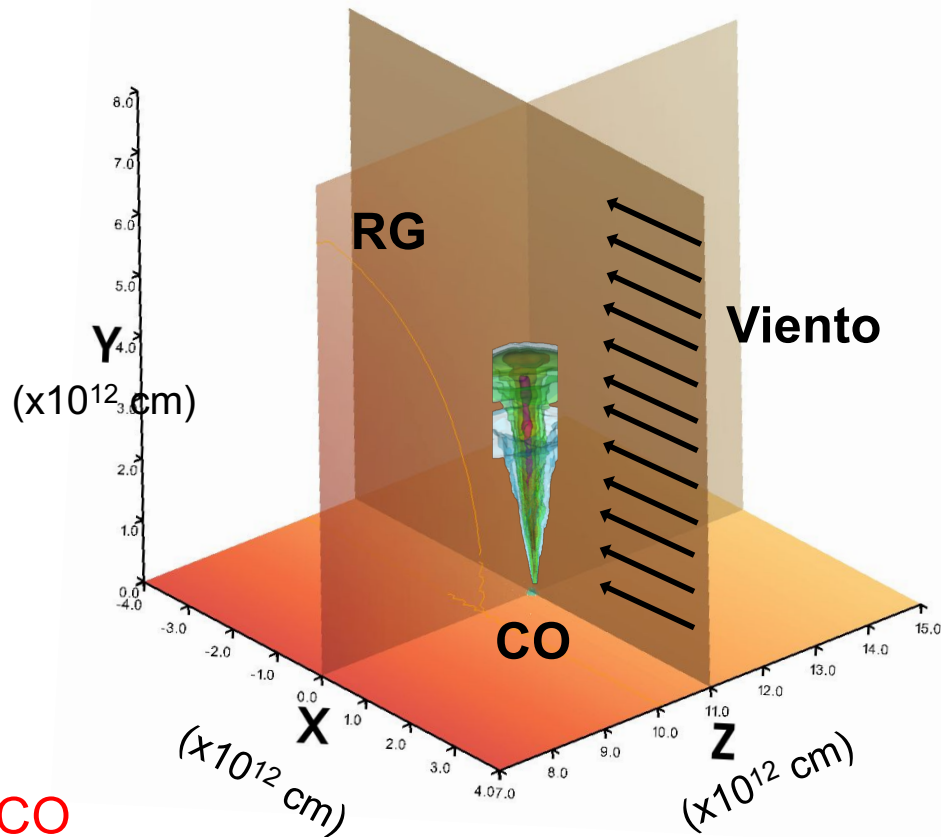
1er acercamiento vía simulaciones numéricas (3D)...
(para el caso $P_j = \eta P_w$)

Modelos analíticos o simulaciones no toman en cuenta \dot{M}_{CO} variable



CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{auto-regulado}$): $L_j = \eta \dot{M}_{\text{CO}} c^2$

2o acercamiento vía simulaciones numéricas (3D)...



CO

$M_{\text{CO}} = 1.4 M_{\odot}$ ó $5 M_{\odot}$

Jet

$\eta = 0.00 - 0.10$

RG y Viento

Igual que MMLCDC17

Model	M_{CO} (M_{\odot})	η	t_{int} (10^5s)	XYZ	t_{lag} (10^3s)
BH0.00	5.0	0.00	3.55	Big	0.0
BH0.001	5.0	0.001	3.53	Big	0.0
BH0.01	5.0	0.01	3.50	Big	0.0
BH0.02	5.0	0.02	3.00	Big	0.0
BH0.05	5.0	0.05	3.35	Big	0.0
BH0.10	5.0	0.10	3.35	Big	0.0
NS0.00	1.4	0.00	3.55	Big	0.0
NS0.001	1.4	0.001	3.55	Big	0.0
NS0.01	1.4	0.01	3.52	Big	0.0
NS0.02	1.4	0.02	3.36	Big	0.0
NS0.05	1.4	0.05	3.37	Big	0.0
NS0.10	1.4	0.10	3.37	Big	0.0
NS0.01long	1.4	0.01	8.80	Small	0.0
NS0.05long	1.4	0.05	8.80	Small	0.0
BH0.02long	5.0	0.02	8.80	Small	0.0
BH0.02r _i x2*	5.0	0.02	8.80	Small	0.0
NS0.05lag	1.4	0.05	3.40	Big	1.0
BH0.05lag	5.0	0.05	3.42	Big	1.0

* $r_{\text{in}} = 2 \times 10^{11} \text{ cm}$

Mezcal

Resolución: $\Delta = 7.8125 \times 10^9 \text{ cm}$

CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{auto-regulado}$):

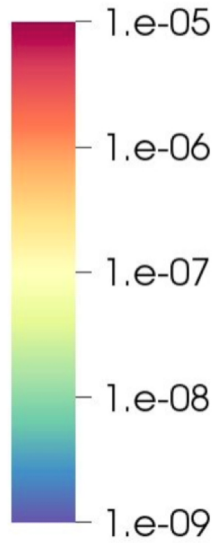
$$L_j = \eta \dot{M}_{\text{CO}} c^2$$

BH

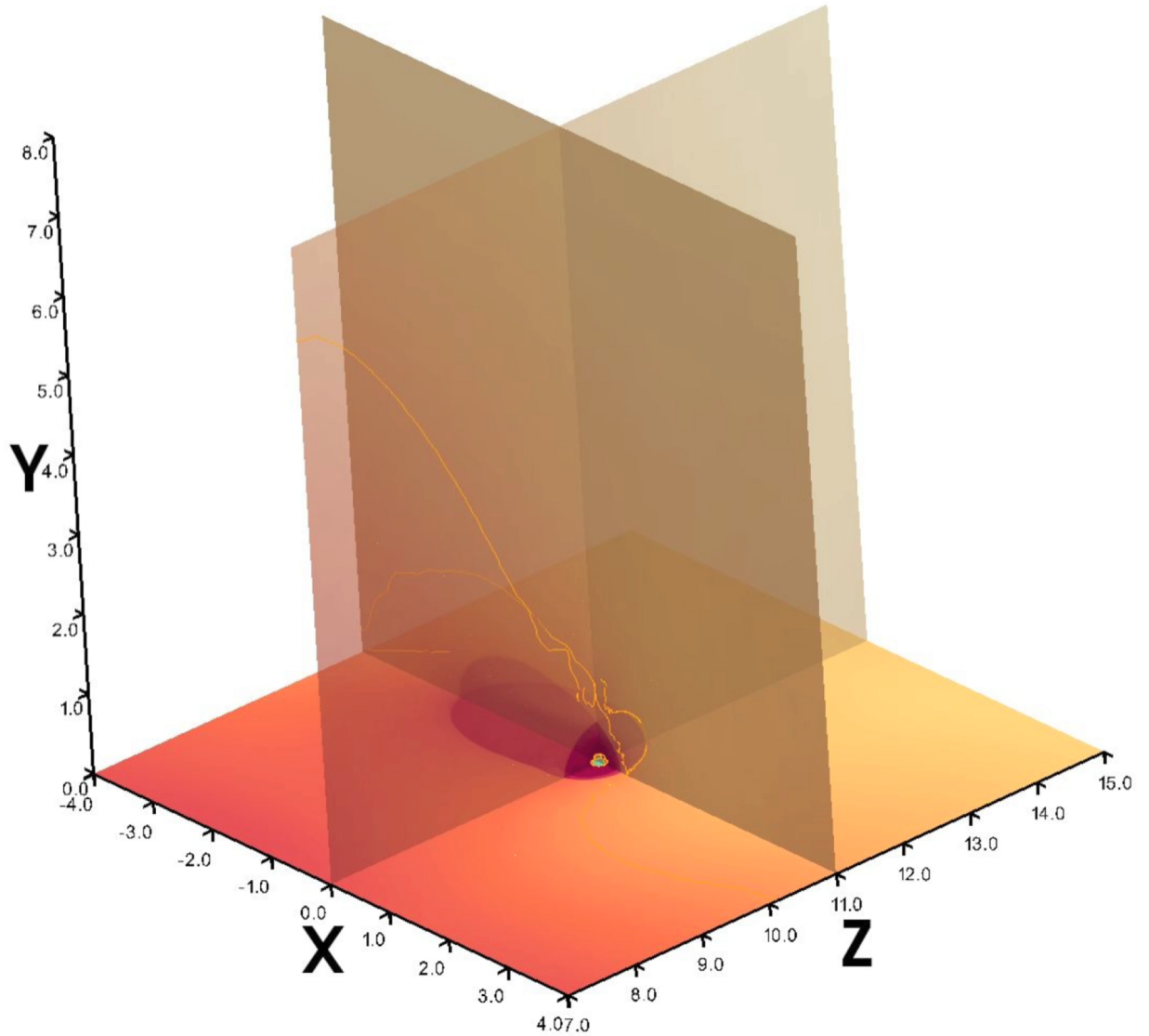
$$M_{\text{CO}} = 5 M_{\odot}$$

$$\eta = 0.05$$

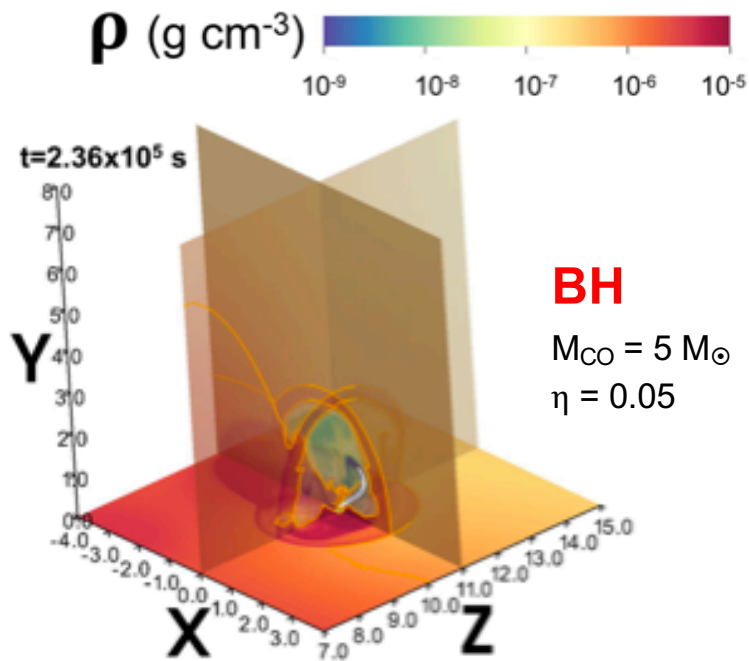
ρ (g cm⁻³)



$t = 1.50e+05$ s



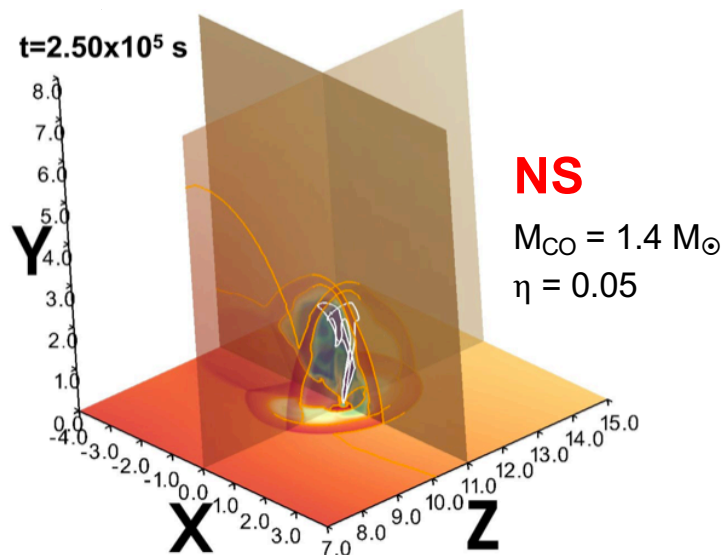
CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{auto-regulado}$): $L_j = \eta \dot{M}_{\text{CO}} c^2$



Jet en función de η

- $\eta \leq 0.01 \Rightarrow$ jet ahogado
- $\eta < 0.01 \Rightarrow$ jet exitoso

Cocoon se expande suavemente
(material turbulento dentro)

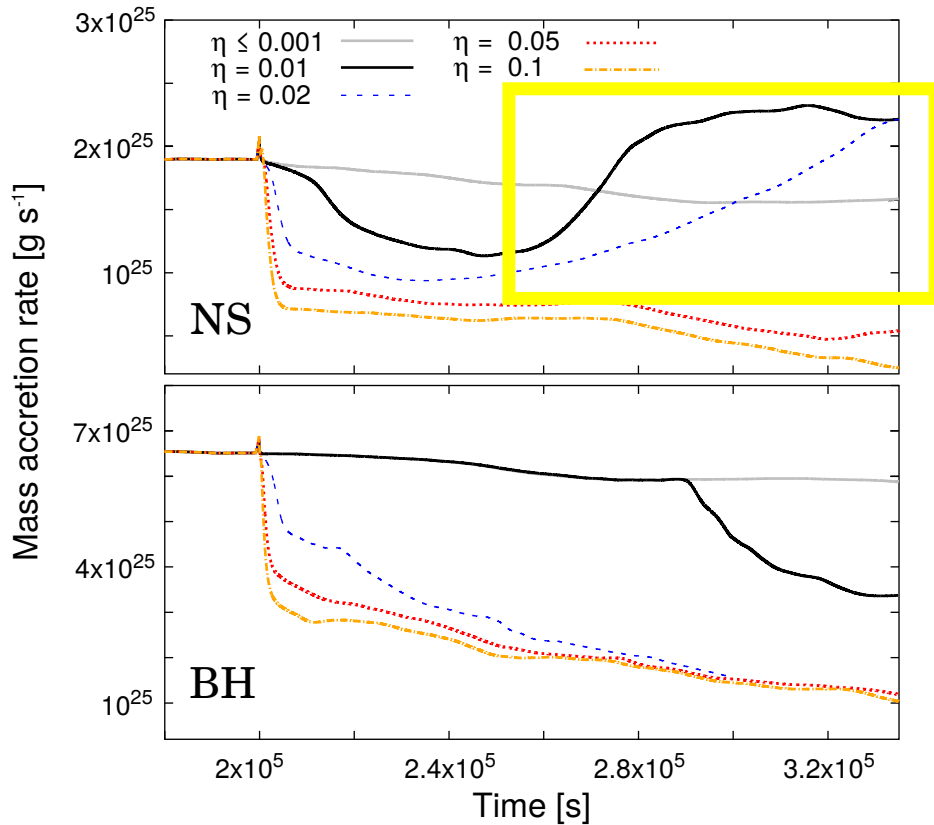


Jet variable (tamaño y orientación)

Mismo comportamiento para NS
(bulbo mas pequeño, menos empuje, jet más lento)

CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{auto-regulado}$):

$$L_j = \eta \dot{M}_{\text{CO}} c^2$$



Jet exitoso $\Rightarrow \dot{M}_{\text{CO}}$ disminuye

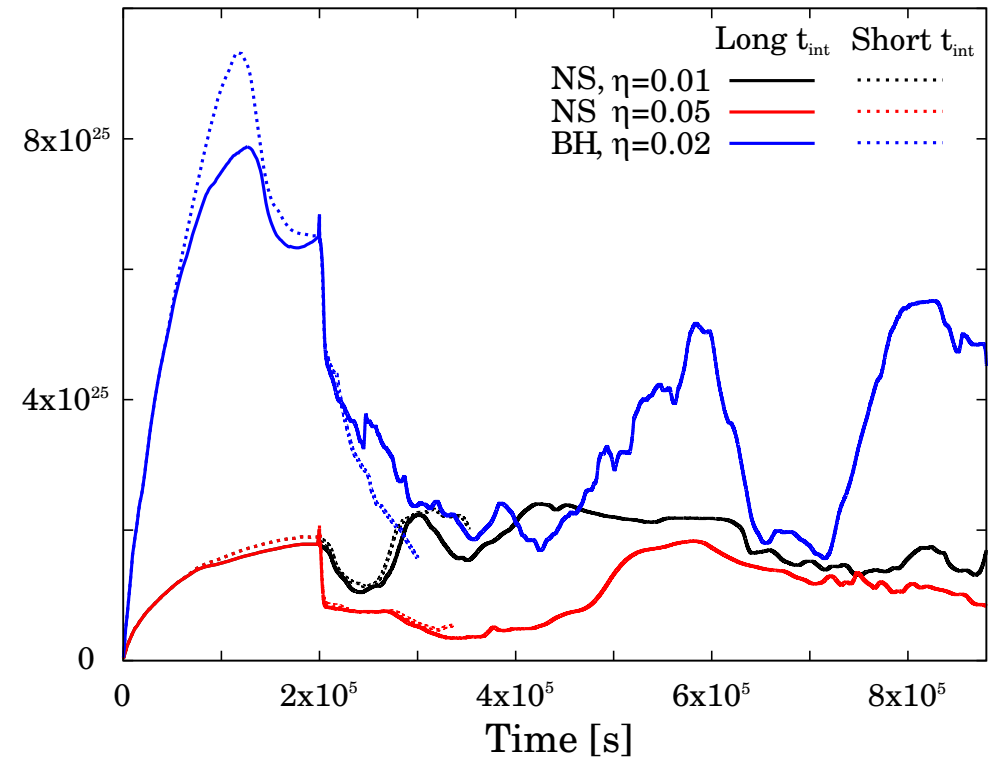
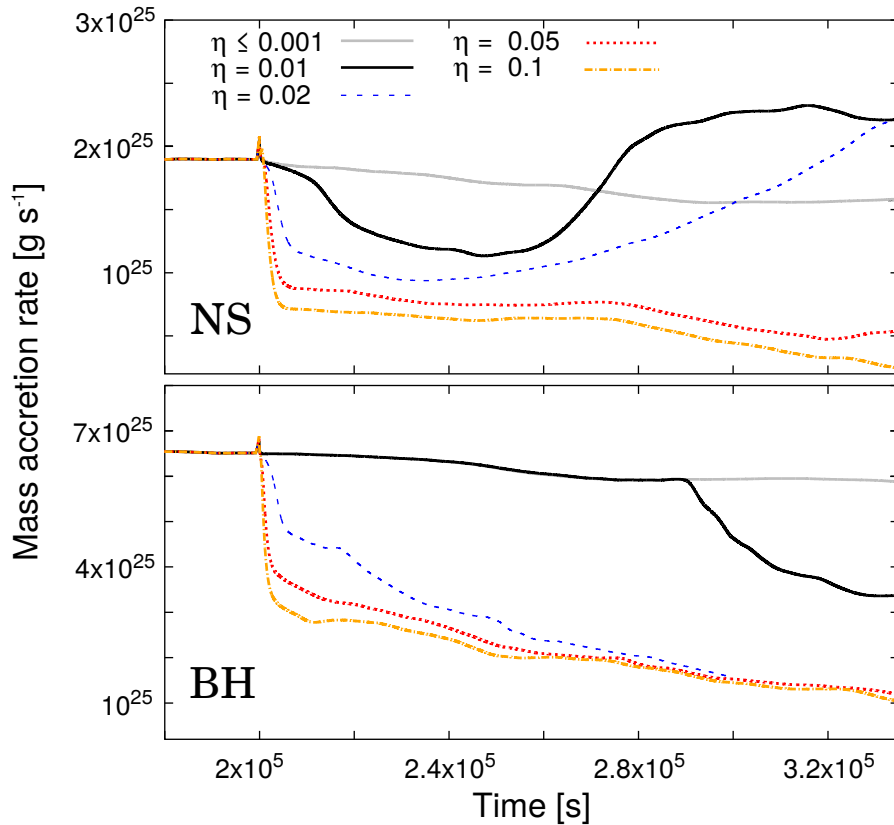
(NJF entra en juego)

BH0.01 Jet > bulbo hasta $t > 2.9 \times 10^5$ s

NS0.01 v NS0.02:

$$\dot{M}_{\text{CO}}(t > t_0) > \dot{M}_{\text{CO}}(t_0)$$

CE + CO + jet (simulaciones, $L_j = \text{auto-regulado}$): $L_j = \eta \dot{M}_{\text{CO}} c^2$



Jet exitoso $\Rightarrow \dot{M}_{\text{CO}}$ disminuye
(NJF entra en juego)

BH0.01 Jet > bulbo hasta $t > 2.9 \times 10^5$ s

NS0.01 y NS0.02:

$$\dot{M}_{\text{CO}}(t > t_0) > \dot{M}_{\text{CO}}(t_0)$$

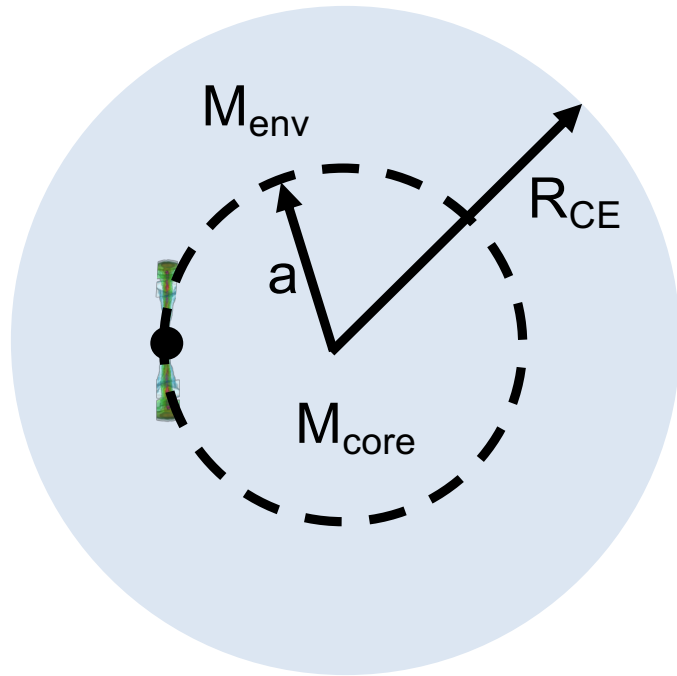
$$\dot{M}_{\text{CO}} \sim \dot{M}_0 \pm 50\% \quad (\sim 10^{25} - 10^{26} \text{ g s}^{-1})$$

$$(\sim 0.3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1})$$

Porvenir de la CE y el CO:

¿Cuánto dura jet-CO-CE?

CE + CO + jet (término de la CE):



$$M(a) = M_{\text{core}} + M_{\text{env}}(a/R_{\text{CE}})^{0.3}$$

Con: $R_{\text{CE}} = 535 R_{\odot}$ (Papish et al. 2015)

Si $a = 10^{11}$ cm \Rightarrow $M_{\text{core}} = 3.5 M_{\odot}$
 $M_{\text{env}} = 16.5 M_{\odot}$

El tiempo para desligar a la envolvente:

$$E_{\text{bind}} = \int_a^{R_{\text{CE}}} \frac{GM(r)dM}{r} \approx 10^{49} \text{ erg}$$

$$E_{\text{jet}} = L_{\text{jet}} t = (2 - 4) \times 10^{44} t \text{ erg}$$

$$t_{\text{u,e}} \sim E_{\text{bind}}/L_{\text{j}} \approx (2 - 5) \times 10^4 \text{ s}$$

$$\approx (6 - 14) \text{ horas}$$

$$\text{(días si } a < 10^{11} \text{ cm)}$$

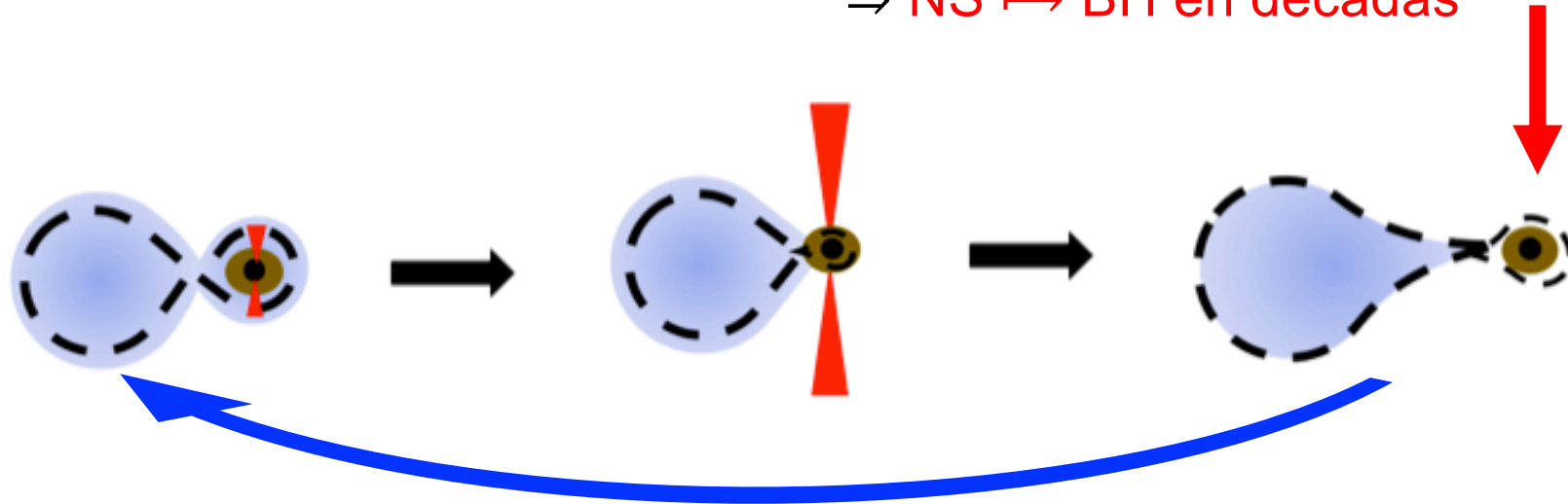
CE + CO + jet (término de la CE):

Formación de un “grazing envelope” (GE)

El BH en el GE $\dot{M}_{\text{BH}} \sim 10^{-3} M_{\odot} \text{ días}^{-1}$

La NS en el GE $\dot{M}_{\text{NS}} \sim 10^{-4} M_{\odot} \text{ días}^{-1}$

\Rightarrow NS \mapsto BH en décadas



Se vuela la envolvente en horas - días

Se termina la $\dot{M}_{\text{CO}} \Rightarrow L_j = 0 \text{ erg s}^{-1}$

$\dot{M}_{\text{CO}} > 0 \Rightarrow L_j > 0 \Rightarrow (\text{CE} + \text{CO} + \text{jet}) \Leftrightarrow \text{GE}$

Conclusiones:

- Simulaciones 3D de CE + CO + jet (auto-regulado $L_j = \eta \dot{M}_{CO} c^2$)
- BH o NS: misma morfología y evolución global
- Según η jet ahogado o exitoso
- Jet exitoso varía tamaño y orientación (cocoon se expande suavemente)
- Jet exitoso $\Rightarrow \dot{M}_{CO}$ disminuye (NJF entra en juego)
- \dot{M}_{CO} variable. $\dot{M}_{CO} \sim \dot{M}_0 \pm 50\% \sim 0.3 M_\odot \text{ yr}^{-1}$
- La envoltente se vuela en \sim horas - días
- Se puede generar una configuración GE (NS \mapsto BH en décadas)
- (CE + CO + jet) \Leftrightarrow GE
- Futuras detecciones de LIGO ayudaran a comprender la CE