



Emisión γ en blazares producida por interacciones entre nubes de la BLR y jets

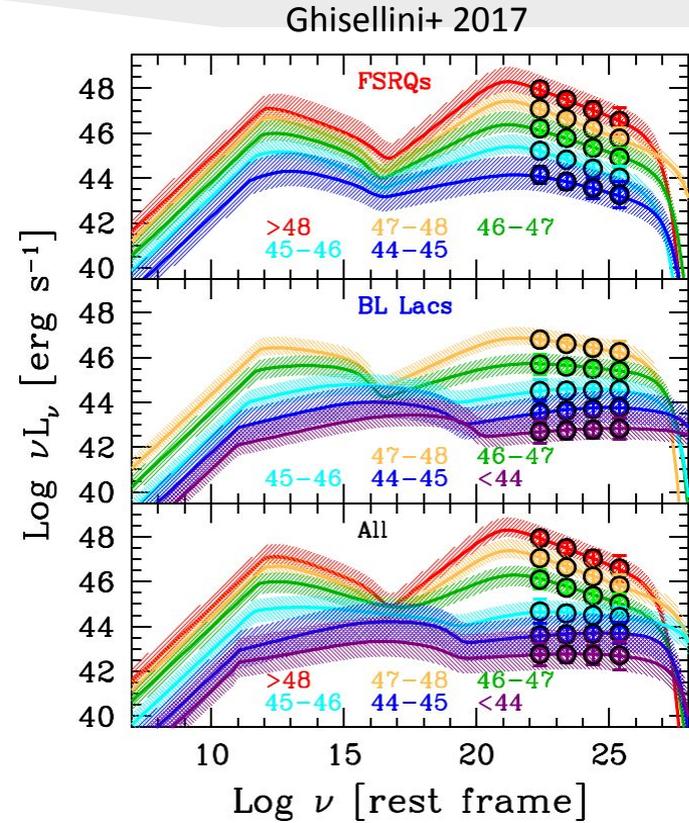


Autores: Santiago del Palacio
Valentí Bosch-Ramon
Gustavo E. Romero



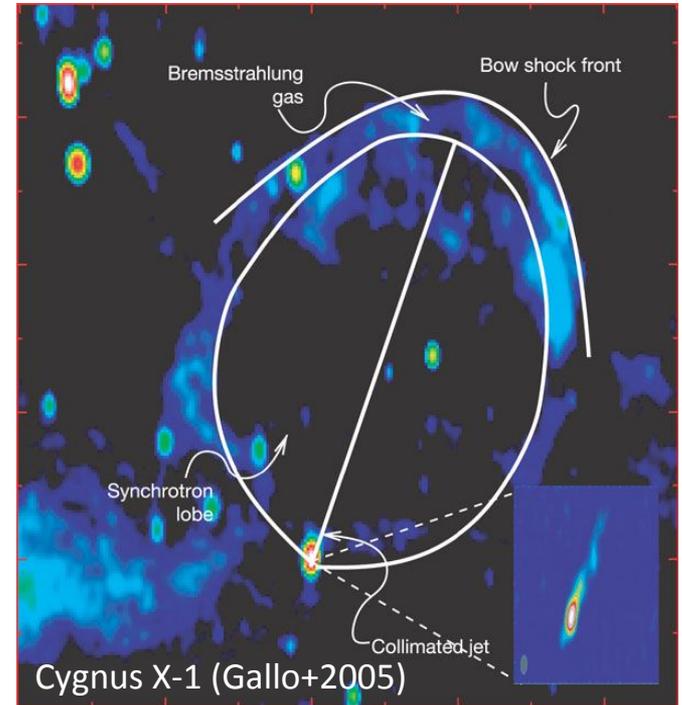
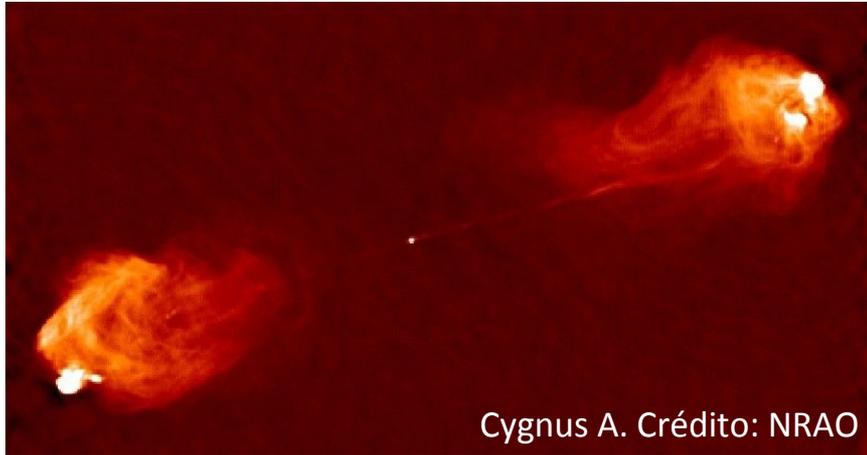
Blazares

- ★ AGNs con *jets* apuntando hacia nosotros.
- ★ Dos subpoblaciones: objetos tipo BL-Lac (*jets* “desnudos”) y *Flat Spectrum Radio Quasars* (FSRQs, *jets* “vestidos”).
- ★ Representan cerca del 50% de las fuentes de rayos- γ (identificadas) detectadas por el satélite *Fermi*, y cerca del 80% de las fuentes detectadas a energías > 10 GeV.

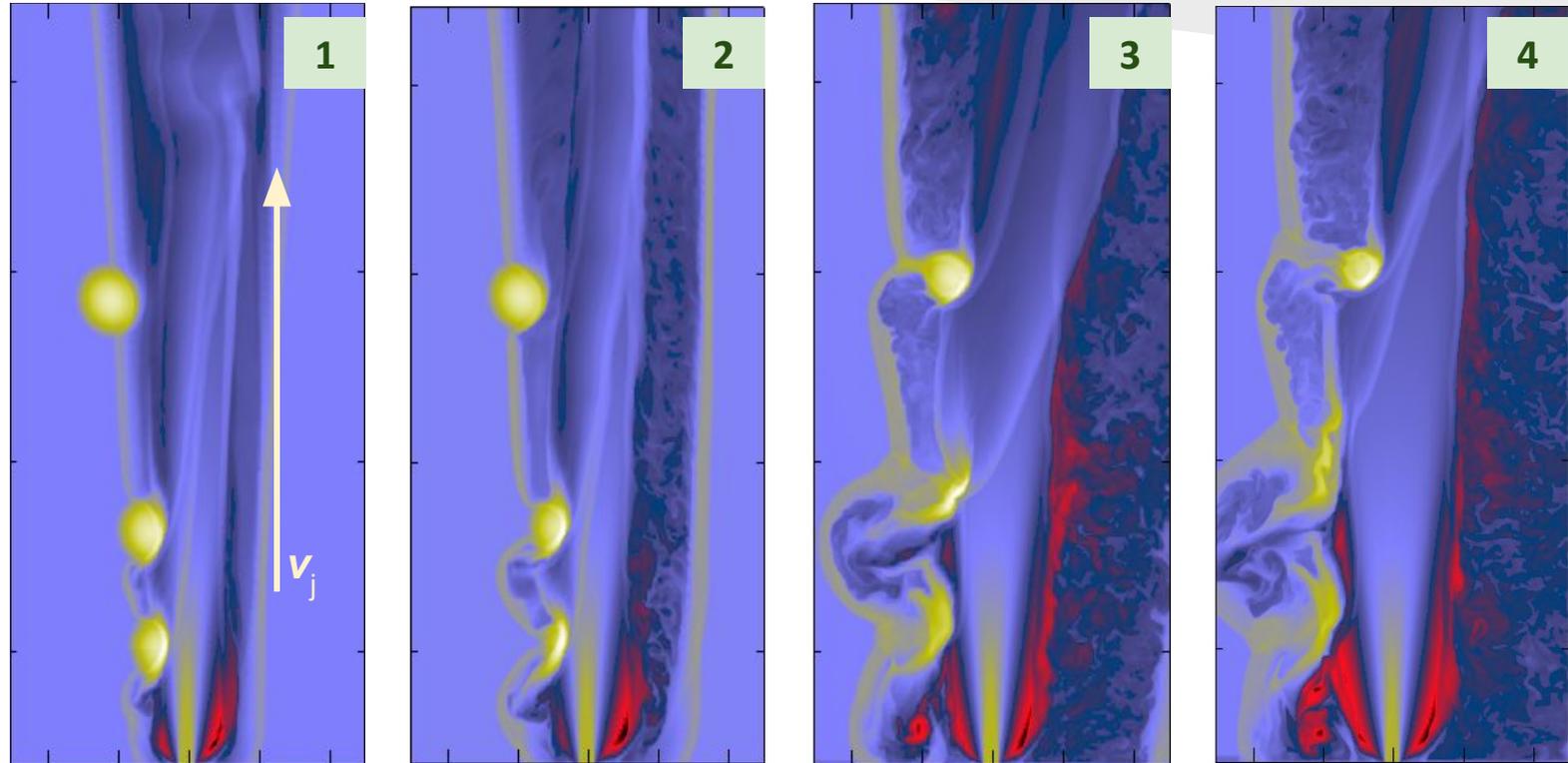


Jets

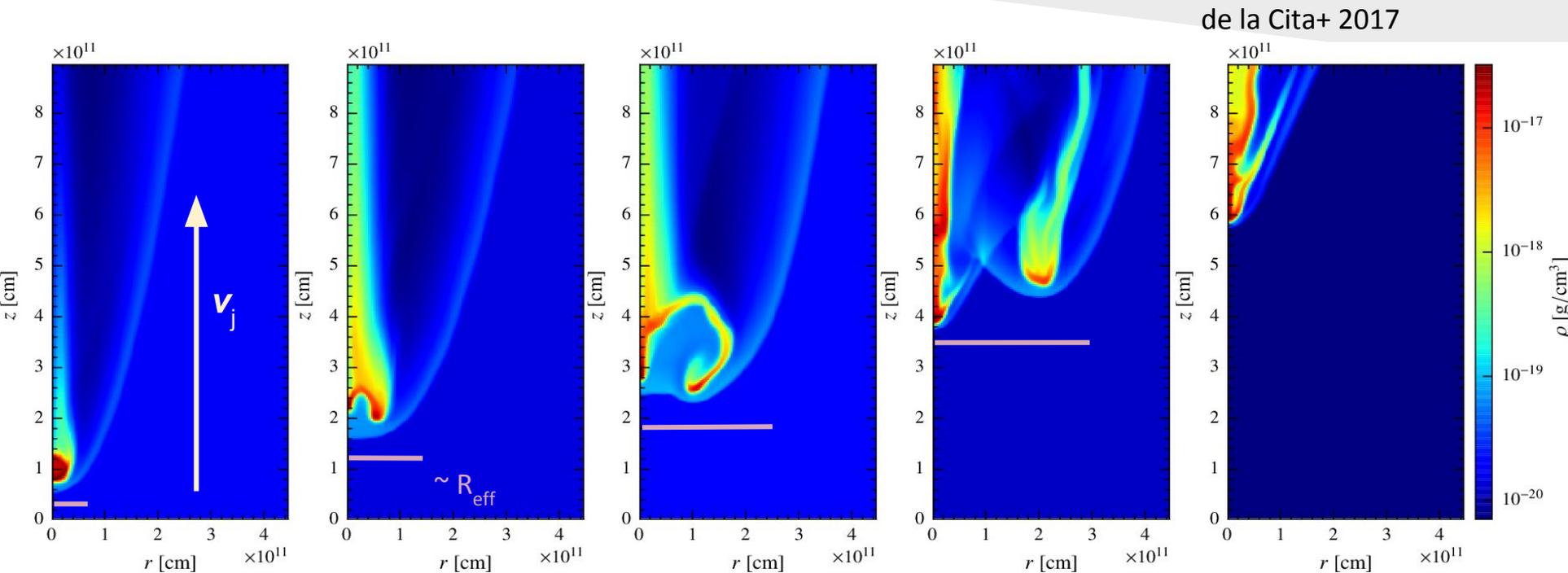
Jets: fluidos relativistas altamente colimados, transportan una enorme cantidad de energía. Interacciones con un obstáculo generan choques que desencadenan emisión no-térmica (e.g., Araudo+ 2009, 2010; Barkov+ 2012; Khangulyan+ 2013; de la Cita+ 2017).



Interacciones Jet-obstáculo



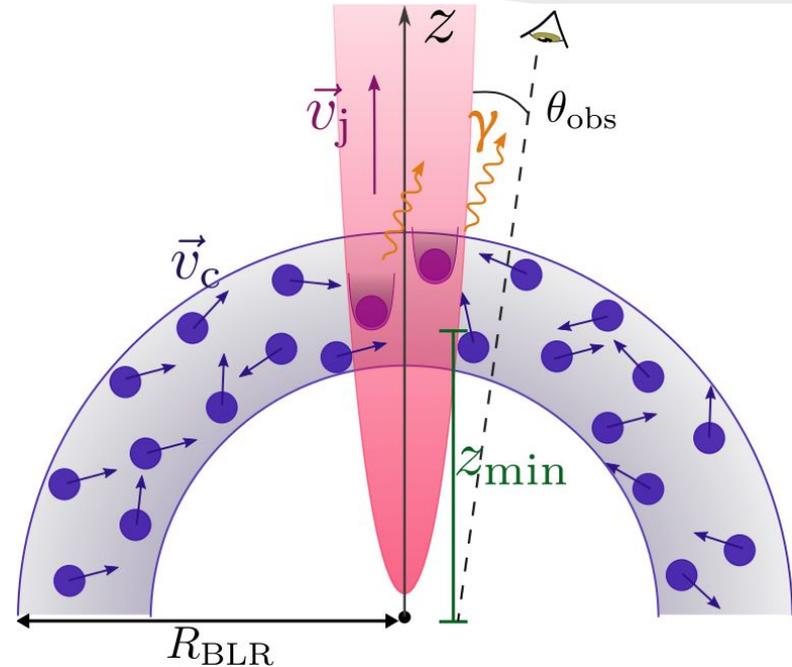
Interacciones Jet-obstáculo



El obstáculo se acelera y su radio efectivo aumenta

Interacciones Jet-nube

- ★ La *Broad Line Region* (BLR) está compuesta por un gran número ($> 10^6$) de nubes de $R_{BLR} \sim 1$ UA que reemiten el $\sim 10\%$ de la luminosidad del disco en líneas a ~ 10 eV (Ly_{α}).
- ★ Usualmente modelada como un cascarón esférico en el que las nubes se mueven aleatoriamente, con velocidades de varios miles de km/s.
- ★ Una nube puede entrar en el jet, generando un *bowshock* en su interior.



Interacciones Jet-nube

El escenario fue originalmente propuesto por Araudo+ 2010 para estudiar su contribución en rayos- γ para galaxias con jets que no apuntan hacia el observador.

Simulaciones RHD recientes corroboran que un obstáculo impactado se expande y acelera. En este contexto, los principales factores a tener en cuenta son:

- ❑ **Mayor área efectiva** debido a que la nube chocada se expande.
- ❑ **Enfriamiento IC más eficiente** debido al campo de radiación más intenso en el SR del fluido chocado.
- ❑ **Emisión amplificada** varios órdenes de magnitud debido a un efecto relativista de ***Doppler-boosting***, típicamente un factor $\sim(2\Gamma)^4$.

Interacciones Jet-nube

La dinámica de la interacción queda caracterizada analíticamente mediante:

- 1) Condición para que la nube penetre el jet:

$$z_{\min} = \frac{1}{v_{c0}\theta_j} \sqrt{\frac{L_j}{\pi c m_p n_{c0}}}$$

- 2) Aceleración de la nube debido a la transferencia de momento del jet:

$$\Gamma_c(t) = \Gamma_c(0) + \int_0^t \frac{\pi R_c^2 v_c q'}{M_c c^3} (1 - f_{NT}) d\tilde{t}$$

- 3) Condición sobre la expansión de la nube:

$$R_c(t') = R_{c0} + \int_0^{t'} c_s d\tilde{t}', \quad c_s = \sqrt{\frac{\gamma_a P'_j}{\rho' h'}}$$

- 4) Condición para el campo magnético:

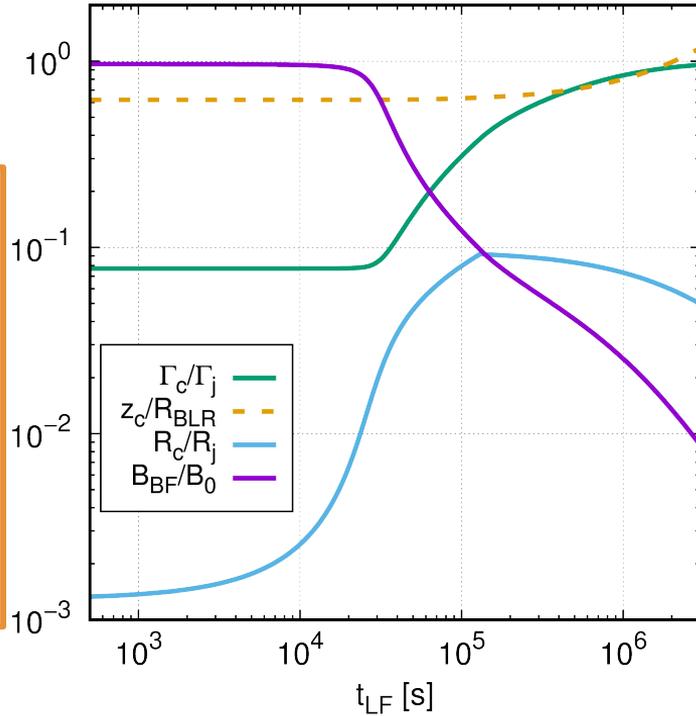
$$\frac{B'^2}{8\pi} = \eta_B P'_k$$

Suponemos que el fluido emisor (jet chocado) se mueve solidario a la nube.

Tomamos un $|\mathbf{B}'|$ de equipartición entre P'_k y P'_{mag}

Resultados

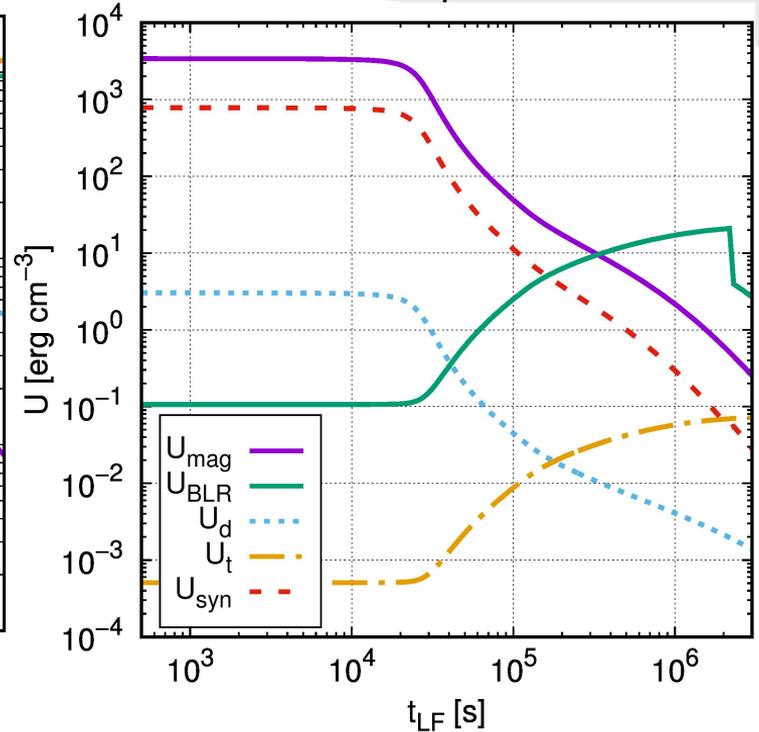
Dinámica de la interacción



Adoptamos
valores canónicos
de blazares
(Ghisellini+ 2009)

→
 $L_j \sim 10^{46}$ erg/s

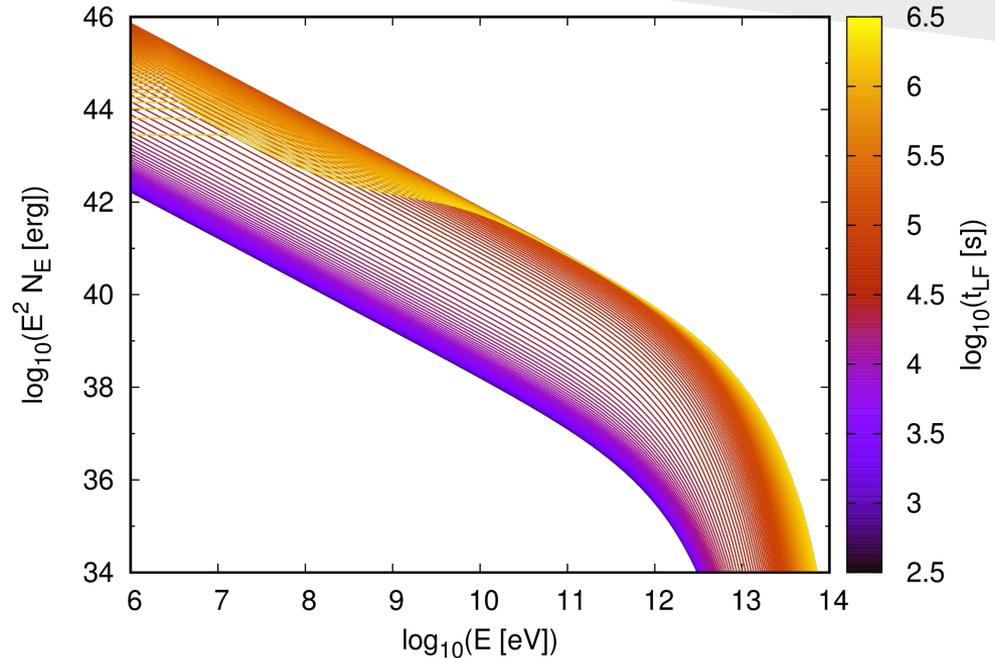
Intensidad de los campos en el SR del emisor



Resultados

Conocemos la cantidad de energía depositada en el choque en cada instante.

→ Asumimos que una fracción (el 10%) va a electrones NT, y calculamos su distribución estacionaria (en cada instante) suponiendo una inyección con índice $p=2$ y teniendo en cuenta las pérdidas radiativas por sincrotrón e IC.



Distribución de electrones relativistas para distintos tiempos

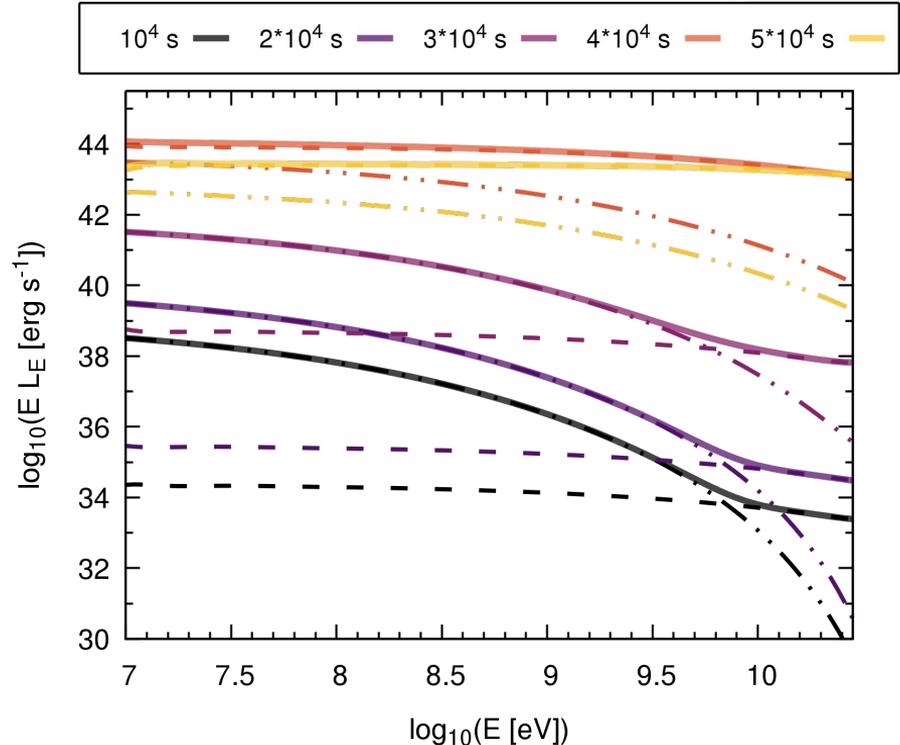
Resultados

En cada instante conocemos la distribución de partículas NT → Calculamos la emisión sincrotrón e IC-BLR, y sumamos la contribución de cada proceso.

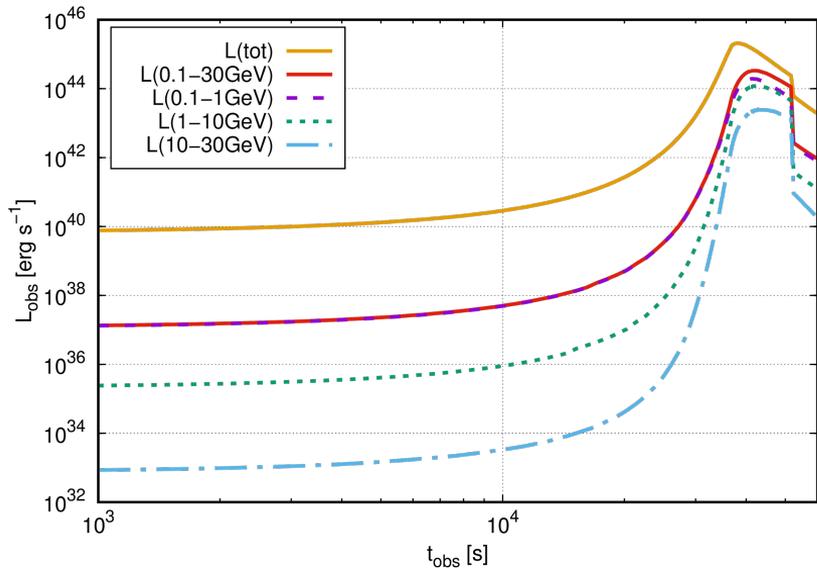
Nos restringimos al rango de energías γ 100 MeV - 30 GeV, que es donde no hay absorción significativa.

- La emisión sincrotrón es considerable a $E < 1$ GeV.
- En las etapas de mayor luminosidad, la SED está dominada completamente por IC-BLR.

SEDs para distintos instantes en el SR del observador



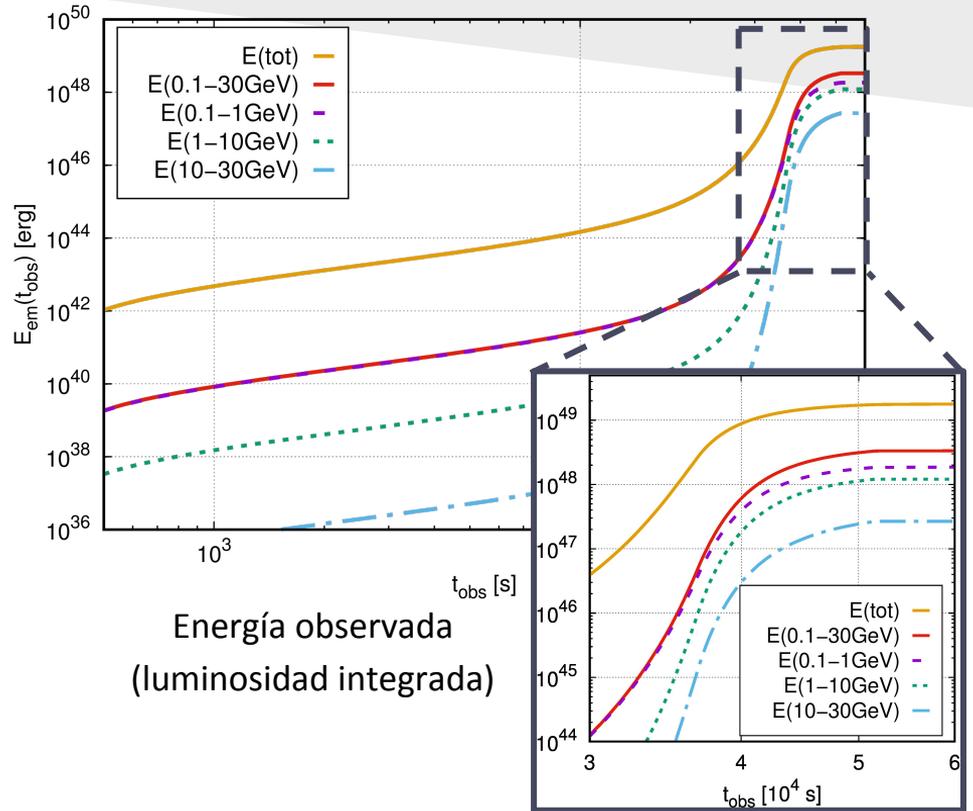
Resultados



Curva de luz (luminosidad vs t)

$$\langle L_{\gamma} \rangle \approx 4 \times 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$$

$$\alpha \approx -0.3$$



Energía observada
(luminosidad integrada)

Resultados

Estudiamos la emisión de una interacción, pero, ¿ocurren aisladas o muchas simultáneamente? Para responder esto, definimos un “*duty cycle*” (DC) que contemple el número promedio de interacciones y su duración, de manera tal que:

- Si $DC < 1$, las interacciones se observan de forma individual y la emisión es muy variable.
- Si $DC > 1$, las interacciones se observan colectivamente y la emisión es relativamente estable.

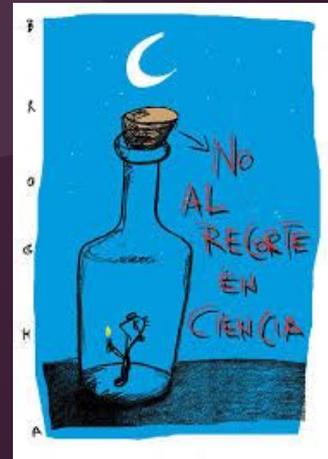
$$DC = \dot{N} t_{\text{int,OF}} = N_{\text{c,tot}} \left(\frac{\Delta\Omega_j}{4\pi} \right) f_{\text{vel}} \left(\frac{t_{\text{int,OF}}}{t_j} \right) \sim 10$$

En promedio, en todo momento observamos unas 10 nubes interactuando con el jet → La emisión esperada es persistente y unas 10 veces más intensa que la emisión de una interacción individual. No obstante, el aporte de masa de estas nubes no tiene consecuencias dinámicas significativas.

Conclusiones

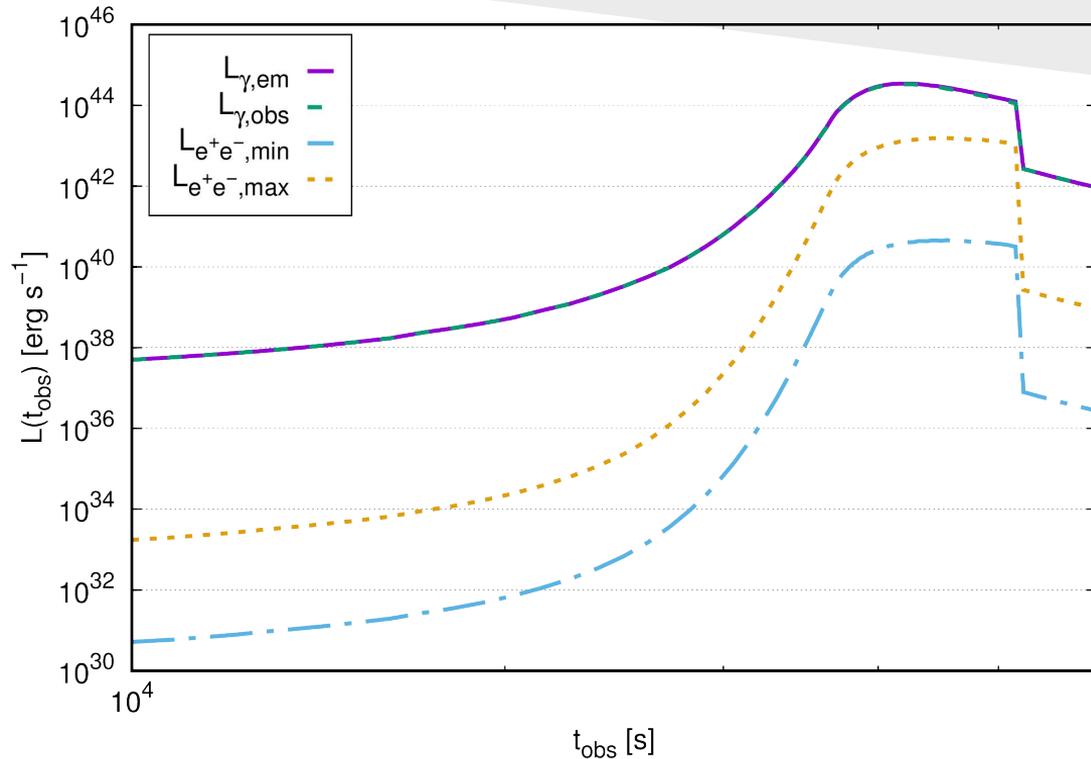
- ★ Estudiamos la contribución a la emisión γ de blazares debida a interacciones de nubes de la BLR con el jet.
- ★ Aplicamos un modelo analítico para la evolución dinámica de la interacción y calculamos la emisión no-térmica esperada en la banda 0.1-30 GeV. Mostramos que el movimiento relativista del emisor juega un papel fundamental, y que la emisión está dominada por interacciones IC con fotones de la BLR.
- ★ Considerando que el 10% de la energía inyectada en el choque es usada para acelerar electrones relativistas, obtuvimos que la emisión en el rango 0.1-30 GeV por múltiples interacciones jet-nube puede ser del orden de la observada típicamente en blazares (e.g., Ghisellini+ 2017). El índice espectral negativo hallado también es acorde a las observaciones.

Muchas gracias



Backup - Pares

La luminosidad inyectada en pares secundarios no es dominante, aunque las cascadas electromagnéticas podrían deformar el espectro en el rango del MeV o contribuir con fotones a $E > 30$ GeV.



Backup - SEDs

En cada instante conocemos la distribución de partículas NT \rightarrow Calculamos la emisión sincrotrón e IC con fotones de la BLR

