



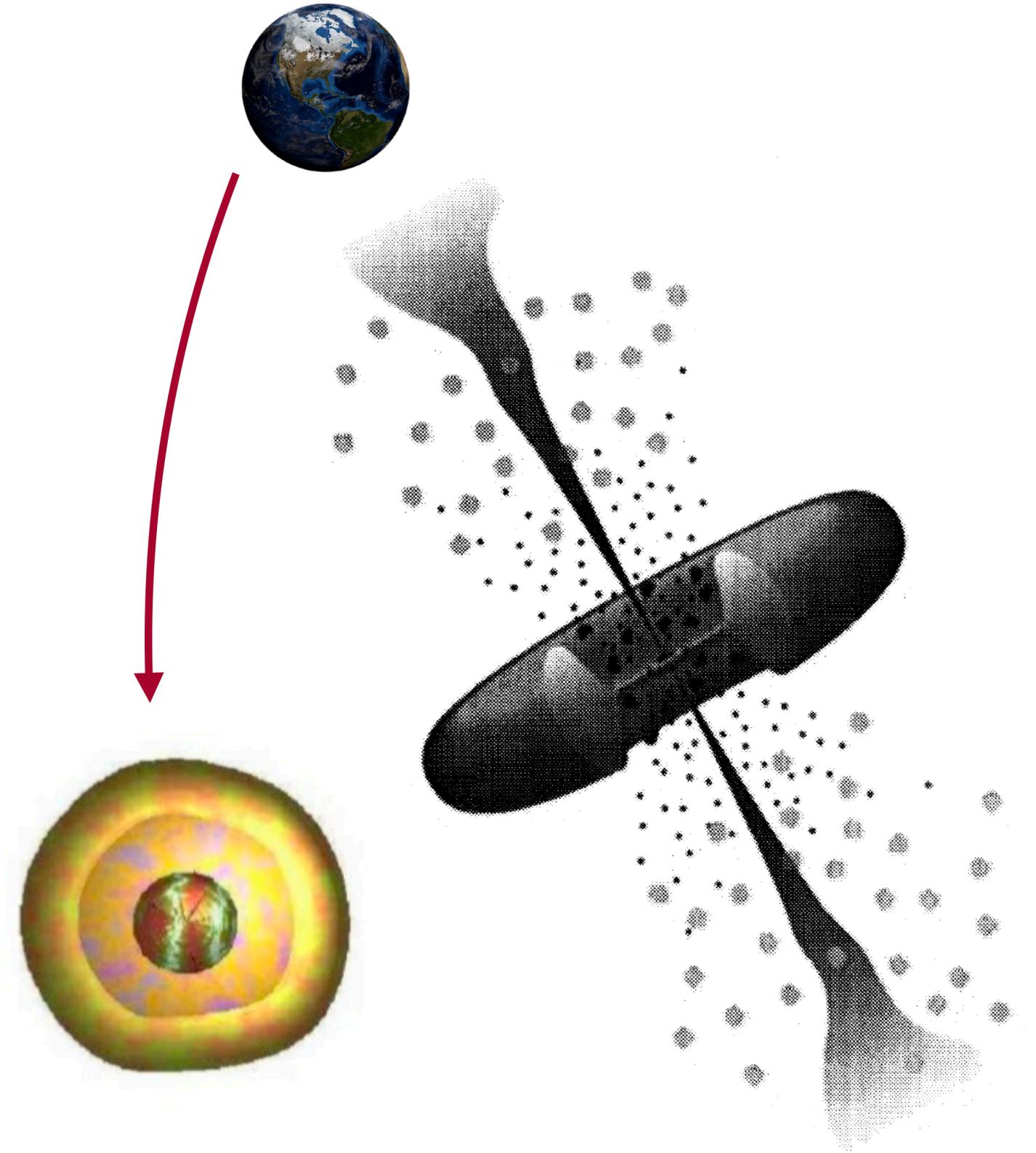
Mecanismos de emisión en blazares

3ra clase



Repaso

- Los blazares son AGNs que se observan directamente hacia el jet.
- Cuando estudiamos a los blazares, estudiamos el comportamiento y la naturaleza del jet.
- Conforman el 70% de las fuentes que emiten en rayos gamma.



Repaso

- Puede estar representado por frecuencia, energía o longitud de onda.

$$E = h\nu$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Emisión en óptico está a energías de $\sim 1 \text{ eV}$

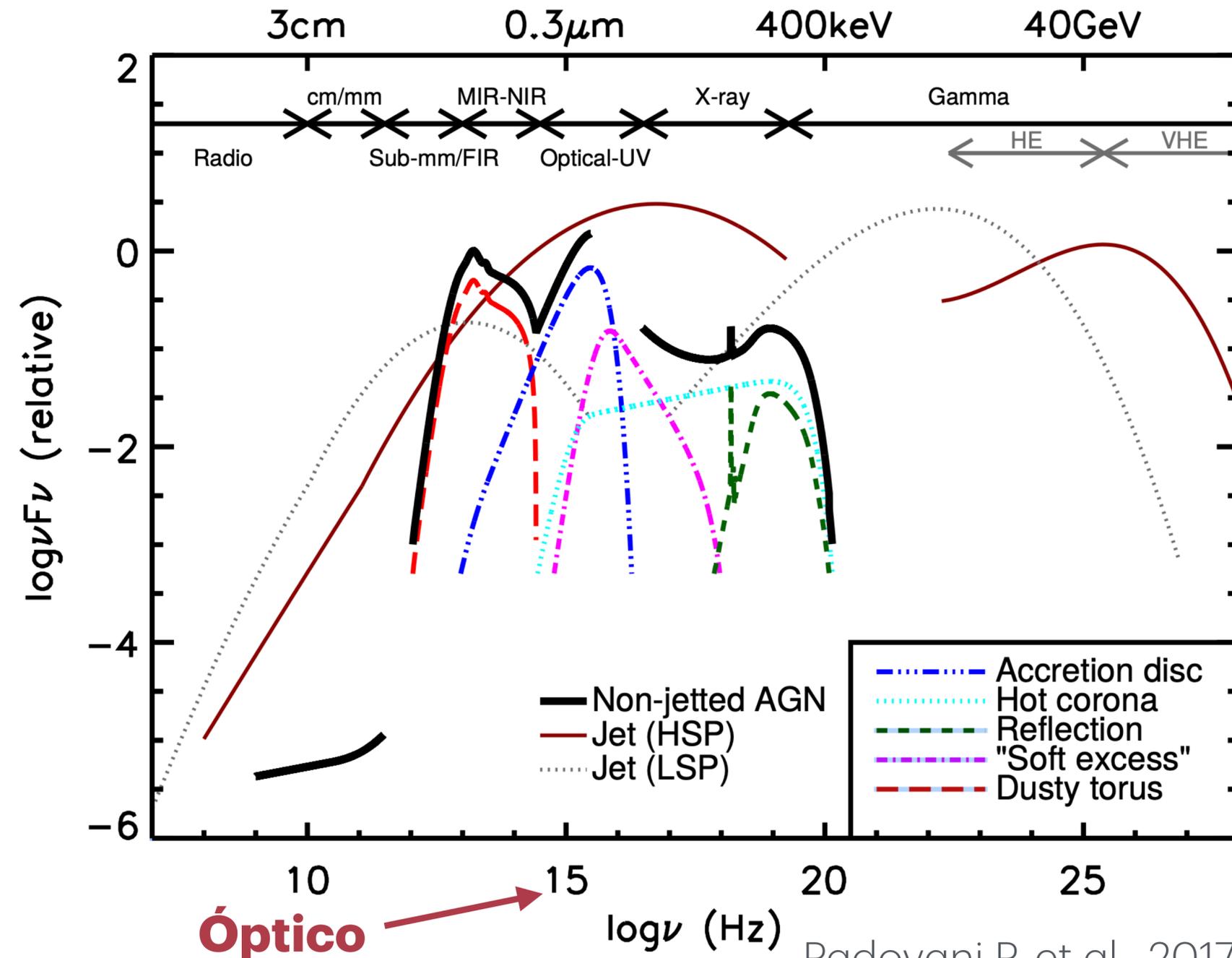
La constante de Planck es $h = 4.135 \times 10^{-15} \text{ eVs}$

Contenido

- Distribución Espectral de Energía (SED)
- Mecanismos de emisión del jet observados en blazares
- Emisión del jet
 - Sincrotron
 - Compton inverso
 - Hadronicos

Distribución Espectral de Energía (SED)

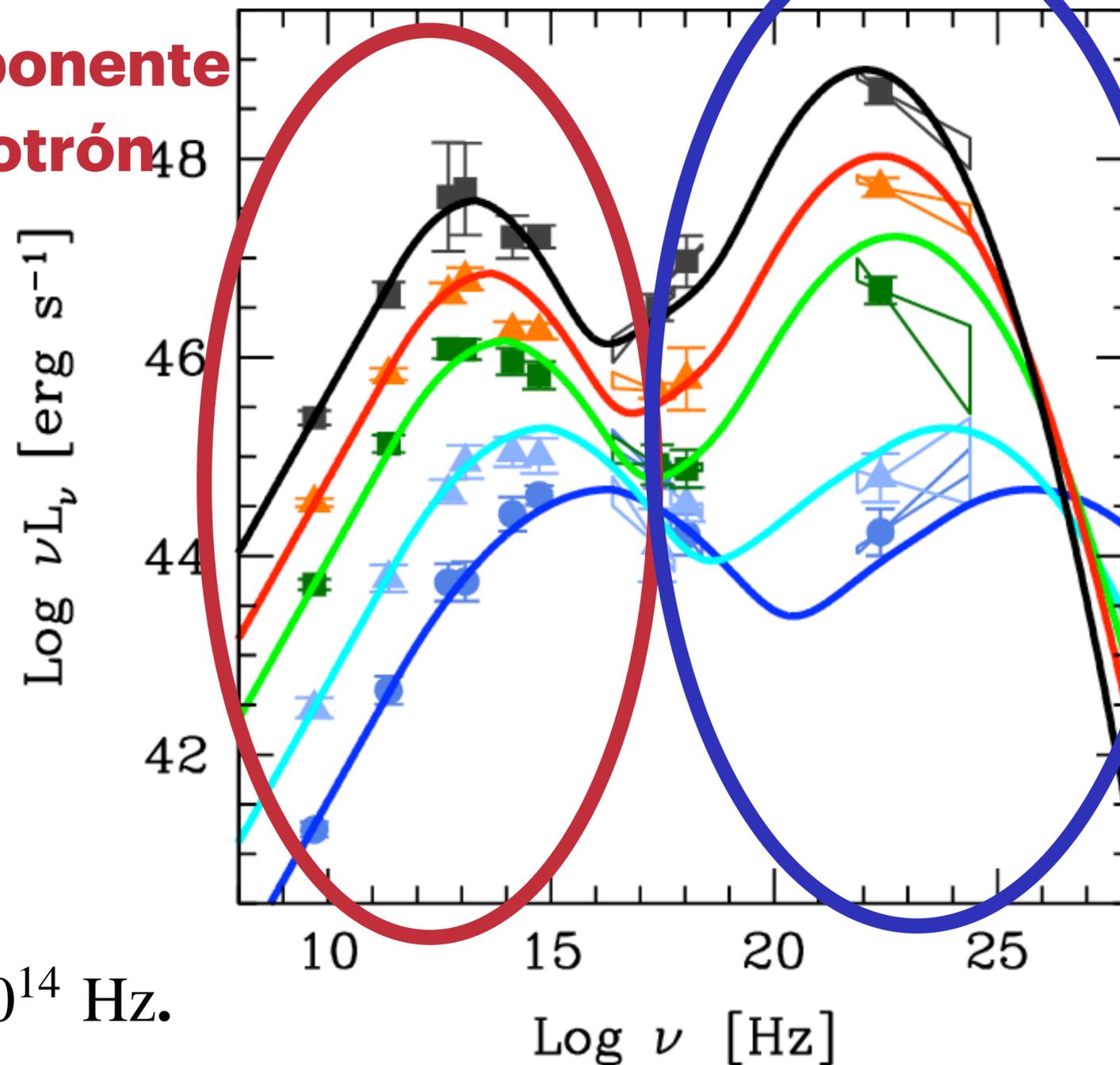
Descripción general del comportamiento del flujo de una fuente en varias longitudes de onda



- Espectro de AGNs.
- Compuesto de la emisión de las diferentes partes de AGNs.
- Para AGNs con jet, el espectro lo domina la emisión de este que se muestra con una morfología de dos componentes a diferentes energías.

SED de blazares

Componente Sincrotrón



Componente de Altas Energías

Blazares FSRQ:

Pico Sincrotrón $\nu < 10^{14}$ Hz.

Blazares BL Lac:
Pico Sincrotrón

LBL: $\nu < 10^{14}$ Hz.

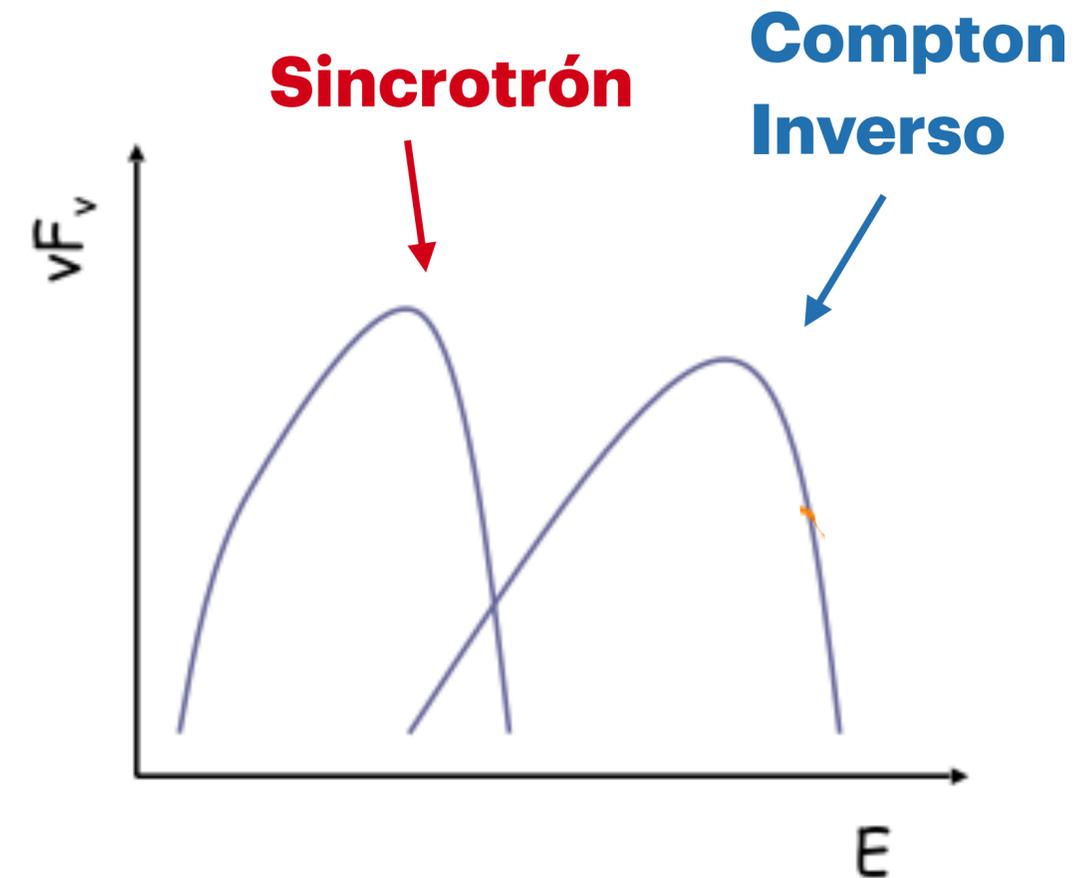
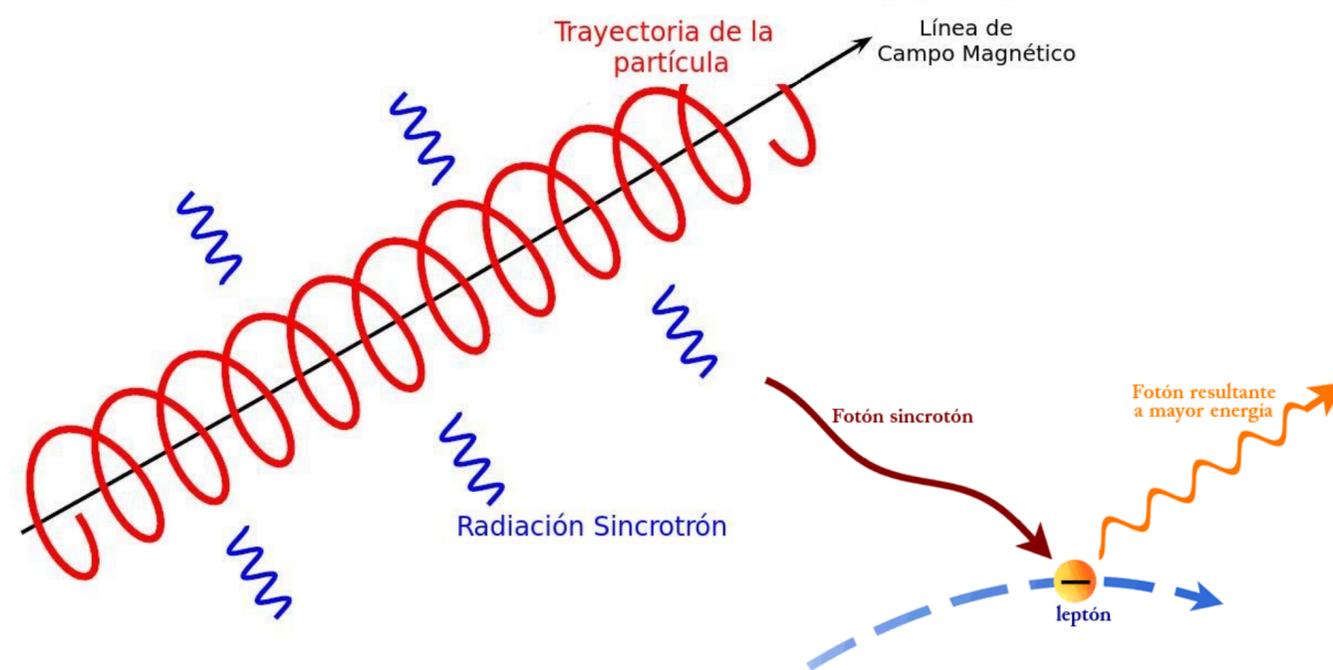
IBL: 10^{14} Hz $\leq \nu \leq 10^{15}$ Hz

HBL: $> 10^{15}$ Hz

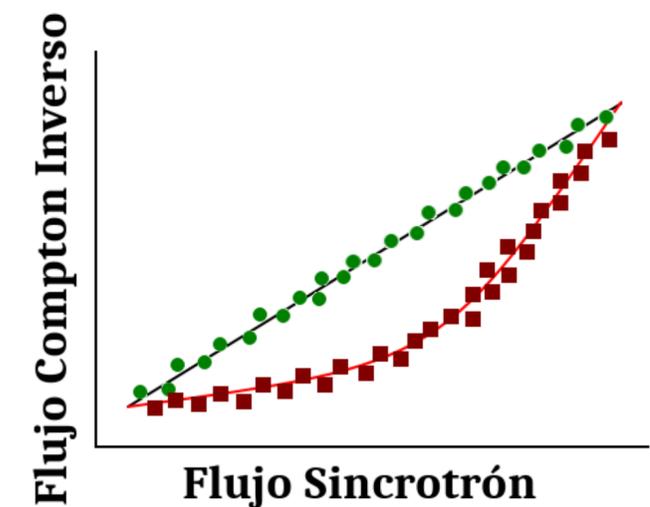
EHBL: $> 10^{18}$ Hz

Emisión Sinctrotrón Auto Compton

SSC por sus siglas en inglés

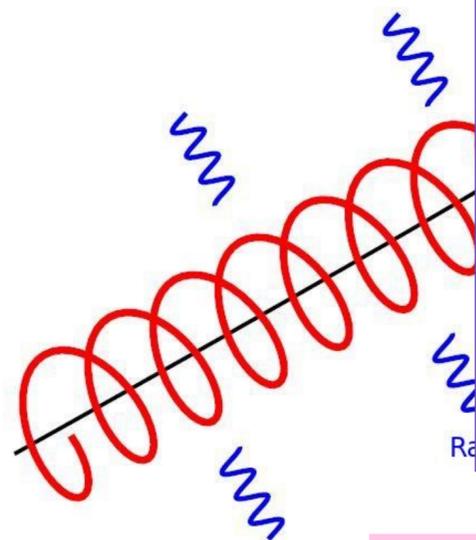


Se espera una conexión entre rayos X y rayos-gamma de TeV:
Misma población de electrones emiten por sinctrotrón y
Compton Inverso.



Emisión Sinctrotrón Auto Compton

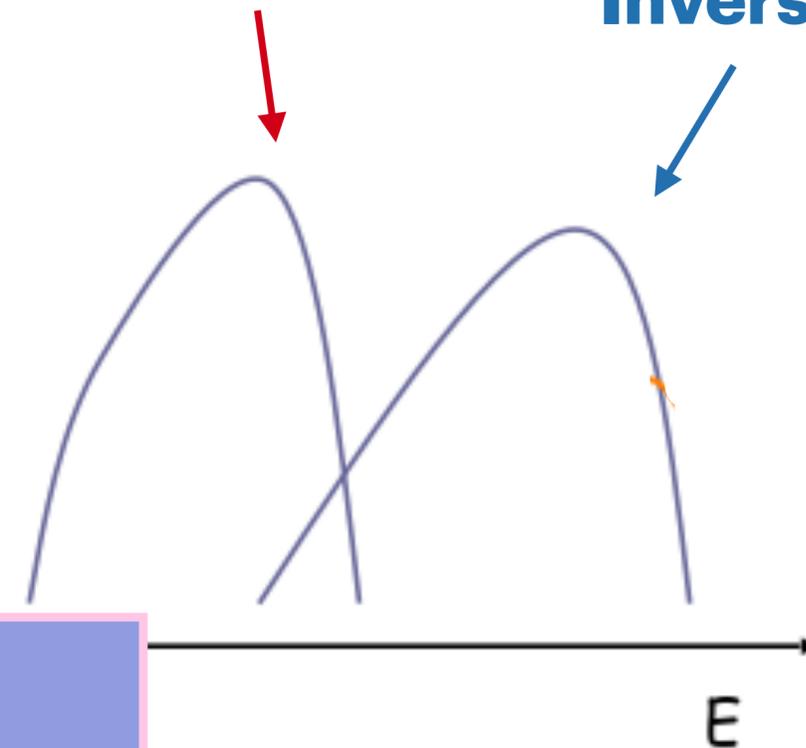
SSC por sus siglas en inglés



Para blazares HBL, el pico sincrotrón está en rayos X, y el pico de altas energías está en rayos gamma de TeV

Sincrotrón

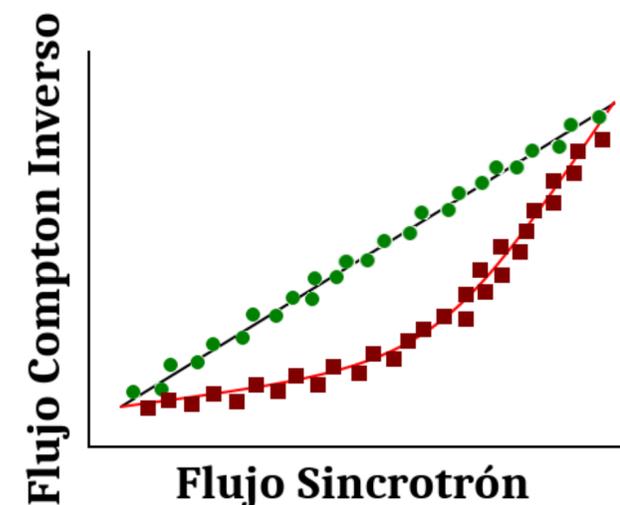
Compton Inverso



Se espera una correlación
Misma población de partículas
Compton Inverso.

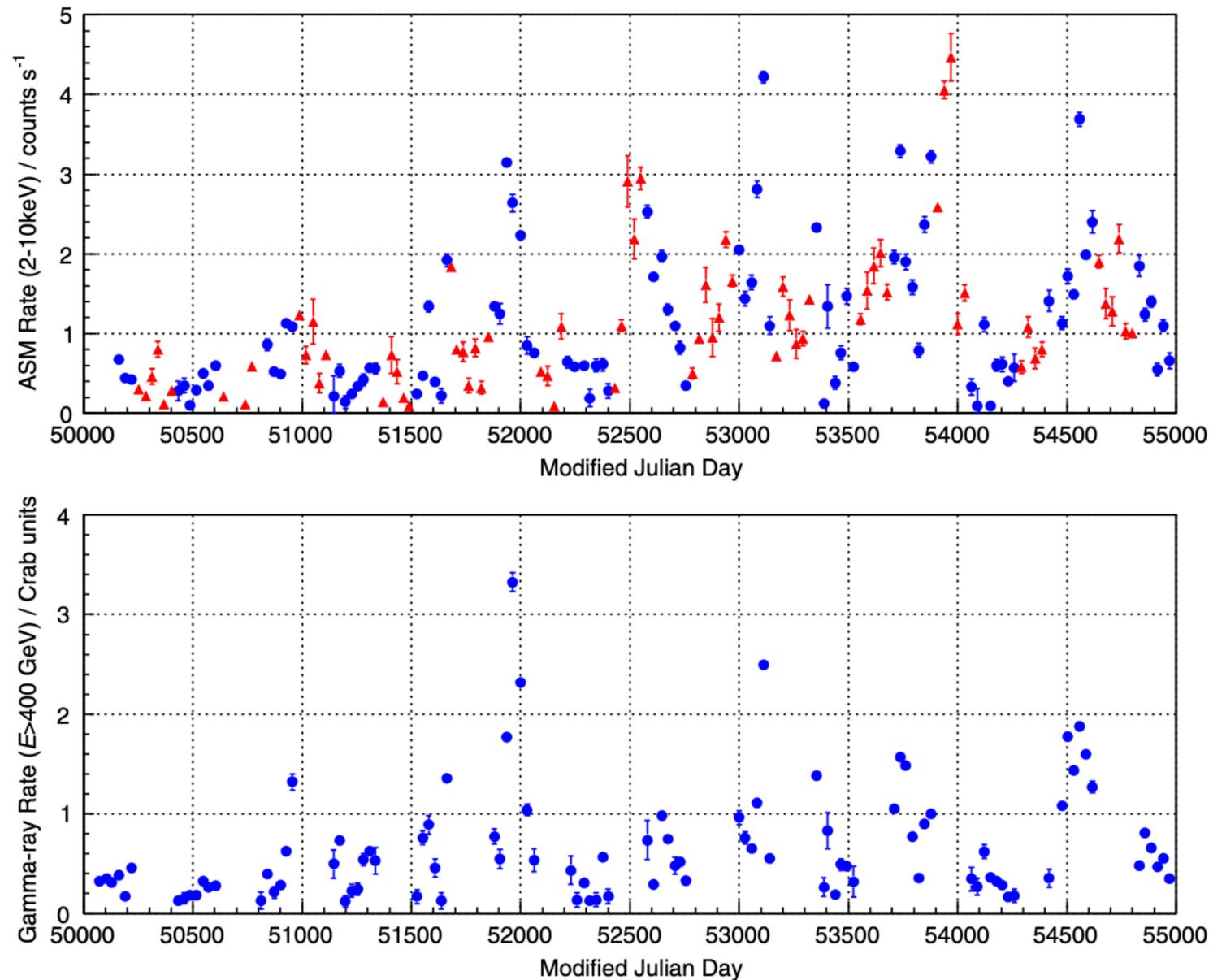
Si sólo existe una inyección de partículas en el sistema, el flujo sincrotrón es $F_{syn} \propto N_e$. El flujo de altas energías es $F_{SSC} \propto F_{syn} N_e$, por lo que $F_{SSC} \propto F_{syn}^2$.

V:

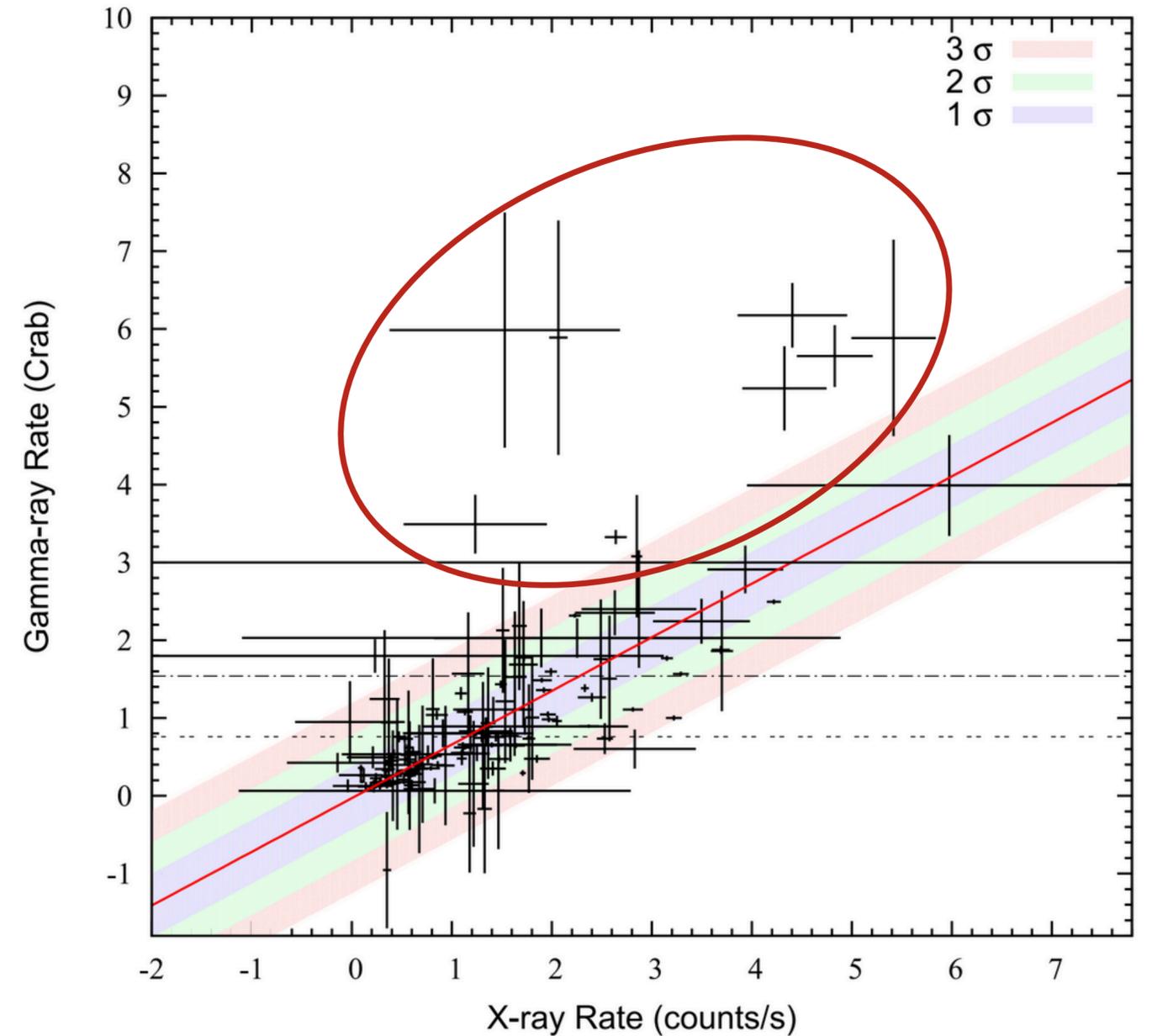


Observaciones

Blazar Mrk 421

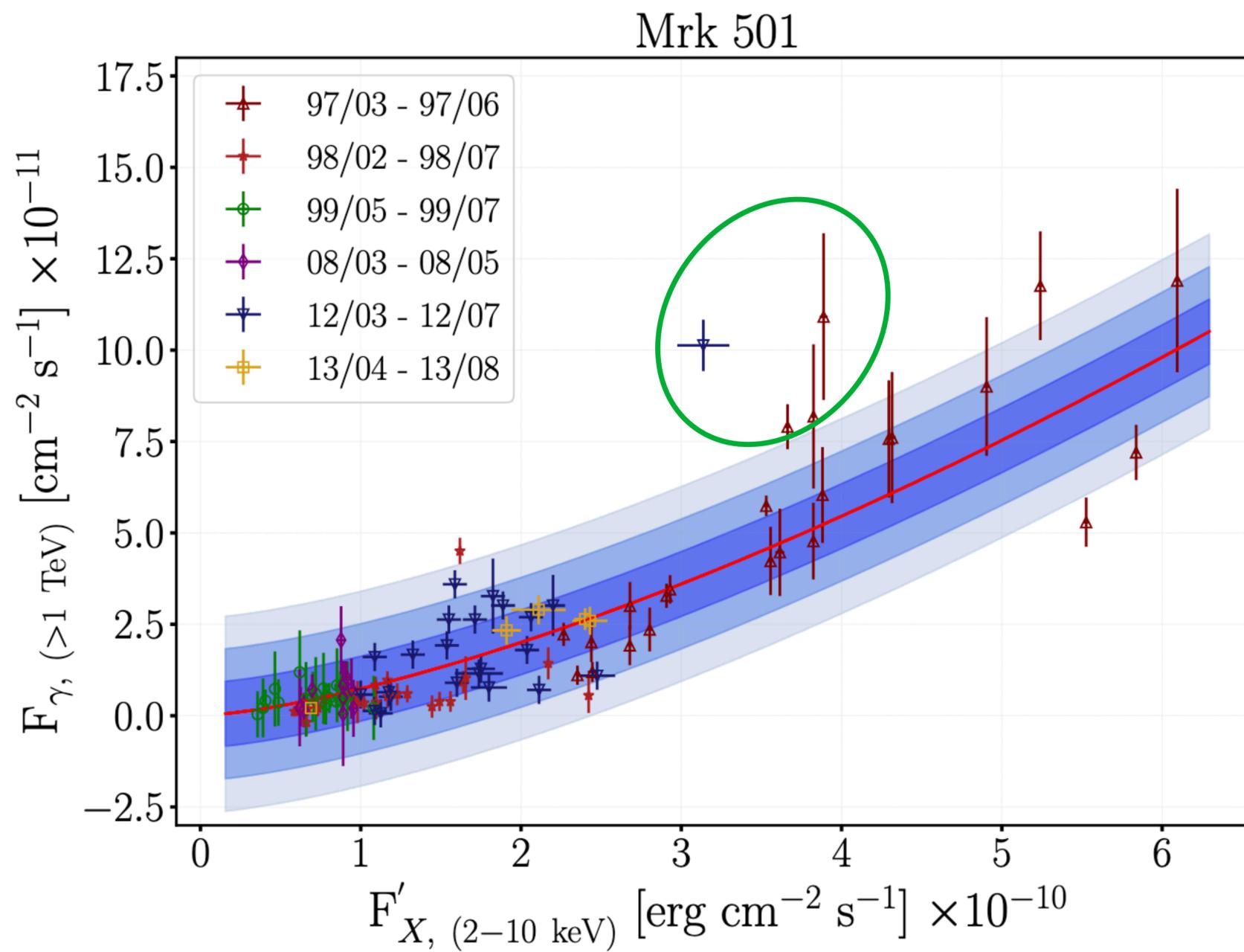
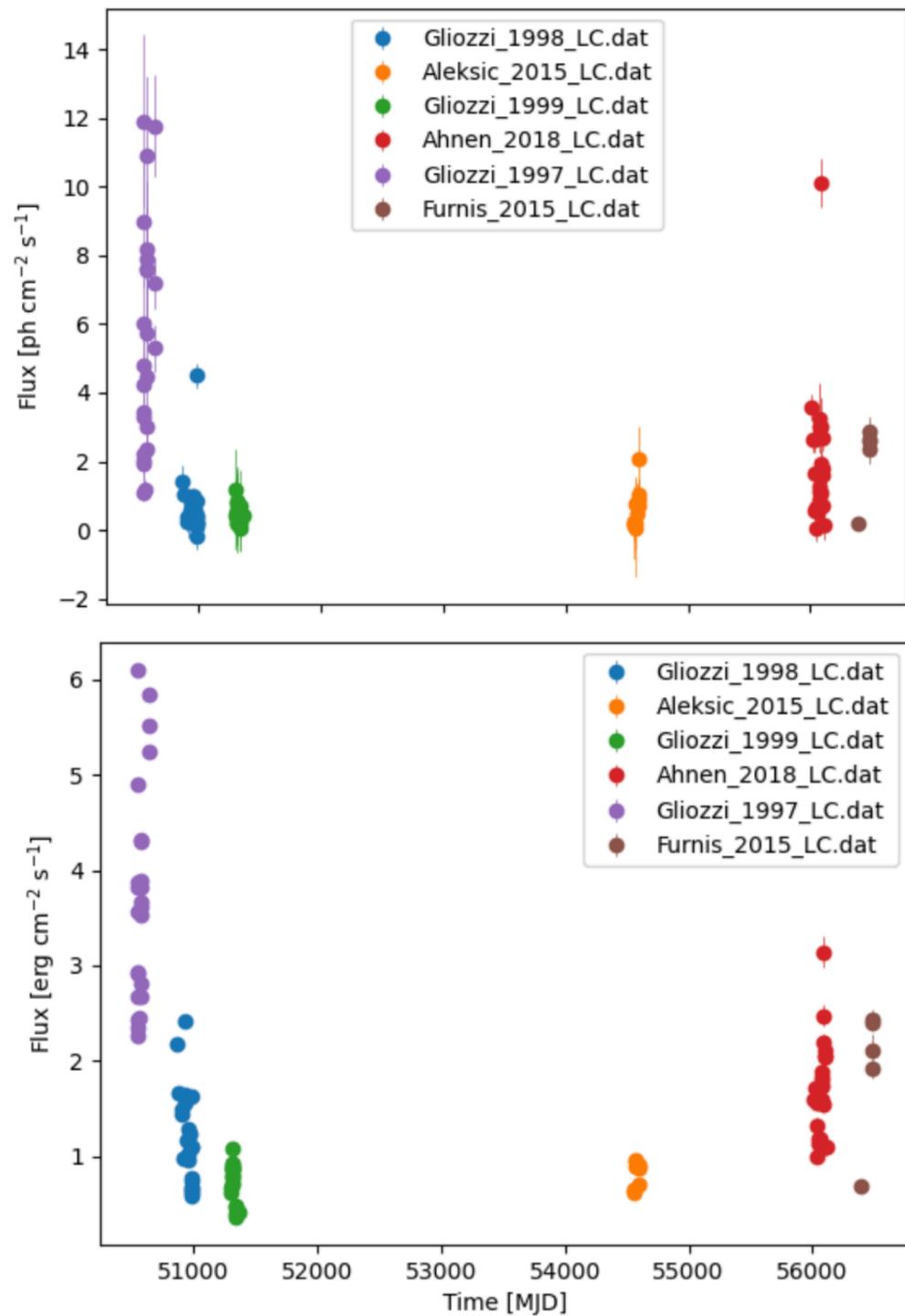


Acciari V. A. et al., 2014, *Astropart. Phys.*, 54, 1



González M. M et al., 2019, *MNRAS* 484

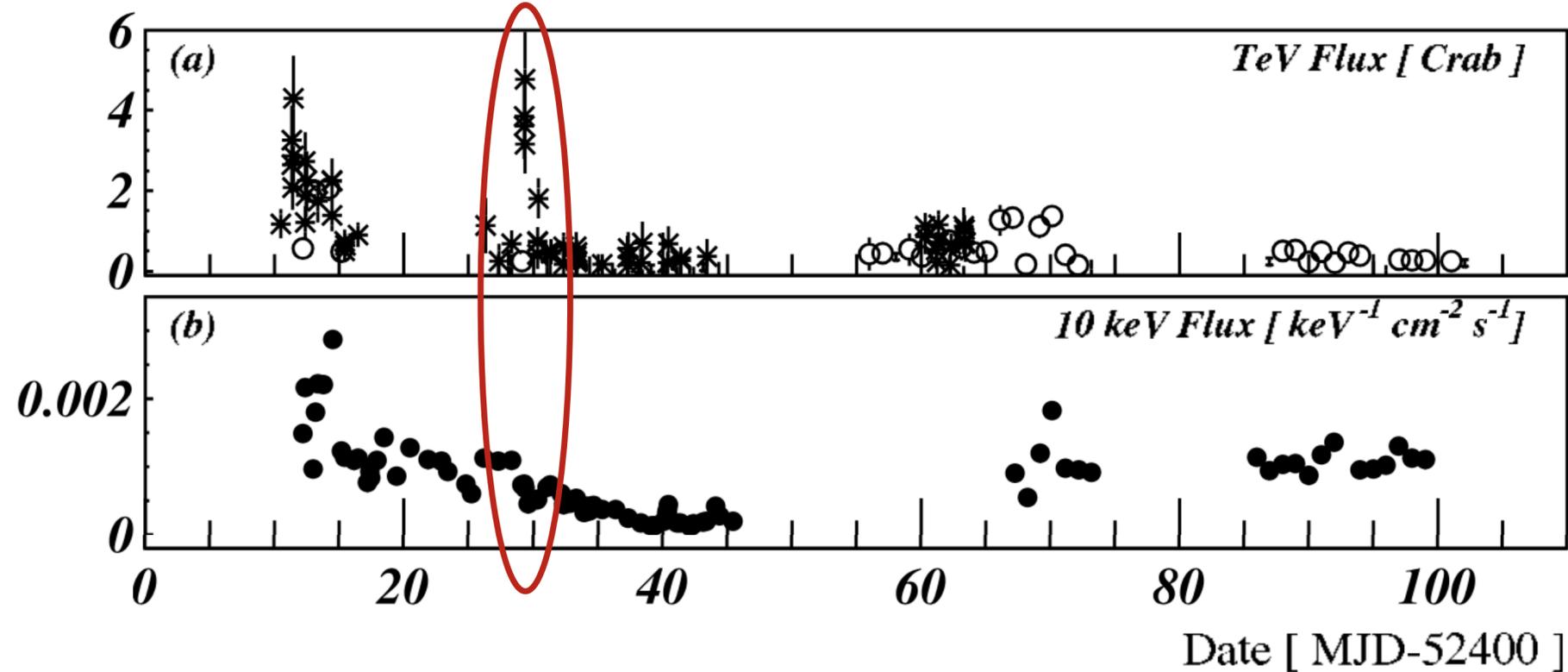
Blazar Mrk 501



Observaciones

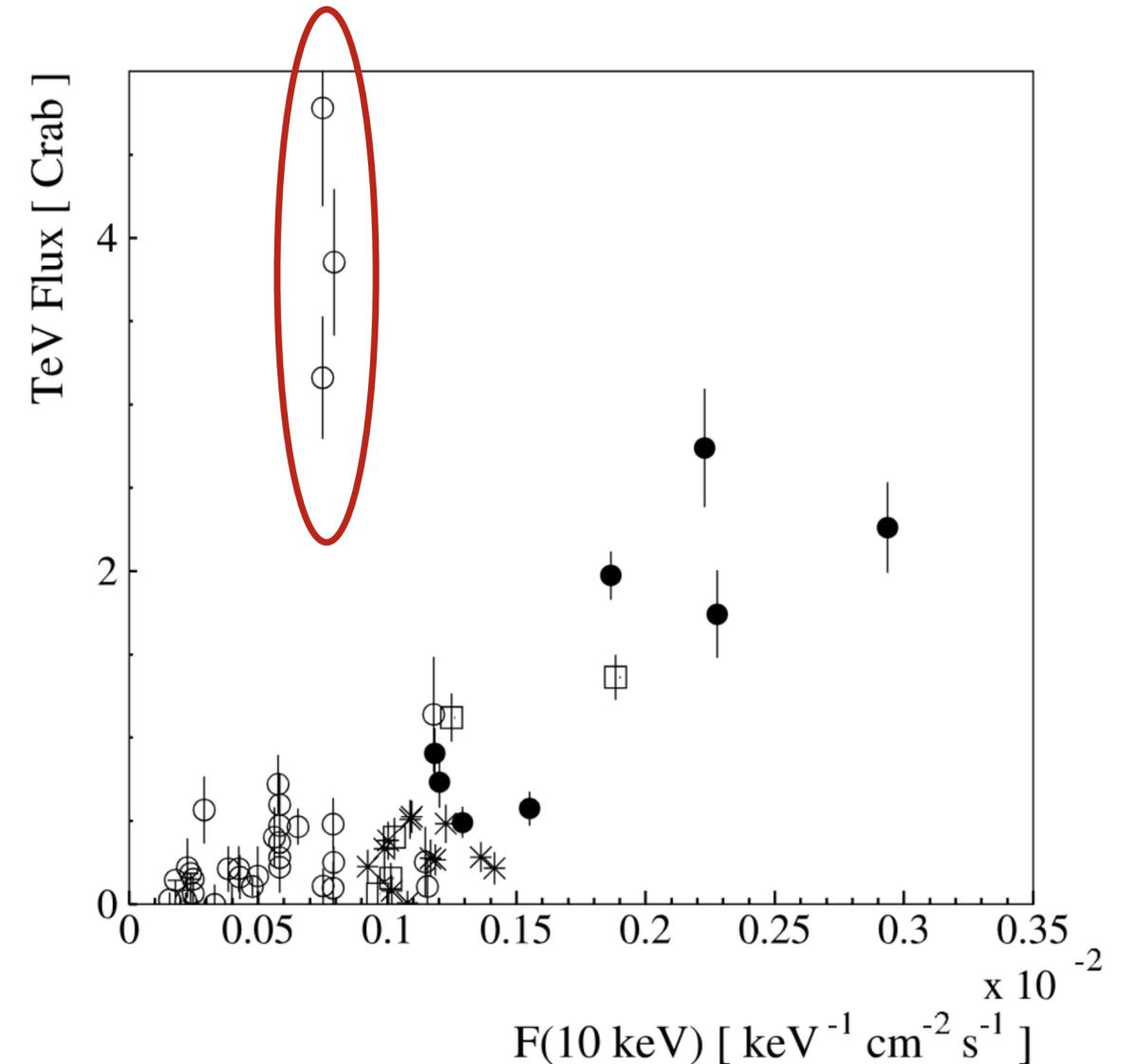
Blazar HBL 1ES 1959+650:

Curva de luz de rayos gamma (panel superior) y rayos X (panel inferior)



Se observa un flare huérfano en rayos gamma. No existe contraparte en rayos X

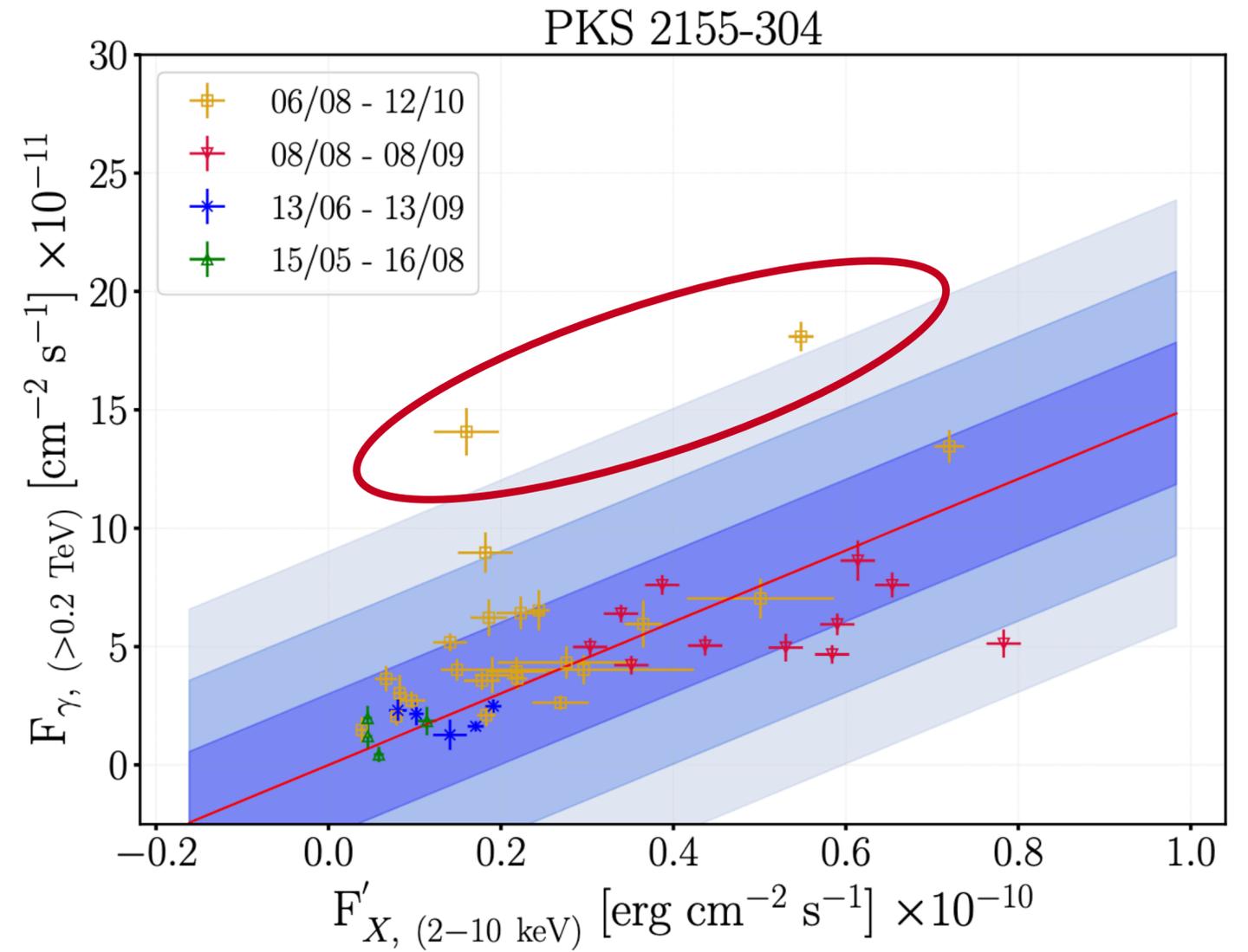
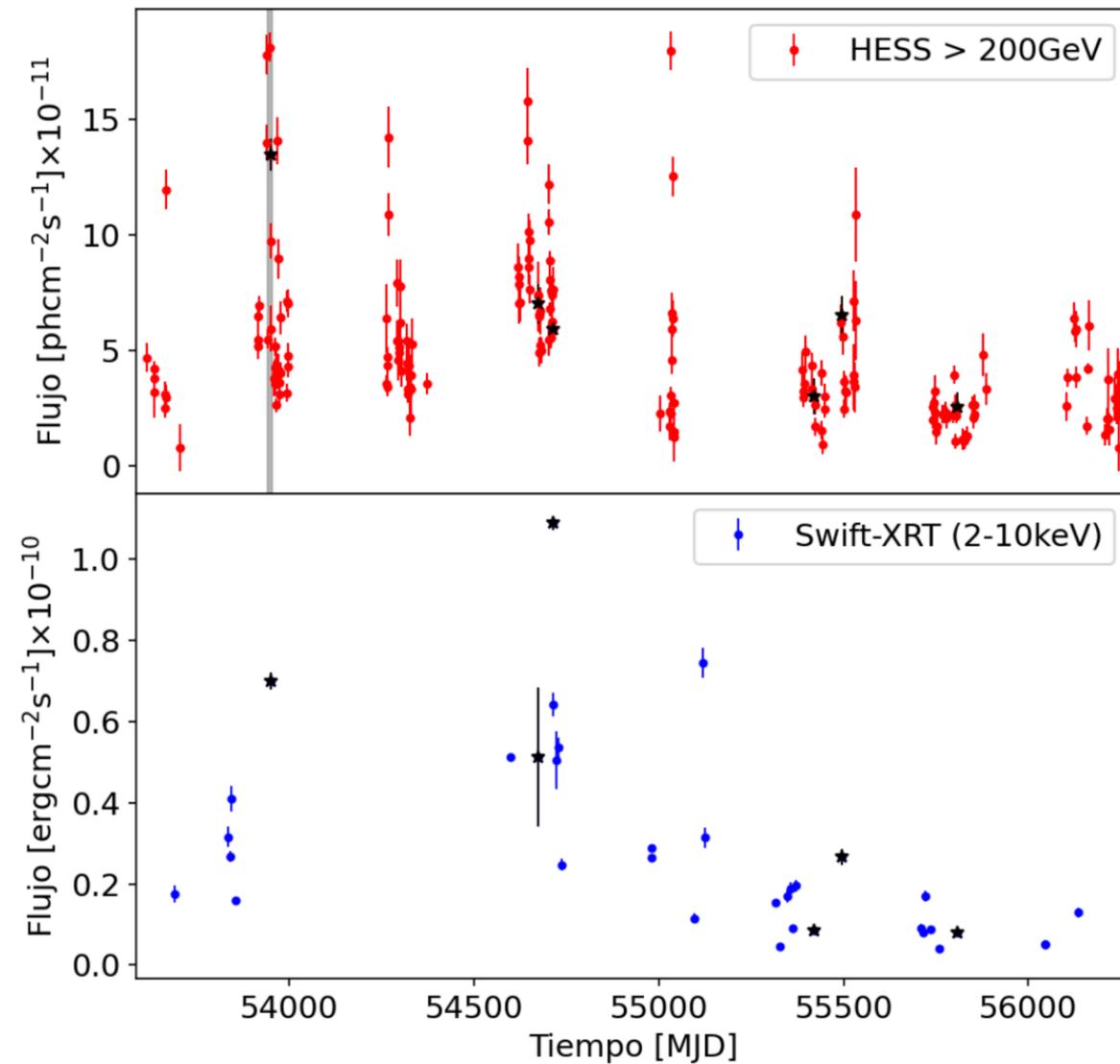
Krawczynski et al, 2004



Correlación entre rayos gamma y rayos X.

Observaciones

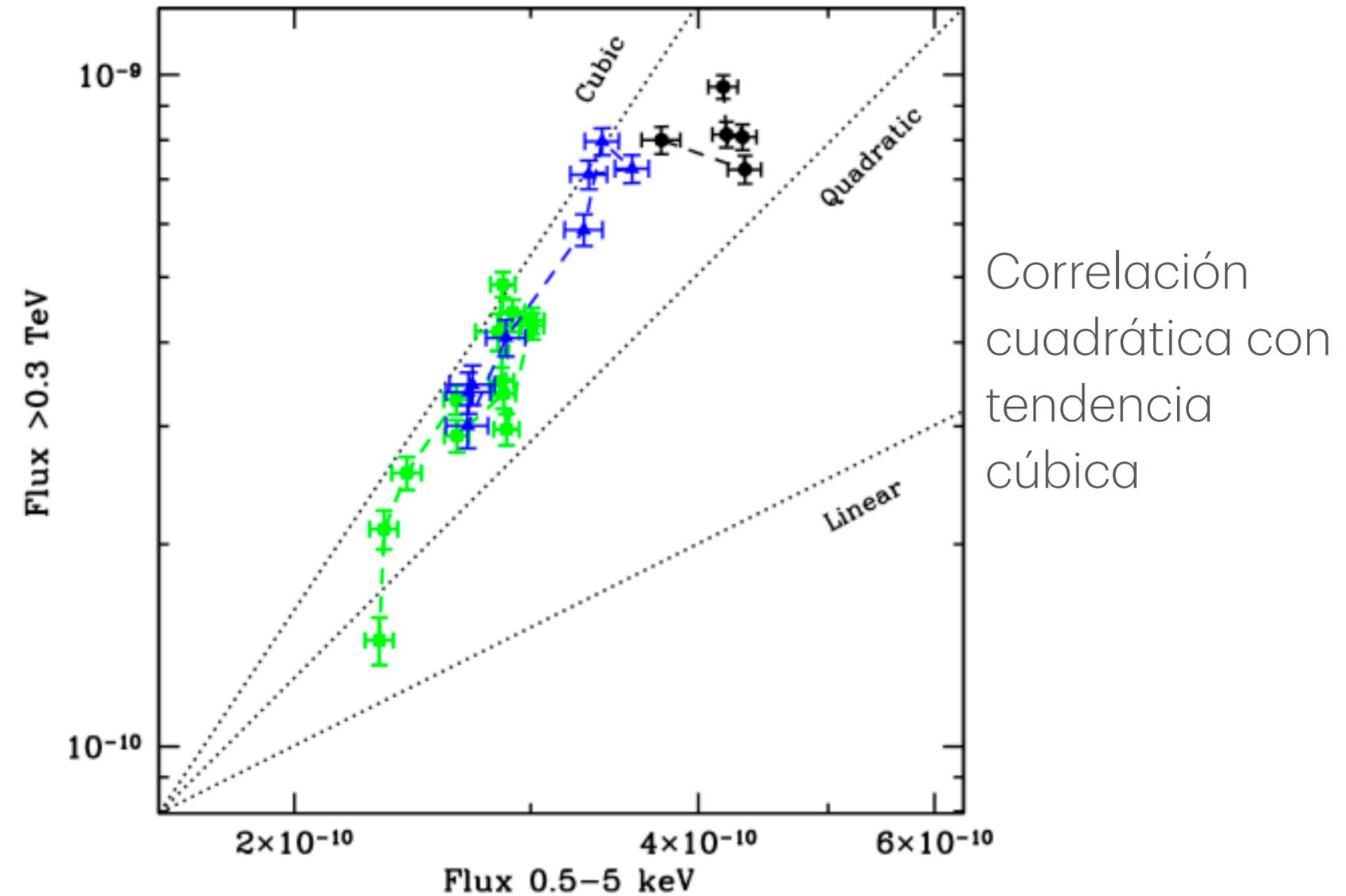
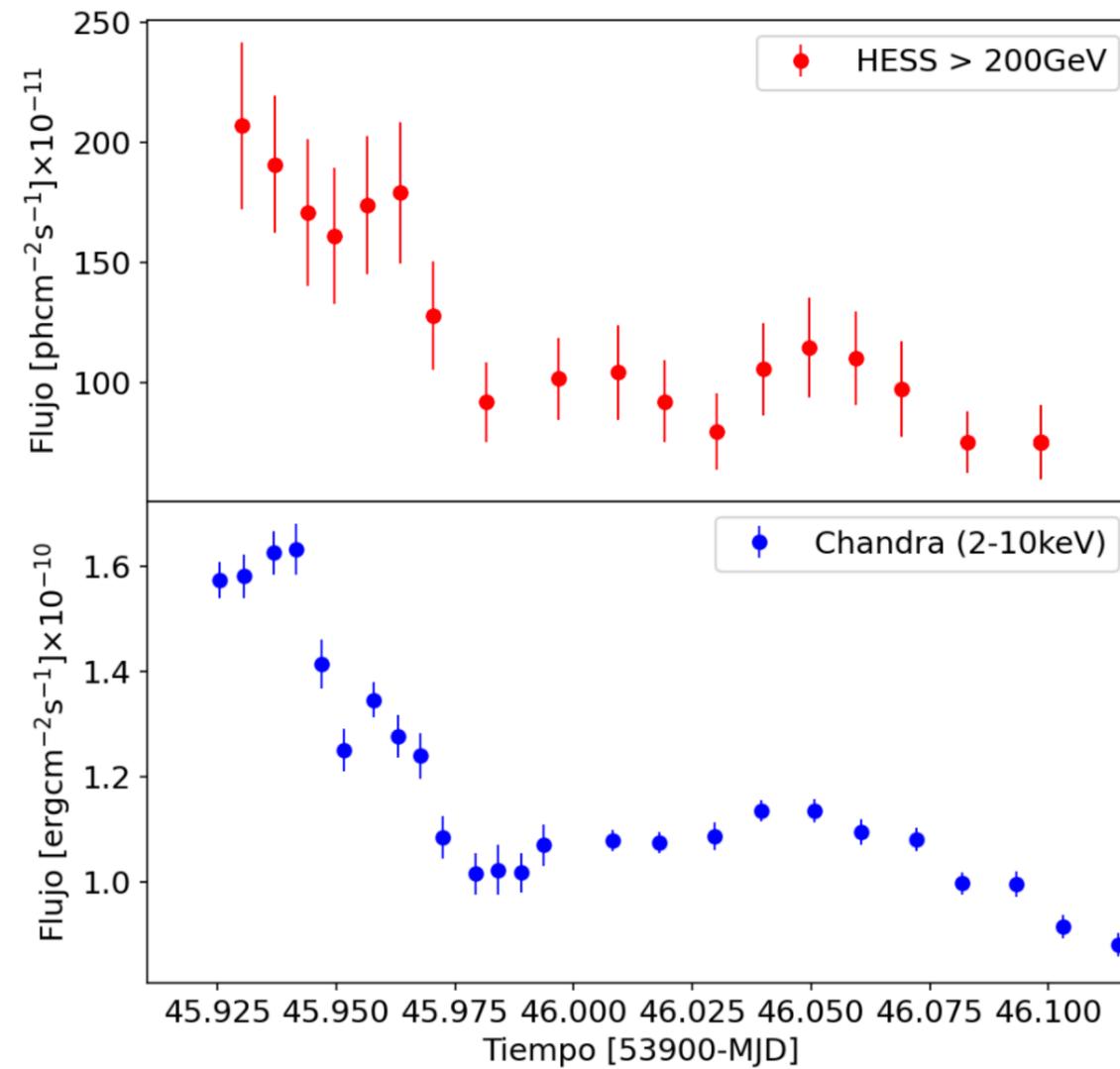
Blazar HBL PKS 2155-304



Curva de luz de observaciones entre 2005 al 2009.
En rayos gamma (rojos) y en rayos X (azules).

Observaciones

Blazar HBL PKS 2155-304



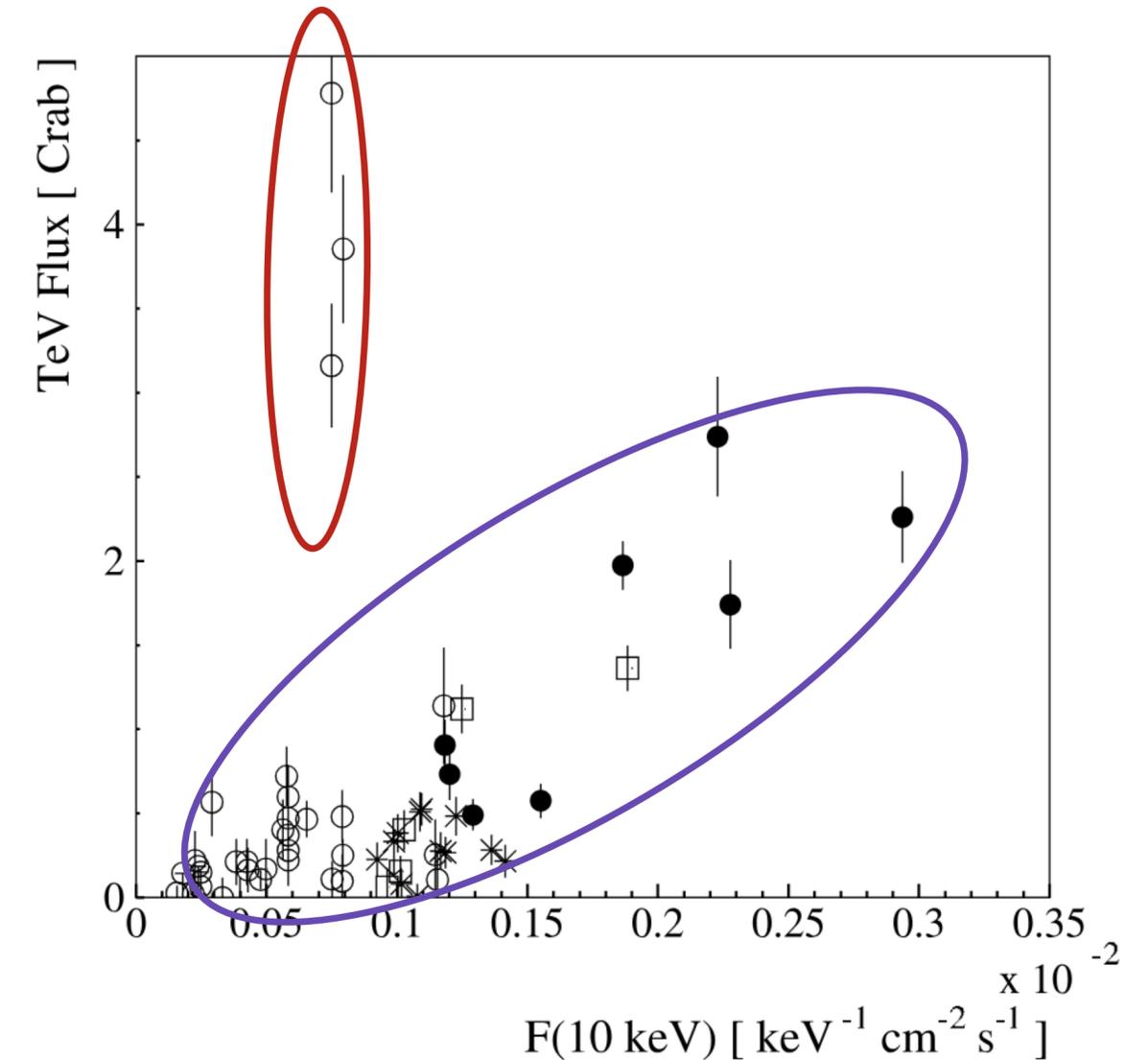
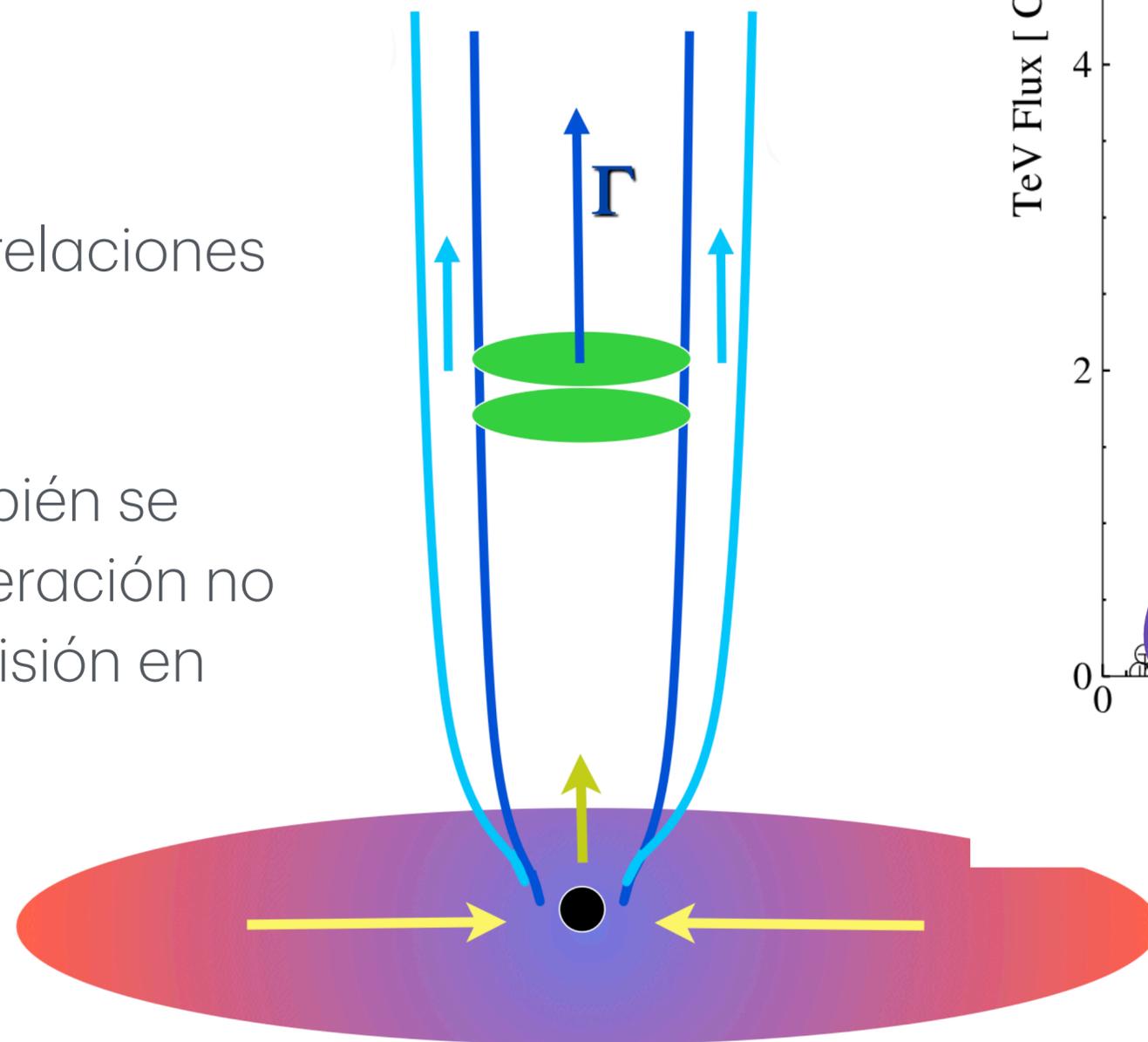
Curvas de luz y correlación del flare o ráfaga observada en julio 2006. El flujo en rayos gamma alcanza valores 2 órdenes de magnitud mayor que el flujo promedio

Exceso de rayos gamma en varias ocasiones

- La correlación con índice > 1 en Mrk 501.
- La presencia de outliers en la mayoría de las correlaciones.
- Observación de flares huérfanos o flares extremos.

Sincrotrón Auto Compton de múltiples zonas

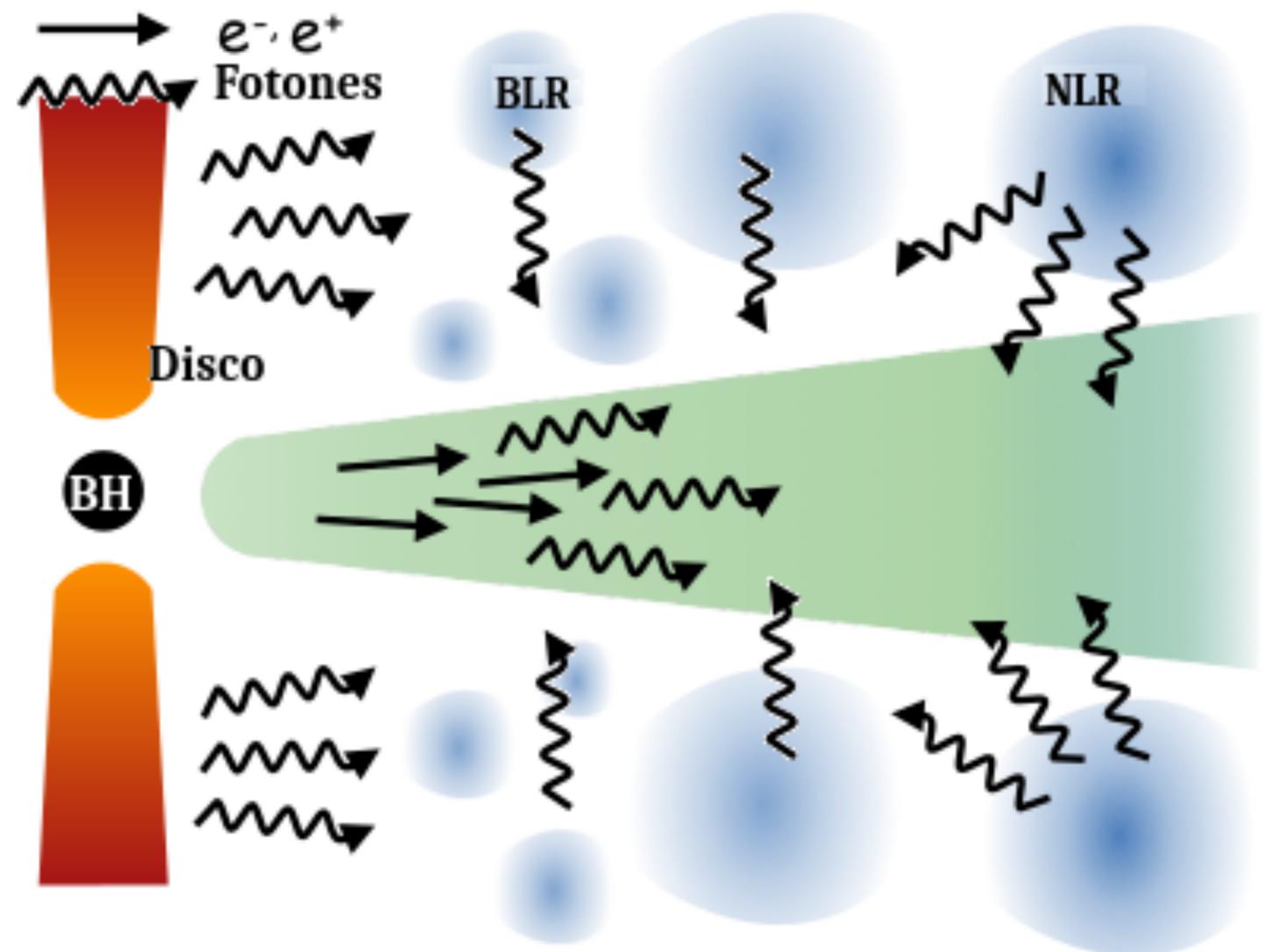
- Podemos explicar correlaciones con índices > 1 .
- Con este modelo también se puede explicar la generación no correlacionada de emisión en rayos gamma.



Krawczynski et al, 2004

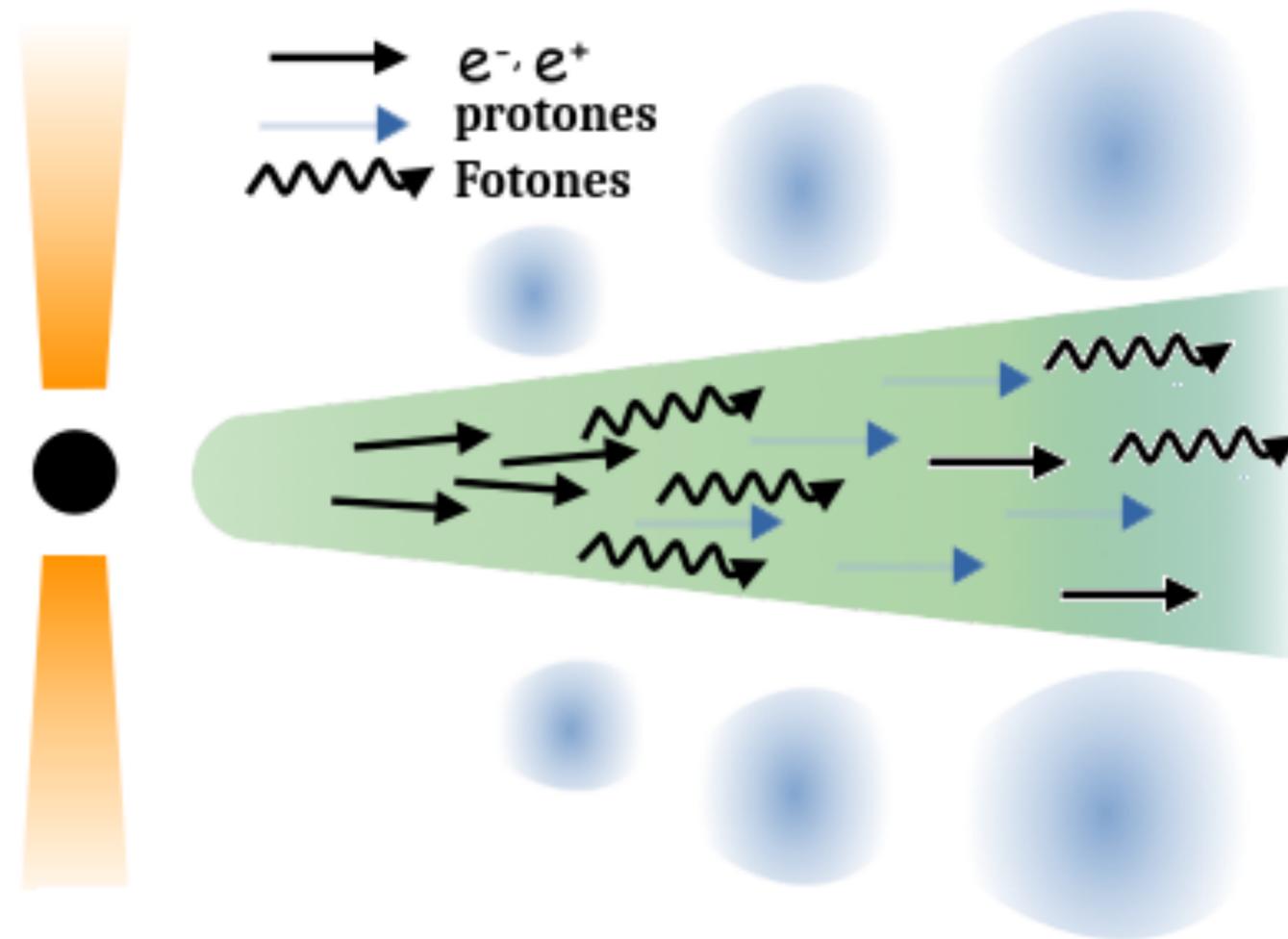
Modelo Compton Externo

- La componente de mayor energía se da por efecto compton inverso pero con fotones externos al jet.
- Por esta razón, no se espera una correlación entre emisión a diferentes bandas de energía.



Ref: Manel Errando. Fermi summer school 2021

Modelos Hadrónicos



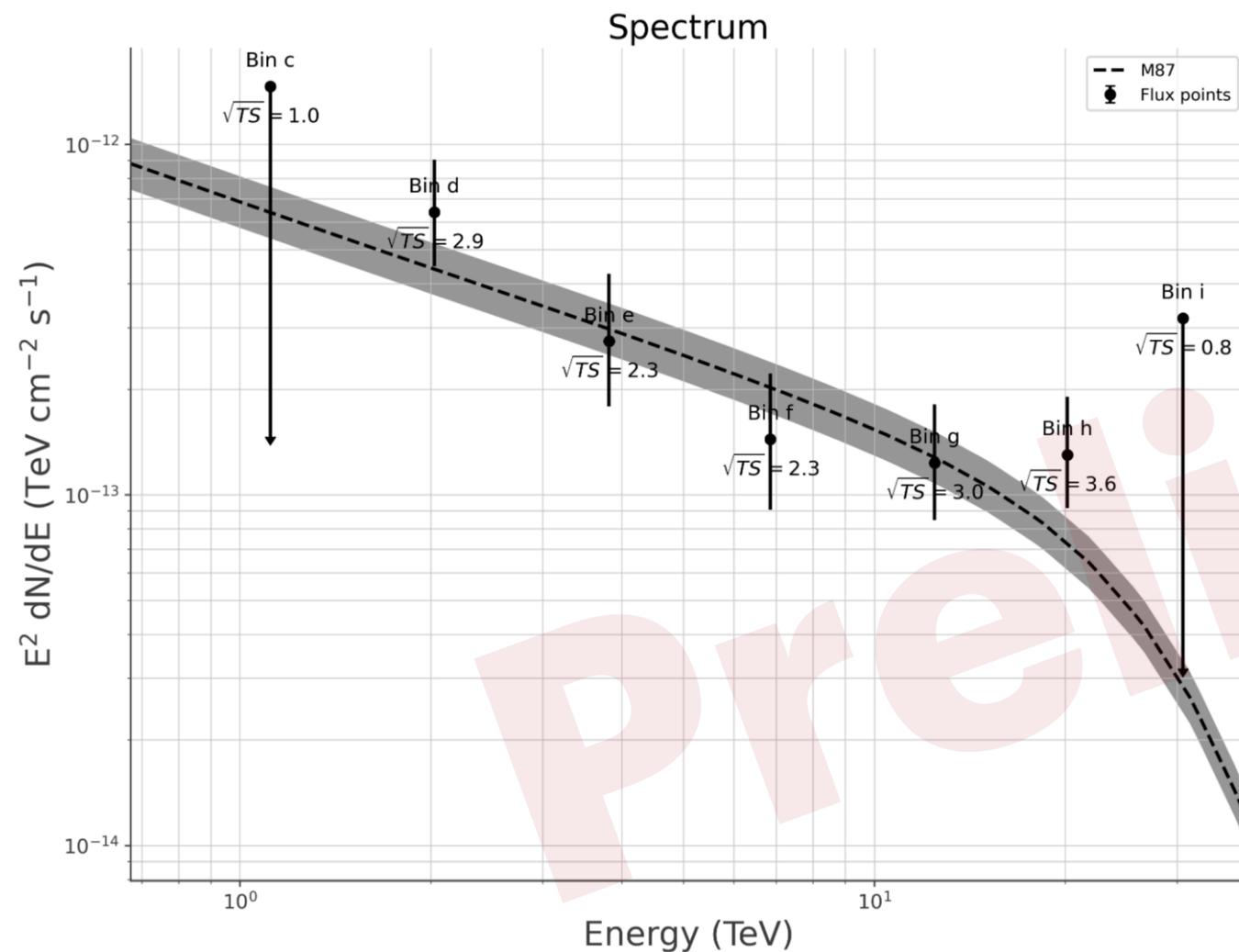
- Emisión de las altas energías del SED se da por procesos hadrónicos.
- Se propone que el jet está formado por protones y un campo magnético de orden de Gauss para poder acelerarlos.
- Las interacciones que se dan son
$$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + S$$
$$p + \gamma \rightarrow n + \pi^+ + \pi^- + S$$
$$p + \gamma \rightarrow p + e^+ + e^-$$
- Los piones decaen en:
$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$
$$\pi^+ + \pi^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \nu_\mu$$

Ref: Manel Errando. Fermi summer school 2021

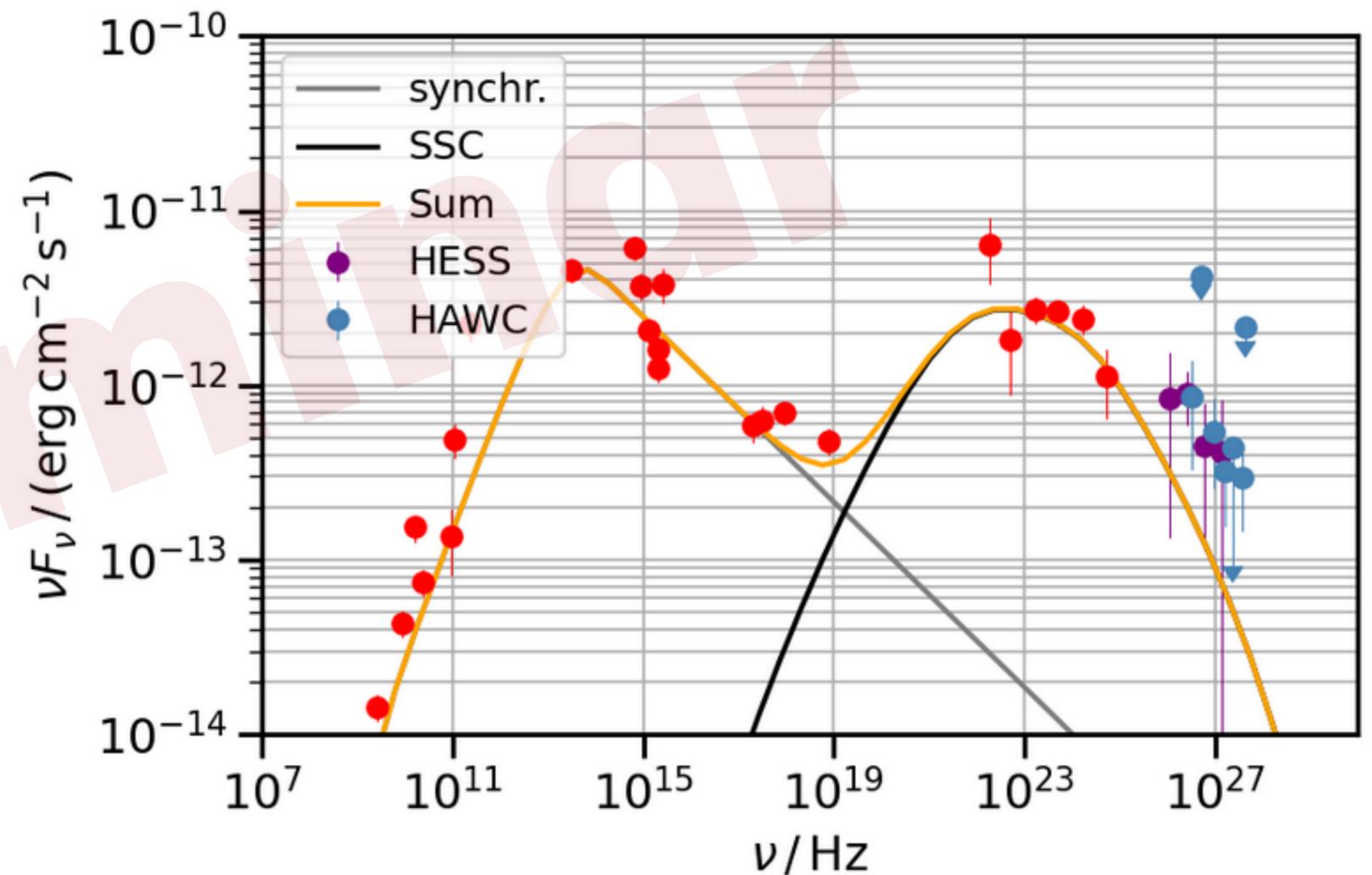
Las implicaciones de este modelo es que los AGNs son fuentes que aceleran rayos cósmicos (RC) y que se producen neutrinos astrofísicos.

Radio galaxies

El modelo SSC no describe la emisión de rayos gamma de TeV



Espectro de M87 de observaciones de HAWC entre 2015 a 2022. Ref: HAWC collaboration, preliminary results



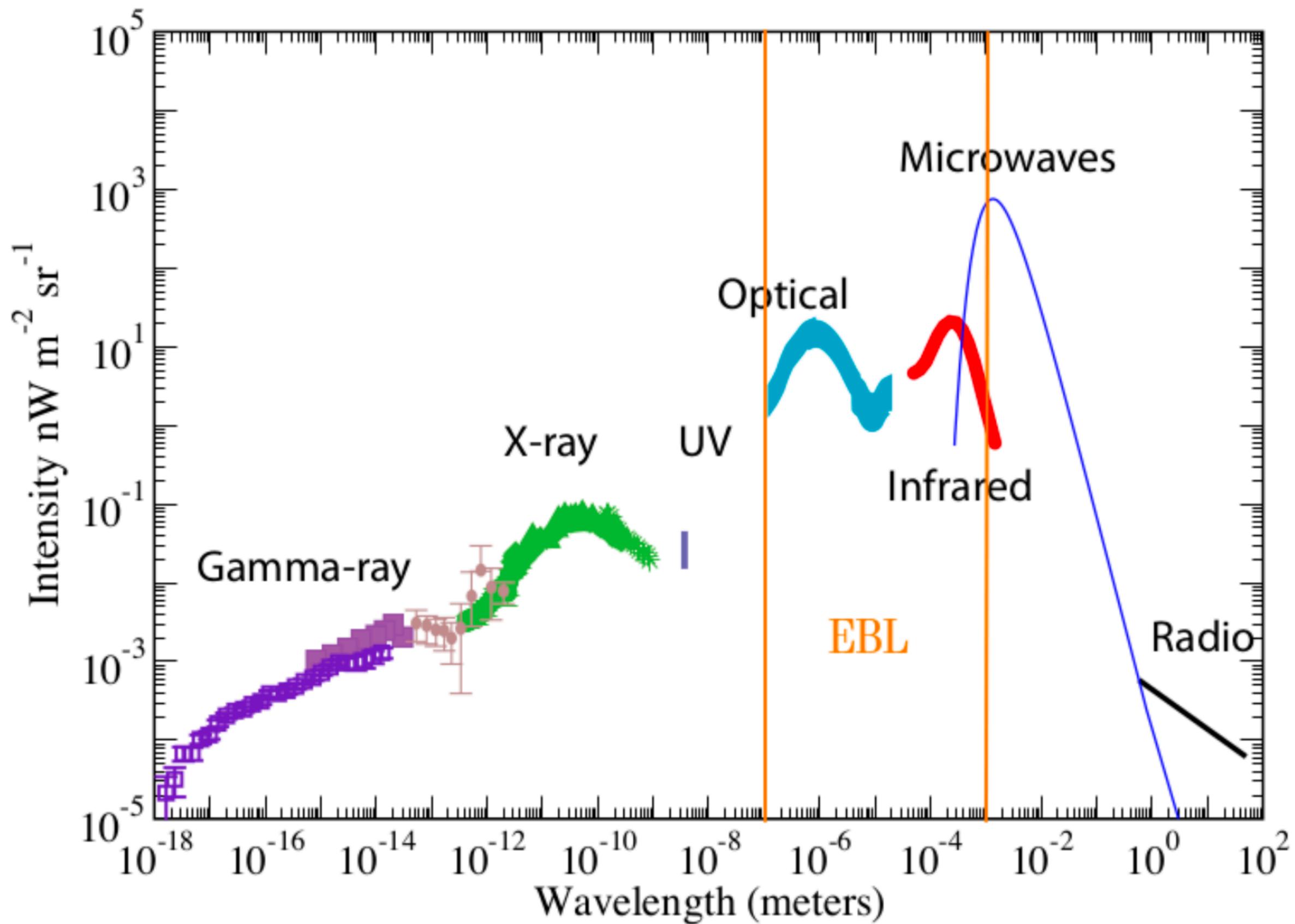
Espectro multifrecuencias de M87 ajustado con un modelo SSC

La Luz de Fondo Extragaláctica (EBL)

Un fondo muy importante para astrofísica de altas energías

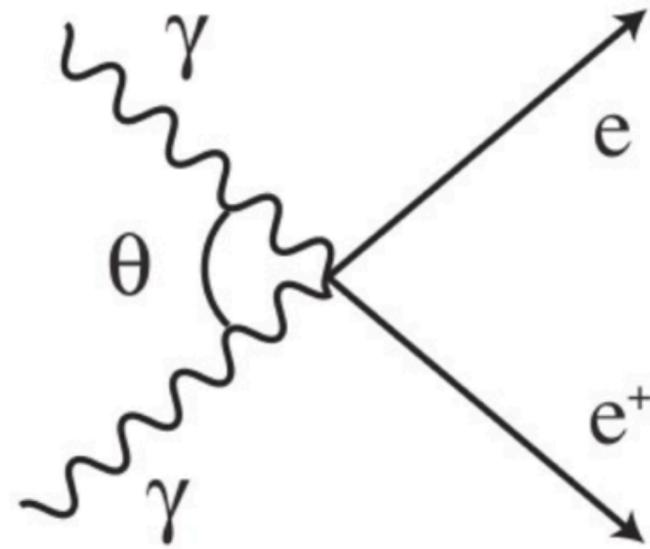
Componentes del Fondo Cósmico Extragaláctico

- Cosmic Radio Background (CRB)
 - Cosmic Microwave Background (CMB)
 - Cosmic Infrared Background (CIB)
 - Cosmic Optical Background (COB)
 - Cosmic Ultra-Violet Background (CUVB)
 - Cosmic X-ray Background (CXB)
 - Cosmic Gamma-ray Background (CGB)
- EBL**
- Lejano-mediano IR:
10 μm – 1000 μm
 - Cercano-IR:
10 μm – 0.4 μm
 - Óptico:
0.4 μm – 0.7 μm
 - Cercano UV:
0.1 μm - 0.4 μm
-



Intensidad del Fondo Cósmico Extragaláctico

- El requerimiento básico para que se lleve a cabo la producción de pares es que debe haber suficiente energía en el centro de masa del sistema fotón-fotón para crear un par electrón-positrón



$$\sqrt{2E_{\gamma}E_{bg}(1 - \cos\theta)} \geq 2m_e c^2$$

E_{γ}

E_{bg}

> 1TeV

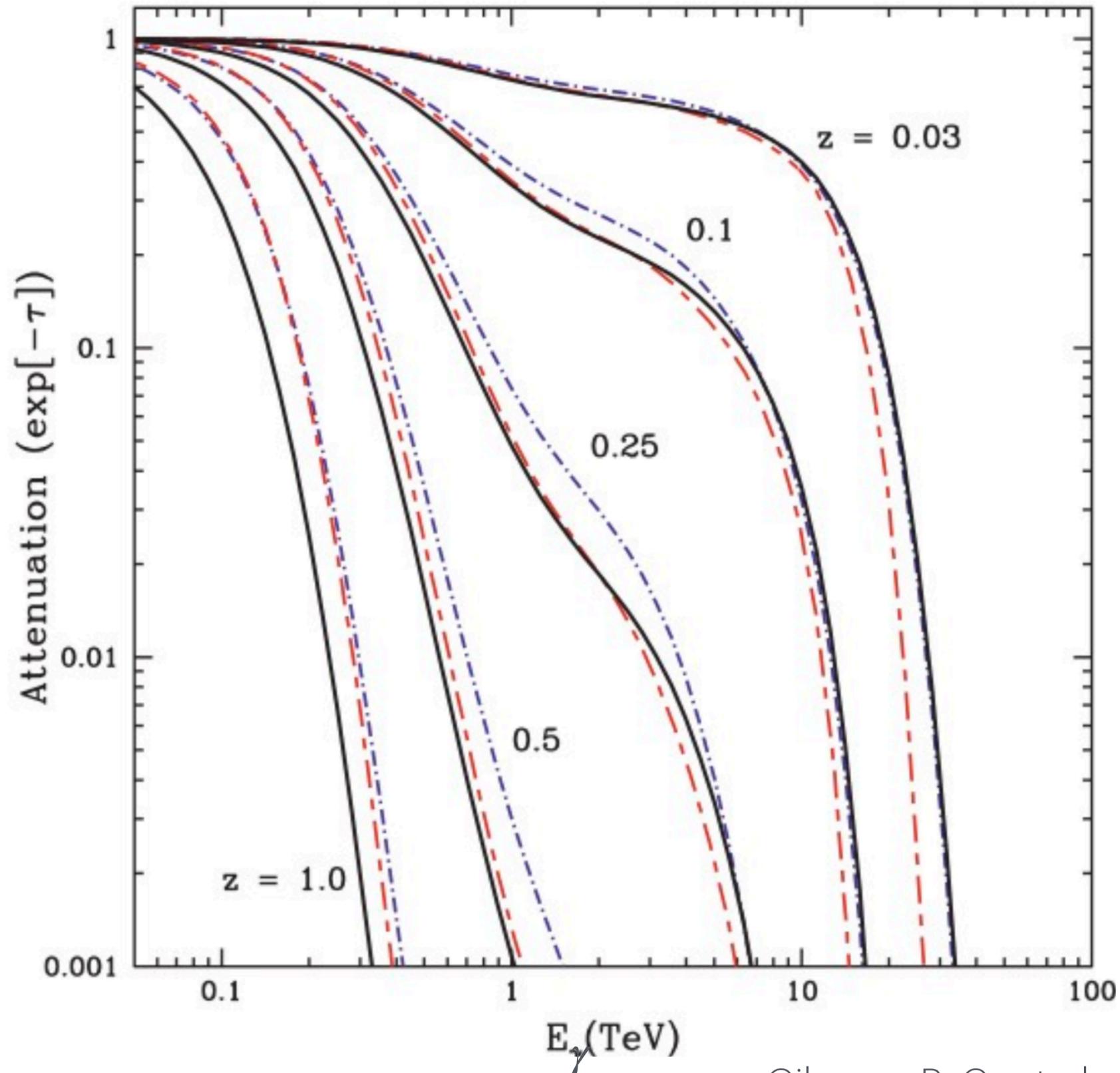
Cercano y
mediano IR

200 GeV – 1 TeV

Cercano IR y óptico

< 200 GeV

Fotones UV



El flujo observado y el intrínseco se relaciona como:

$$F_{obs}(E) = F_{int}(E) \times e^{-\tau(E,z)}$$

donde $\tau(E, z)$ es la profundidad óptica

$$\tau(E_\gamma, z_0) = \frac{1}{2} \int_0^{z_0} dz \frac{dl}{dz} \int_{-1}^1 du (1 - u) \times \int_{E_{min}}^{\infty} dE_{bg} n(E_{bg}, z) \sigma(E_\gamma(1+z), E_{bg}, \theta)$$