



Universidad Nacional
Autónoma de México

Universidad de San
Carlos Guatemala



ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN RAYOS-GAMMA DE MARKARIAN 421

Reunión Anual de la División de Rayos Cósmicos 2021

ERICK ALEJANDRO RANGEL
M. MAGDALENA GONZÁLEZ
MABEL OSORIO
RODRIGO SACAHI
MARISOL CASTELLANOS

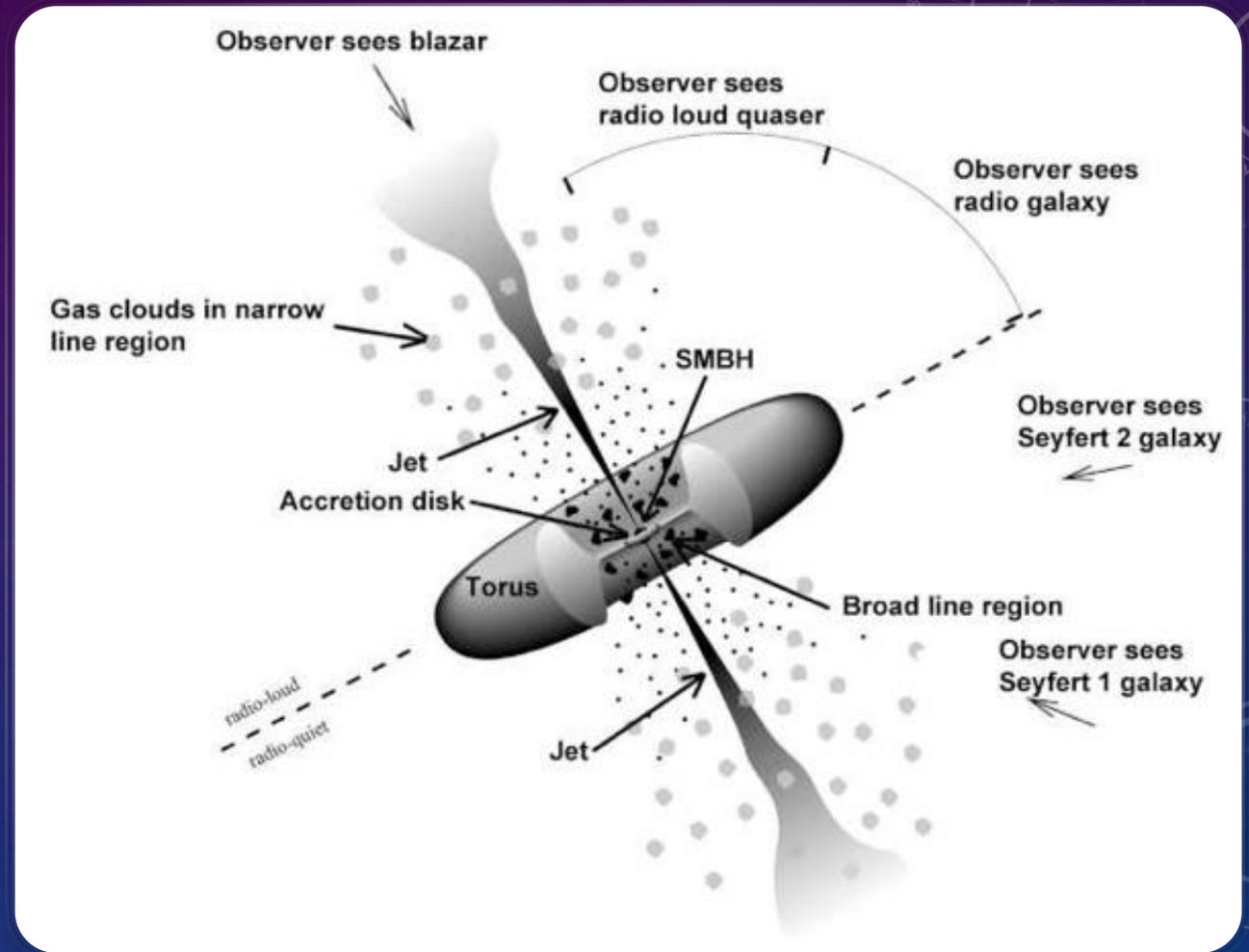
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM
INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, UNAM
INSTITUTO DE ASTRONOMÍA, UNAM
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, ECFM-USAC
ESCUELA DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, USAC

ÍNDICE

- AGNs
- Markarian 421
- Fermi LAT
- Bloques Bayesianos
- Resultados y Discusión
 - Curva de Luz
 - Distribución del Flujo
- Trabajo por Hacer

AGN

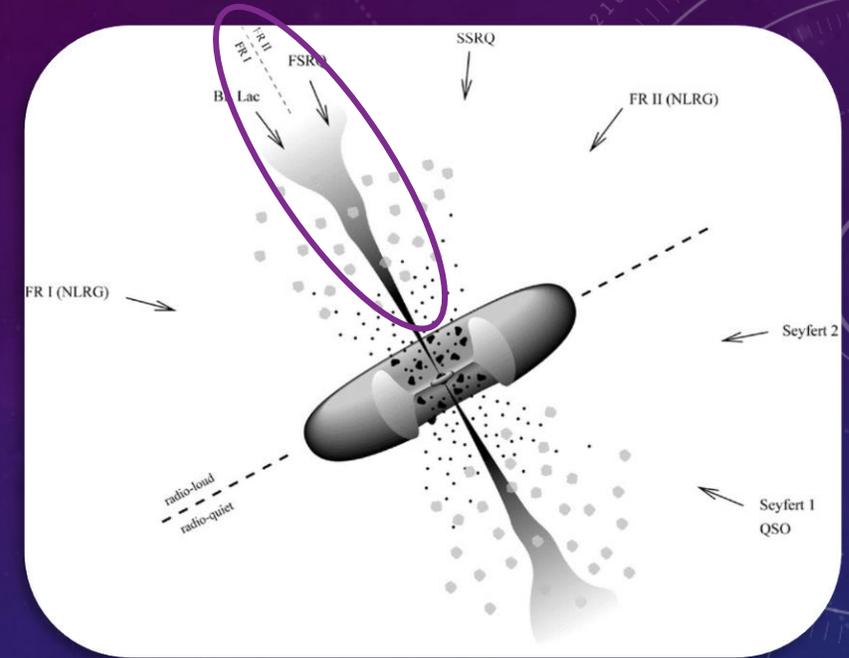
- Galaxias con Núcleo Activo
- Se compone de:
 - ❖ Agujero negro super masivo
 - ❖ Disco de acreción.
 - ❖ Jet relativista
 - ❖ Distribución de gas y polvo en forma de toroide.



Esquema basado en el modelo de unificación (Kalcheva and Ivayla et al 2014).

MARKARIAN 421

- Markarian 421 (Mrk 421) es un blazar BL Lac, es el blazar mas cercano a la tierra ($z=0.031$).
- Primer objeto extragaláctico detectado que emite en muy altas energías (rayos-gamma del orden de TeV).
- Presenta gran variabilidad en el flujo, la cual ocurre en todas las bandas de energía y en diferentes periodos temporales.
- La variabilidad es una manera de sondear su estructura y tamaño de la zona de emisión de los blazares.



Esquema basado en el modelo de unificación (Kalcheva and Ivayla et al 2014).



Imagen de Sloan Digital Sky Survey de Mrk 421

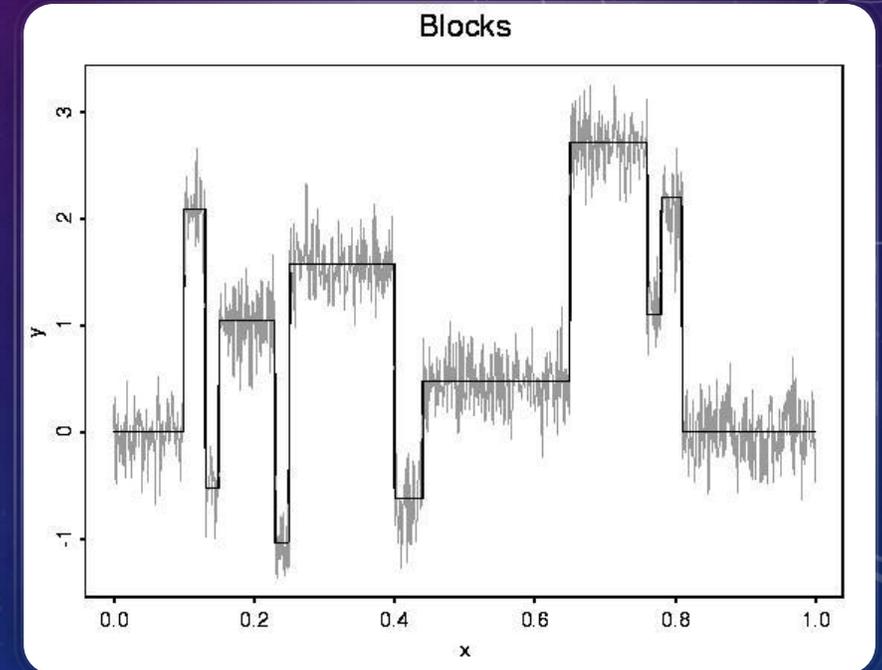


FERMI LAT

- Telescopio espacial de Rayos Gamma Fermi.
- Se compone de dos instrumentos: Gamma-ray Burst Monitor (GBM) y Large Area Telescope (LAT).
- Diseñado para el estudio del Universo en energías desde 20 MeV hasta 300 GeV.
- El instrumento LAT es un telescopio conversor de pares.
- Proporciona una cobertura del cielo uniforme cada 2 órbitas (~ 3 horas)

BLOQUES BAYESIANOS

- Es una técnica de modelaje no paramétrica propuesta por Scargle (1998, 2013).
- Consiste en segmentar de manera optima los datos en el intervalo de observación en una serie de tiempo, utilizando estadística bayesiana.
- Segmentación representada mediante bloques.
- El valor de estos bloques es el promedio ponderado de las cantidades medidas (flujo).
- Se necesitan:
 - N: Número de datos.
 - P_0 : Taza de falso positivo.
- Para el numero de bloques:
 - Prior

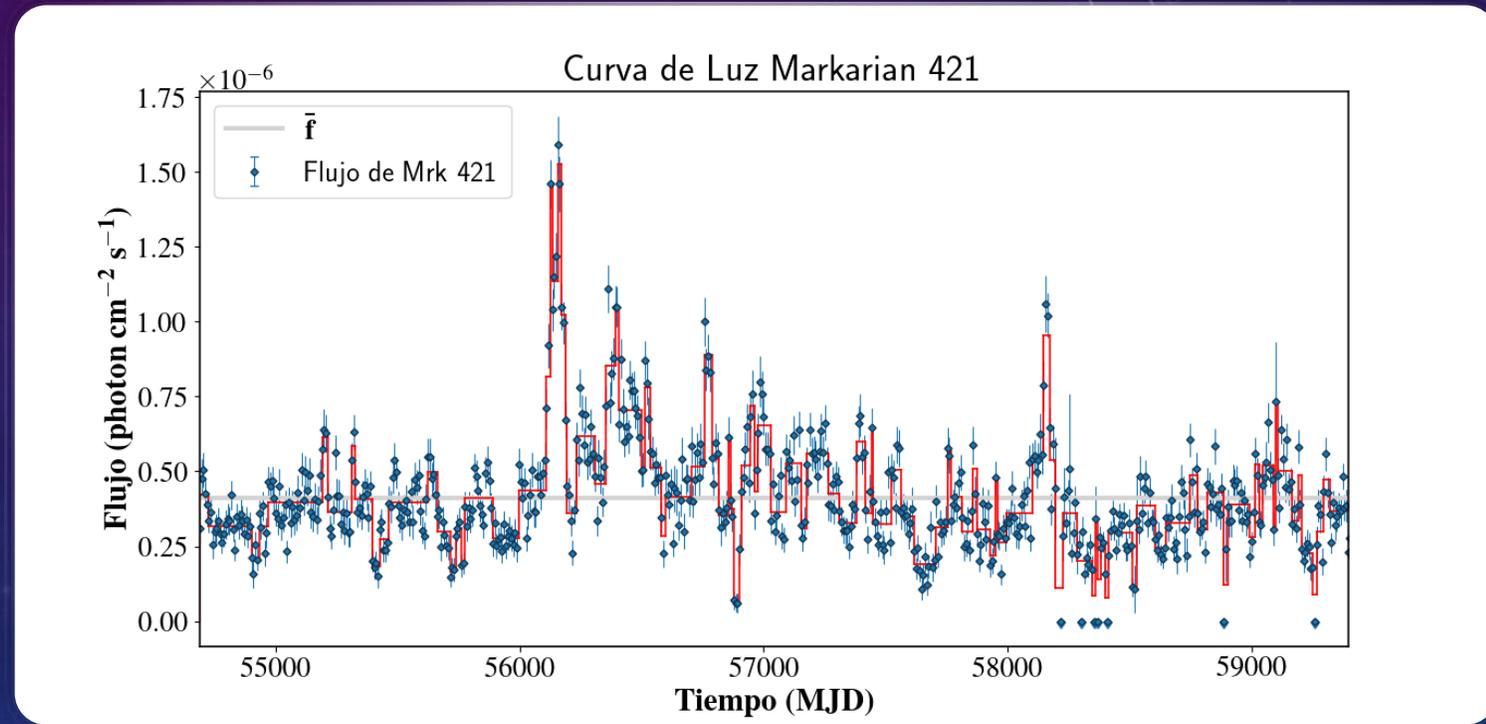


Esquema bloques bayesianos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

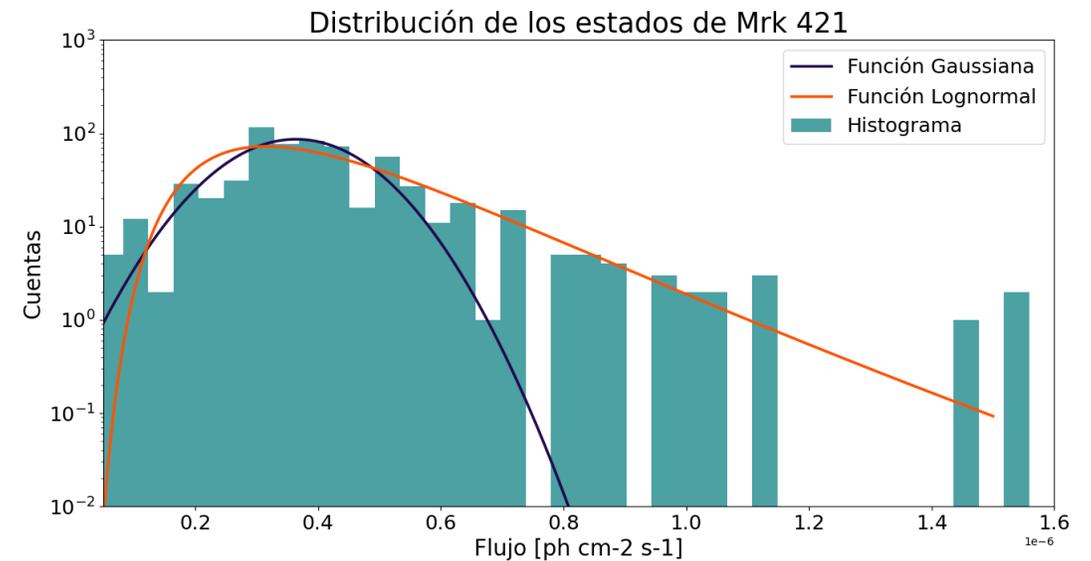
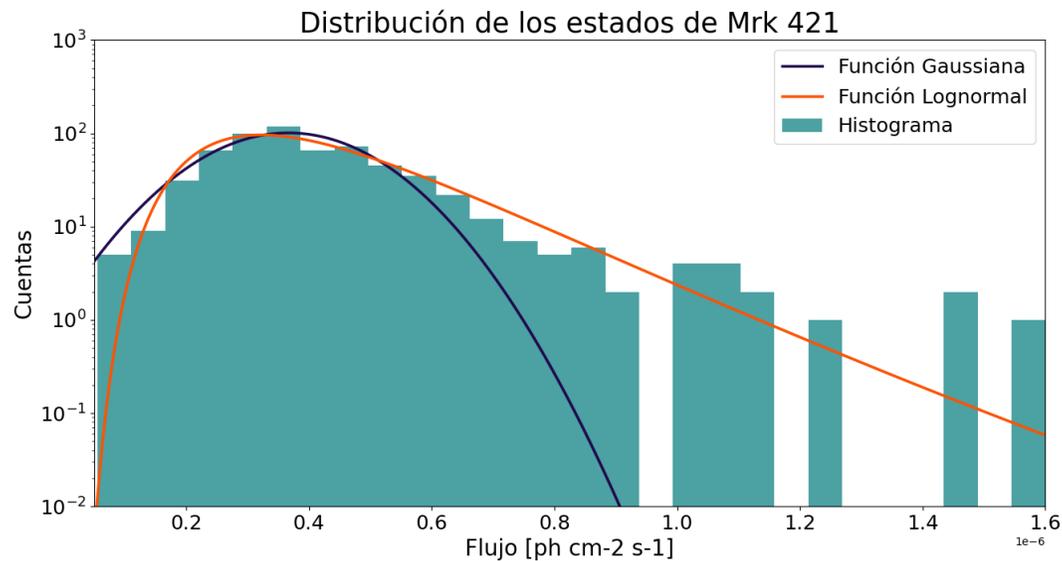
CURVA DE LUZ

- **Periodo:** 13 años (54683-59431 MJD) (05-08-2008, 05-08-2021).
- **Energía:** 30 MeV- 300 GeV.
- **Software para el análisis:** Enrico (Sanchez & Deil, 2013) para manejo más práctico de las Fermi Science Tools (software oficial de Fermi-LAT).
- **Bloques Bayesianos:** Basado en el algoritmo descrito en Scargle(2013)
 - Tasa de falso positivo: 0.05



Curva de luz de Markarian 421 con intervalos de tiempo de 1 semana (puntos azules) durante 13 años. Las líneas rojas representan los bloques bayesianos, la línea gris es el flujo promedio.

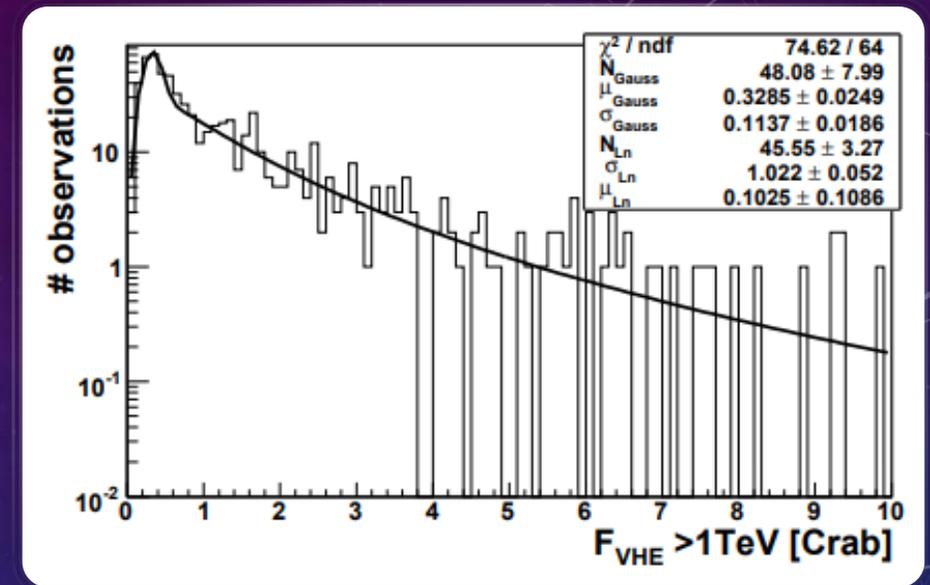
DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO



Distribución de los estados de Markarian 421. Lado izquierdo la distribución del flujo sin el método de bloques bayesianos, distribución de los bloques bayesianos.

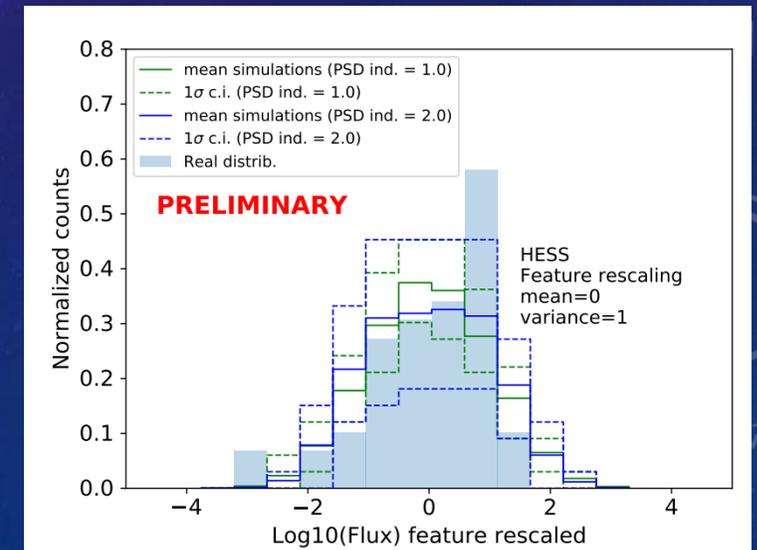
RESULTADOS

- Se ajustan mejor los estados a una distribución log-normal que a una distribución normal.
- El comportamiento gaussiano o normal se atribuye a procesos aditivos, mientras log-normal a procesos multiplicativos.
- Tluczykont et al 2010 observo un comportamiento lognormal mas un gaussiano en la distribución del flujo de Mrk421 a energías de TeV.
- Esta tendencia ya se ha observado en otros blazares BL Lac como Mrk 501 con datos de Fermi Lat, FACT y H.E.S.S. en Carlo Romoli et al 2018.



Distribución de los estados de Mrk 421

Ref: Tluczykont et al 2010

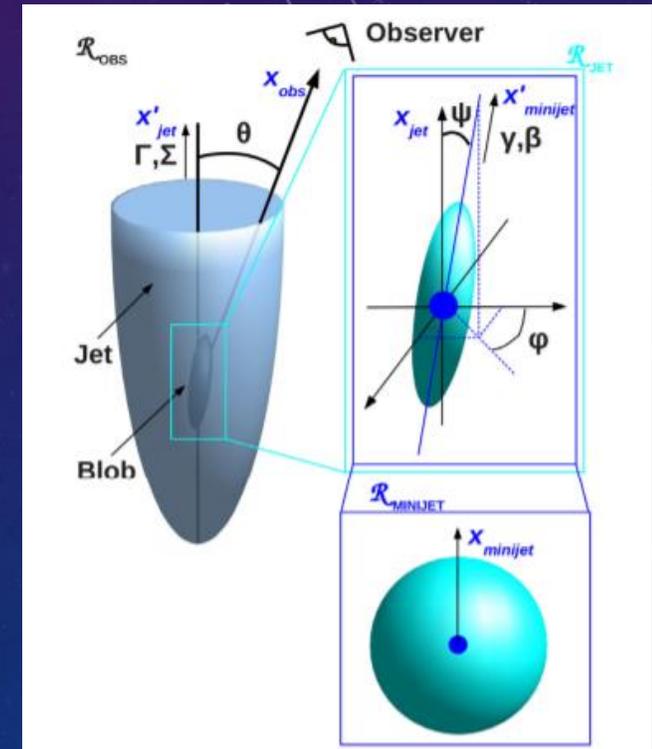


Distribución de los estados de Mrk 501

Ref: Carlos Ramoli et al 2018

MODELOS

- Uttley y colaboración vinculan la presencia de log-normalidad con aspectos de variabilidad no lineal que se explicarían por variaciones en el flujo de acreción que se acoplan y luego se transmiten a la región de emisión.
- La distribución de flujo log-normal podría ser indicativa de una conexión disco-jet en blazares.
- Este modelo tiene la ventaja de poder reproducir un espectro de potencia de variabilidad caracterizado por una ley de potencia.
- No se puede descartar completamente a los procesos aditivos para explicar el comportamiento log-normal, Biteau y Giebels mostraron que es posible obtener una distribución de flujo que se asemeja a una log-normal mediante la adición de un gran número de “mini-jets” $O(10^4)$ orientados aleatoriamente dentro del flujo de salida.



Esquema del modelo mini-jet en el jet.
Biteau J. & Giebels B et al 2012

TRABAJO POR HACER

- Realizar más pruebas estadísticas para encontrar relación con esta distribución log-normal.
- Hacer mas estudio sobre los estados de mayor energía.
- Realizar este estudio en otros blazares y en diferentes bandas de energía.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN