

# Simulación de la influencia de los modelos de luz de fondo extragalácticos en las capacidades de reconstrucción espectral con el futuro Arreglo de Telescopios Cherenkov (CTA).

Autor: María Contreras - Universidad Central de Venezuela  
Tutor: Dr. Jean-Philippe Lenain - LPNHE, Sorbonne Université, CNRS/IN2P3.

LA-CoNGA-physics  
Octubre, 2022



Latin American alliance for  
Capacity building in Advanced physics  
LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el  
programa Erasmus+  
de la Unión Europea





## Observatorio de Arreglo de Telescopios Cherenkov (CTAO)

- ▶ Será el más grande observatorio de detección de rayos gamma de muy altas energías.
- ▶ Estará compuesto por más de 60 telescopios.
- ▶ Consistirá de dos Arreglos de Telescopios Cherenkov (CTA), uno en el hemisferio norte (20 GeV - 5 TeV) y el segundo en el hemisferio sur (150 GeV - 300 TeV).





## Luz de Fondo Extragaláctica (EBL)

- ▶ El universo está lleno uniformemente de un campo de fotones de baja energía.
- ▶ Todos los procesos de emisiones dentro de este rango de longitud de onda desde el Big Bang hasta hoy constituyen la EBL.
- ▶ El estudio de núcleos de galaxias activas (AGN), como los blazares, permite observar el EBL en un rango de longitud de onda mucho mayor.



Figura: Representación artística de un agujero negro. NASA



Los rayos gamma de altas energías interactúan con los fotones de baja energía del EBL decayendo así en un par electrón - positrón.

$$\gamma_{VHE} + \gamma_{EBL} \rightarrow e^{-} + e^{+},$$

La densidad de los fotones del EBL puede ser parametrizada para estimar la profundidad óptica ( $\tau(E_{\gamma}, z_0)$ ) de los rayos gamma, para obtener los parámetros que mejor se ajustan al EBL se realiza un detallado perfil sobre los parámetros intrínsecos  $\theta_{int} = \{\phi_0, \Gamma, \beta, E_{cut}\}$ :

$$\phi(E_{\gamma}, z_0) = \phi_{int}(E_{\gamma}; \hat{\theta}_{int}) \times e^{-\tau(E_{\gamma}, z_0)}, \quad (1)$$

donde  $\phi_{int}(E_{\gamma})$  es el espectro intrínseco,  $\phi_0$  el flujo normalizado a una determinada energía  $E_0$ ,  $\Gamma$  el índice de la ley de potencia y  $E_{cut}$  representa un límite a altas energías del espectro intrínseco de la fuente.



Realizar mediciones directas este fondo extragaláctico resulta una tarea difícil, por lo tanto, existen modelos que predicen el espectro del EBL:

- ▶ **Franceschini** Utilizando los datos de fuentes cósmicas de fotones difusos con longitudes de ondas entre el lejano UV y los milímetros, determinan la densidad del fondo de fotones y su evolución con el corrimiento al rojo.
- ▶ **Finke** Se desarrolla un modelo del EBL entre el UV y el lejano infrarrojo a partir de la radiación estelar y la radiación estelar que es absorbida y reemitida por el polvo interestelar.
- ▶ **Dominguez** Utilizando datos de galaxias sobre un amplio rango de corrimientos al rojo derivan el espectro del EBL entre  $0,1\mu m$  y  $1000\mu m$ .

Efectuar un análisis espectral y determinar el espectro intrínseco permitirá realizar una inferencia de la densidad del fondo de fotones que permite restringir el EBL con futura data del CTA.



- ▶ En 2019 C. Nigro et al., analizan la data de una fuente de rayos gamma a través el paquete de software Gamma-py de código abierto. Combinando data de observaciones de la nebulosa del cangrejo del Fermi-LAT con data de MAGIC, VERITAS, FACT, y H.E.S.S., produjeron un ajuste en conjunto de máxima verosimilitud del espectro de la nebulosa del Cangrejo.
- ▶ Gamma-py es un paquete utilizado para el análisis de datos de rayos gamma de altas energías construido en Numpy, Scipy y Astropy.
- ▶ Actualmente el espectro del EBL y su evolución en función del corrimiento al rojo está poco restringido y las estimaciones de recuentos de galaxias en sondeos profundos son limitadas. La capacidad del CTA de reconstruir la intensidad del EBL ha sido estudiada utilizando librerías de Python tales como Gamma-py y SHERPA.



## Objetivo General

- ▶ Identificar cuantitativamente intervalos en términos de los parámetros  $\Gamma$ ,  $\phi_0$  y  $z$  en el cual el CTA puede discriminar los modelos de EBL de manera efectiva.



## Objetivos específicos

- ▶ Familiarizarse con las herramientas proporcionadas por el Gamma-py package así como los scripts existentes para la simulación del espectro que obtendría el CTA.
- ▶ Determinar la efectividad del CTA para discriminar entre modelos de EBL.
- ▶ Identificar las regiones en términos de los parámetros dados y probar la eficacia del CTA para discriminar entre modelos.

# Metodología



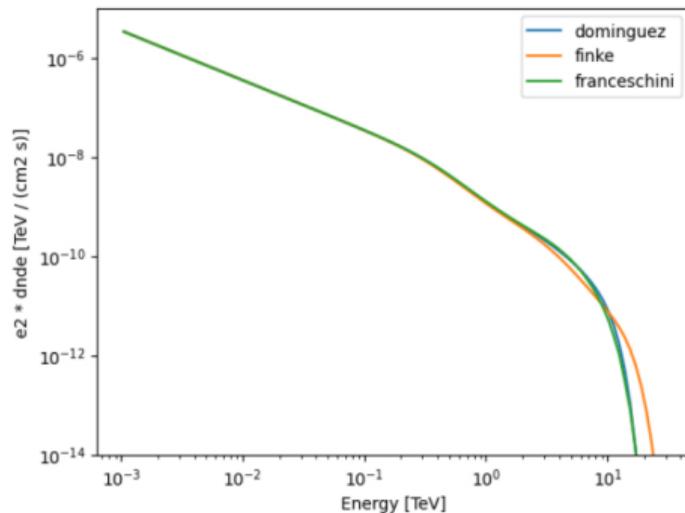


Se crea una simulación del espectro que observaría el futuro CTA:

- ▶ Se determinan los parámetros observacionales para la simulación de la observación.
- ▶ Se utilizan las funciones de respuesta del instrumento (IRFs) proporcionadas por el CTA.
- ▶ Se usa un modelo espectral compuesto:

$$\phi(E, z) = \phi_0 \left( \frac{E}{E_0} \right)^{-\Gamma} \times e^{-\tau(E, z)}.$$

- ▶ Finalmente se obtiene un conjunto de datos utilizando la distribución de probabilidades de Poisson.



**Figura:** Gráfica del modelo espectral utilizado para la simulación en donde se toman en cuenta los modelos de EBL de Dominguez, Finke y Franceschini.



# Perfil de Verosimilitud

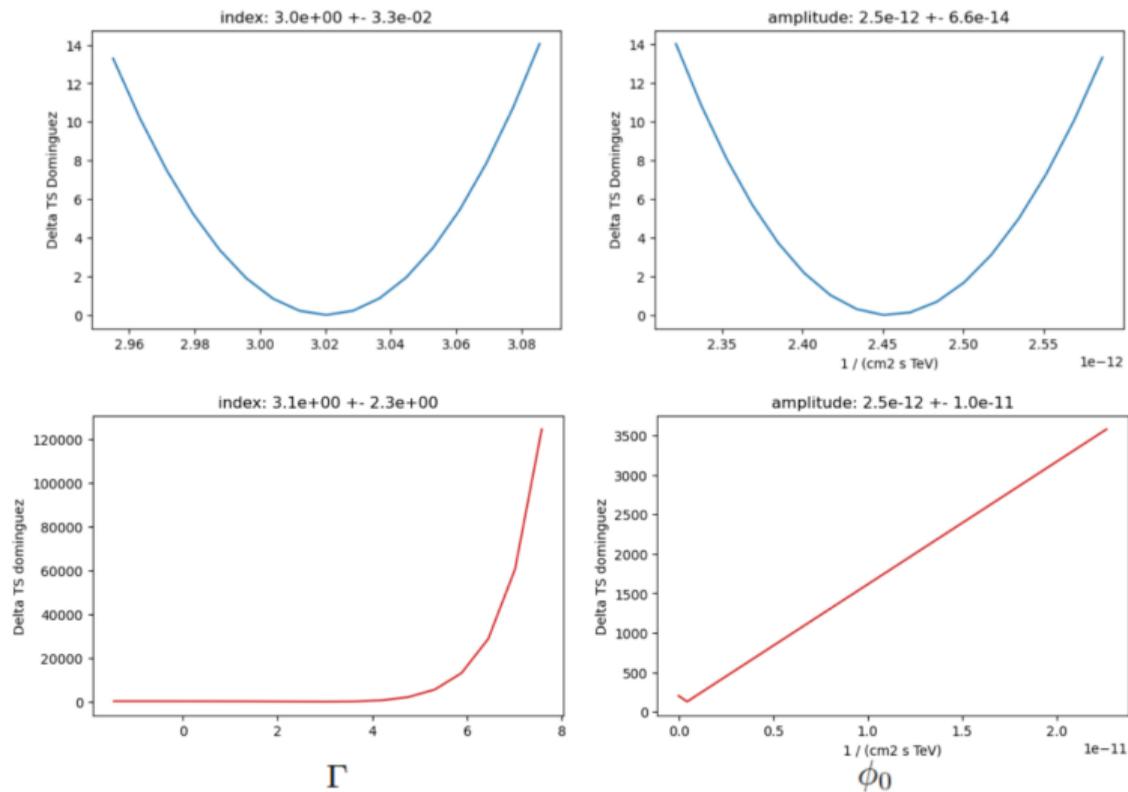


Figura: Perfil de verosimilitud



# Modelo Espectral

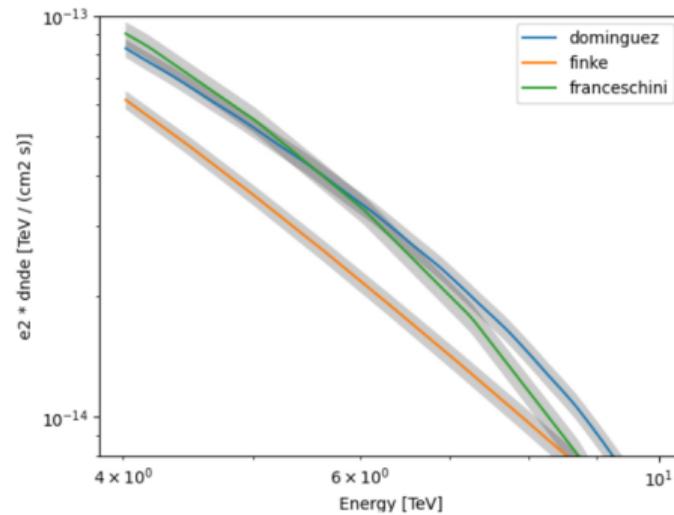
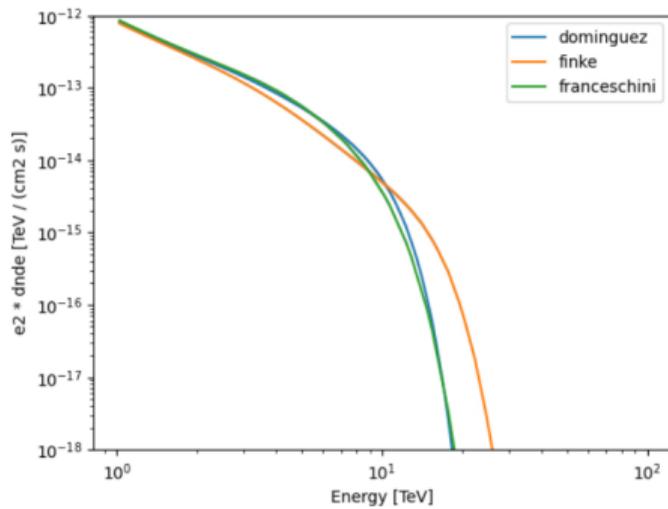


Figura: Modelo espectral luego del ajuste.



- ▶ Se utilizan los mismos parámetros de observación e IRFs que en la simulación anterior.
- ▶ Se crean 10 modelos compuestos para un rango de  $z=[0.1, 1]$ .
- ▶ Se simulan 100 espectros bajo estas condiciones de observación para cada uno de los modelos de EBL estudiados y corrimiento al rojo dentro del rango estipulado.
- ▶ Se estudia el compartimiento de los parámetros ajustados:  $\phi_o$  y  $\Gamma$ .



# Escaneo en Corrimiento al Rojo

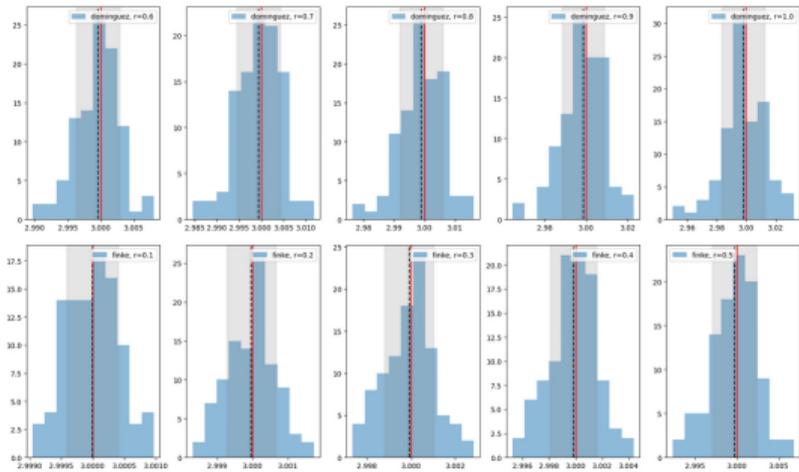


Figura: Distribución del parámetro  $\Gamma$  luego del ajuste.

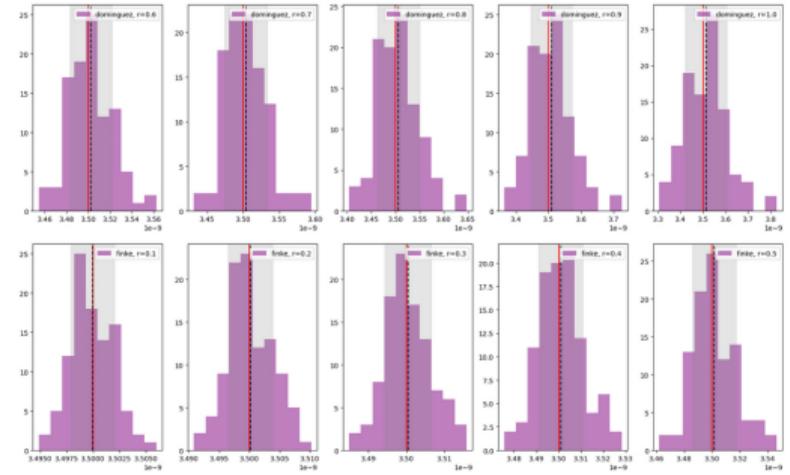


Figura: Distribución del parámetro  $\phi_0$  luego del ajuste.



# Escaneo de los Parámetros: $\Gamma$ , $\phi_o$ , y $z$

Para determinar la efectividad al momento de discriminar modelos de EBL:

- ▶ Se utilizan los mismos parámetros de observación anteriores.
- ▶ Se obtienen modelos espectrales compuestos para cada uno de los modelos de EBL y parámetros  $\phi_o$ ,  $\Gamma$  y  $z$ , en los siguientes rangos:
  - ▶  $\phi_o: [1 \times 10^{-14}, 1 \times 10^{-10}] \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ TeV}^{-1}$ .
  - ▶  $\Gamma: [2, 5, 5]$ .
  - ▶  $z: [1 \times 10^{-2}, 1, 5]$ .
- ▶ Se simulan 100 observaciones para cada uno de los modelos espectrales.

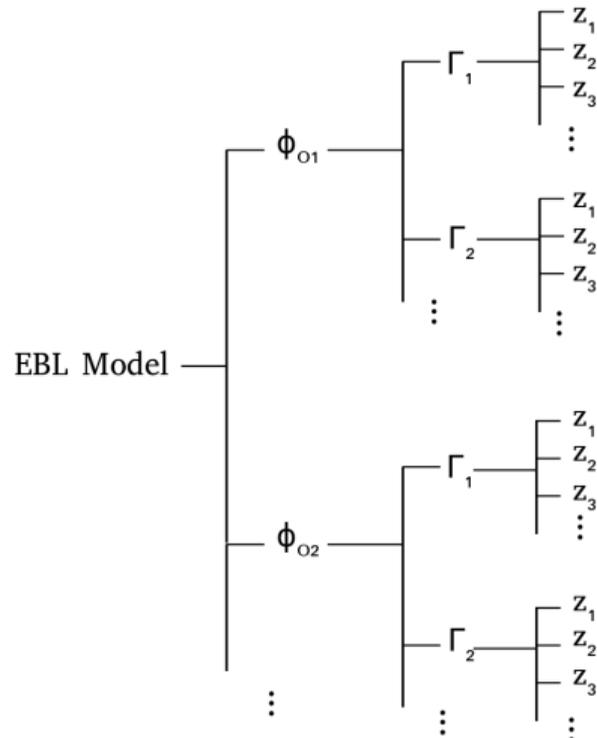


Figura: Esquema.



Para comparar dos modelos y ver cuál de ellos se ajusta mejor a los datos se obtiene la diferencia entre el logaritmo de su verosimilitud:

$$\Delta\mathbf{TS} = \log(L_{M_0}) - \log(L_{M_1}). \quad (2)$$

Se comparan los tres modelos entre sí:

- ▶  $\Delta\mathbf{TS}_1 = \log(L_{Dominguez}) - \log(L_{Franceschini})$ .
- ▶  $\Delta\mathbf{TS}_2 = \log(L_{Dominguez}) - \log(L_{Finke})$ .
- ▶  $\Delta\mathbf{TS}_3 = \log(L_{Finke}) - \log(L_{Franceschini})$ .

# Resultados



# Escaneo de Parámetros: Flujo Diferencial

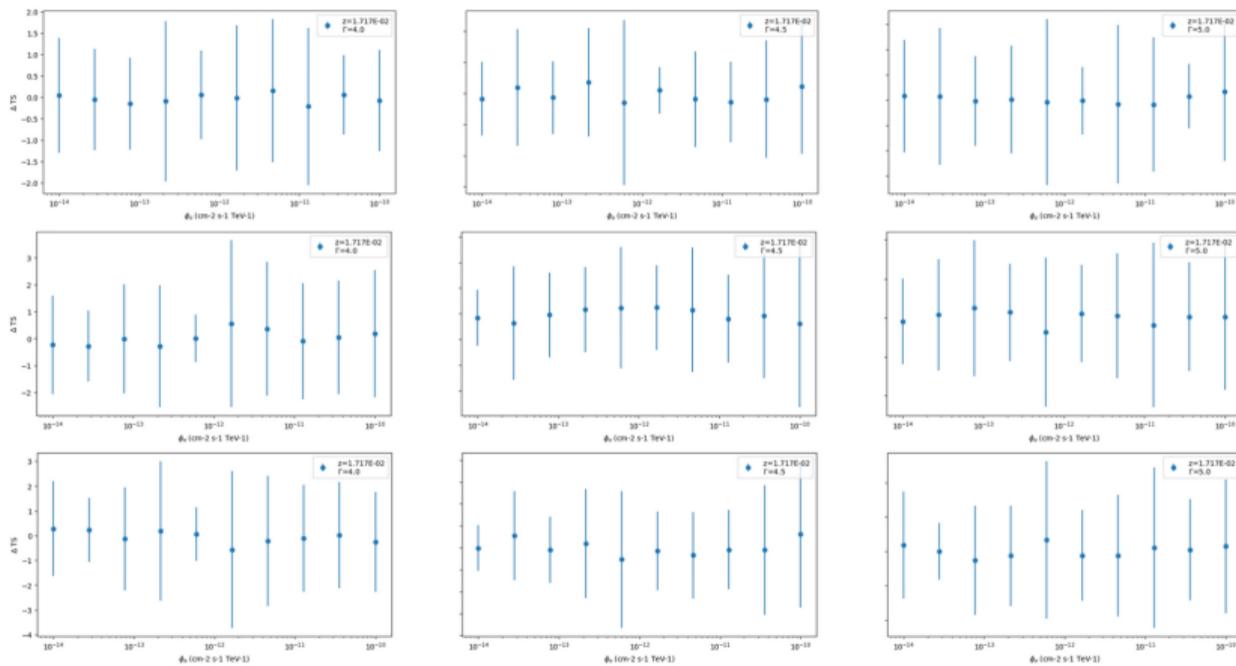


Figura:  $\Delta TS$  Vs  $\phi_0$  para cada  $\Gamma$  y  $z$  dentro de los rangos de estudio.



# Escaneo de Parámetros: Índice $\Gamma$

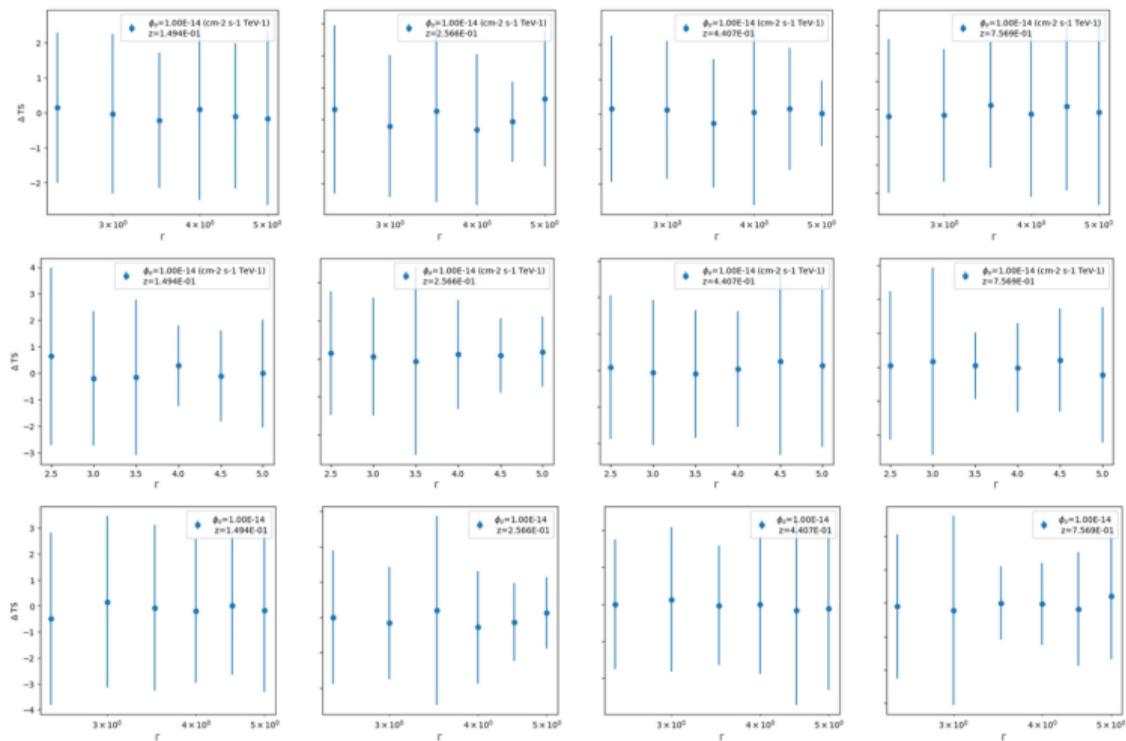


Figura:  $\Delta TS$  Vs  $\Gamma$  para cada  $\phi_0$  y  $z$  dentro de los rangos de estudio.



# Escaneo de Parámetros: Corrimiento al Rojo

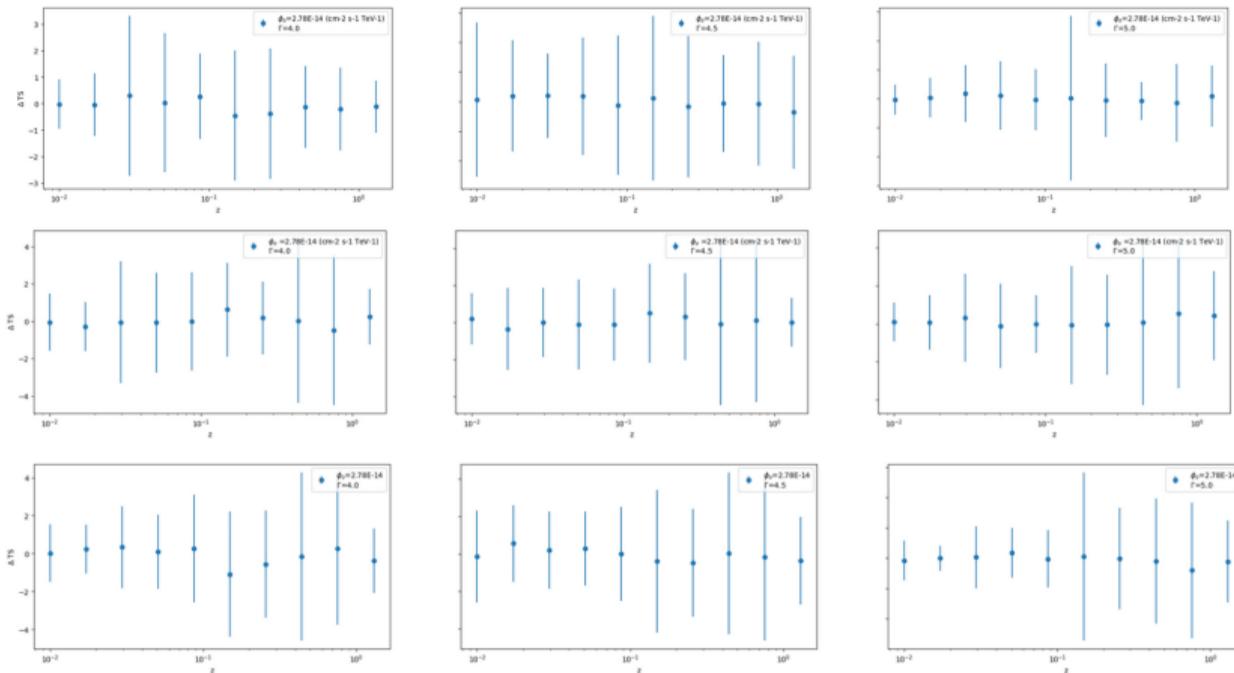


Figura:  $\Delta TS$  Vs Corrimiento al rojo para cada  $\phi_0$  e  $\Gamma$  dentro de los rangos de estudio.

# Conclusiones



- ▶ La diferencia de verosimilitudes no es lo suficientemente grande para determinar si un modelo se ajusta mejor a los datos que otro en los rangos de  $\phi_o$ ,  $\Gamma$  y  $z$  dados.
- ▶ Con un 97,69 % de confianza, el CTA no es capaz de discriminar entre modelos de EBL.
- ▶ Usar un modelo u otro para simular las observaciones que tendría el CTA no debería tener diferencia.



<http://laconga.redclara.net>



[contacto@laconga.redclara.net](mailto:contacto@laconga.redclara.net)



lacongaphysics



Latin American alliance for  
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el  
programa Erasmus+  
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.