

Estimación del espectro de muones usando algoritmos de inteligencia artificial

*Jhon Almanzar Quintero
Cristian Orduz Carvajal*

*Luis A. Núñez de Villavicencio
Christian Sarmiento Cano
Rafael Martínez Rivero*



CONTEXTO

Nuestro trabajo

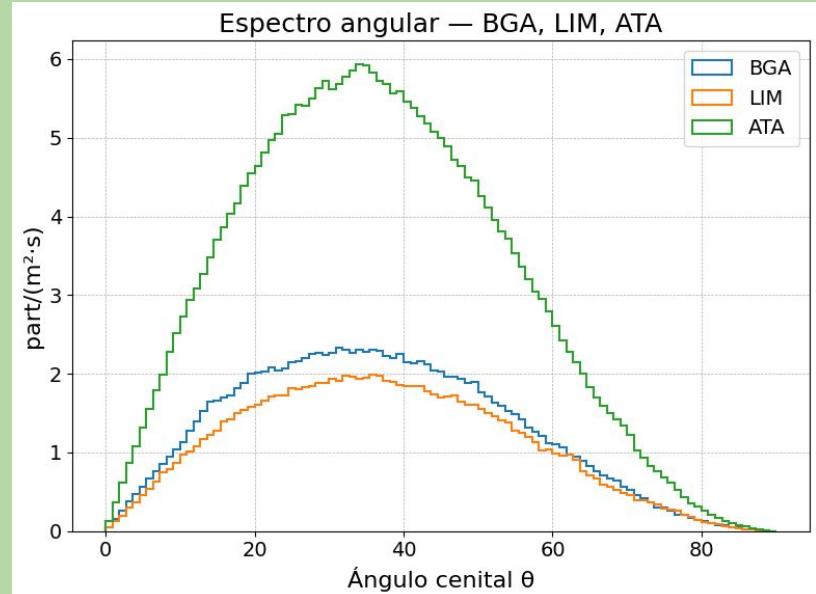
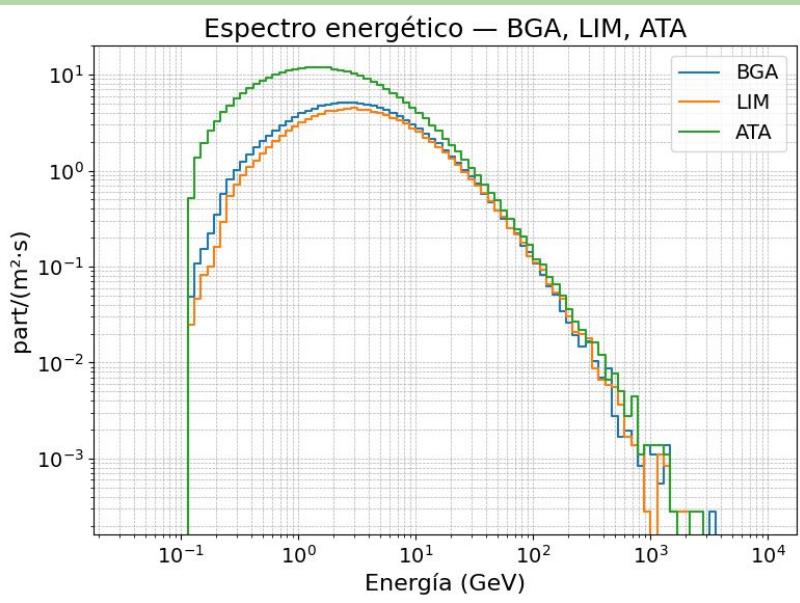
Muones

Los muones son partículas subatómicas cargadas, producidas por la interacción de rayos cósmicos con la atmósfera.

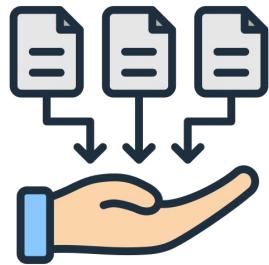
- Se simulan en herramientas como CORSIKA o ARTI.
- Se realizan aproximaciones analíticas en dominios acotados.
 - MUPAGE(MUon GEnerator from PArametric for-mulas)



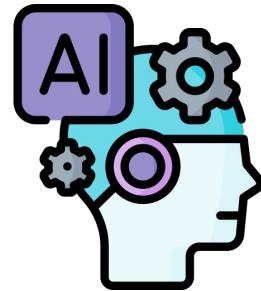
Espectro del flujo de muones



Proyecto



Recopilación de
datos/simulaciones.



Modelo de inteligencia
artificial para la estimación.

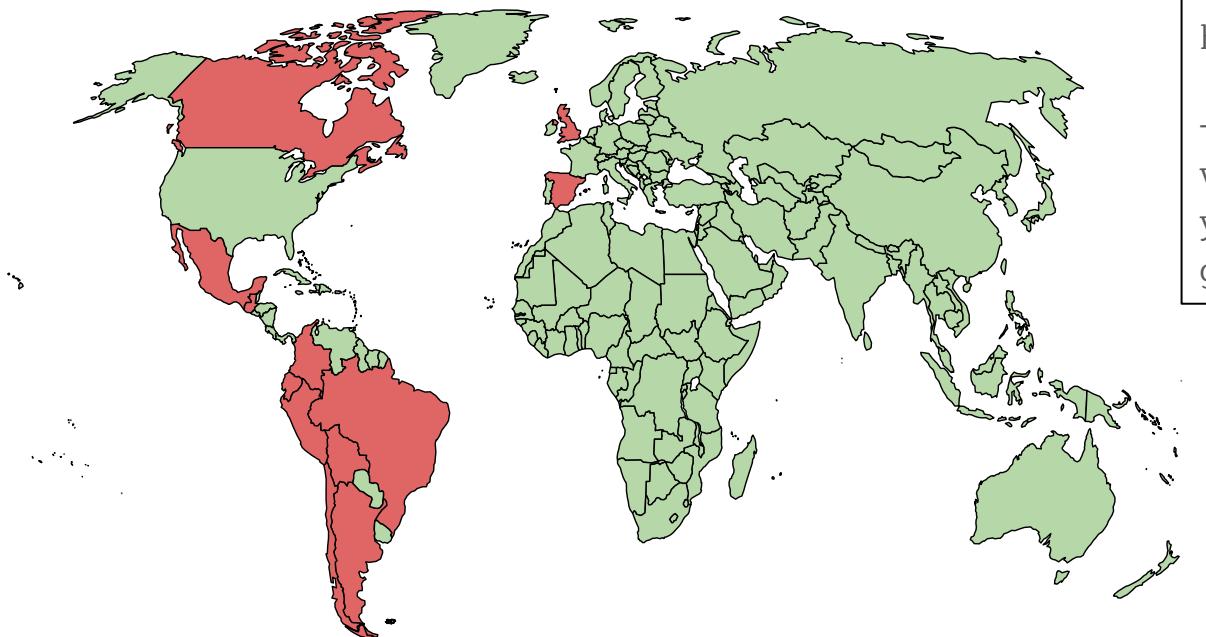


Plataforma Web para la
visualización.

Datos

Simulaciones ARTI

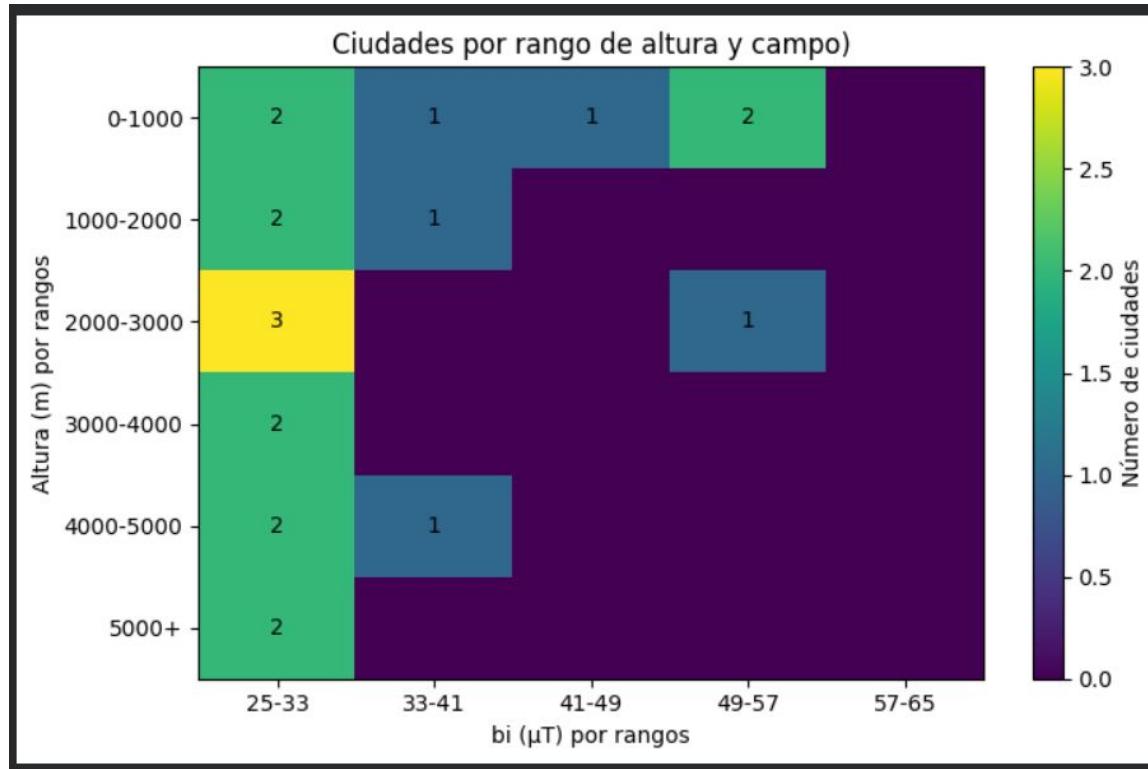
Datos Simulados



-Países simulados hasta el momento.

-Se priorizo variedad de altura y campo geomagnético.

Datos Simulados



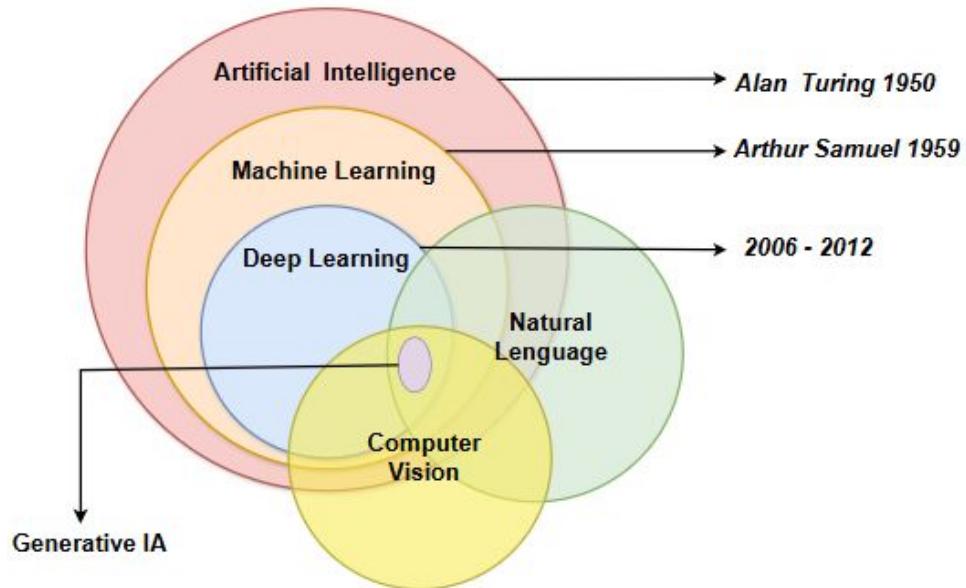
- Se planea realizar un muestreo estratificado.
- Por el momento se tomaron ciudades específicas.
- 20 ciudades simuladas actualmente.

CONDITIONAL NORMALIZING FLOWS

Introducción al modelo

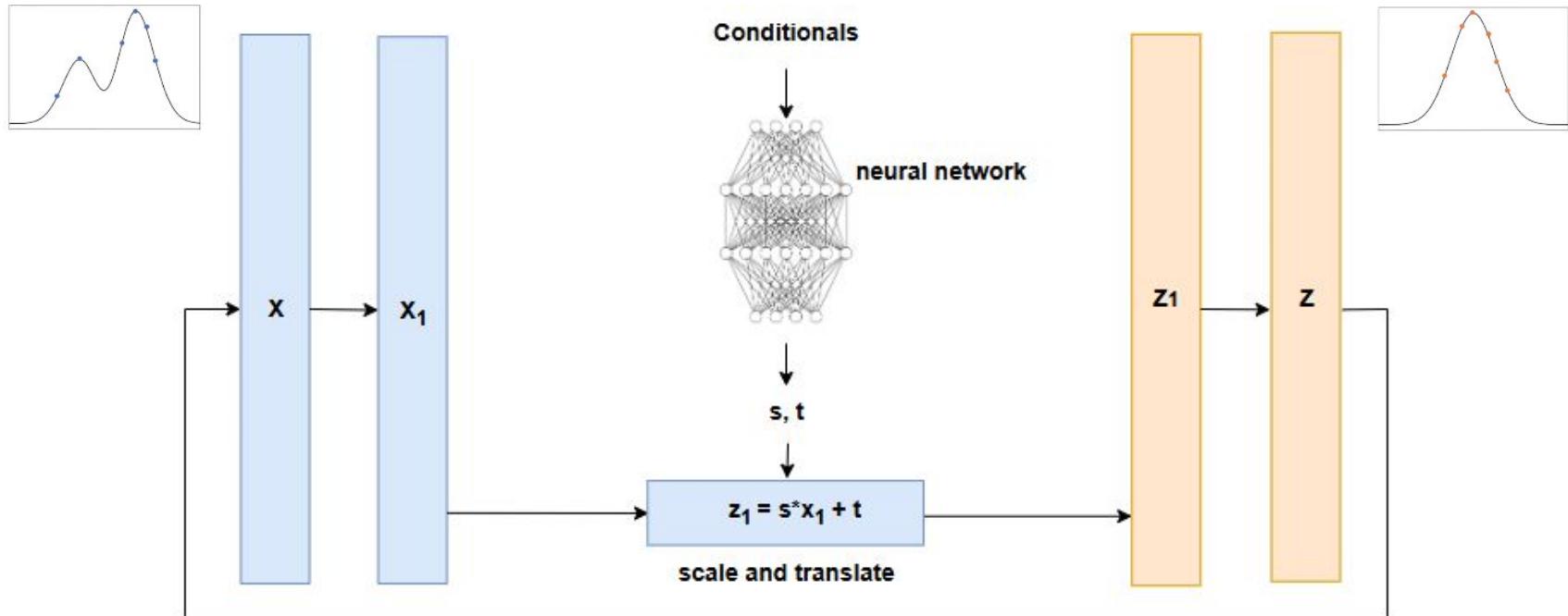
Inteligencia artificial

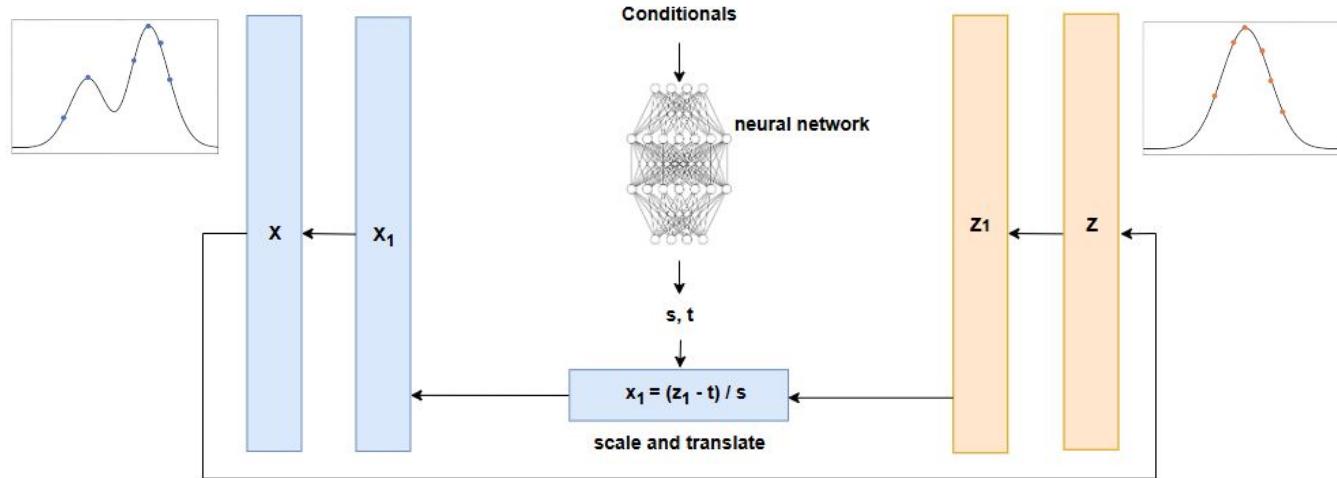
La inteligencia artificial es un área interdisciplinaria de la informática que busca crear sistemas capaces de realizar tareas propias de la inteligencia humana.



Conditional Normalizing Flows

Los CNFs son modelos generativos que transforman distribuciones simples en complejas mediante funciones invertibles y diferenciables.





Regla del cambio de variable en probabilidad:

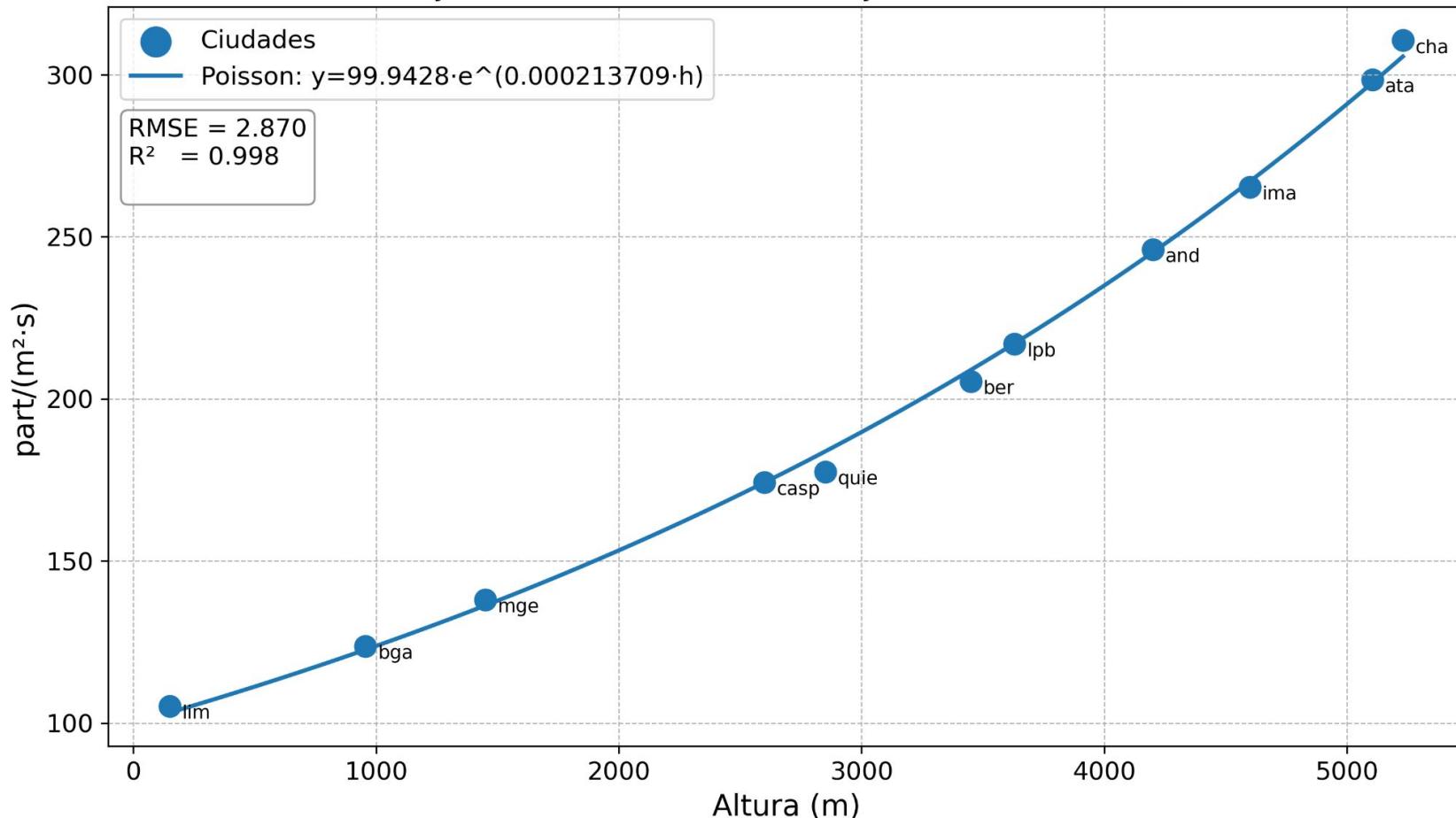
$$f_{\theta} = f_K \circ f_{K-1} \circ \cdots \circ f_2 \circ f_1$$

$$\log p_{X|C}(x | c) = \log p_Z(f_{\theta}(x; c)) + \log \left| \det J_{f_{\theta}}(x; c) \right|$$

DESARROLLO DEL CNFs

Introducción al desarrollo realizado

Flujo de muones vs Altura: Ajuste Poisson (MLE)



Modelado del CNFs

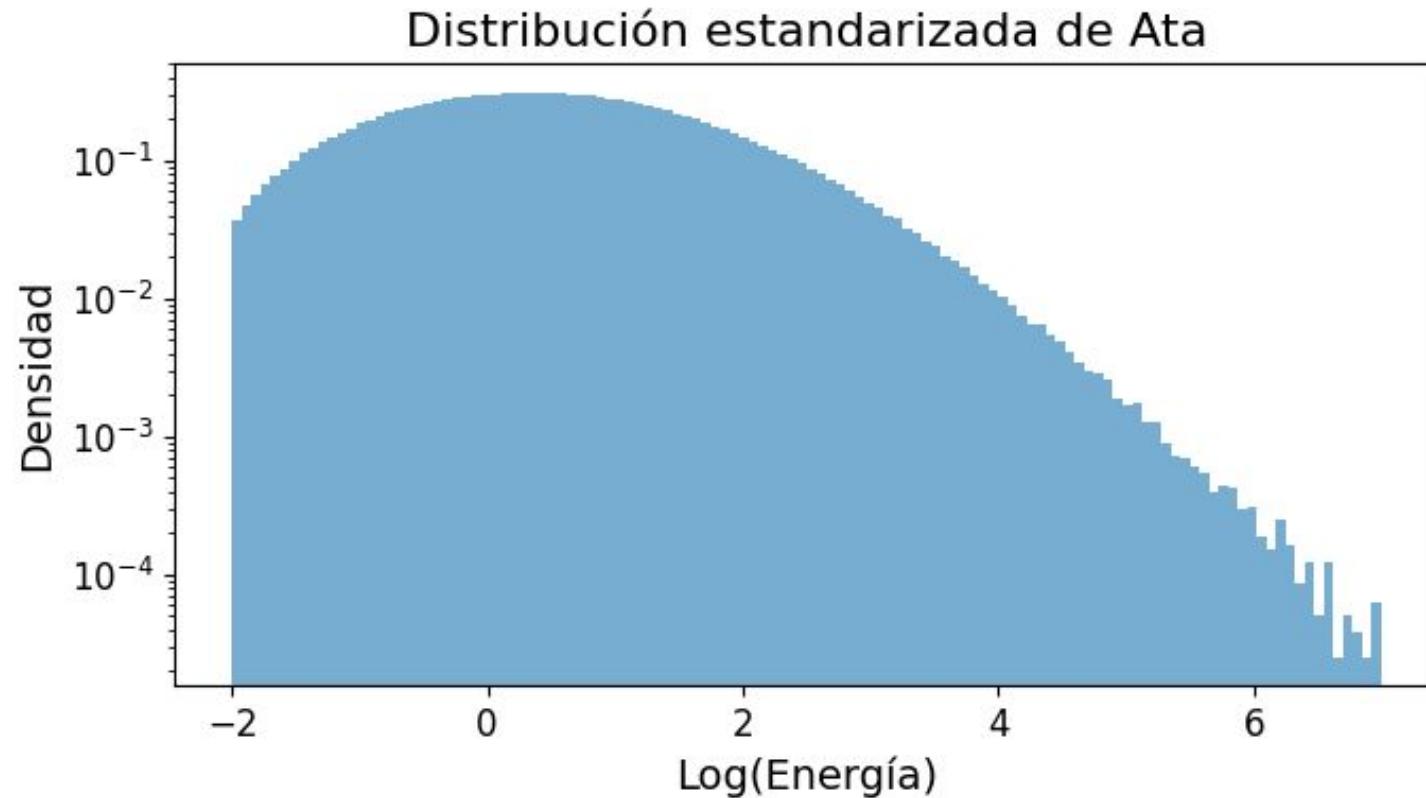
Preprocesamiento:

- Se seleccionaron solo muones y las variables se estandarizaron.
- Se dividió en 11 ciudades para entrenamiento y 5 para validación, para un total de 8.223.722 datos de entrenamiento.

Entrenamiento:

- CNFs con 6 capas (128 neuronas), 3 bins, $\text{núm layers} = 8$.
- Entrenado durante 60 epochs, usando batches de tamaño 4096.
- El entrenamiento se ejecutó en Kaggle y culminó en 2 h 30 min.

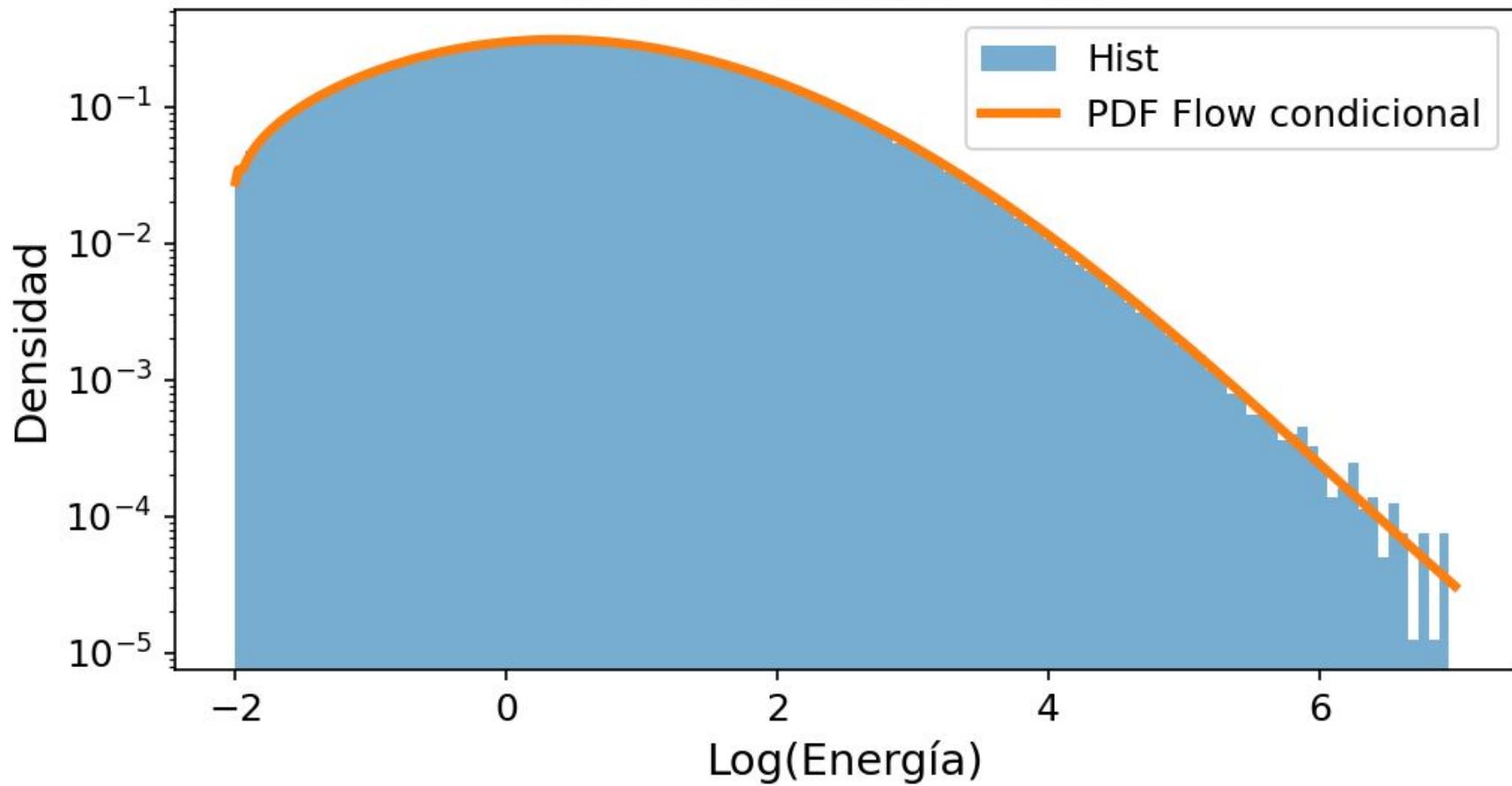
Espectro energético estandarizado



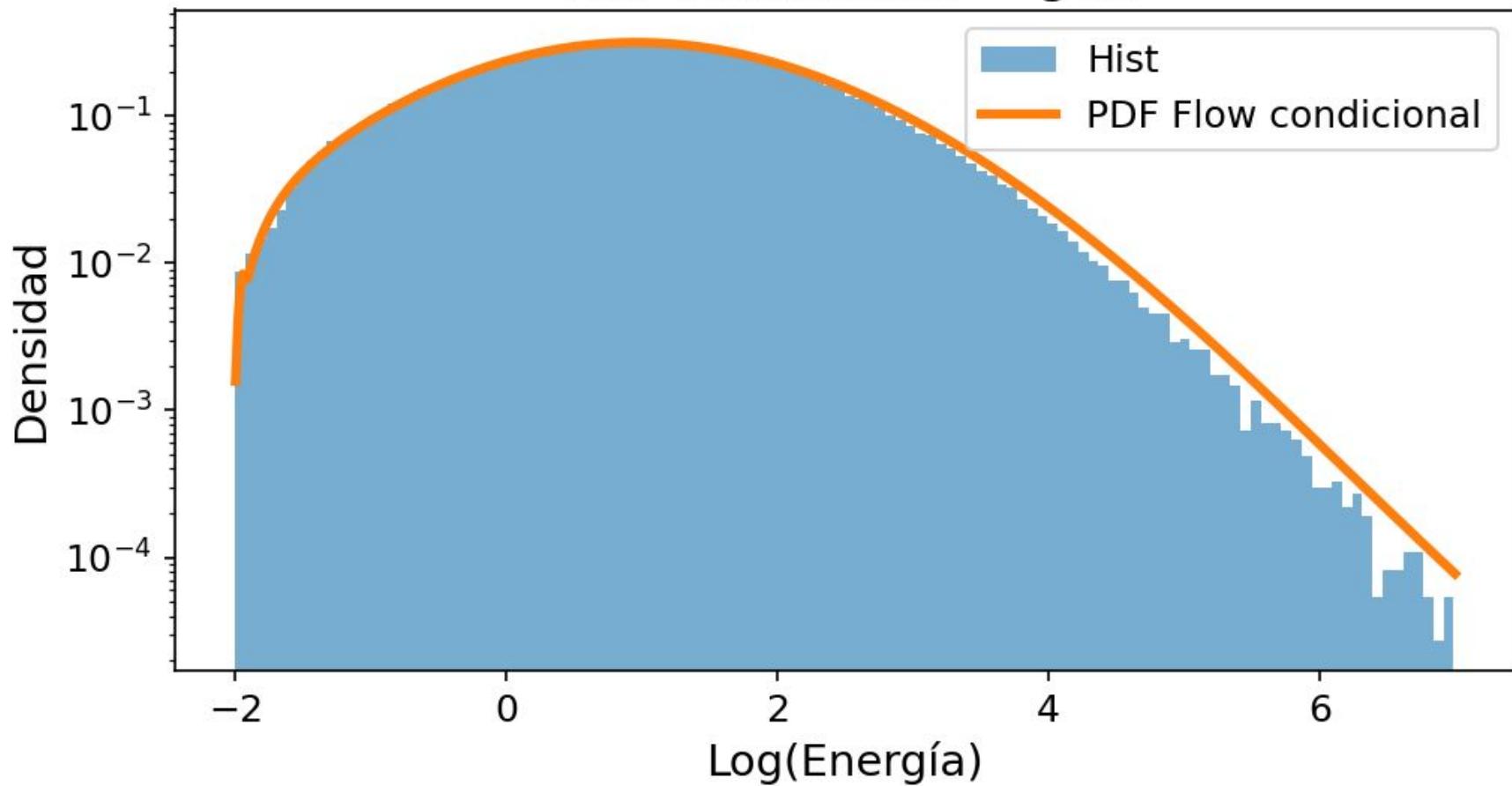
Inferencia del CNFs

Resultados de validación

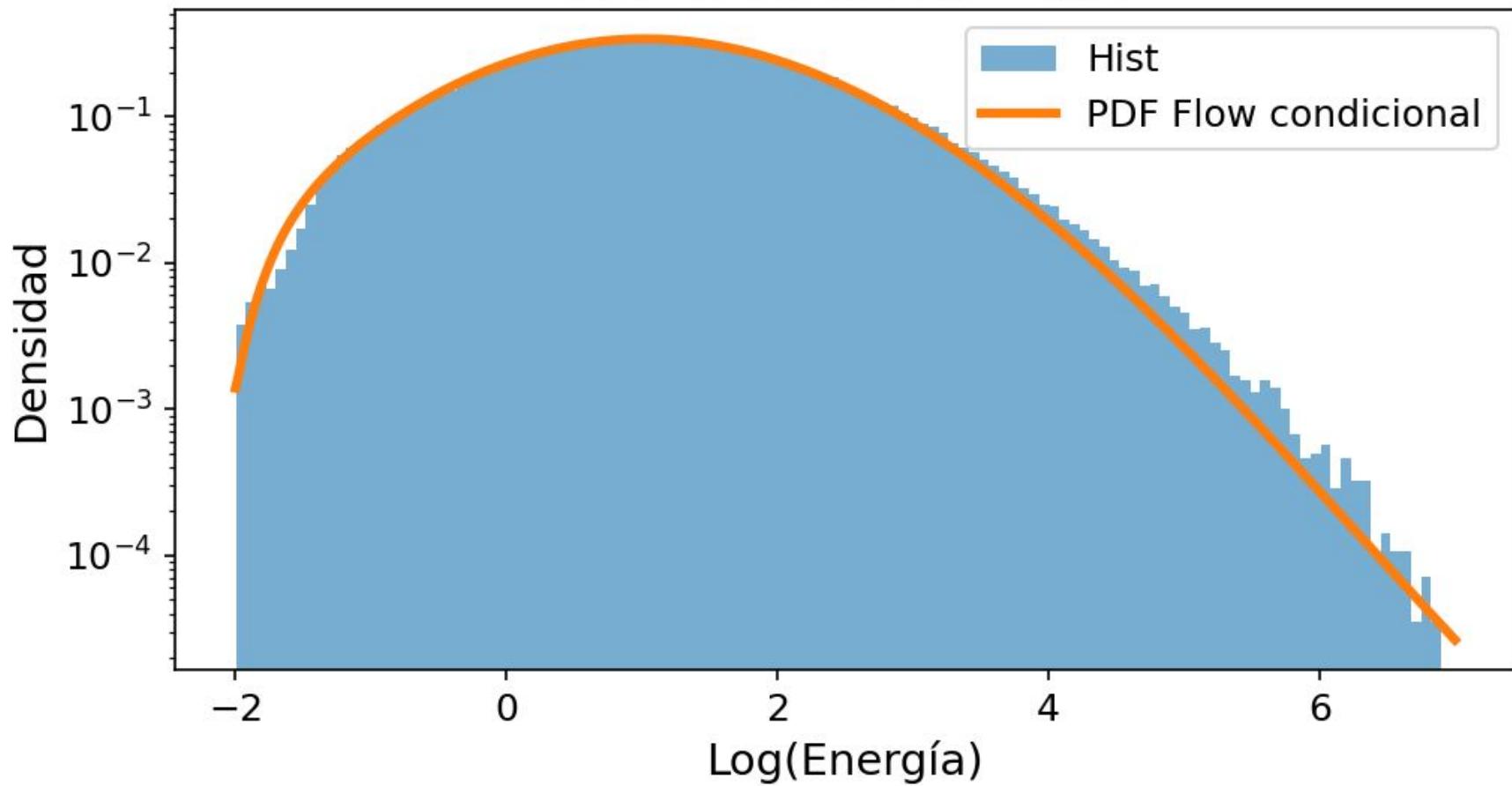
PDF condicional — ata



PDF condicional — gua



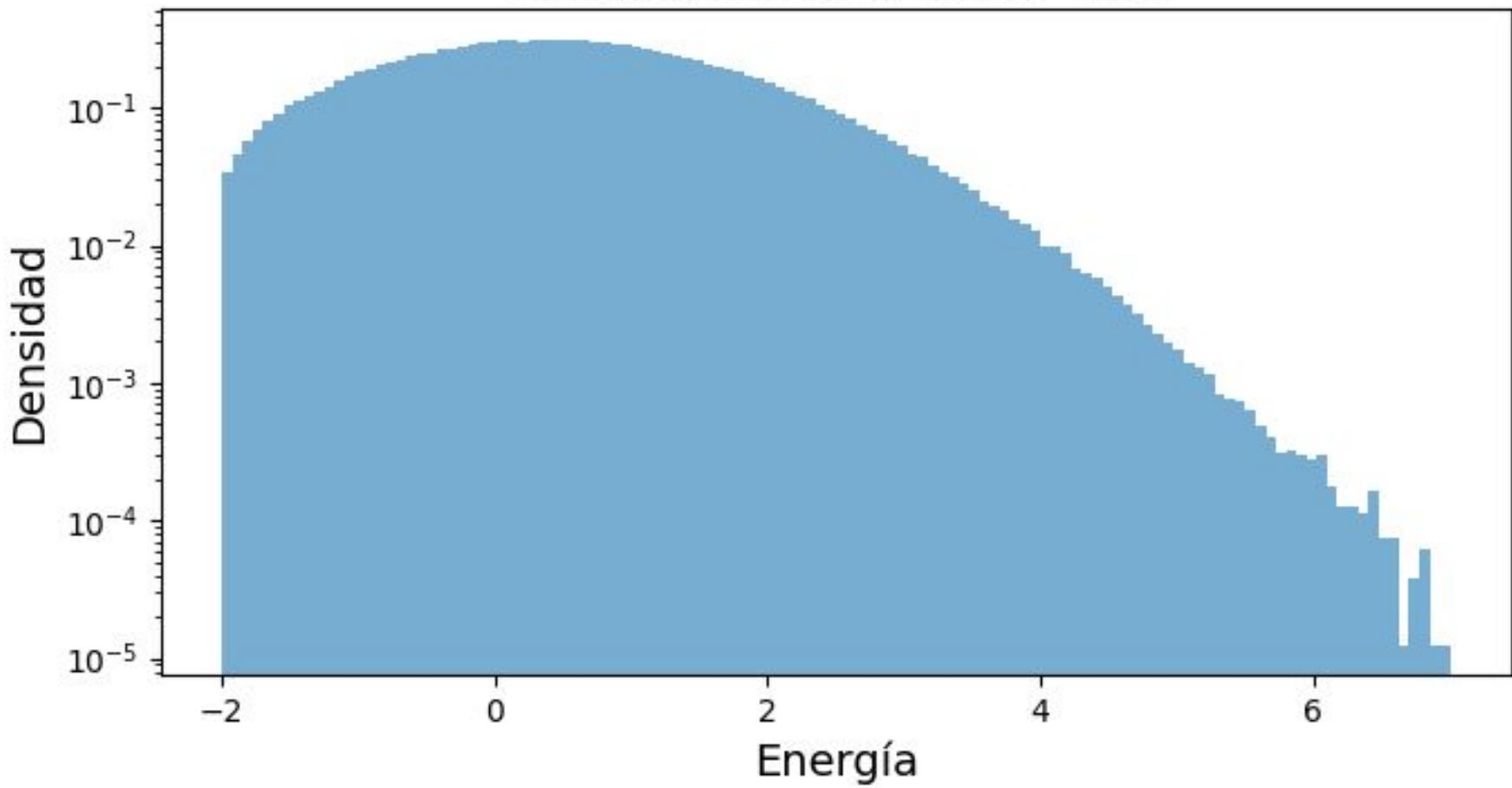
PDF condicional — lim



Resultados del muestreo

Resultados y tiempos

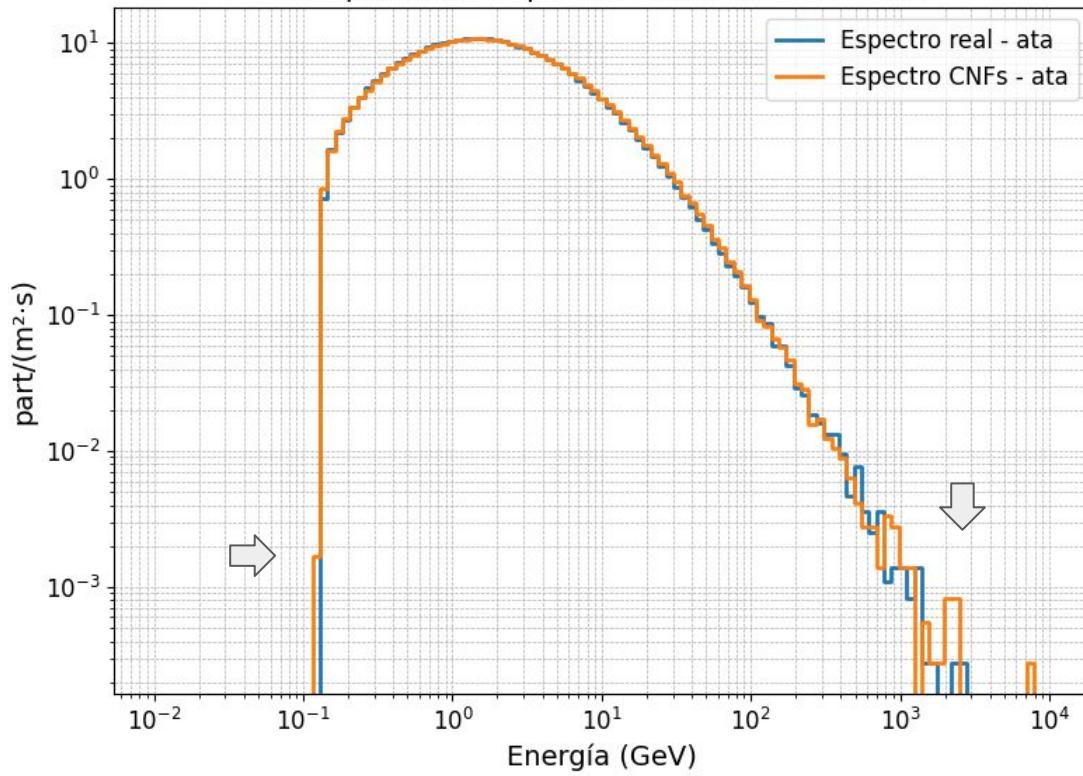
Distribución del CNFs - Ata



Análisis por intervalos de energía

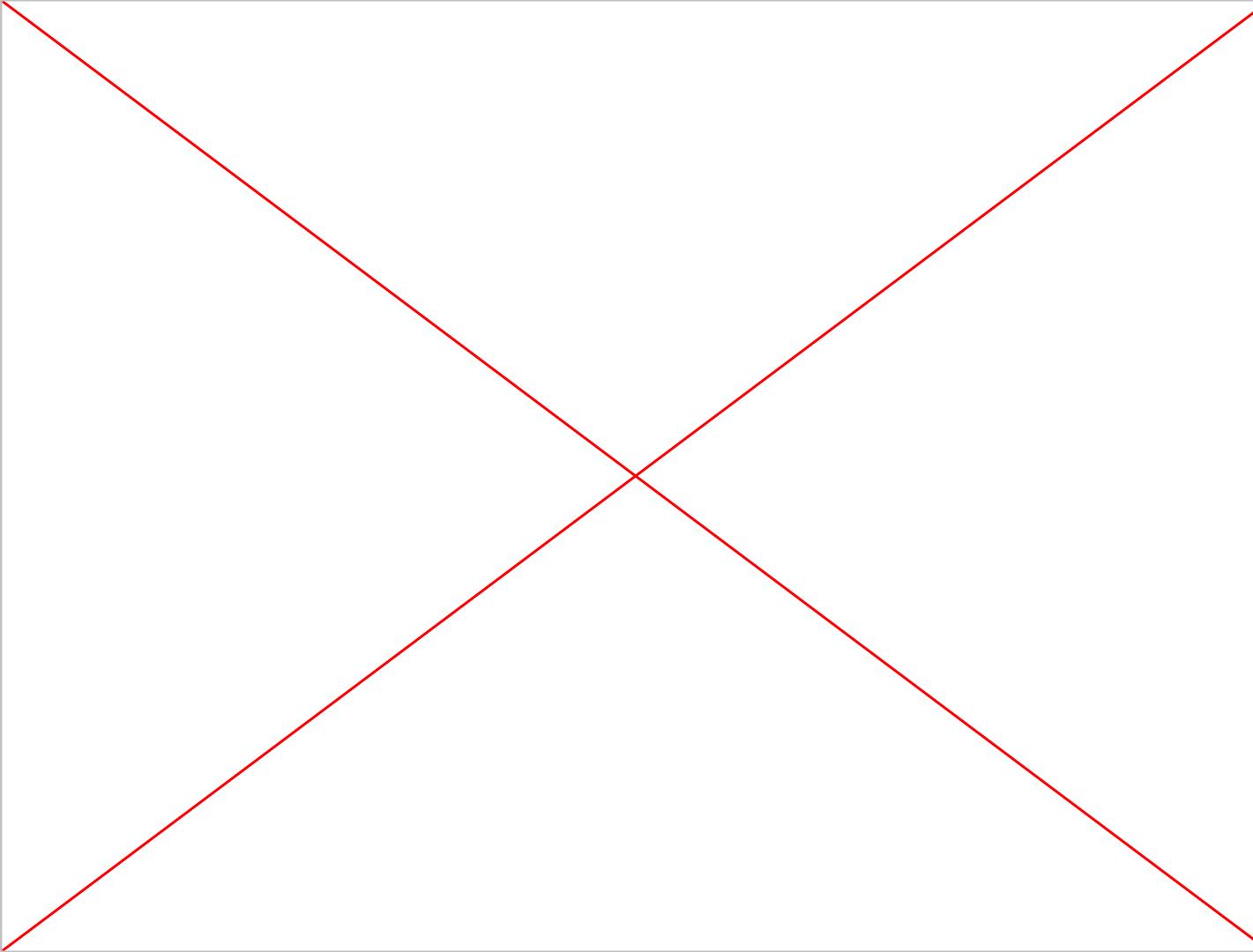
	lim	gua	quie	ima	ata
[-2.0, 1.0]	2.86 %	-3.71 %	-0.90 %	-1.40 %	-0.95 %
[1.0, 3.0]	-0.19 %	2.03 %	1.56 %	1.79 %	1.24 %
[3.0, 5.0]	-17.05%	17.29%	-2.06 %	8.72 %	5.41 %
[-5.0, 7.0]	-41.66%	44.21%	-1.20 %	27.01%	3.82 %
[Tiempo]	31.67 s	44.37s	55,11 s	80,65 s	90.49 s

Comparación espectro real vs CNFs — ata



Desarrollo Web

Visualización



Trabajo por desarrollar

Que falta realizar

Desarrollo futuro

Modelo CNFs:

- Completar las simulaciones para todas las ciudades.
- Incorporar el espectro angular en el modelo CNF.
- Mejorar y validar el modelo CNF.

Desarrollo web:

- Integrar y ajustar el frontend con el backend.
- Desplegar el modelo en la plataforma.

GRACIAS

Preguntas...



ANEXOS

Sesión de preguntas



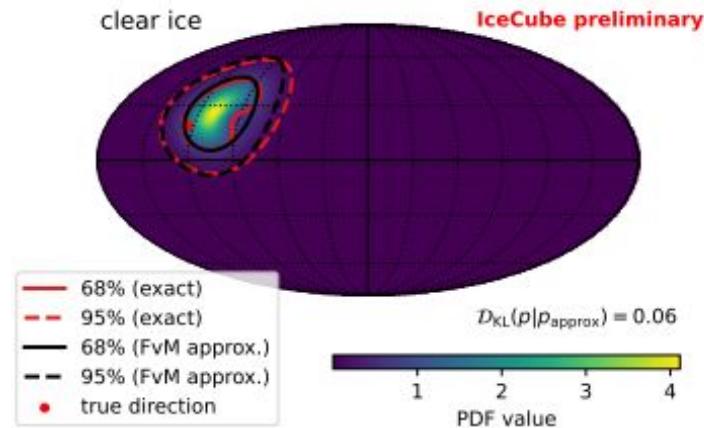
Estado del arte

IceCube:

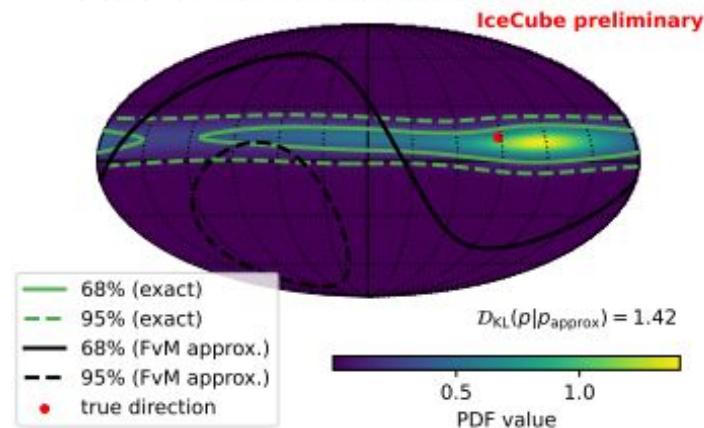
Reconstruye la energía y dirección de neutrinos usando la luz Cherenkov detectada en el hielo.

Modelo:

Se entrenaen CNFs separados para energía (1D) y dirección (2D). La FvM sirve como referencia, pero los CNF capturan estructuras direccionales más complejas.

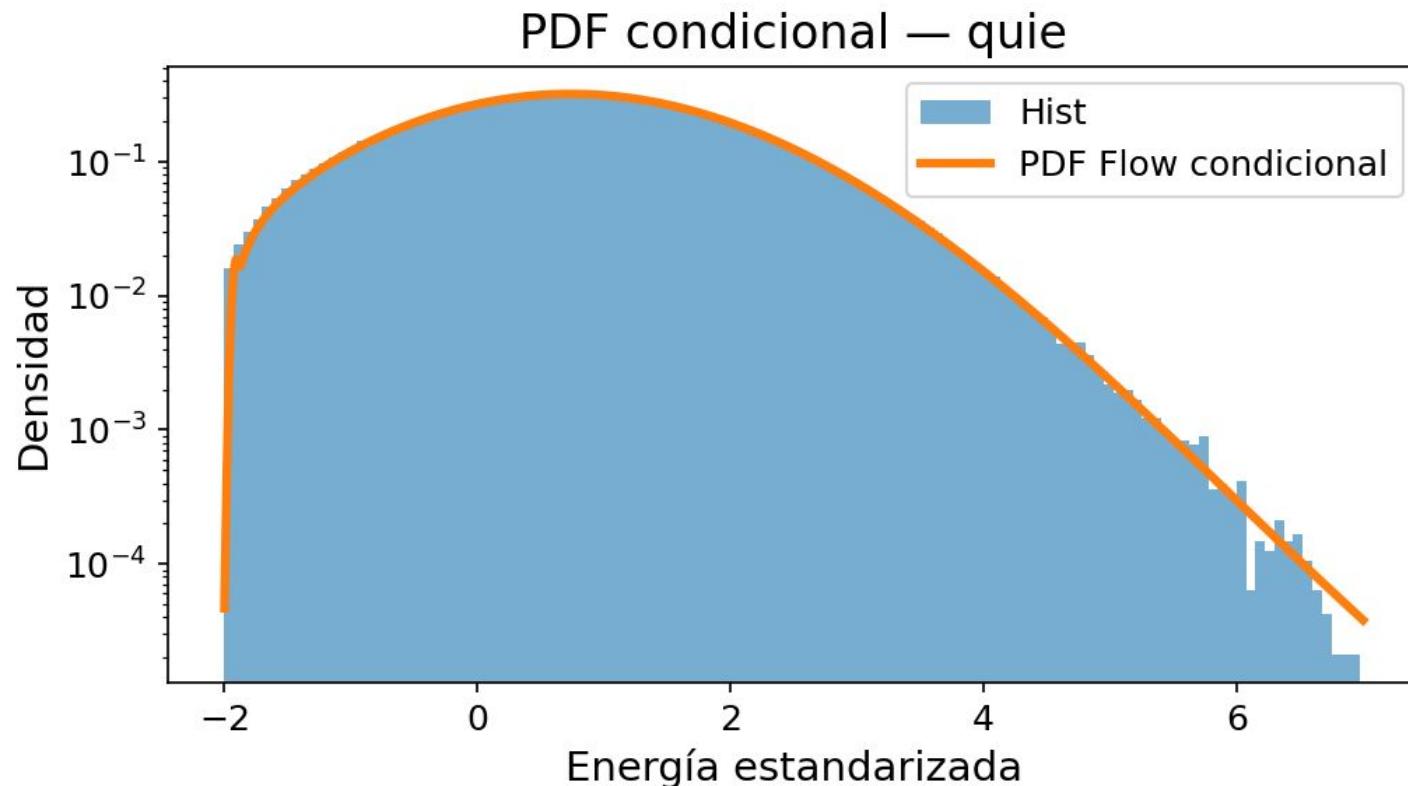


(b) example of direction posterior in clear ice

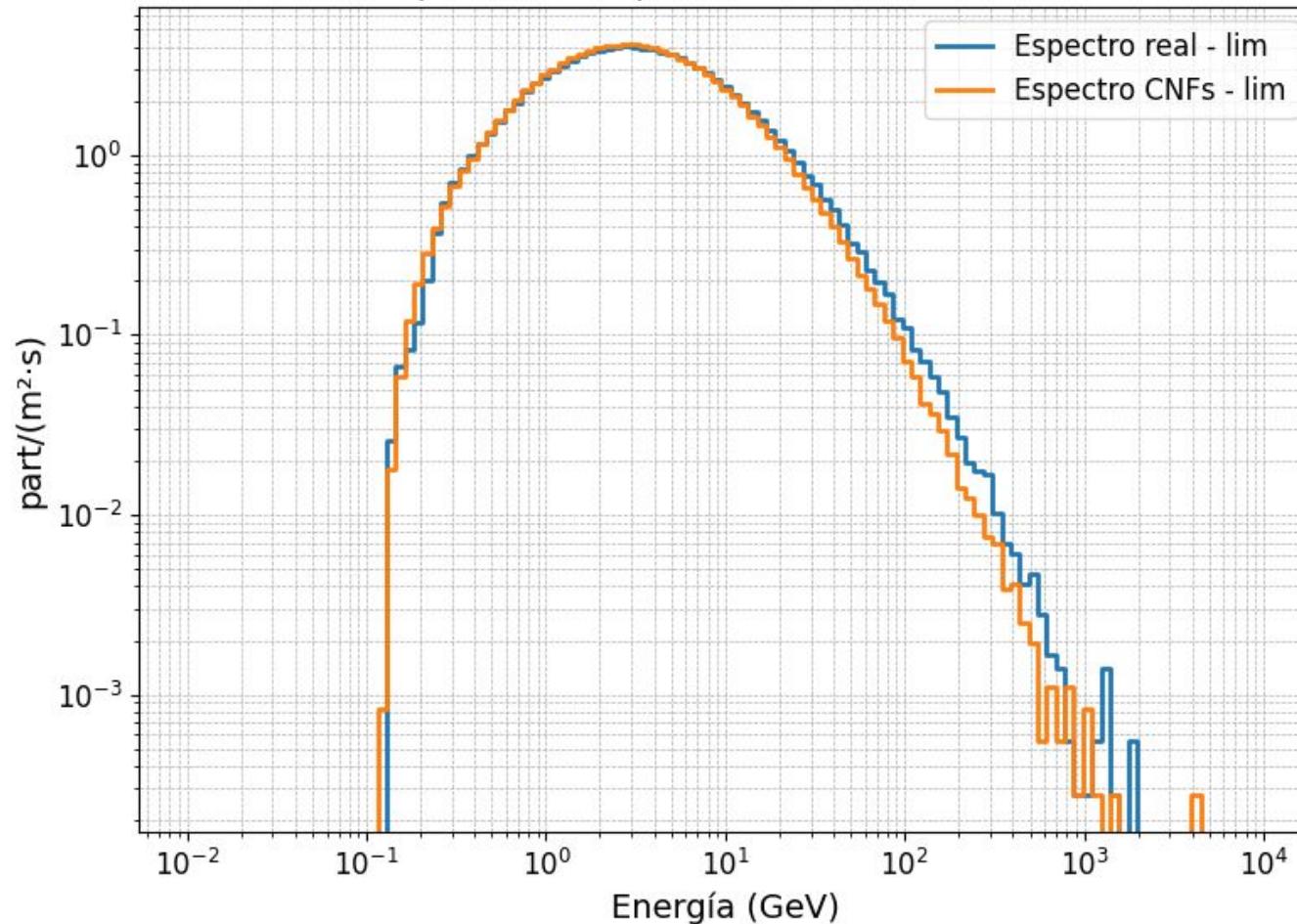


(d) direction posterior of a high KL-divergence event

Escenarios de estudio



Comparación espectro real vs CNFs — ata



MUPAGE

Es un generador rápido de muones atmosféricos pensado para telescopios de neutrinos en agua o hielo (ANTARES, KM3NeT, IceCube). En lugar de correr CORSIKA completo cada vez, usa fórmulas paramétricas para:

- profundidad (h),
- ángulo cenital (θ)
- Distribución lateral
- Espectro de energía

Inteligencia Artificial

- Computing Machinery and Intelligence (Turing, 1950): Plantea la pregunta “Can machines think?” e introduce el Test de Turing, considerado el origen conceptual de la IA.
- Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers (Samuel, 1959): Muestra un programa de damas que mejora jugando y populariza la idea de que las máquinas pueden aprender de la experiencia.

A. M. Turing, Computing Machinery and Intelligence, Mind, 1950.

A. L. Samuel, Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers, IBM Journal of Research and Development, 1959.

Flujo de muones vs Altura: Ajuste Poisson (MLE)

