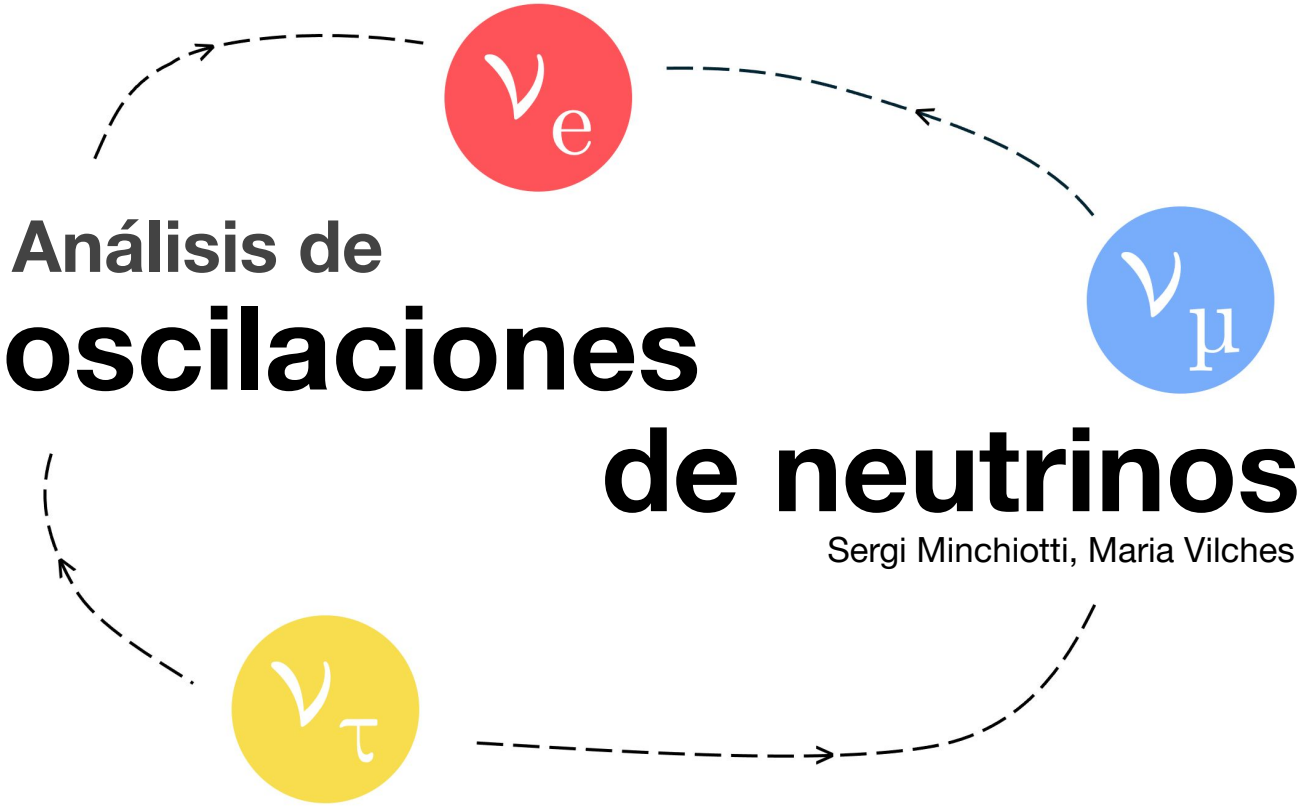


Análisis de oscilaciones de neutrinos

Sergi Minchiotti, Maria Vilches

Tutores: Jorge Prado, Adrian Saina, Sriya Madarapu

IFIC
INSTITUT DE FÍSICA CORPUSCULAR

Probabilidad de oscilación y supervivencia

neutrino
electrónico

neutrino
muónico

neutrino
tauónico

ángulo de mezcla

distancia recorrida por ν

$$P_{\nu_\mu \to \nu_\tau}(\Theta, \Delta m^2_{ij}, L, E) = \sin^2(2\Theta)\,\sin^2\left(\frac{\Delta m^2_{ij}}{4}\frac{L}{E}\right)$$

diferencia cuadrática entre los estados i y j de masa

Energía de ν

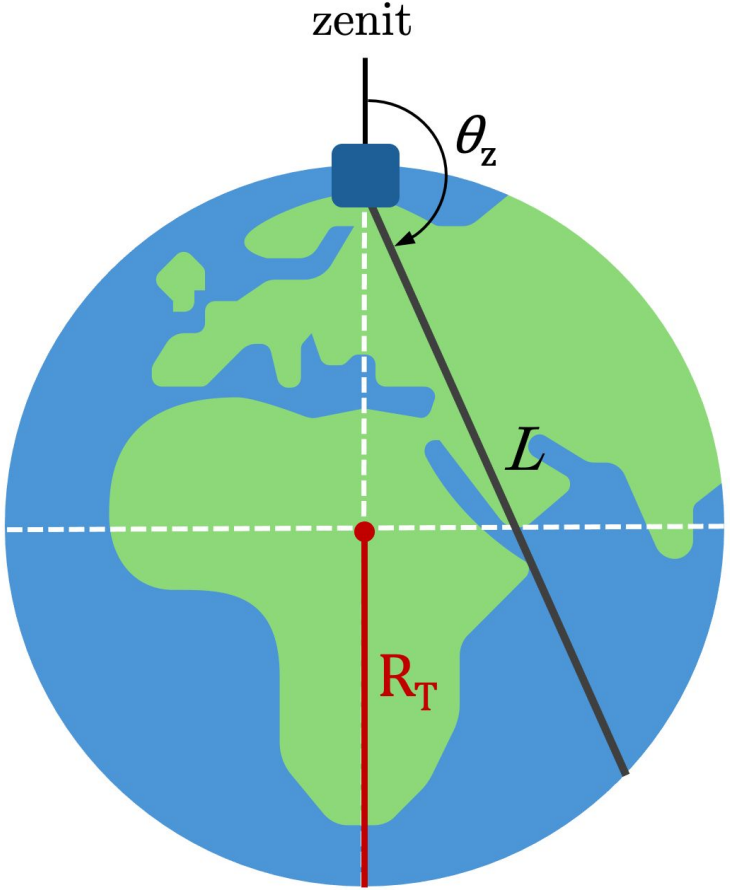
$$P_{\nu_\mu \to \nu_\mu}(\Theta, \Delta m^2_{ij}, L, E) = 1 - P_{\nu_\mu \to \nu_\tau}(\Theta, \Delta m^2_{ij}, L, E)$$

Configuración experimental

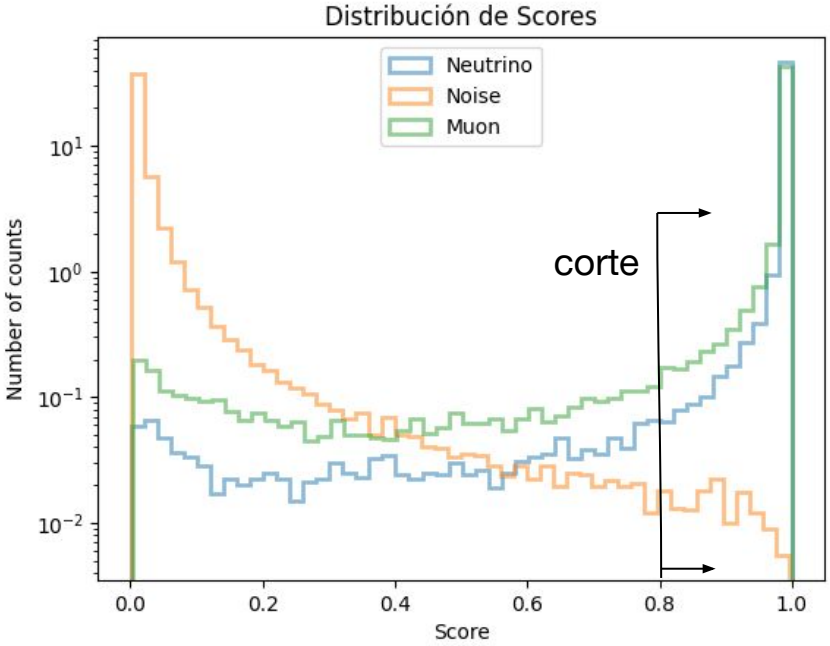
Eventos en el detector KM3NeT:

- ruido (pulsos de luz de la desintegración ^{40}K y bioluminiscencia)
- muones atmosféricos
- **neutrinos astrofísicos**
- **neutrinos atmosféricos**

nos interesa estudiar estos últimos



Selección de eventos: Boosted Decision Trees (BDTs)

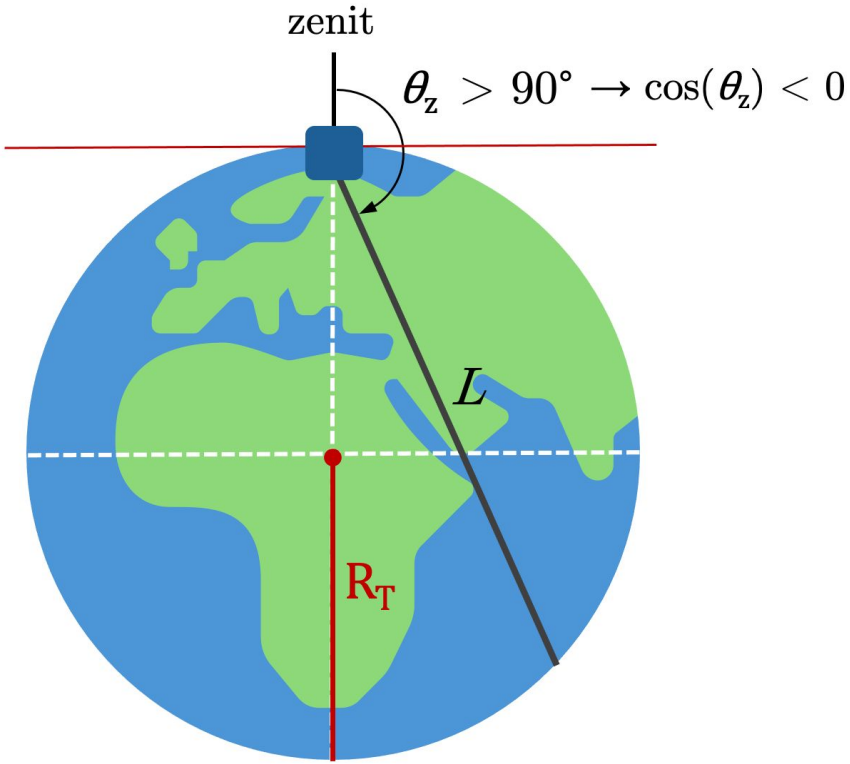


Los BDTs nos permiten separar eventos de ruido/muónicos de los neutrinos (señal).

Tras entrenar el BDT para una tarea particular, los modelos son capaces de asignar un *score* a cada evento.

La distribución de las *scores* nos permite saber dónde tenemos que aplicar un corte para discernir tipos de datos.

Determinación de cortes

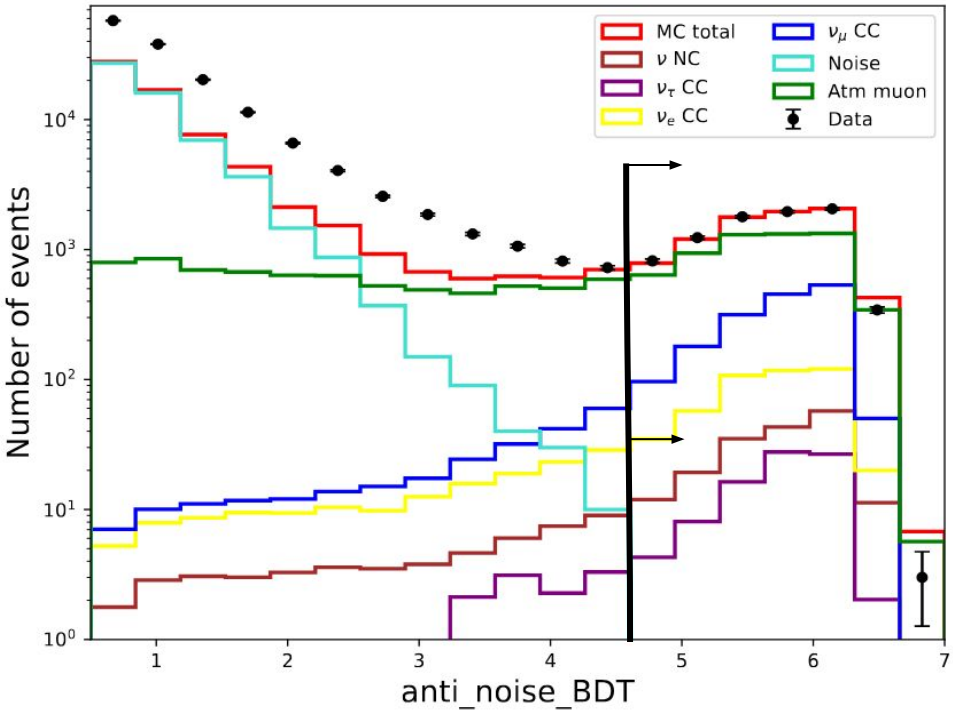


Eligiendo valores negativos del coseno, seleccionamos solo eventos que atraviesan la Tierra (**upgoing events**)

Los muones atmosféricos provienen de la región de cosenos positivos.

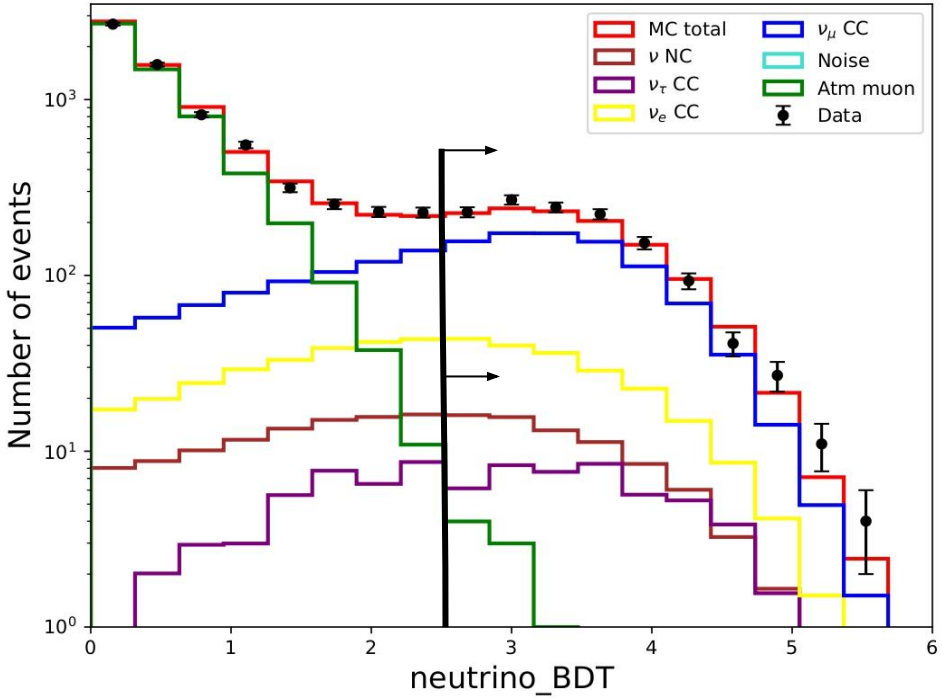
Aplicando este corte eliminamos la mayor parte de la contribución muónica. Los muones restantes serán muones mal reconstruidos.

Determinación de cortes



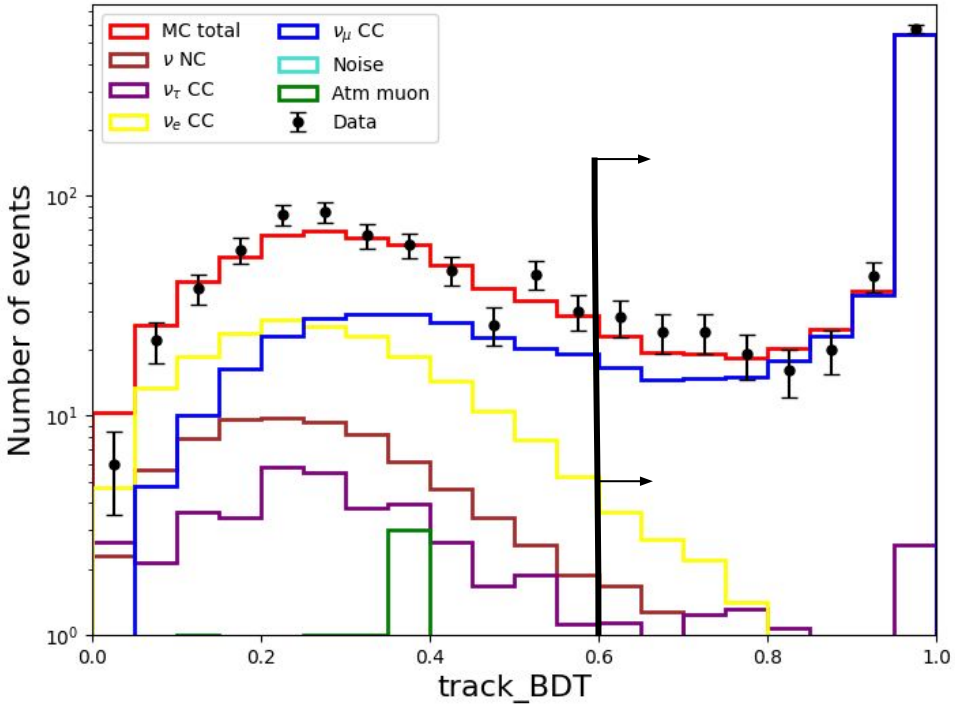
Estamos interesados en suprimir el ruido de nuestra muestra. Para ello, representamos la distribución de scores del parámetro anti_noise_BDT y ponemos un corte en **4.7**, quedándonos solo con aquellos eventos que presentan un score **superior** a este valor.

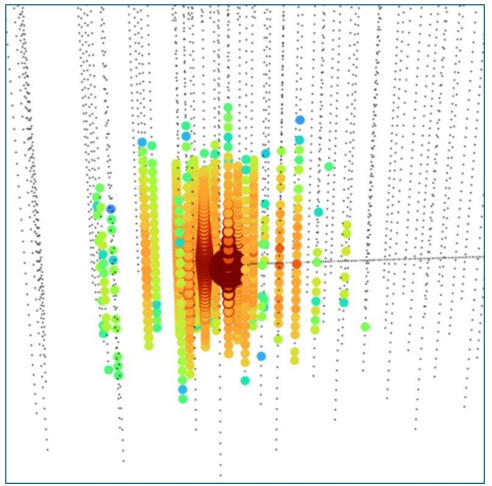
Determinación de cortes



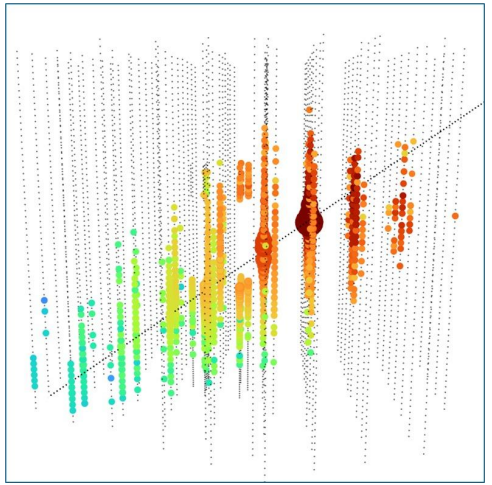
Estamos interesados en eliminar los muones atmosféricos mal reconstruidos también, de manera que nos quedemos con una muestra de neutrinos significativa. Para ello, situamos un corte en un score de neutrino_BDT de **2.5**.

Determinación de cortes



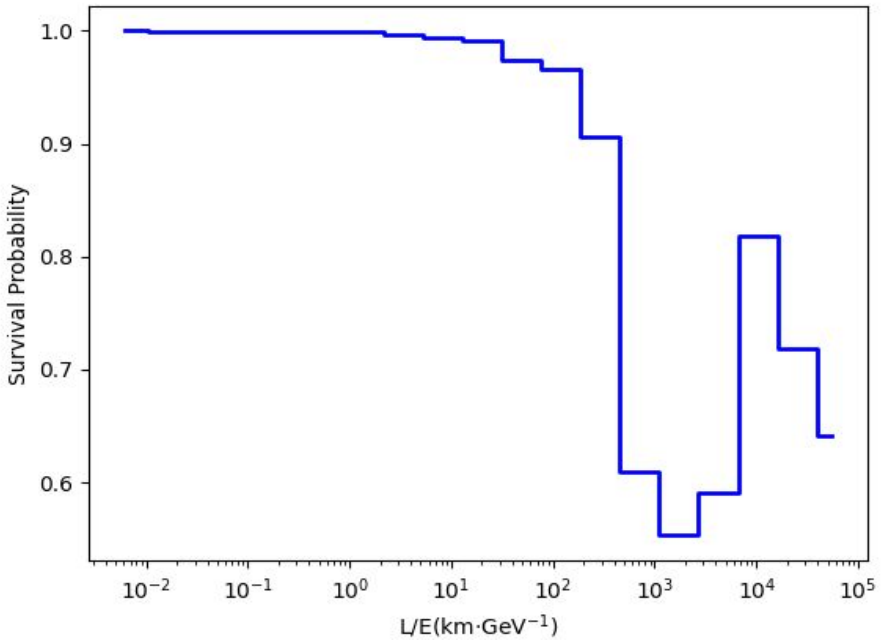


shower



track

Representación de la probabilidad de supervivencia



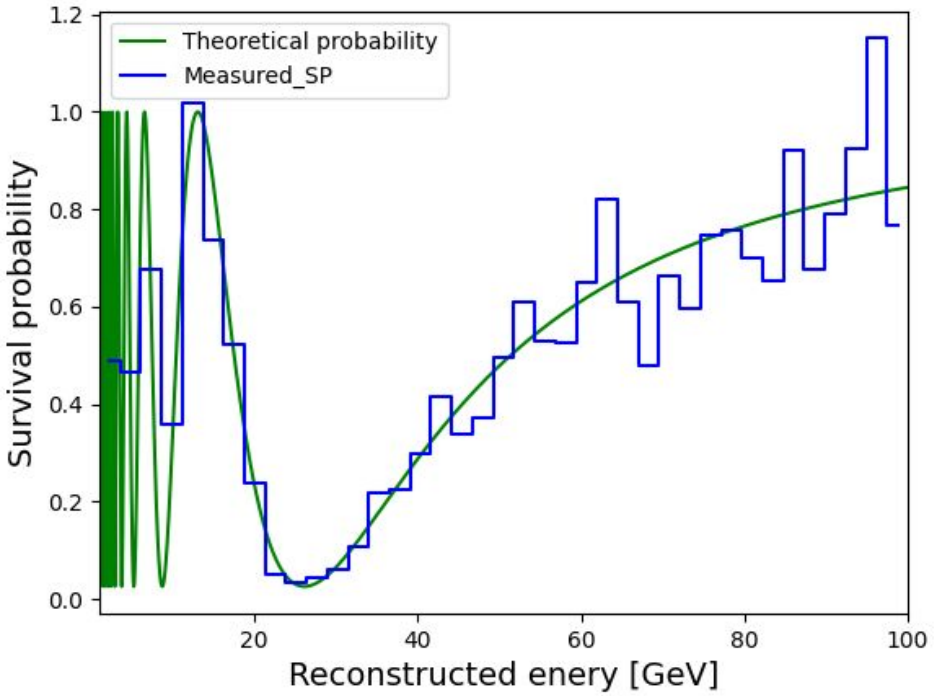
Ahora que hemos aislado los neutrinos muónicos, por la geometría terrestre

$$L = -2R_T \cos(\theta_z) \ , \ 90° < \theta_z \leq 180°$$

y la probabilidad de supervivencia

$$P_{\nu_\mu \to \nu_\mu} = \frac{n_{osc}(E)}{n_{nosc}(E)}$$

Ajuste de la diferencia de masa y el ángulo de mezcla



Suponiendo L fija e igual a

$$L = 2R_T$$

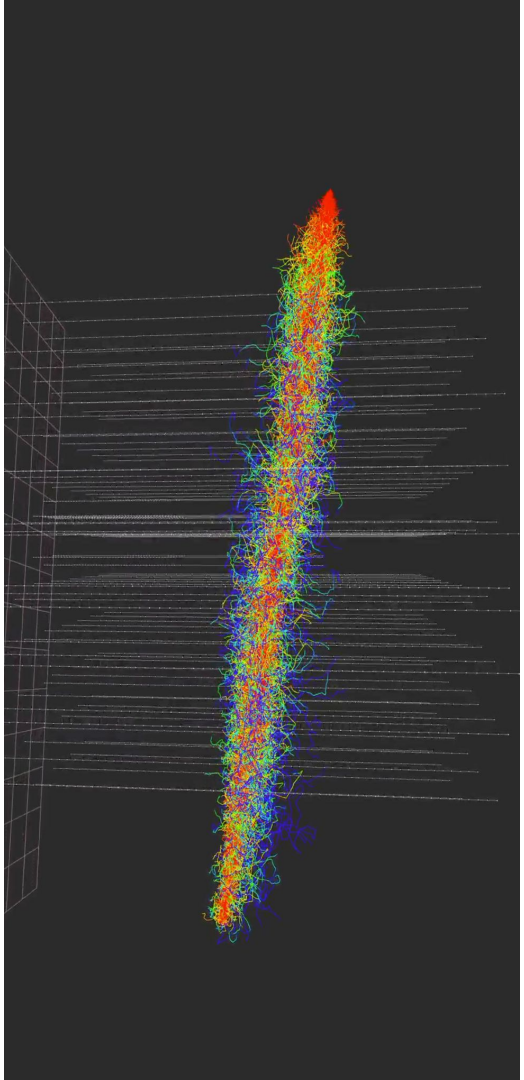
hemos determinado los siguientes valores para la diferencia cuadrática de masas y el ángulo de mezcla:

$$\Theta_{23} = 49,62° \pm 0,04°$$

$$\Delta m^2_{23} = (2,537 \pm 0,012)10^{-21}\ \text{GeV}^2$$

En resumen

- Hemos aplicado técnicas de machine learning para seleccionar los neutrinos muónicos que llegan al detector.

- Hemos estudiado la relación entre la probabilidad de supervivencia y la variable L/E.

- Hemos ajustado la probabilidad de supervivencia experimental a la curva teórica para estimar la diferencia cuadrática de masas y el ángulo de mezcla.