

Aplicaciones de la muografía en la Ind. Petroquímica

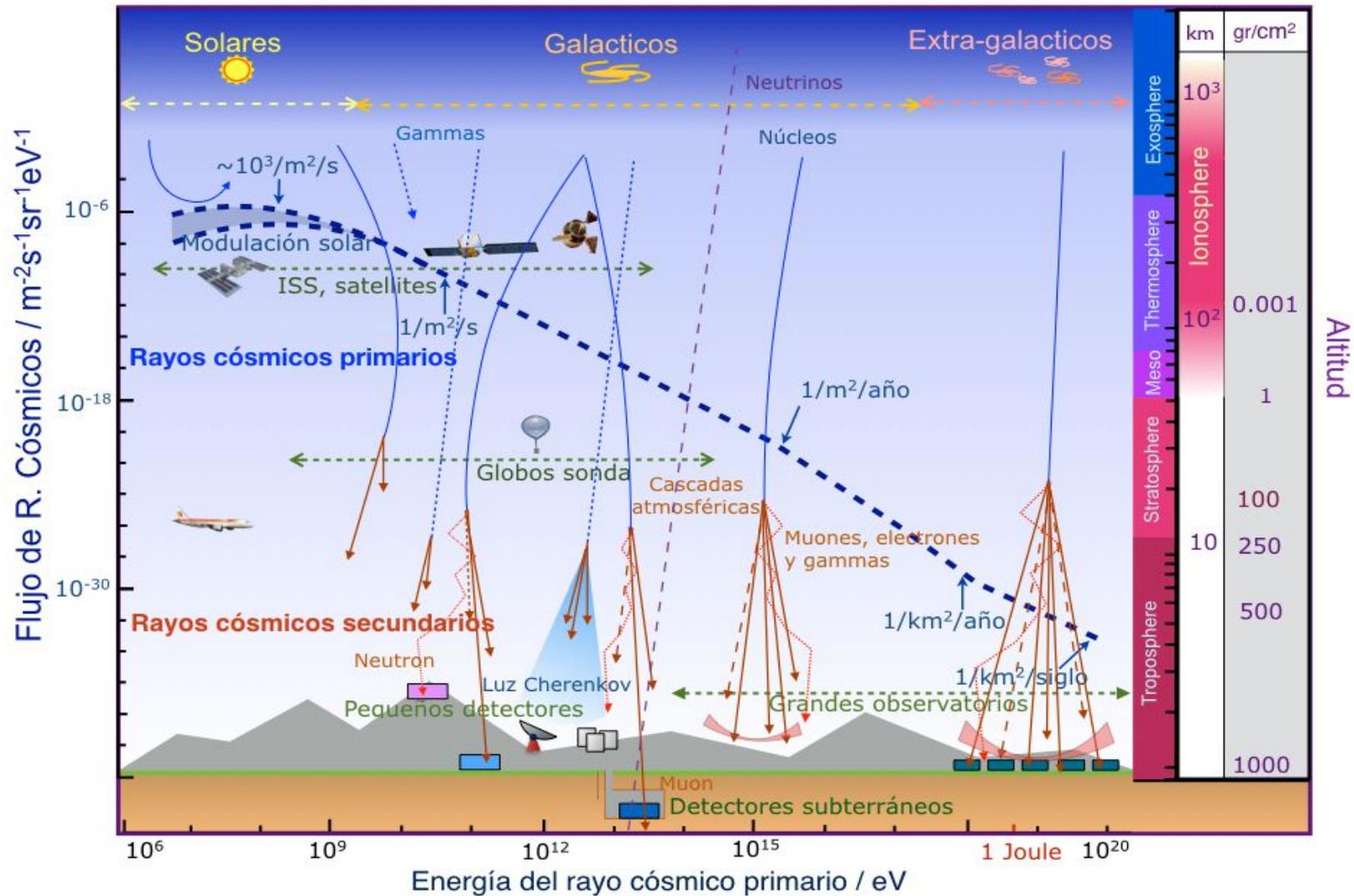
R. A, Martinez Rivero

Tutor: C. Sarmiento-Cano UIS

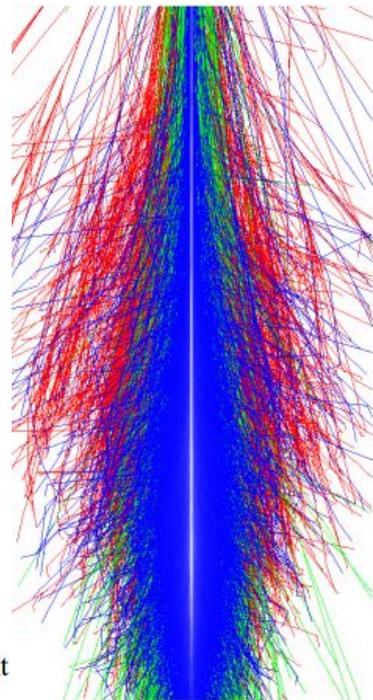
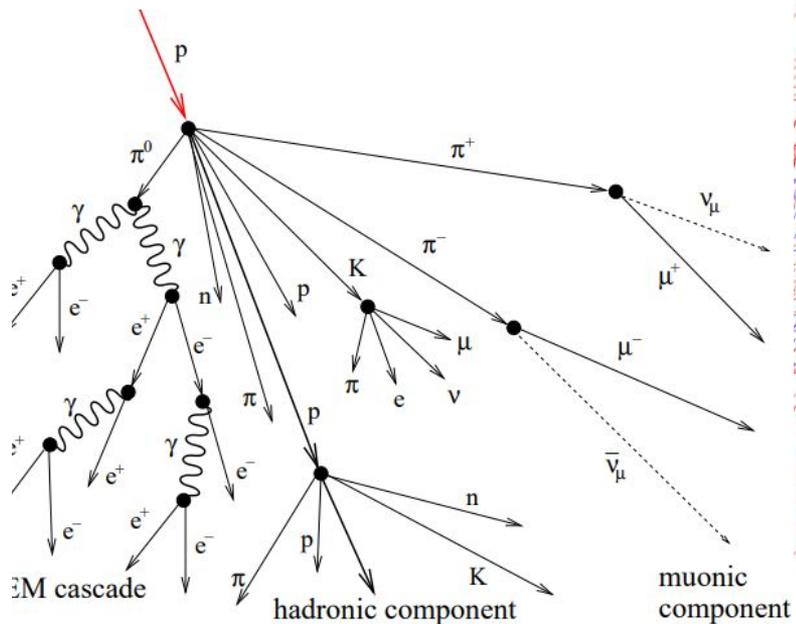
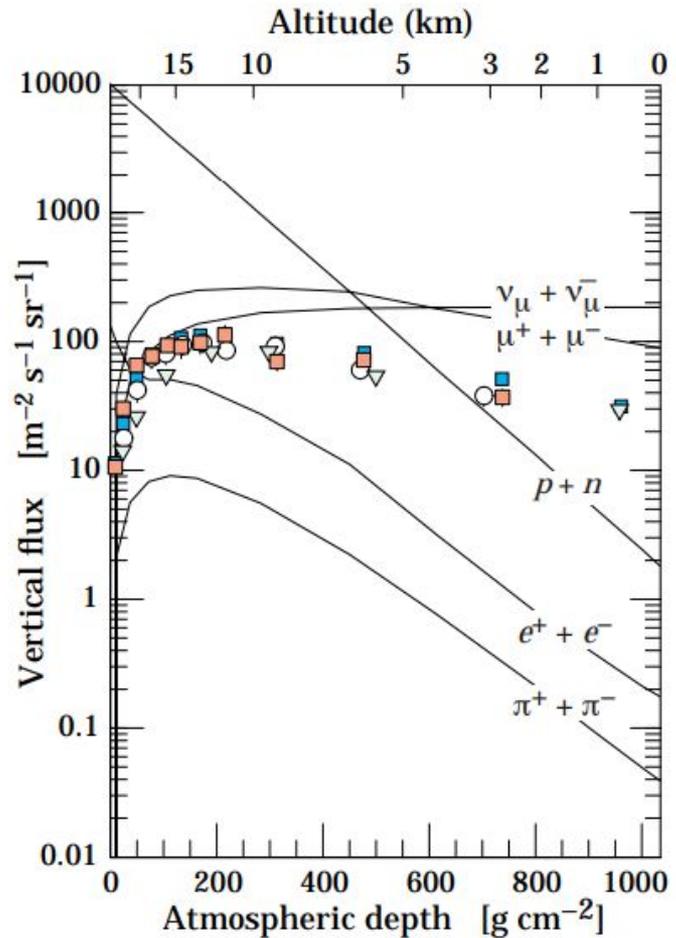
Co-tutores: J. Stephany USB



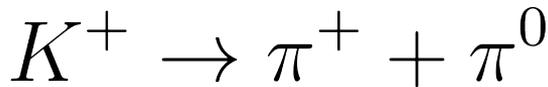
Astropartículas



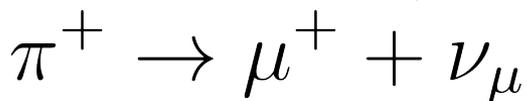
Muones C3smicos



Branching Ratio 63%



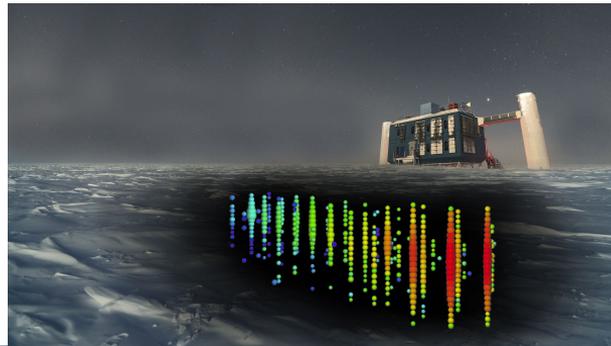
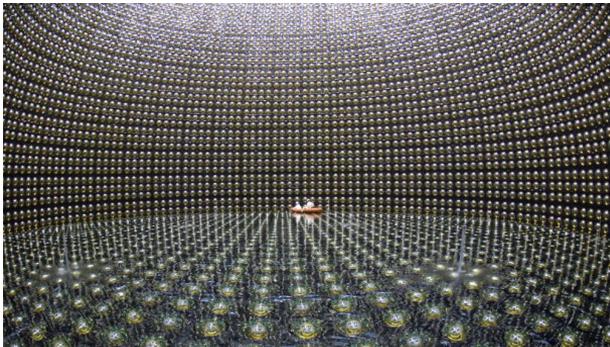
Branching Ratio 21%



Branching Ratio 99%

Línea principal

- Límite GZK.
 - Origen y medios de aceleración.
 - Composición química.
 - Neutrinos, materia oscura, etc.
-
- Kamiokande
 - Observatorio Pierre Auger
 - LAGO
 - IceCube
 - HAWC

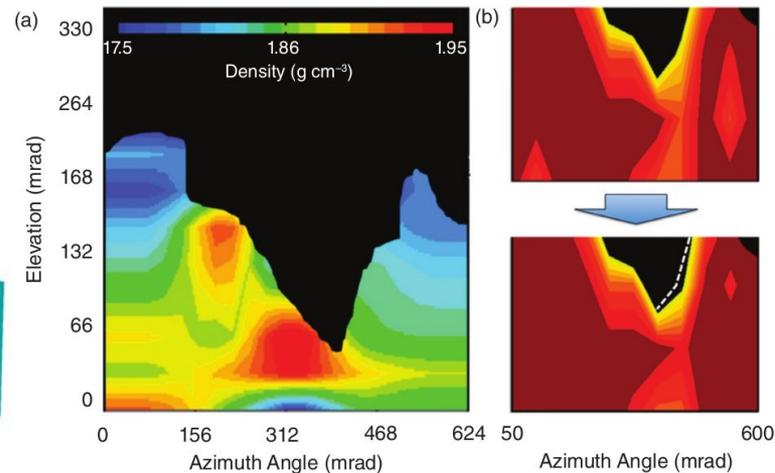
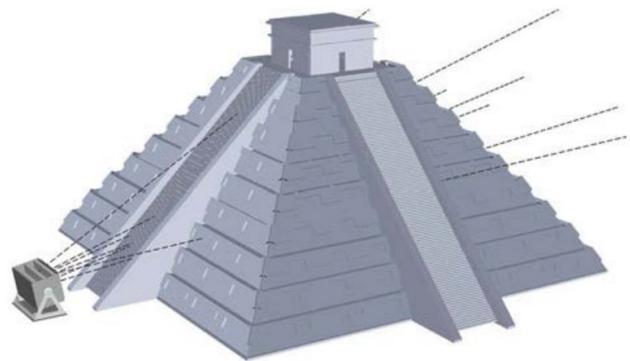
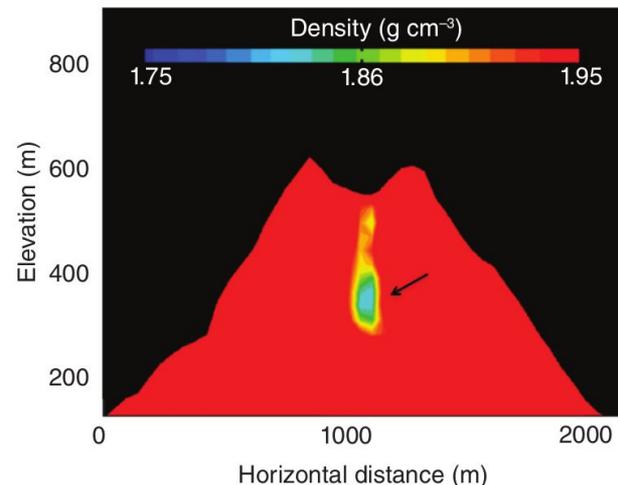


Mientras tanto..



Primeras Aplicaciones: Muografía

- **1955.** E.P. George, *Cosmic rays measure of overburden of tunnel.*
- **1970.** Alvarez LW et al. *Search for hidden chambers in the pyramids.*
- **2019** H. Tanaka et al. *Japanese volcanoes visualized with muography* E.S $\sim(0.02 -0.2)$ g/cm³ a 250 m a.s.l.
- **2013** H. Miyadera et al. *imaging fukushima daiichi reactors with muons*



Pérdida de Energía en la Materia

Ionización
$$-\frac{dE}{dx} = K(\rho) \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - 2\beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} - 2\frac{C}{Z} \right]$$

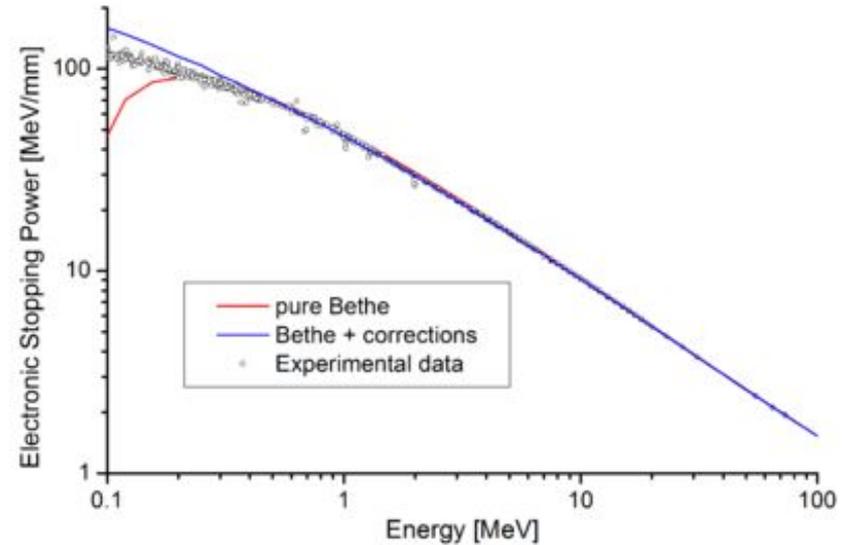
Para muones de altas energías los procesos radiativos se vuelven predominantes : *Bremsstrahlung, Pares, Int. foto nucleares.*

$E > 708 \text{ GeV}$ en SiO_2

Adair and Kasha (1977):

$$\frac{-dE}{d\rho} = a(E) + b(E)E$$

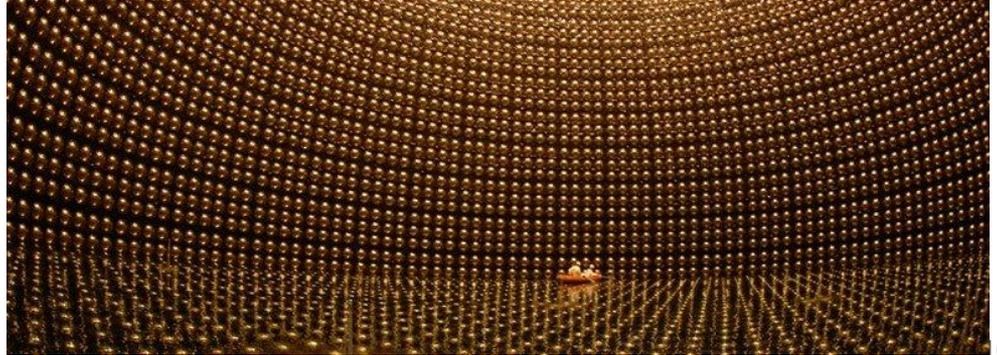
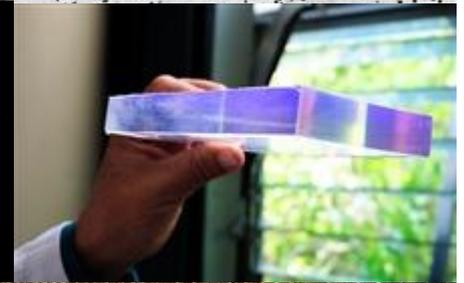
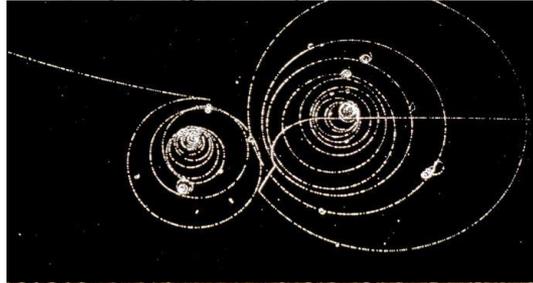
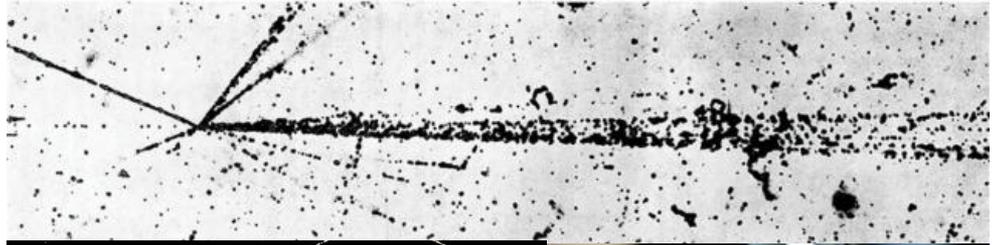
$$b(E)E < 10^{-2}a(E) \longrightarrow E < 100 \text{ GeV}$$



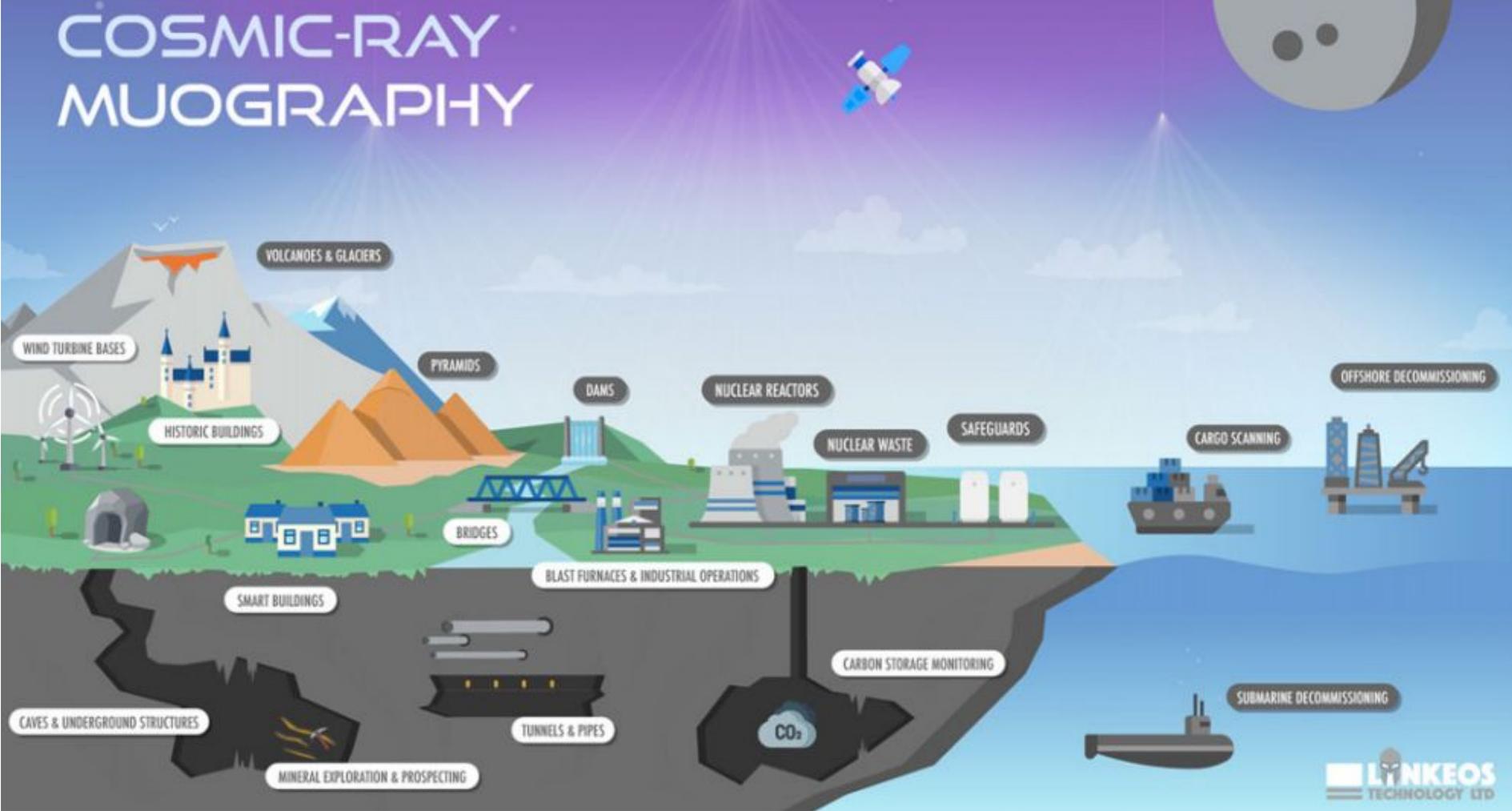
Groom et al. 2001 Caracterización de a y b para diferentes Materiales

Detectores de partículas cargadas

- Emulsiones Nucleares
- Gaseosos
- Centelleo
- Cherenkov



COSMIC-RAY MUOGRAPHY



motivación

- **Desafío en la extracción y refinamiento del crudo pesado.**
- **Reactores de hidrotratamiento.**
- **Catalizador y altas temperaturas.**
- **Obstrucción:** Acumulación de material en los poros. fouling
- **Detección temprana** de la obstrucción.
- Modelos y técnicas de monitoreo.
- Espectroscopia Raman o Infrarroja, absorción de rayos X. No son viables.



¿Es factible utilizar la muografía como una técnica para medir y estudiar la dinámica de los procesos de refinamiento en reactores catalítico, con el fin de optimizar la eficiencia del refinamiento?

**Desarrollar un
modelo
computacional
estudiar la dinámica
en las RLF.**

*Caracterización y
simulación del Fondo
de Rayos Cósmicos.*

*Desarrollar diferentes
modelos de
hodoscópios.*

+

*Emular un reactor de
lecho fijo.*

*Integrar el FRC, el
hodoscópio y el RLF.*

Simulación del fondo de radiación cósmica

ARTI

Framework en C++, Fortran, Bash y Perl permite la integración entre MagetoCosmics, CORSIKA y Geant4.

MAGCOS
MAGnetoCOSmics

CORSIKA
COsmic Ray SIMulations for KAscade

 **GEANT4**
A SIMULATION TOOLKIT



ARTI

Framework en C++, Fortran, Bash y Perl permite la integración entre MagentoCosmics, CORSIKA y Geant4.

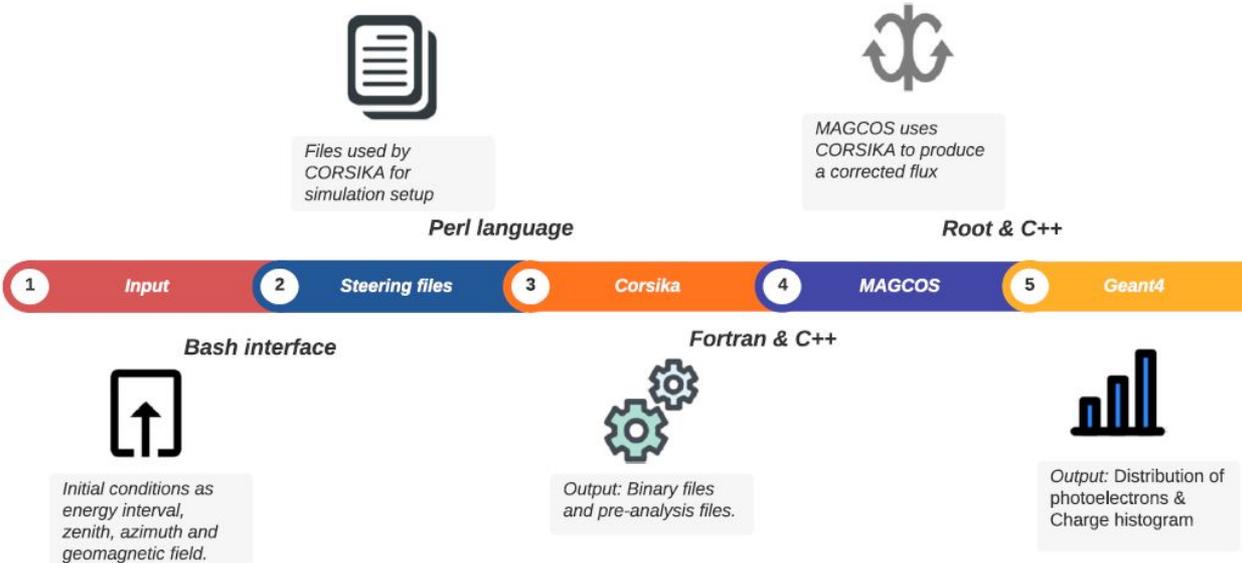
$$\Phi(E_p, Z, A, \Omega) \simeq j_0(Z, A) \left(\frac{E_p}{E_0} \right)^{\alpha(E_p, Z, A)},$$

(0.1 - 10⁶) GeV,

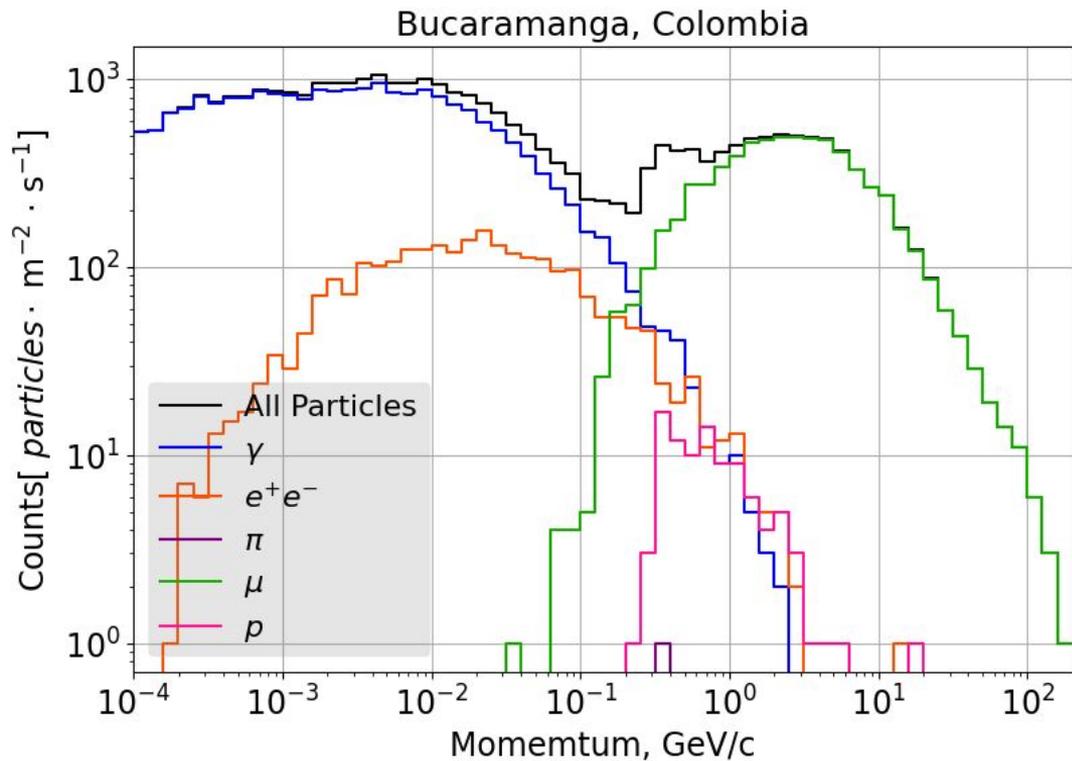
$$j_0(Z, A, E_0 = 10^3 \text{ GeV})$$

122km asl

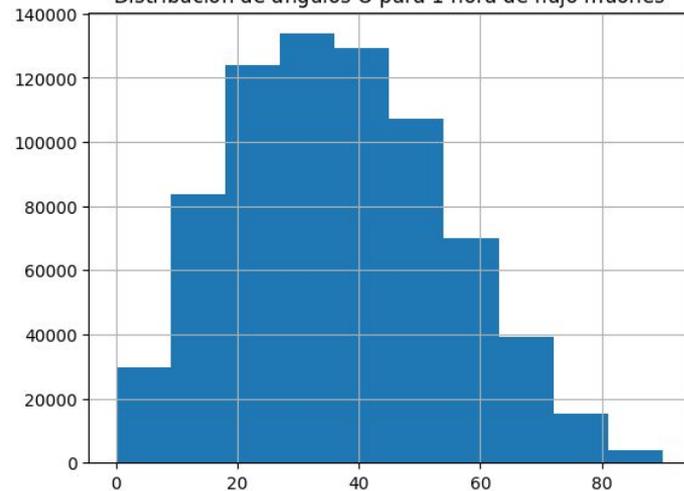
$$1 \leq Z \leq 26,$$



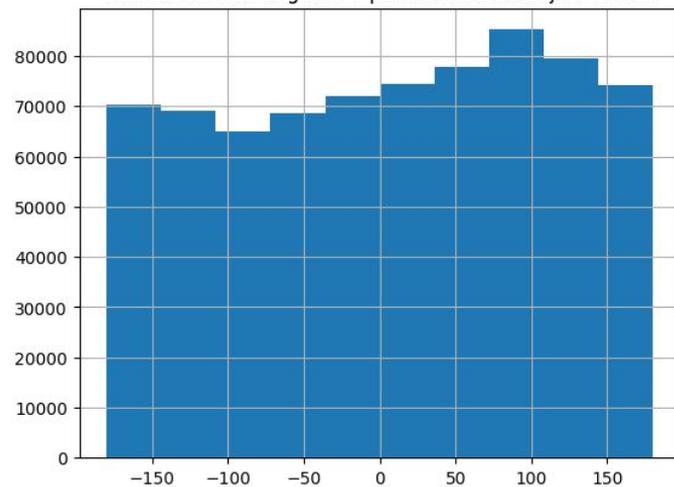
Cascada de partículas secundarias



Distribución de ángulos Θ para 1 hora de flujo muones



Distribución de ángulos Φ para 1 hora de flujo muones



Detector: Parámetros Geométricos

Parámetros geométricos del hodoscopio.

Opacidad

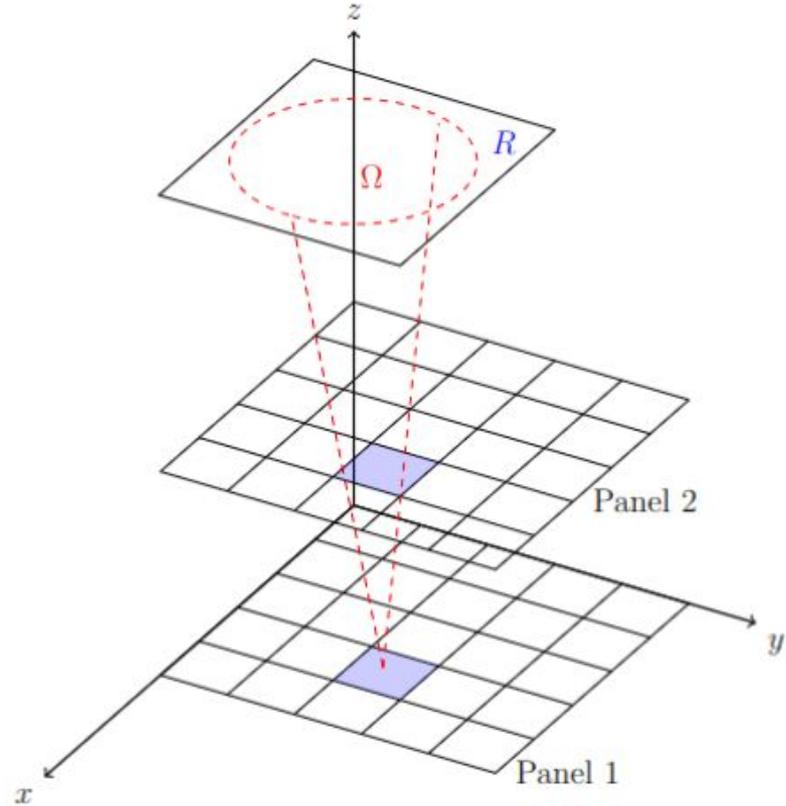
$$\varrho = \int_L \rho(\chi) d\chi = \rho \times L$$

Flujo detectado

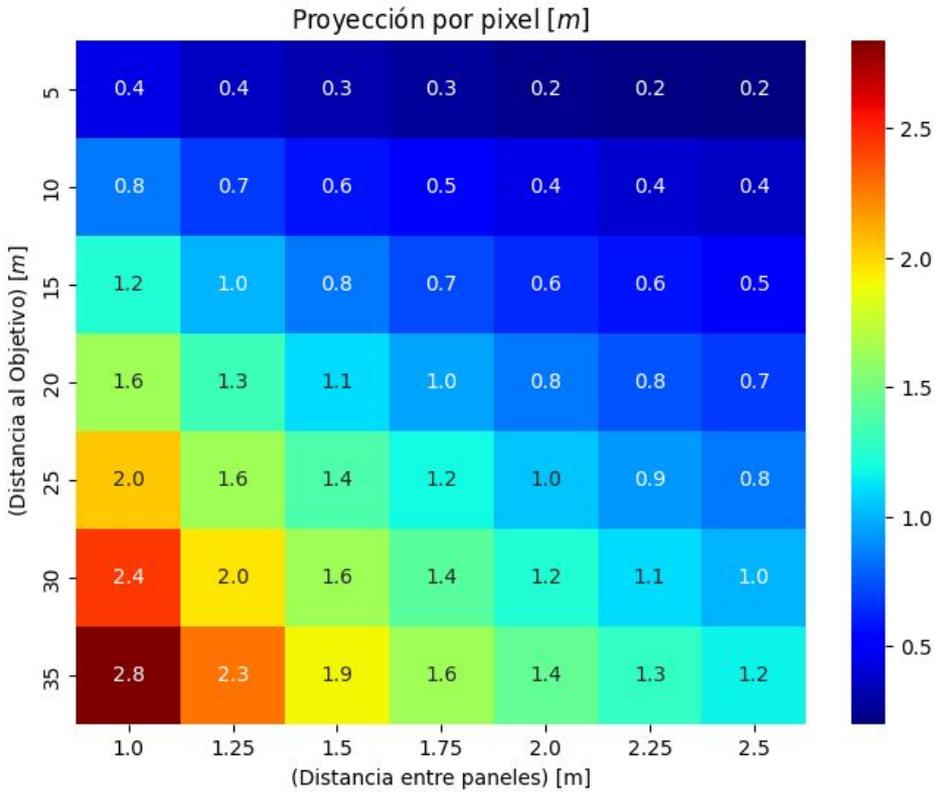
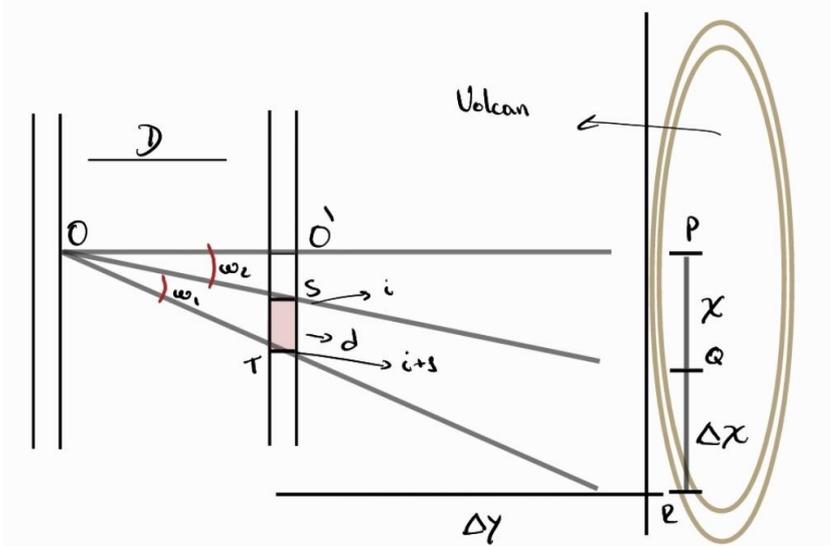
$$N(\varrho) = \Delta t \times T \times I(\varrho)$$

Aceptancia

$$T(r_{ij}) = R(r_{ij}) \times \delta\Omega(r_{ij})$$

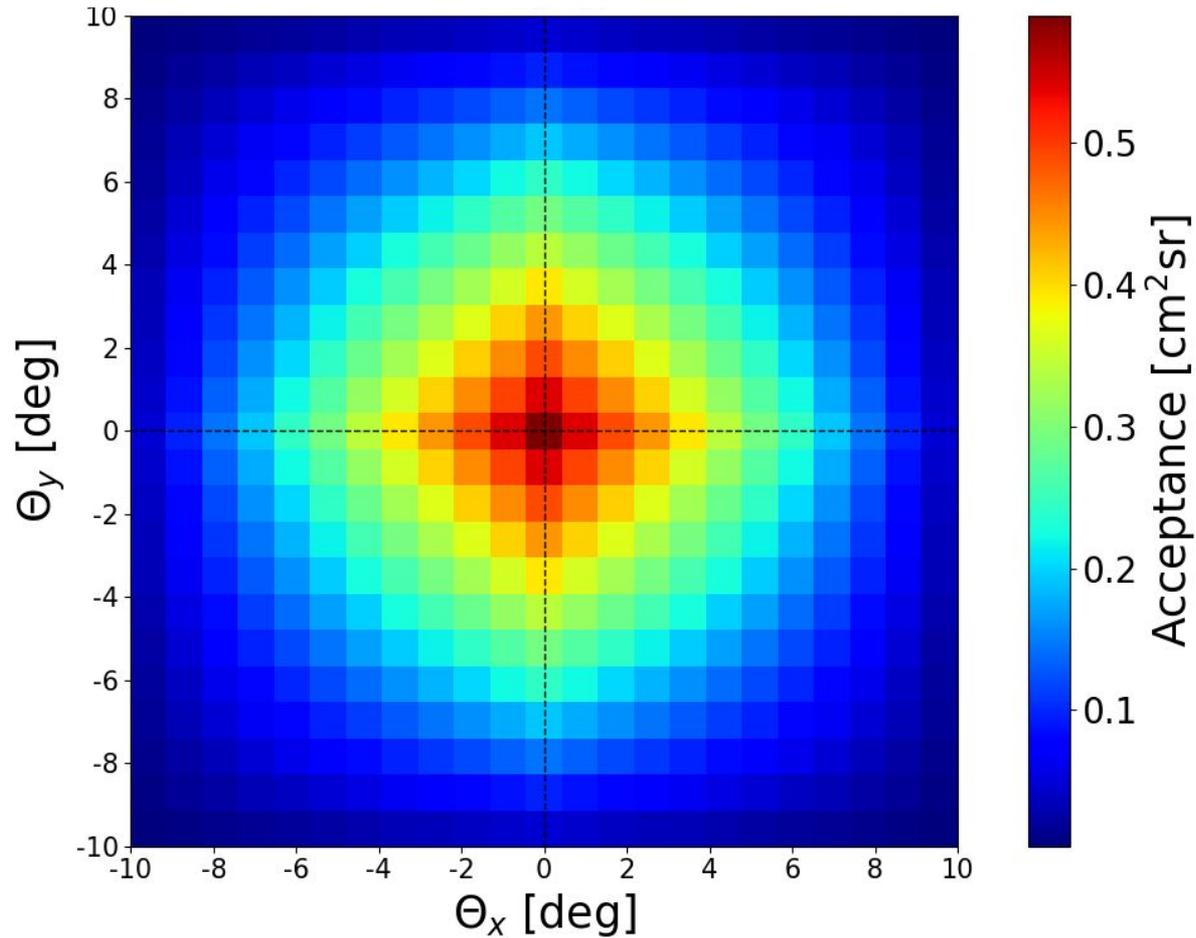


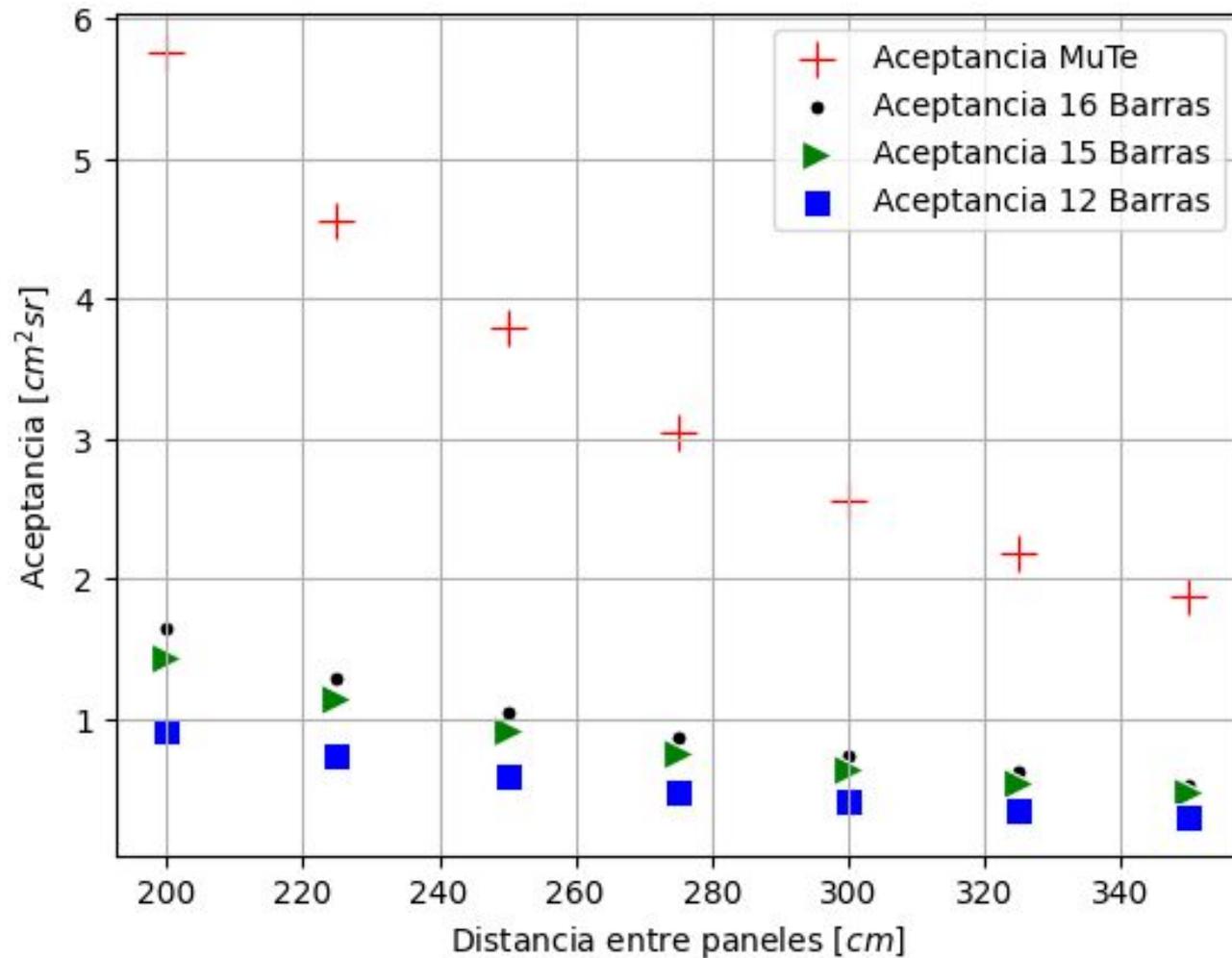
Resolución Espacial 15 Barras



$$\Delta x = \frac{d(2\Delta y + D)}{D}$$

Aceptancia 15 Barras

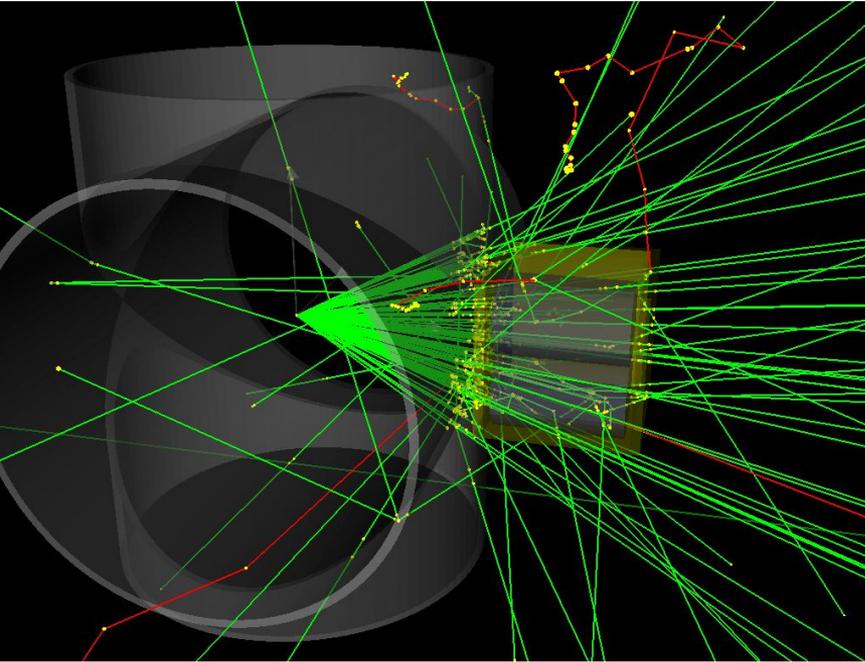




Detector: Simulación



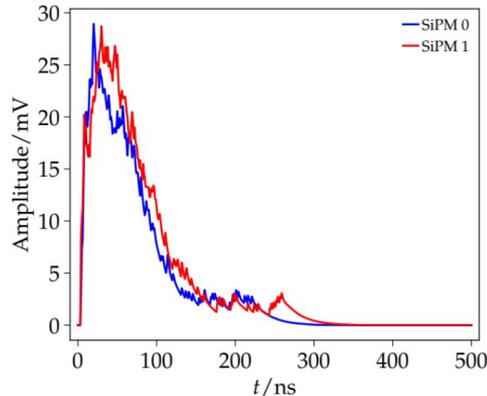
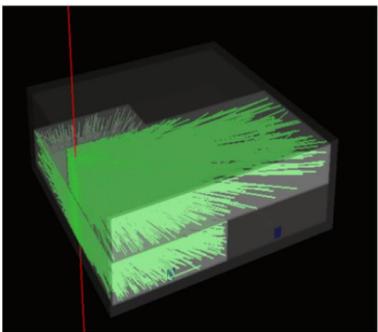
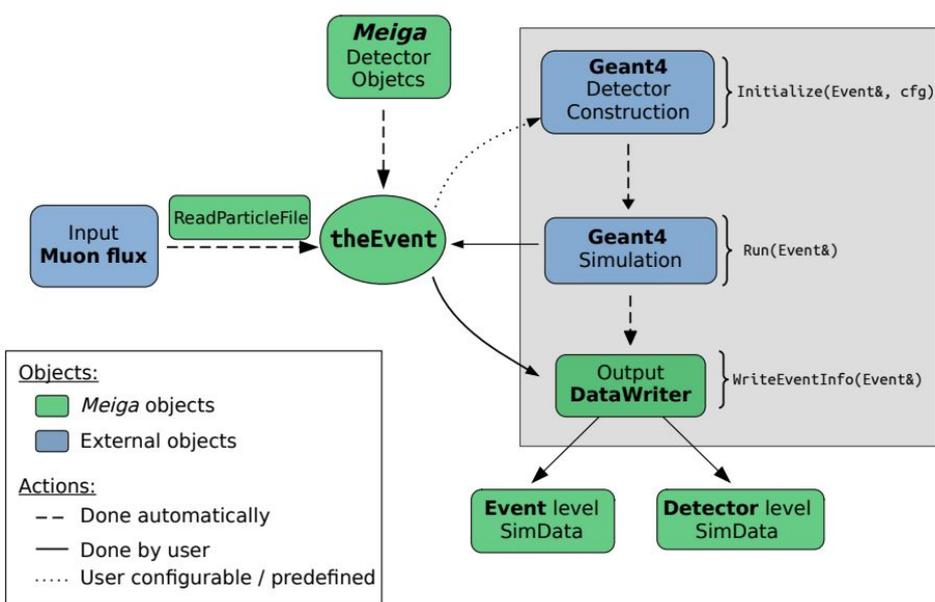
toolkit de simulación de eventos utilizado en la investigación de física de partículas y aplicaciones afines.



- Variedad de procesos: Ópticos, decaimientos, Radiativos, transporte de neutrones, etc.
- Alta Modularidad y personalización.
- Posibilidad de interfaz gráfica.
- Simulaciones Robustas.
- Alto poder de cómputo.
- Problemas de compatibilidad.
- Extensión no trivial para grandes proyectos.

MEIGA

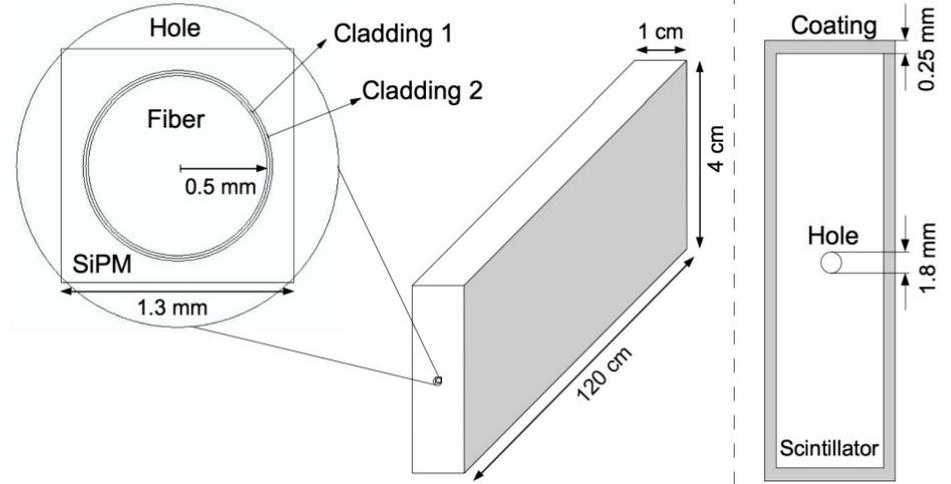
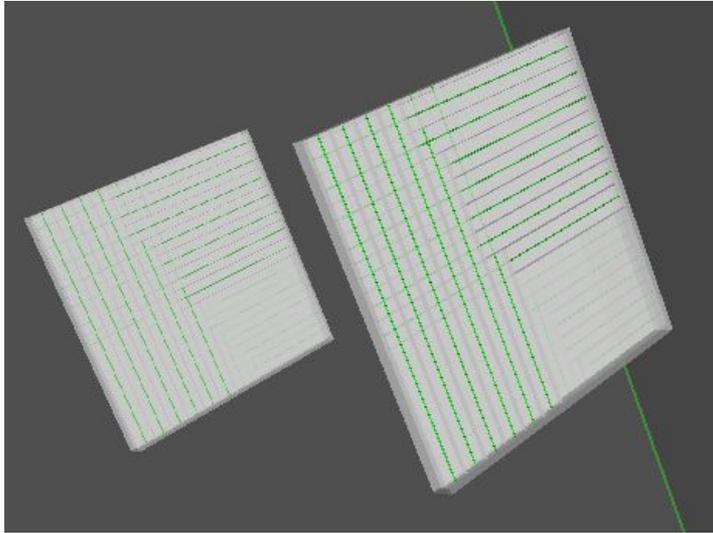
Integra el cálculo del **flujo** de rayos cósmicos, la **propagación** de partículas a través de materiales y la simulación de la **respuesta** del detector.



Meiga, a Dedicated Framework Used for Muography Applications A. Taboada, et al.

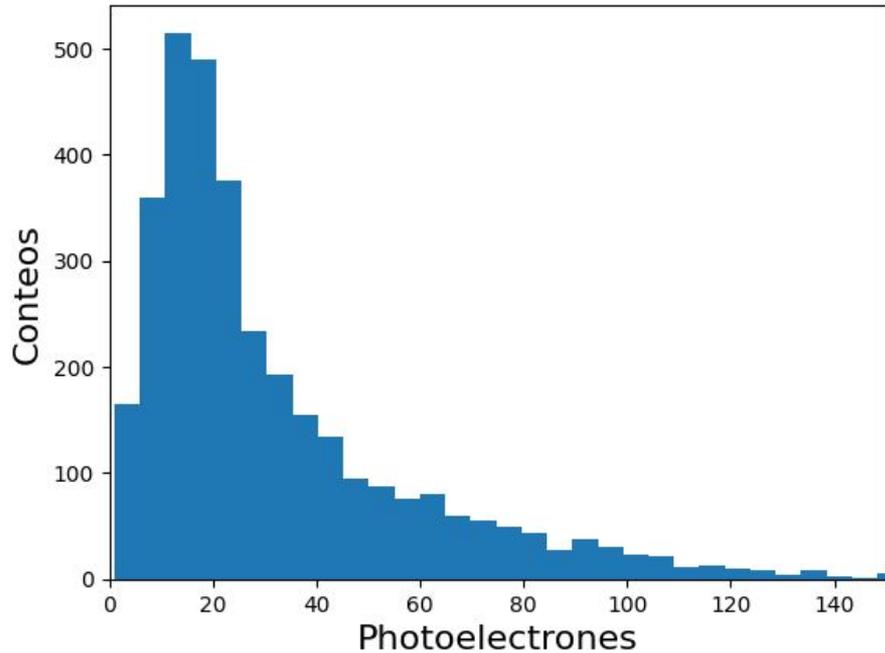
Physics List: QGSP_BERT_HP

Construcción del detector

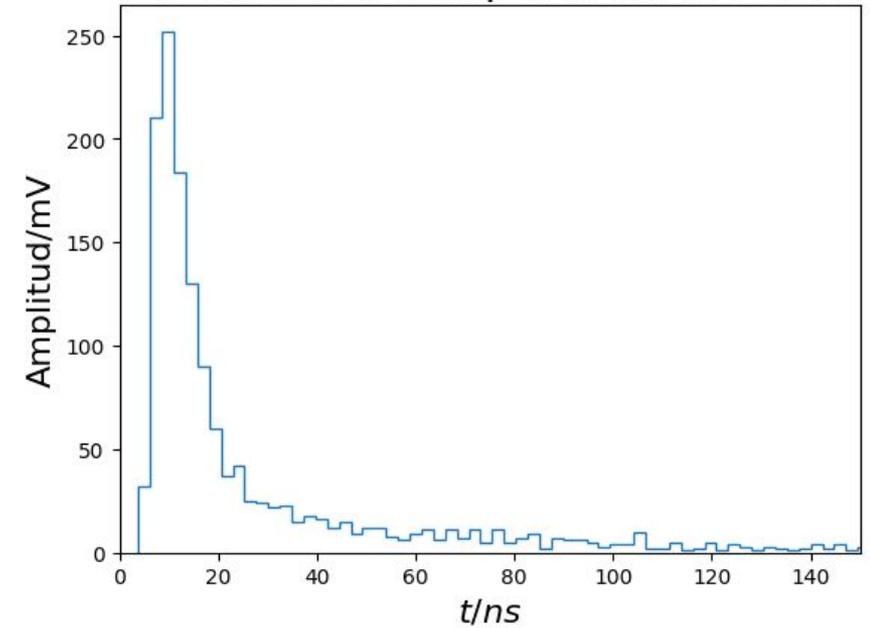


Respuesta del detector

Distribución del Numero de PE en el SiMP



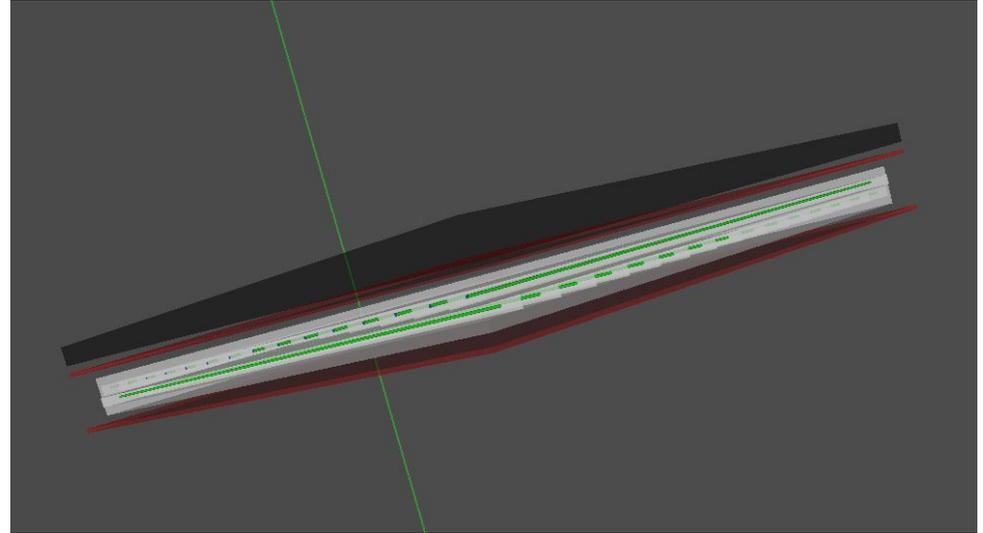
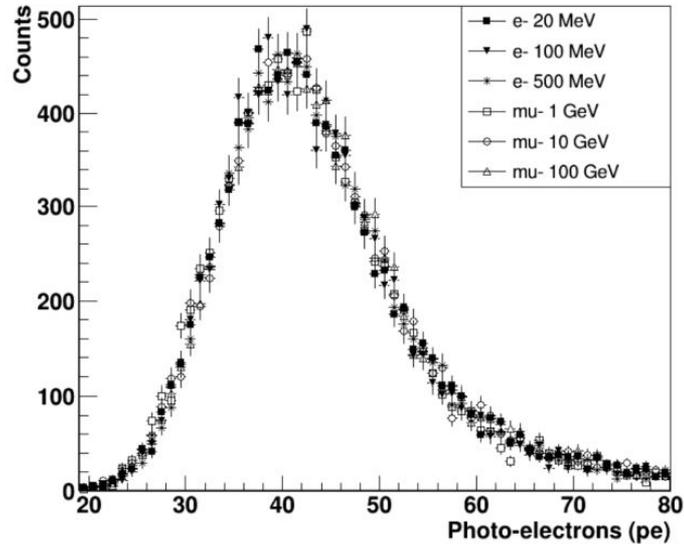
Distribución temporal en los SiPM



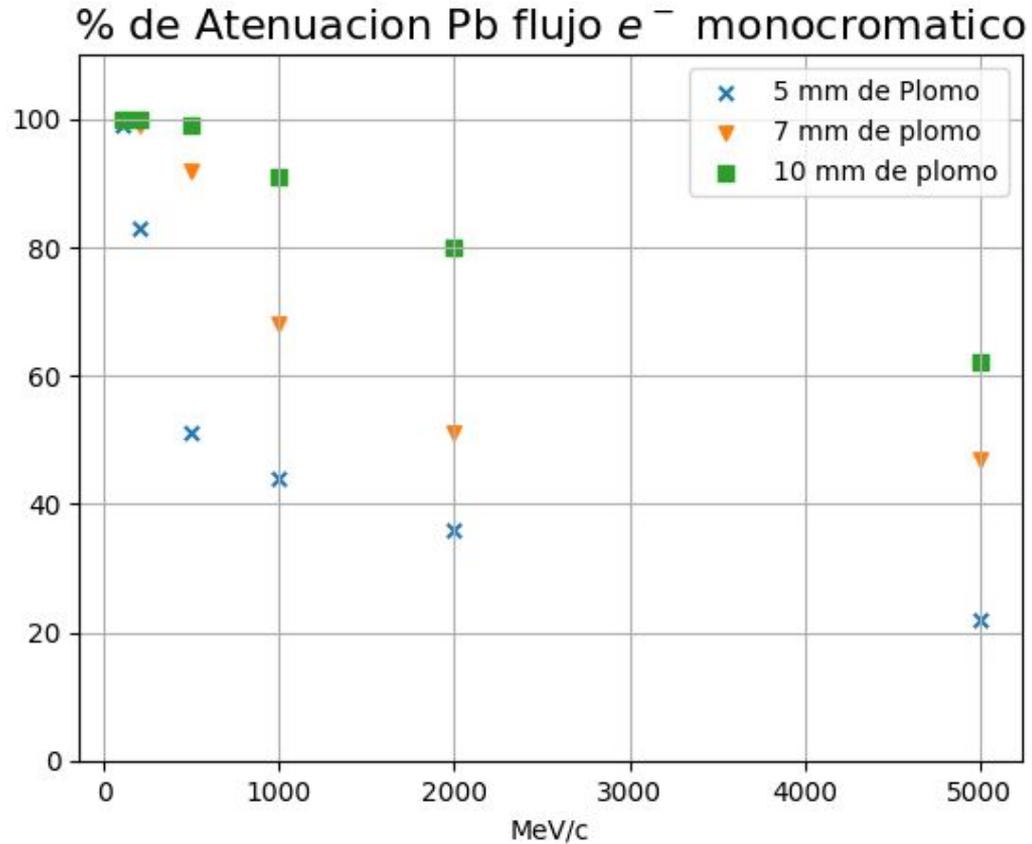
Atenuación del ruido: Blindaje de Pb

En los detectores de centelleo no es posible diferenciar electrones de muones, ya que tienen similar energía de frenado en el poliestireno.

$$\frac{dE}{d\rho_{poly}} \approx 2MeVcm^2g$$

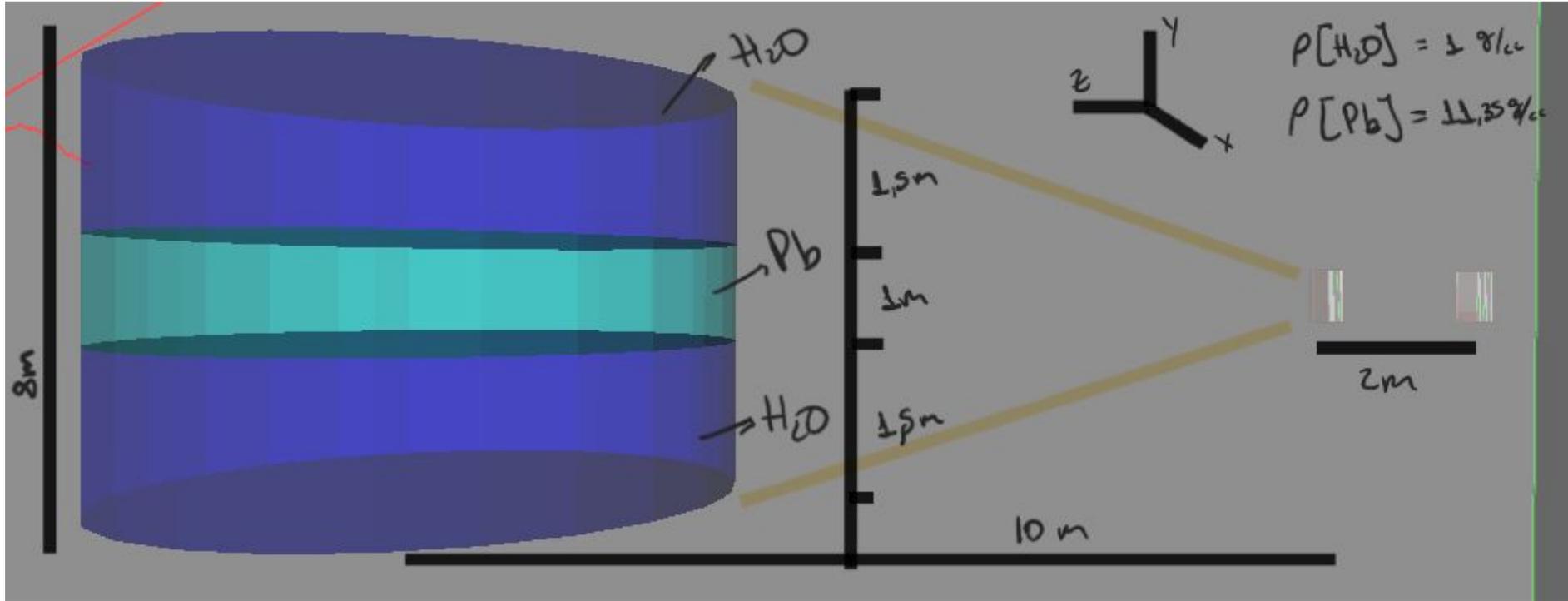


Atenuación de la detección de electrones.

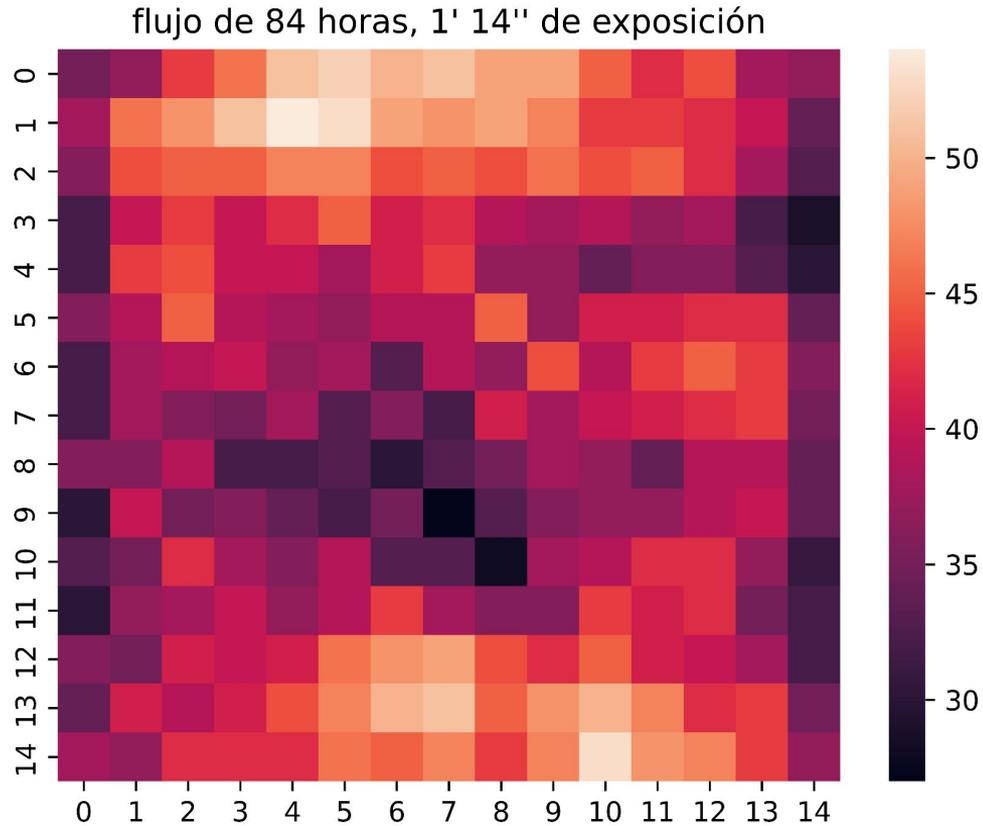


Integración del fondo, detector y un primer objeto de prueba

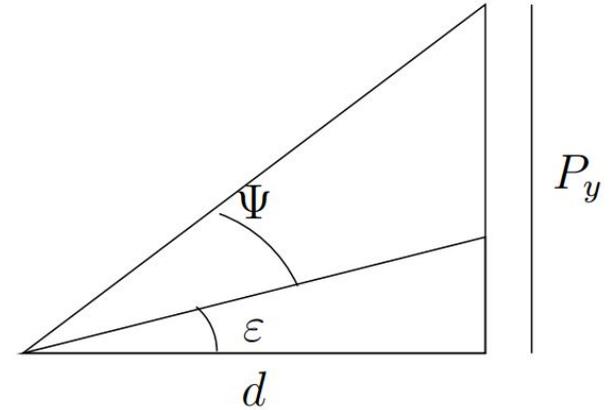
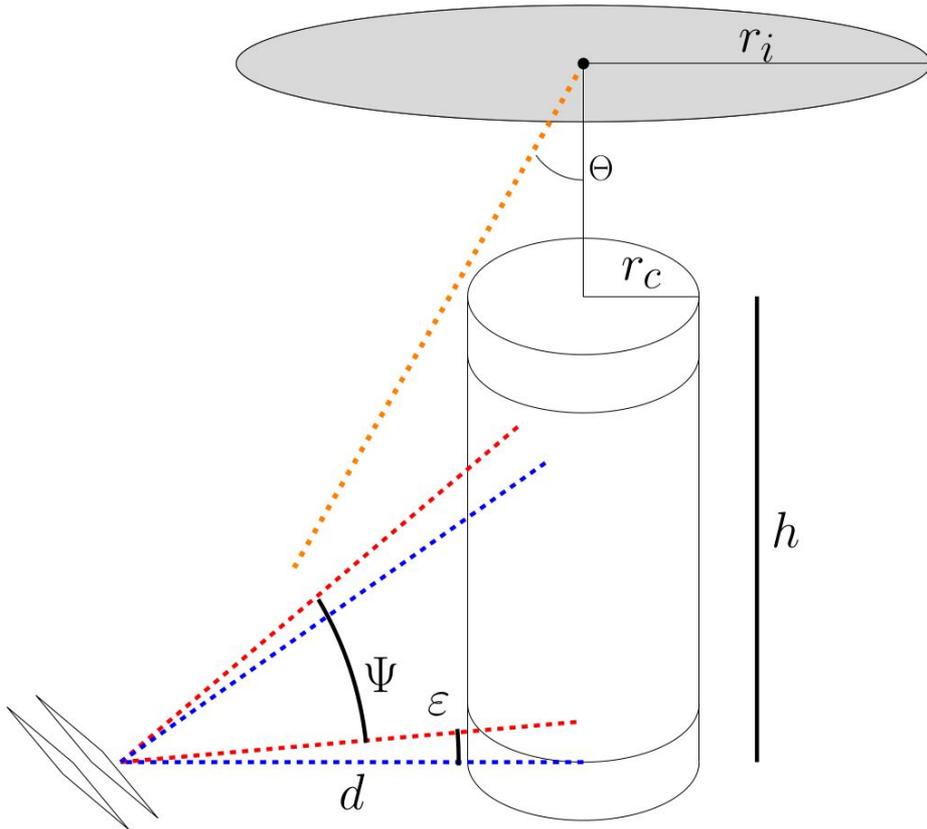
Esquema de simulación



Análisis de coincidencias



Aumento de la aceptación angular



$$\Psi = \arctan(L/D)$$

$$\theta_c = 90^\circ - \Psi$$

$$\theta'_c = 90^\circ - \arctan(L/D) - \varepsilon$$

Configuración para atenuación de flujo

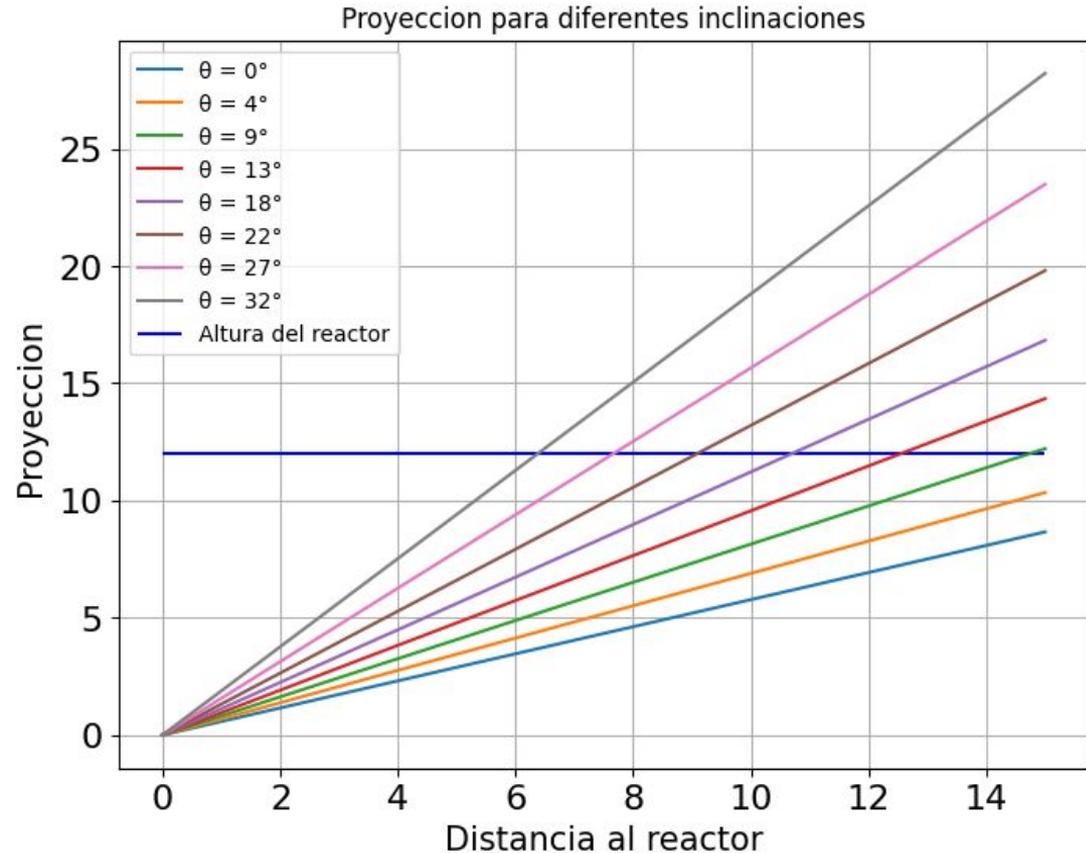
Distancia entre paneles 1m para 15 barras $\Psi \approx 30^\circ$

Al inclinar el hodoscopio se obtiene un

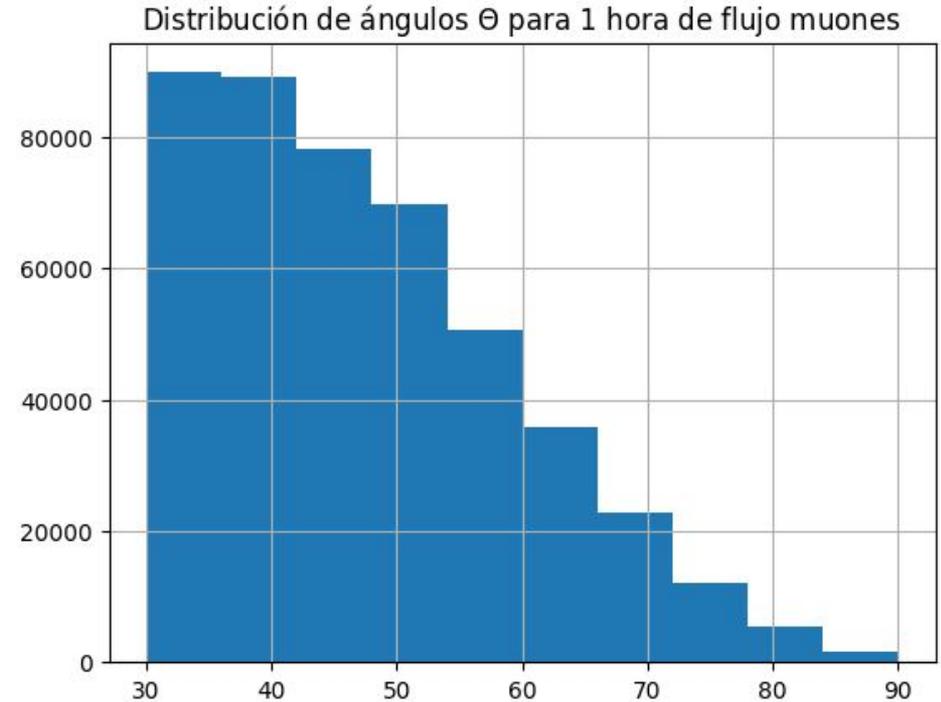
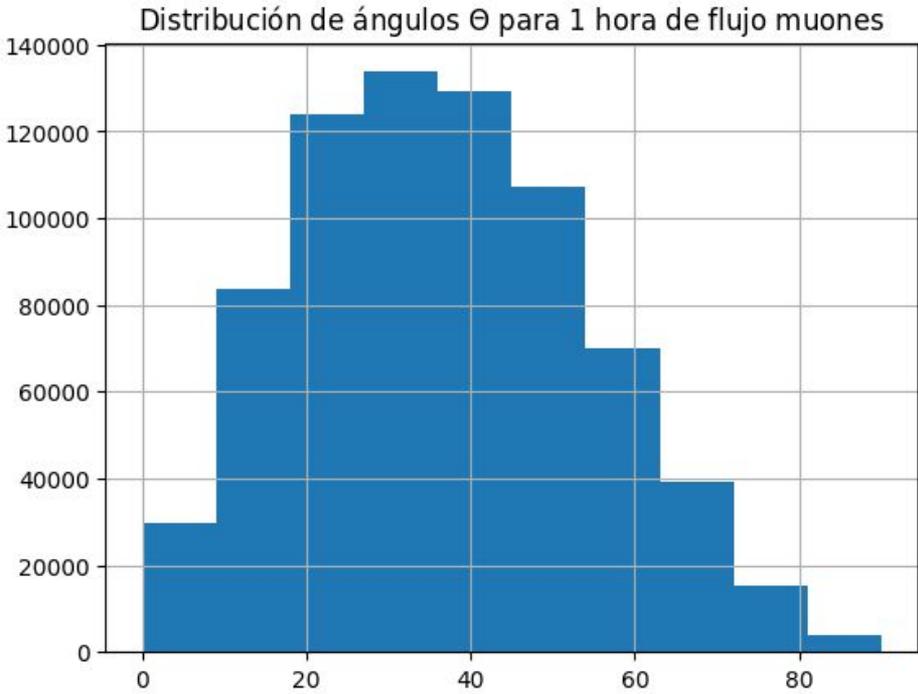
$$\varepsilon = 30^\circ$$

Obtenemos un ángulo de corte de

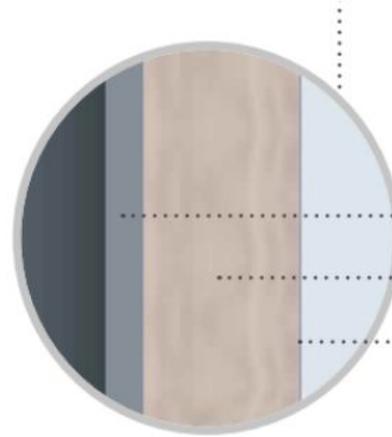
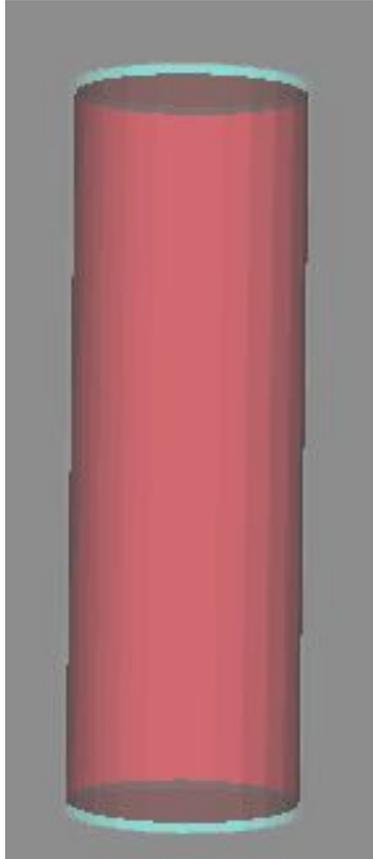
$$\theta_c = 90^\circ - 30^\circ - 30^\circ = 30^\circ$$



Filtrado de la inyección



Modelado del reactor de lecho fijo



ENVOLVENTE DE LA
TORRE DE DESTILACIÓN

Recubrimiento interior de acero **24 mm**

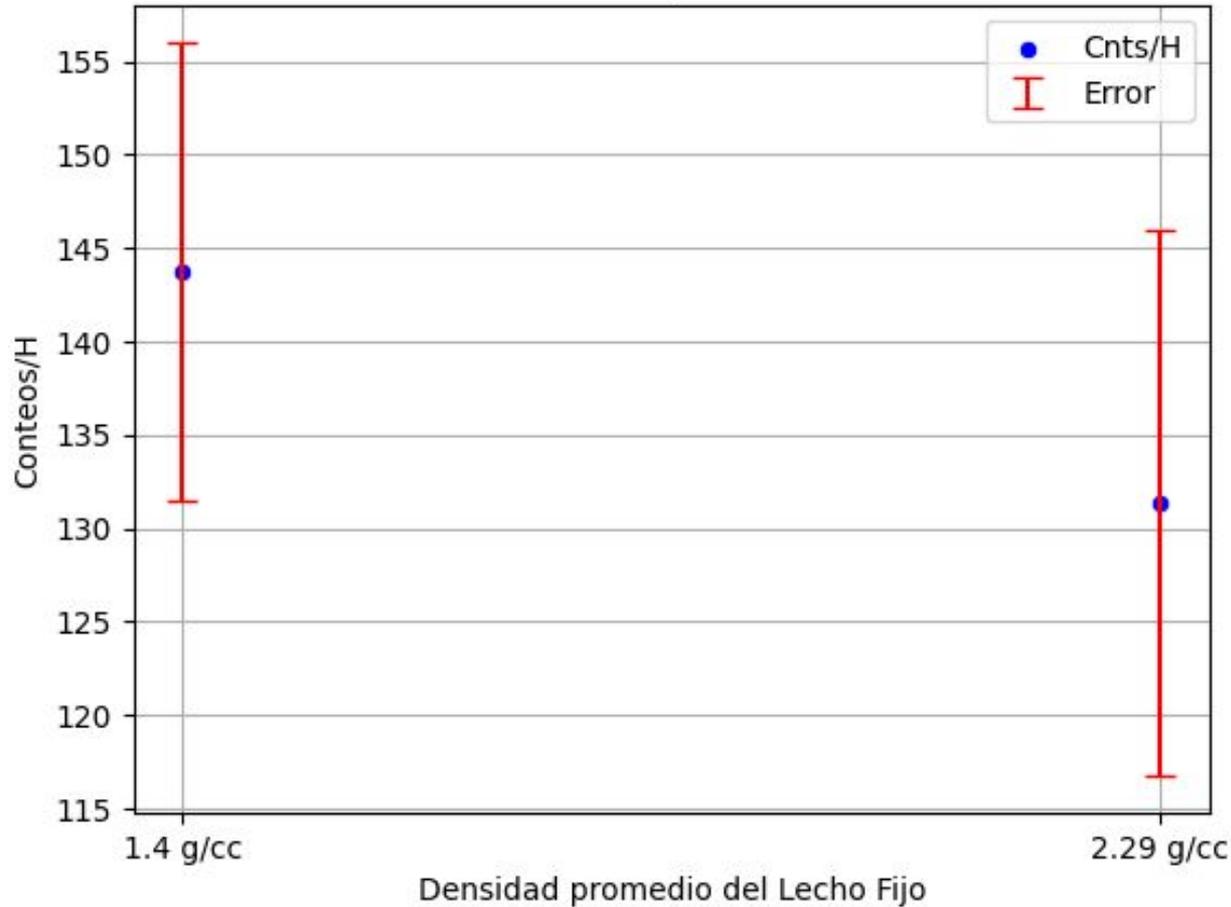
Capa de calorifugado que mantiene la temperatura **100 mm**

Chapa exterior de aluminio **1 mm**

$$\rho_{eq}^0 = \varepsilon^0 \rho_{\text{Diesel}} + (1 - \varepsilon^0) \rho_{ca}^A$$

$$\rho_{eq}^r = \varepsilon^r \rho_{\text{Diesel}} + (1 - \varepsilon^r) \rho_{ca}^{A,r}$$

Conteos por Hora



Distancia entre paneles 1m
para 15 barras

30 grados de inclinacion

5 metros de la torre

96 horas de flujo

Aprox 9 horas de exposici3n

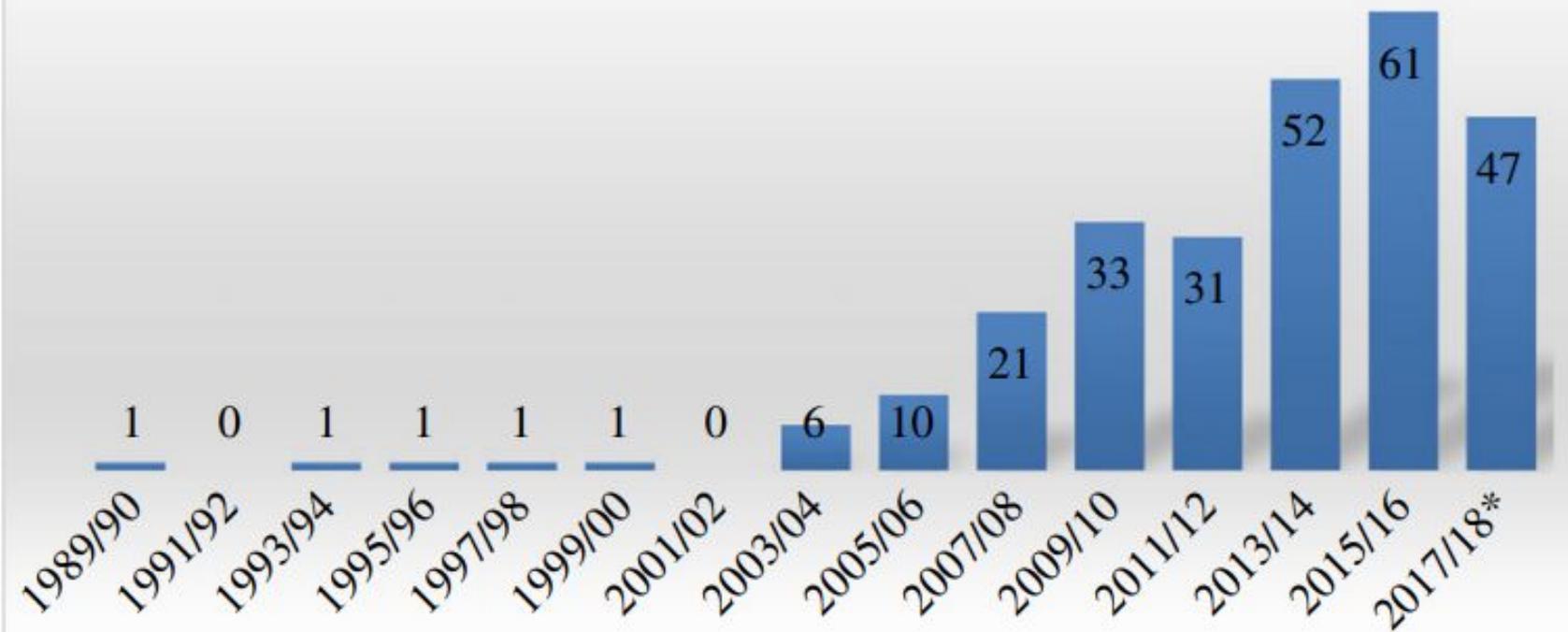
“la clasificación en disciplinas es, comparativamente, poco importante. Somos estudiantes de problemas, no de disciplinas”.

Karl Popper

Backup

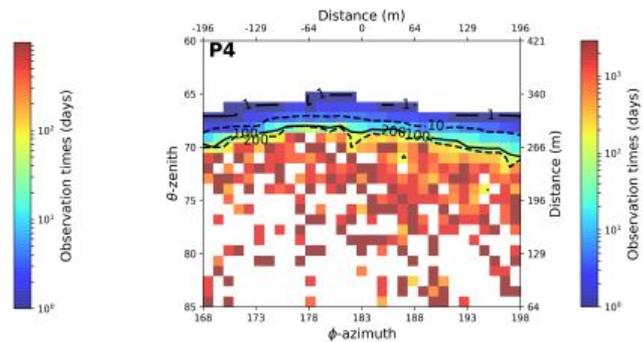
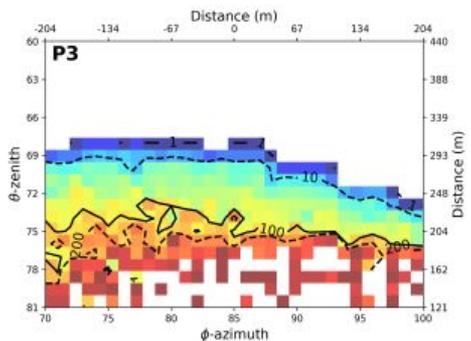
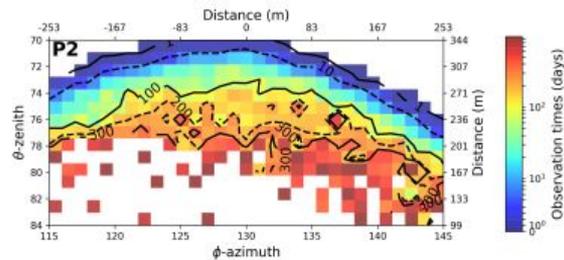
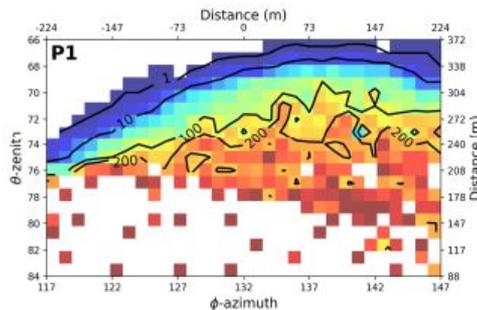
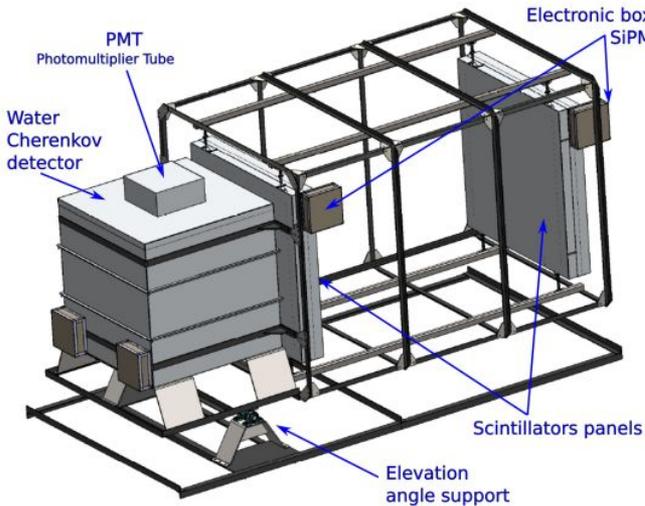
	+0%'	+20%'	+40%'	+60%'	+74%'
ρ_{eq}^r (g/cm ³)	1.205	1.446	1.688	1.928	2.097
$\rho_{ca}^{A,r}$ (g/cm ³)	1.560	1.790	1.940	2.045	2.102
Al	40.22 %	27.65 %	21.04 %	17 %	15 %
O	43.3 %	31.97 %	26.025 %	22.375 %	20.52 %
Ni	3.14 %	5.41 %	6.6 %	7.33 %	7.70 %
Mo	13.34 %	9.16 %	6.97 %	5.63 %	4.97 %
V		2.2 %	3.36 %	4.07 %	4.42 %
C		11.85 %	18.07 %	21.88 %	23.78 %
Ca		5.39 %	8.22 %	9.95 %	10.82 %
S		6.34 %	9.67 %	11.71 %	12.73 %
Na		0.03 %	0.045 %	0.055 %	0.06 %
ϵ_0^r	50.0 %	36.6 %	23.2 %	9.8 %	0.4 %
Incr% residuos	0 %	26.9 %	53.9 %	80.8 %	99.6 %
% masa_residuos	35.27 %	21.52 %	11.69 %	4.32 %	0.16 %

muography publications



Publicaciones de muografía en el tiempo, Cortesía: University of Glasgow Library

MuTe: Muon Telescope.



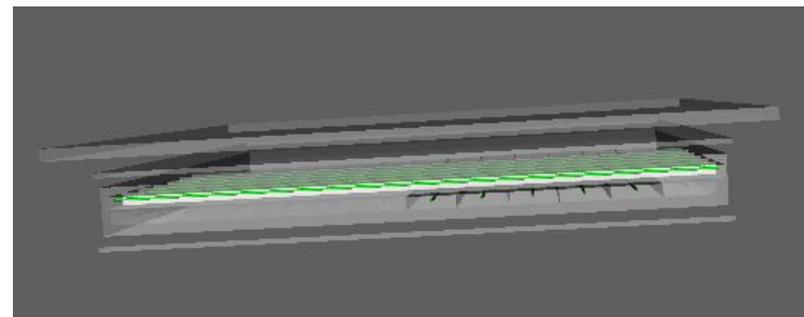
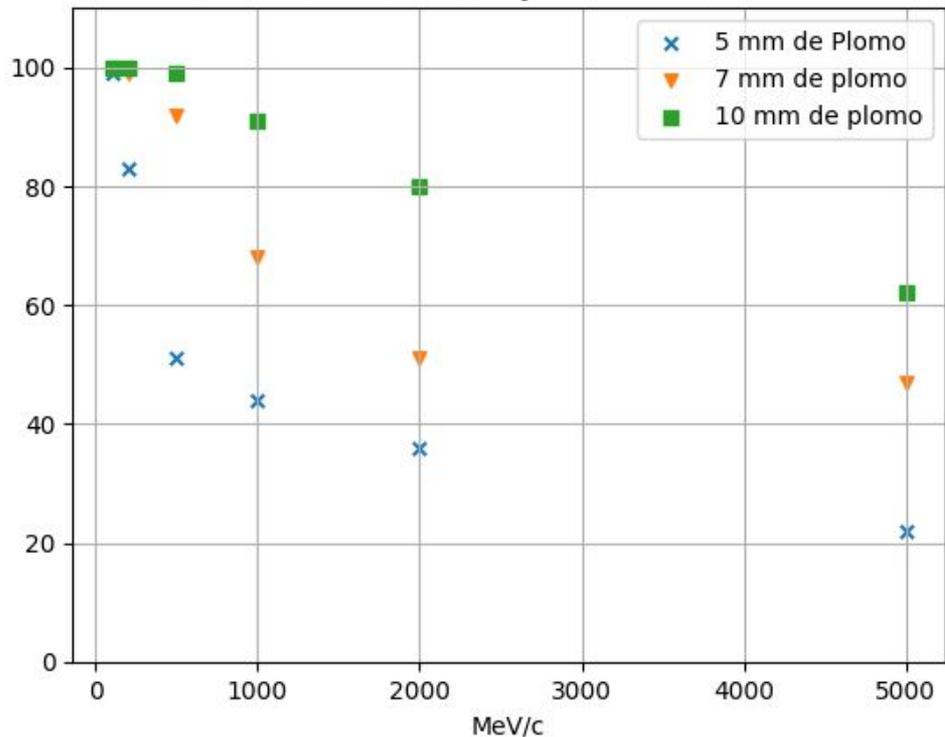
Calibration and first measurements of MuTe: a hybrid Muon Telescope for geological structures - Jesúa Peña-Rodríguez, et al.

Simulated Response of MuTe, a Hybrid Muon Telescope. A. Vásquez-Ramírez et al.

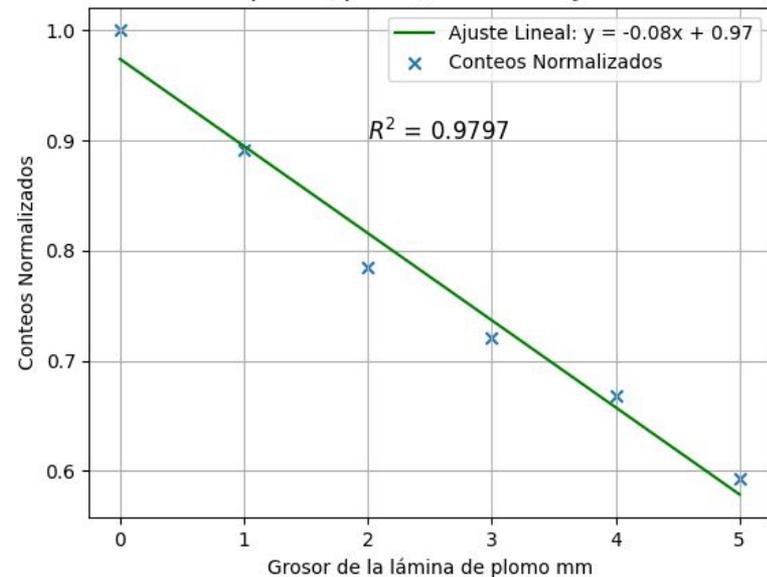
MiniMuTe: A muon telescope prototype for studying volcanic structures with cosmic ray flux. H. Asorey, et al.

Atenuación del ruido

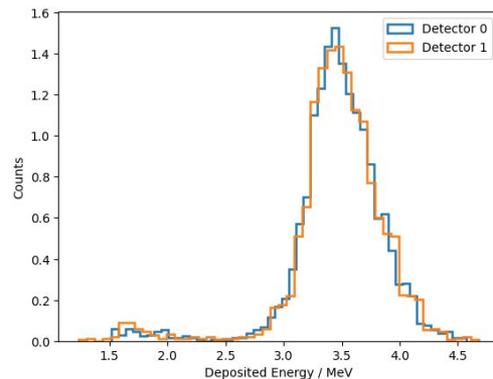
% de Atenuación Pb flujo e^- monocromatico



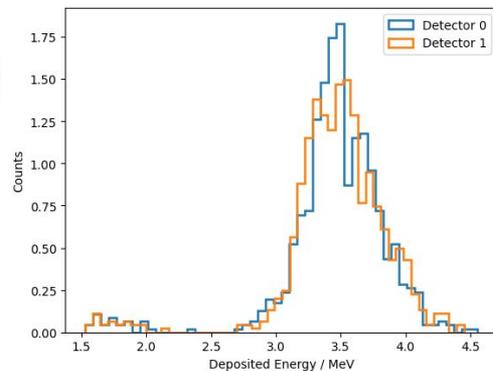
Atenuación para $[\gamma, e^\pm]$ de un flujo ARTI 30 seg



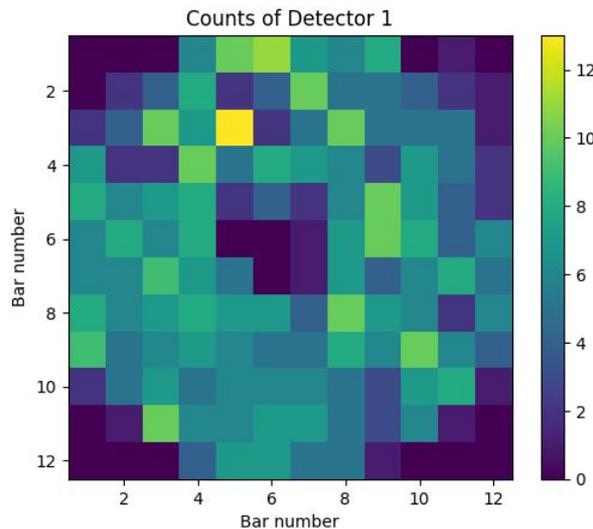
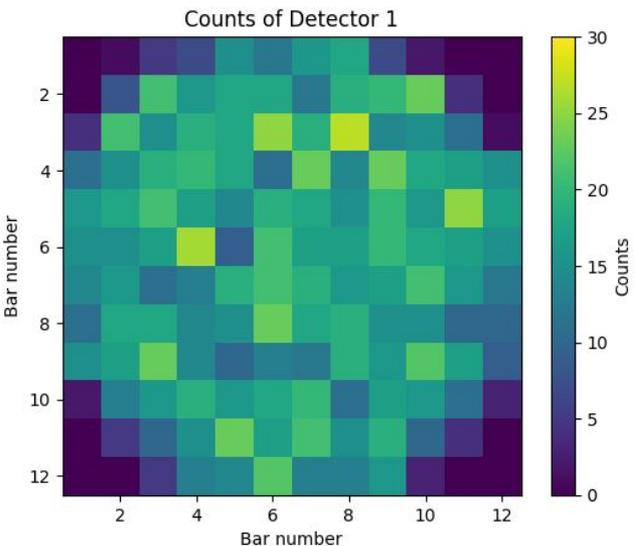
Visualización de objetivo Pb. Flujo Monocromático 1 GeV



Flujo Int=2025



Flujo Int=720

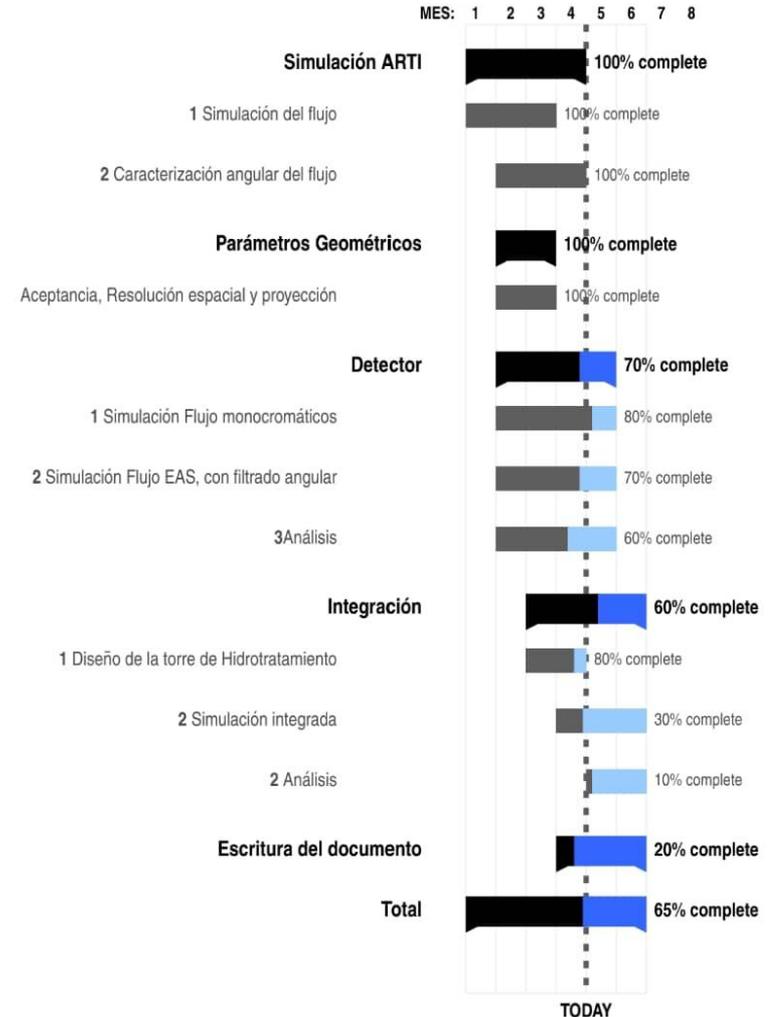


p-value 2.75×10^{-41} 45

- Flujo monocromático electrones, hasta 5 cm de Pb.
- Flujo monocromático de muones, hasta 5 cm Pb.

❖ Simulación con y sin filtrado angular.

- Revisión del repositorio de la torre de hidrotreamiento.
- Simulación Integrada.



Simulación de de flujo monocromático partículas

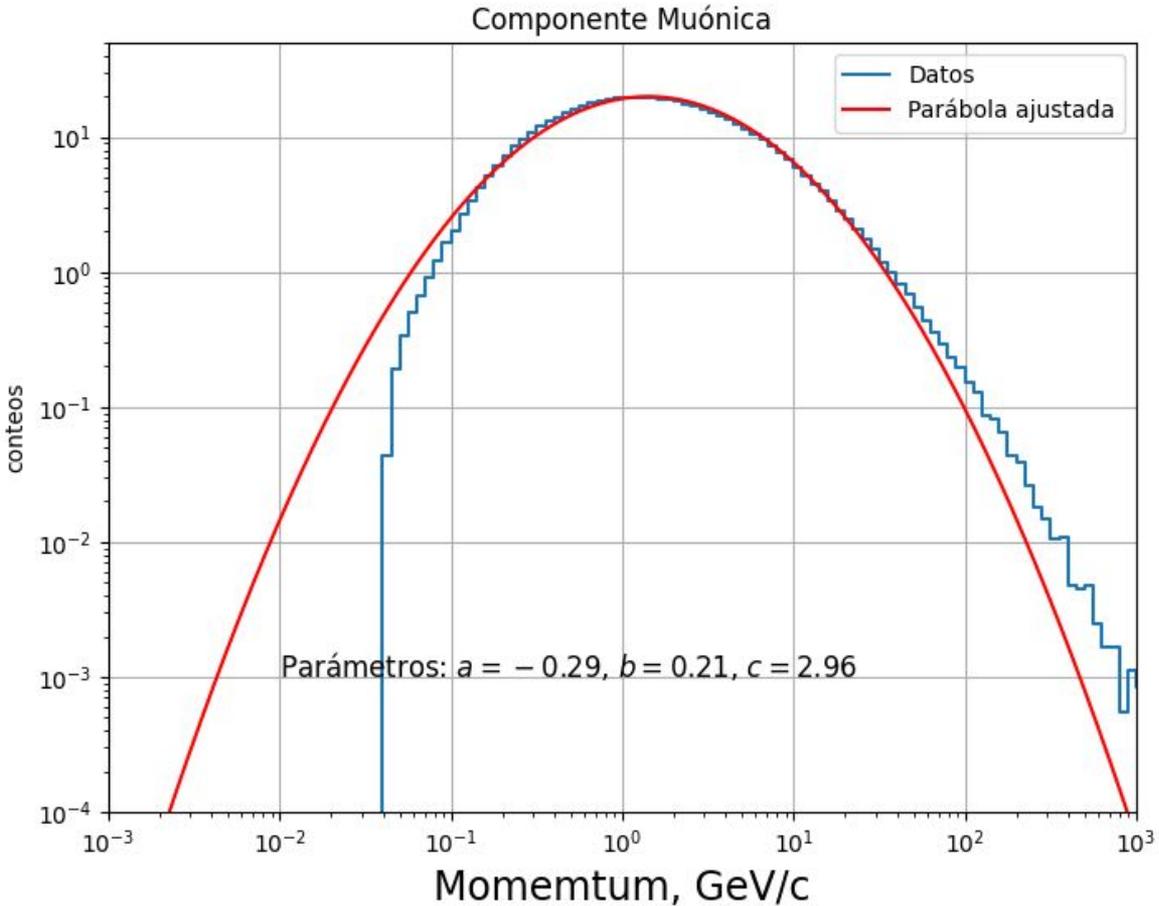
$f(x)$ Sea una función que parametrize de alguna forma el espectro de partícula en el intervalo

$$a > x > b$$

$$\mathcal{P}(x) = \frac{f(x)}{\int_a^b f(x) dx}$$

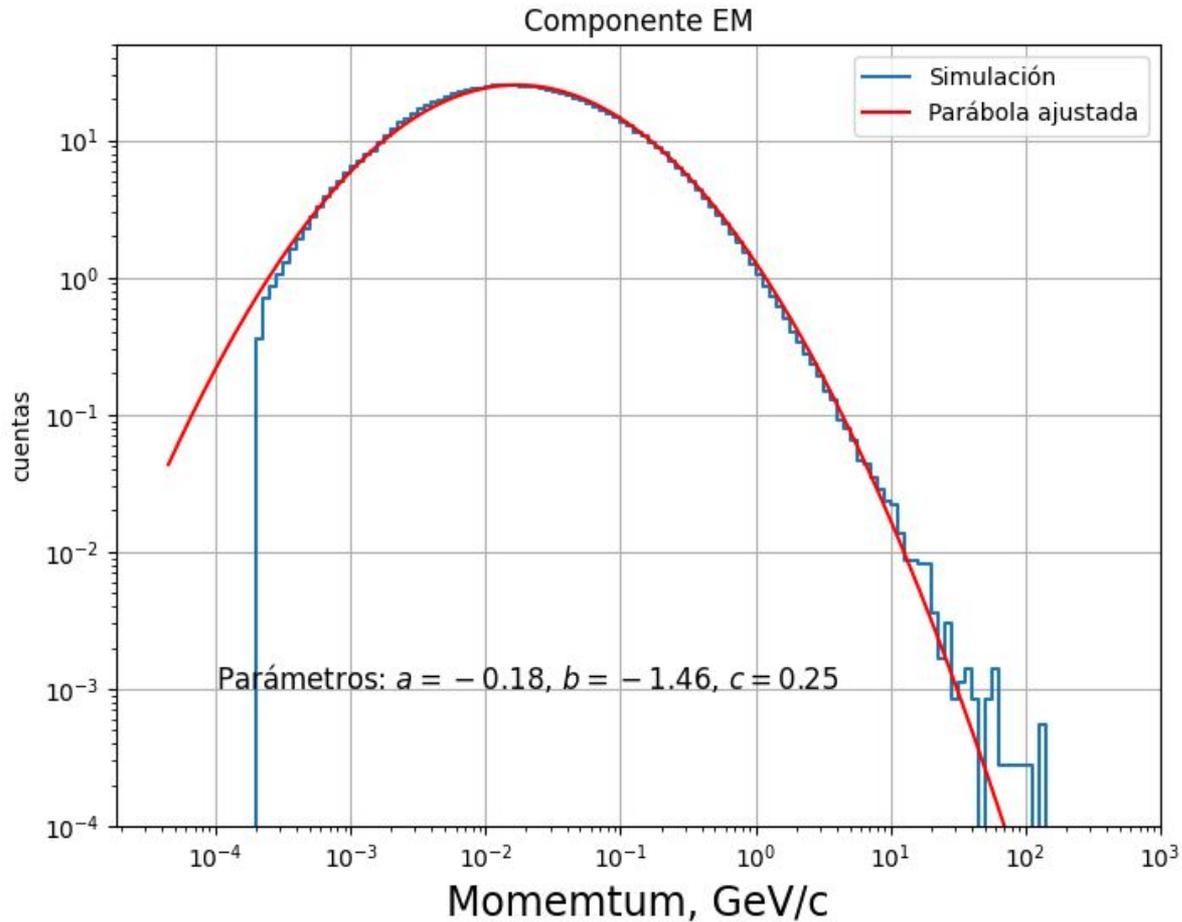
$$P(x_0 > x > x_1) = \int_{x_a}^{x_b} \mathcal{P}(x) dx$$

Resultados de simulaciones y ajuste parabólico



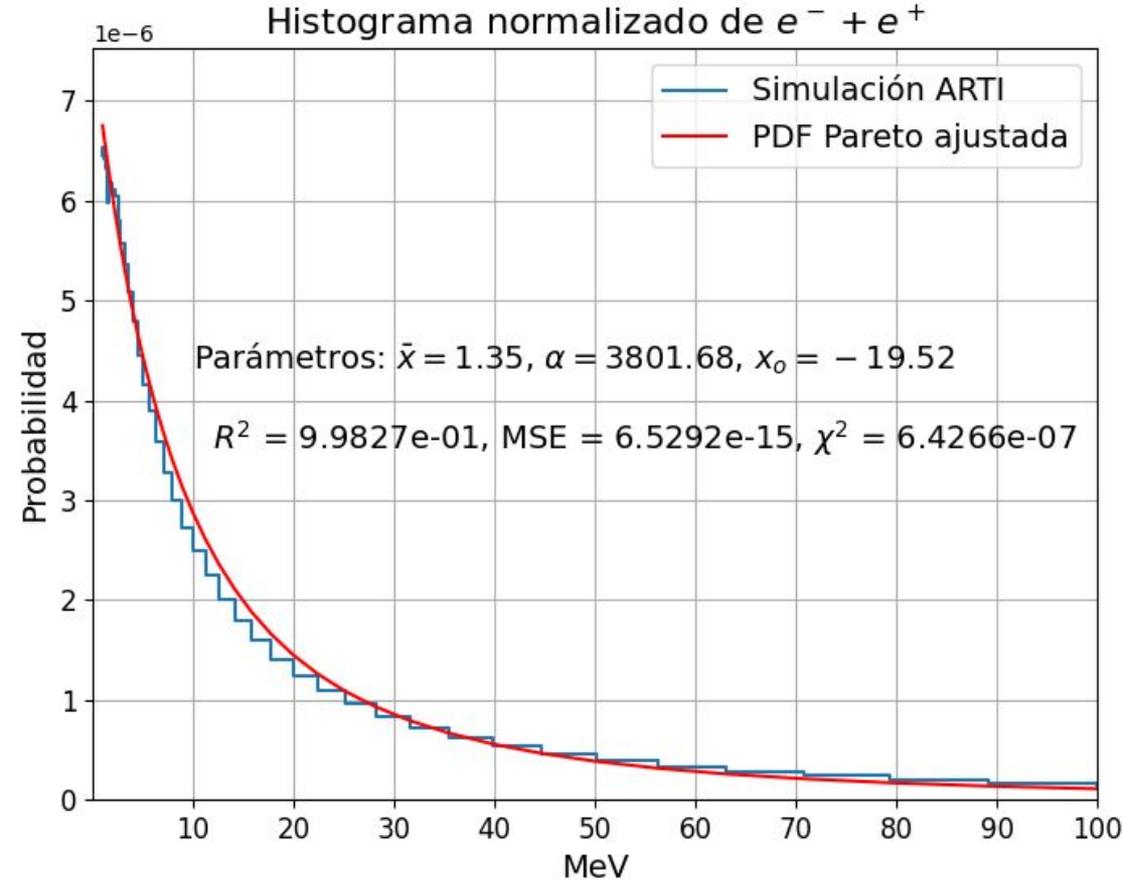
$$ax^2 + bx + c$$

Resultados de simulaciones y ajuste parabólico



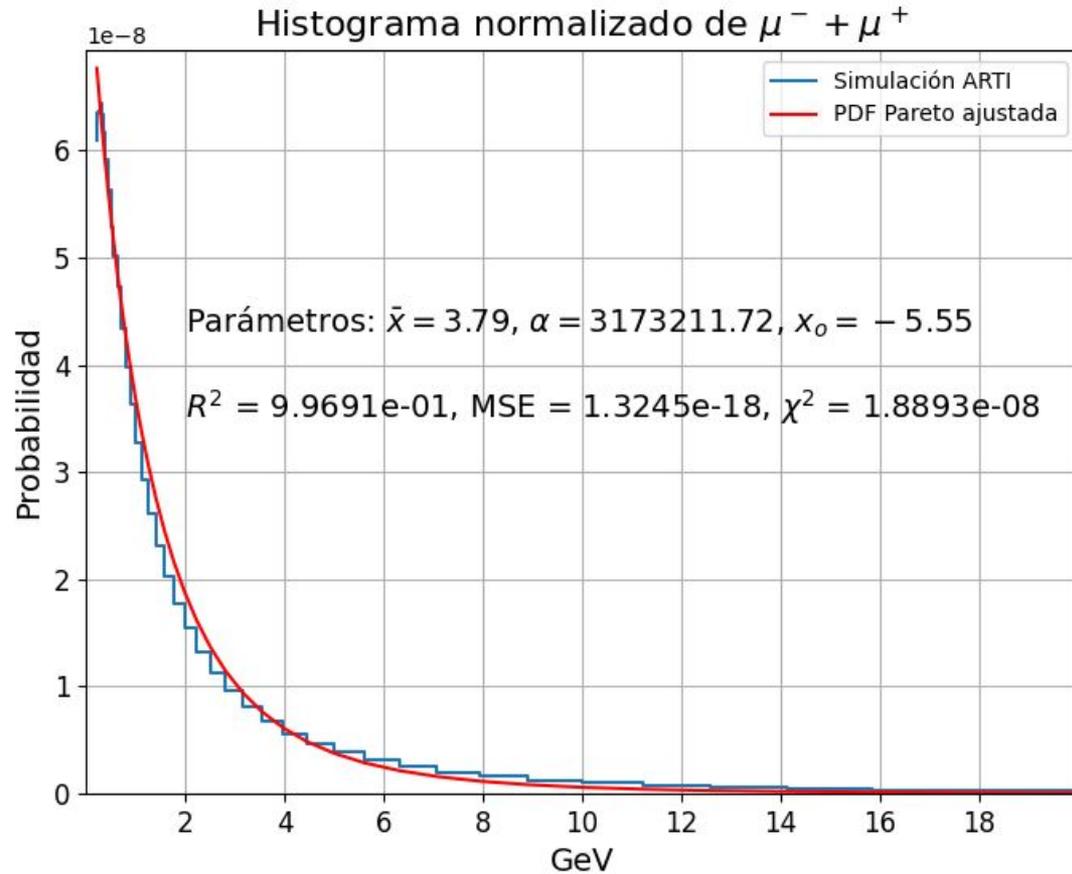
$$ax^2 + bx + c$$

Parametrización Pareto EM, corte E<1 MeV



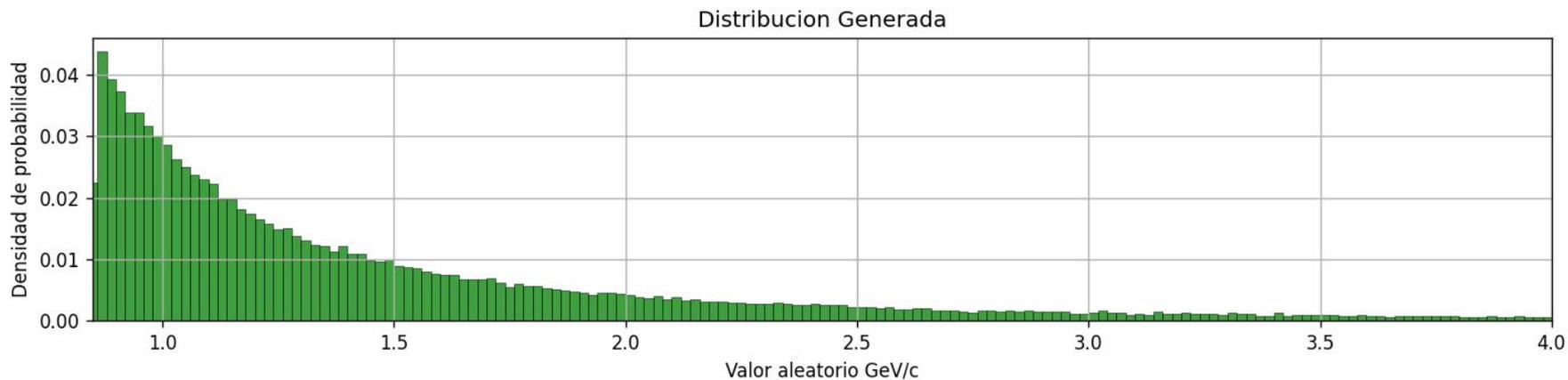
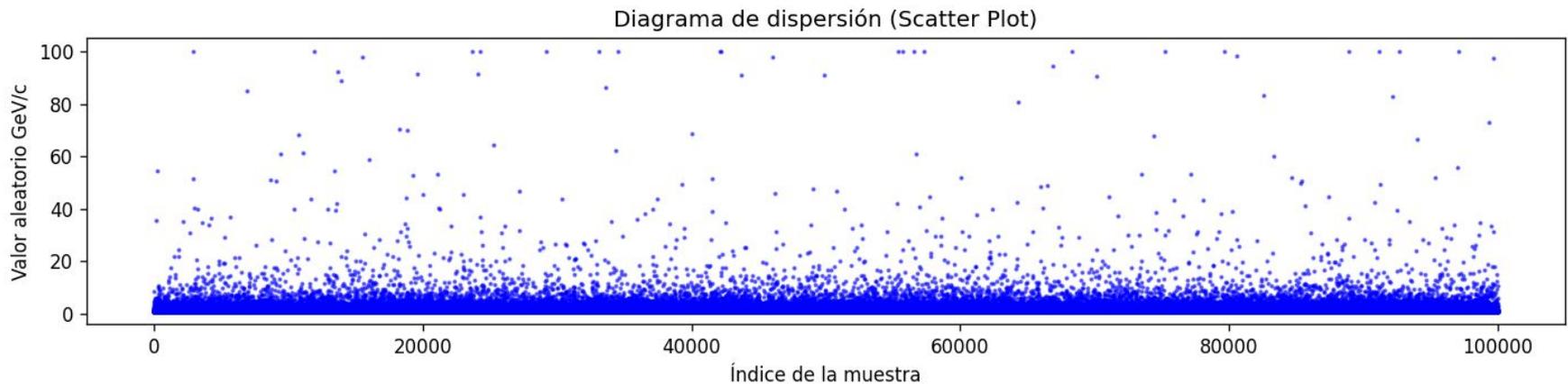
$$f_p(x) = \frac{\alpha \bar{x}^\alpha}{(x - x_o)^{\alpha+1}}$$

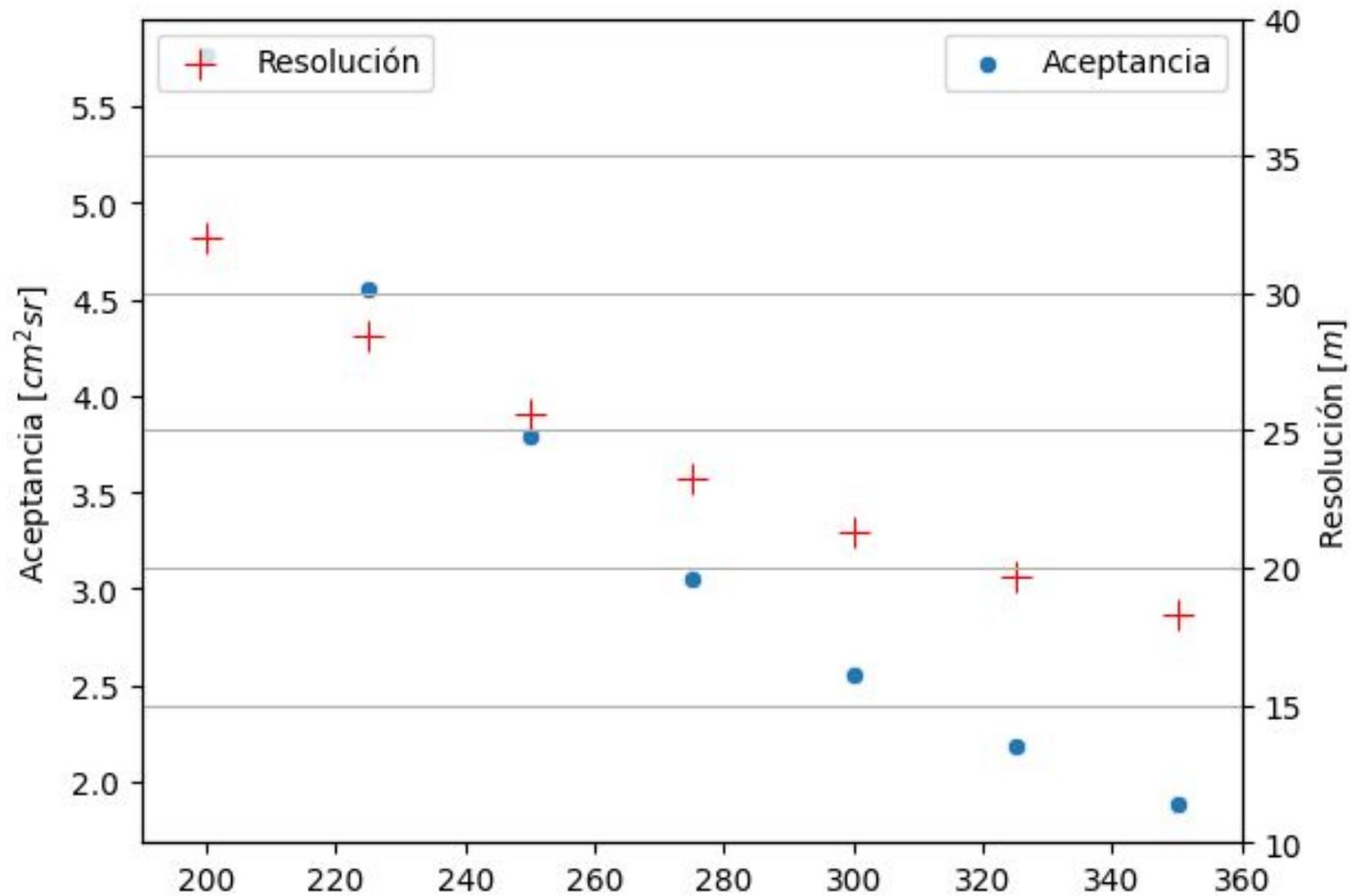
Parametrización Pareto Mu, corte E<1 MeV



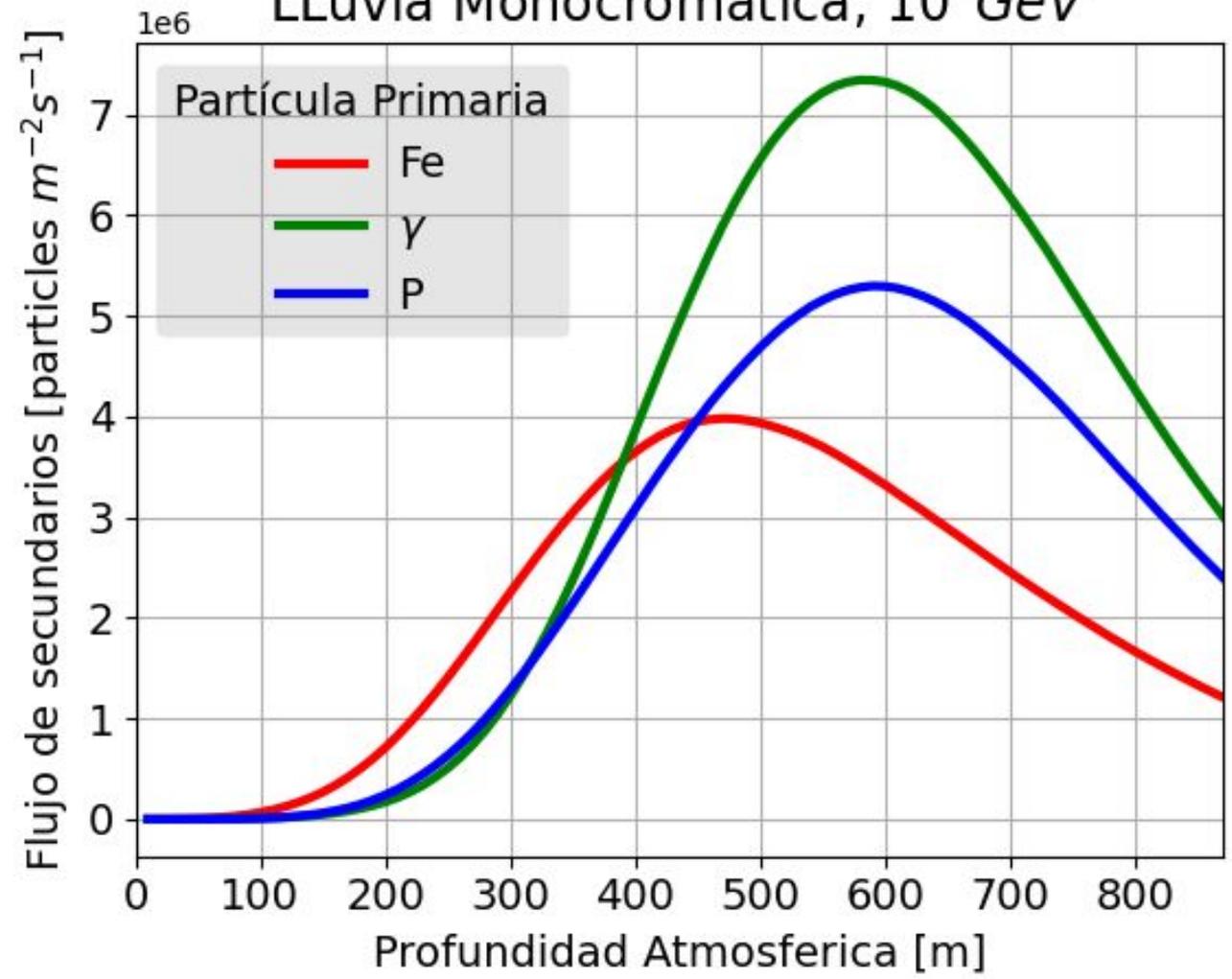
$$f_p(x) = \frac{\alpha \bar{x}^\alpha}{(x - x_0)^{\alpha+1}}$$

Espectros generados

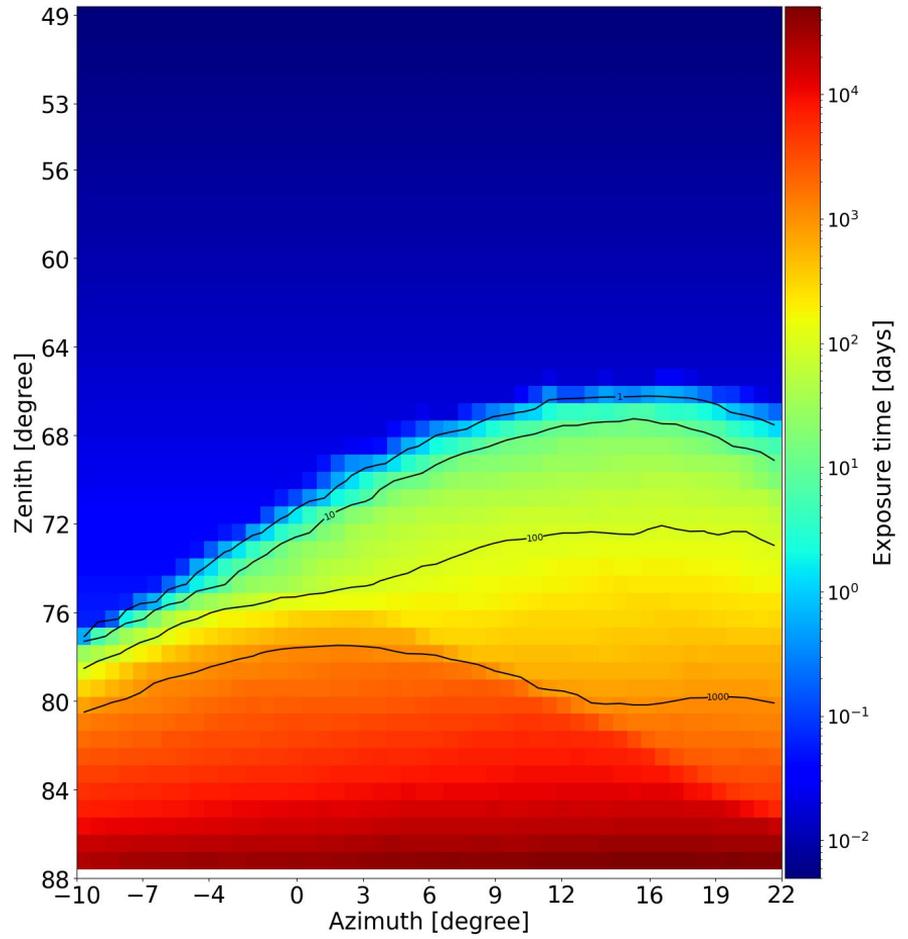
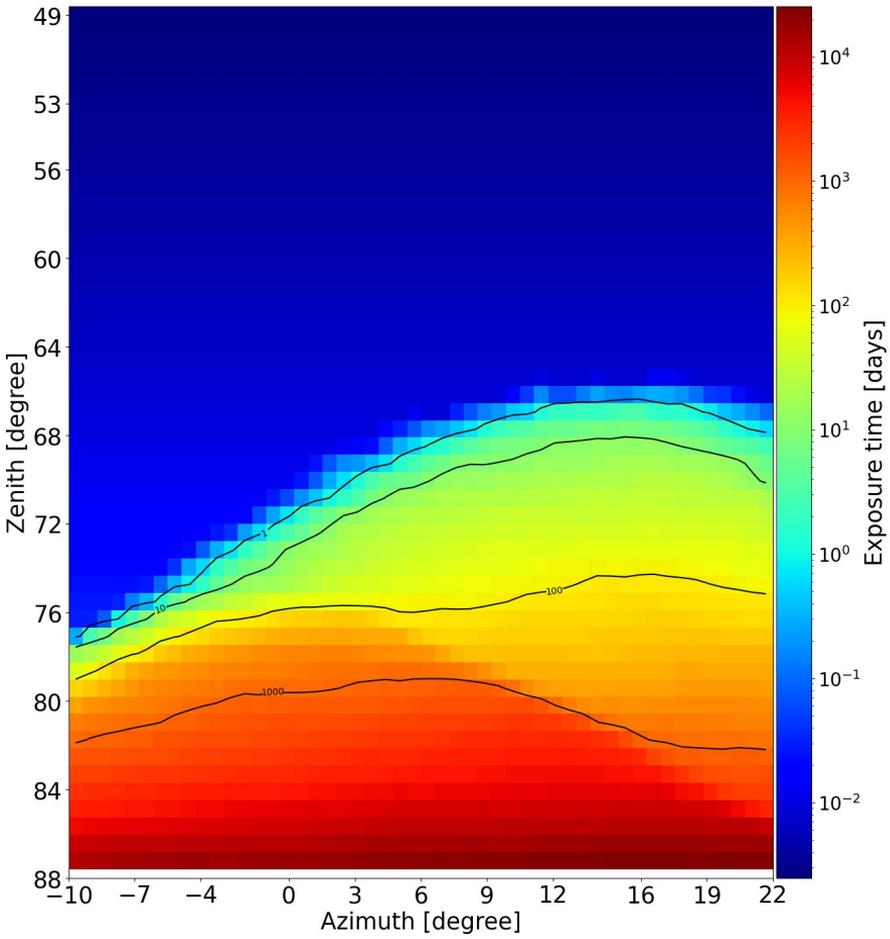




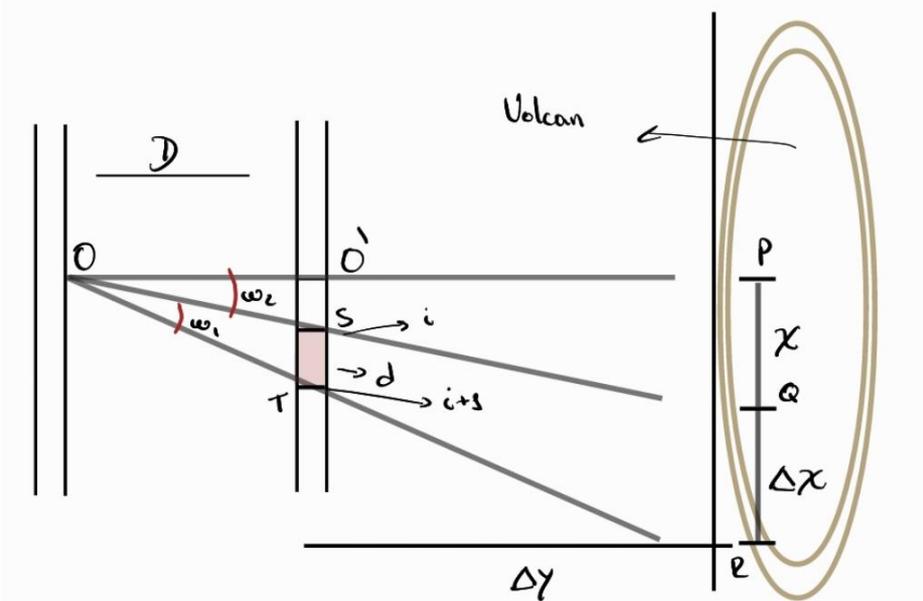
LLuvia Monocromática, 10^6GeV



30 Barras, 10 y 5 Muones Machi



RESOLUCION ESPACIAL



$$\tan(\omega_1 + \omega_2) = \frac{|PR|}{|OP|} = \frac{d(N - (i + 1))}{D} = \frac{x + \Delta x}{\Delta y + D}$$

$$\tan(\omega_2) = \frac{|QP|}{|OP|} = \frac{d(N - i)}{D} = \frac{x}{\Delta y + D}$$

$$\Delta x = \frac{d(2\Delta y + D)}{D}$$

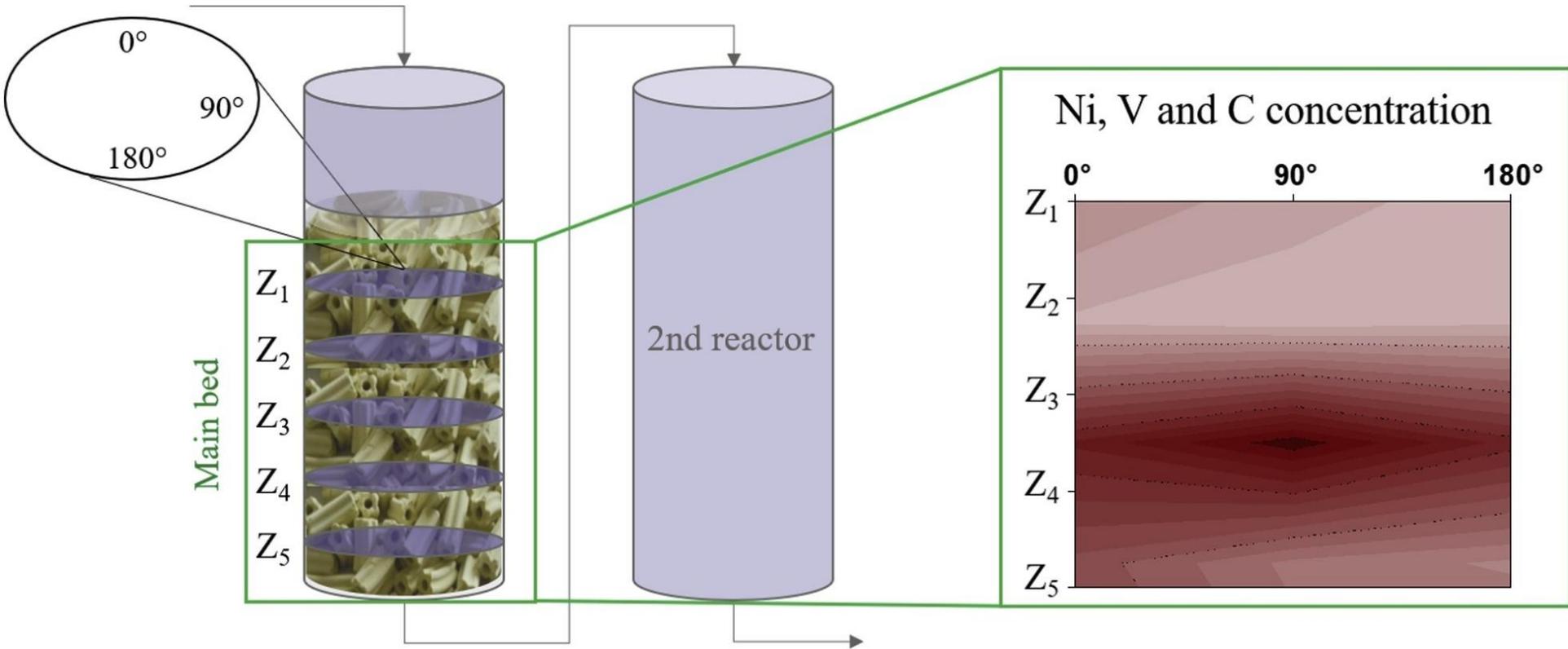
Condición de viabilidad.

$$\Delta T \times \mathcal{T} \times \frac{\Delta I^2(\varrho_0, \delta\varrho)}{I(\varrho_0)} > 1$$

$$\Delta I(\varrho_0, \delta\varrho) = \Phi[E_{\min}(\varrho_0)] \times \left. \frac{dE_{\min}}{d\varrho} \right|_{\varrho=\varrho_0}$$

E_{\min}	GeV	minimum muon energy to cross a given opacity
Φ	$\text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$	differential flux of muons
γ	$\in \mathbb{R}$	power-law exponent of differential spectrum
A		scale factor (i.e. amplitude) of differential spectrum
I	$\text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{s}^{-1}$	integrated flux

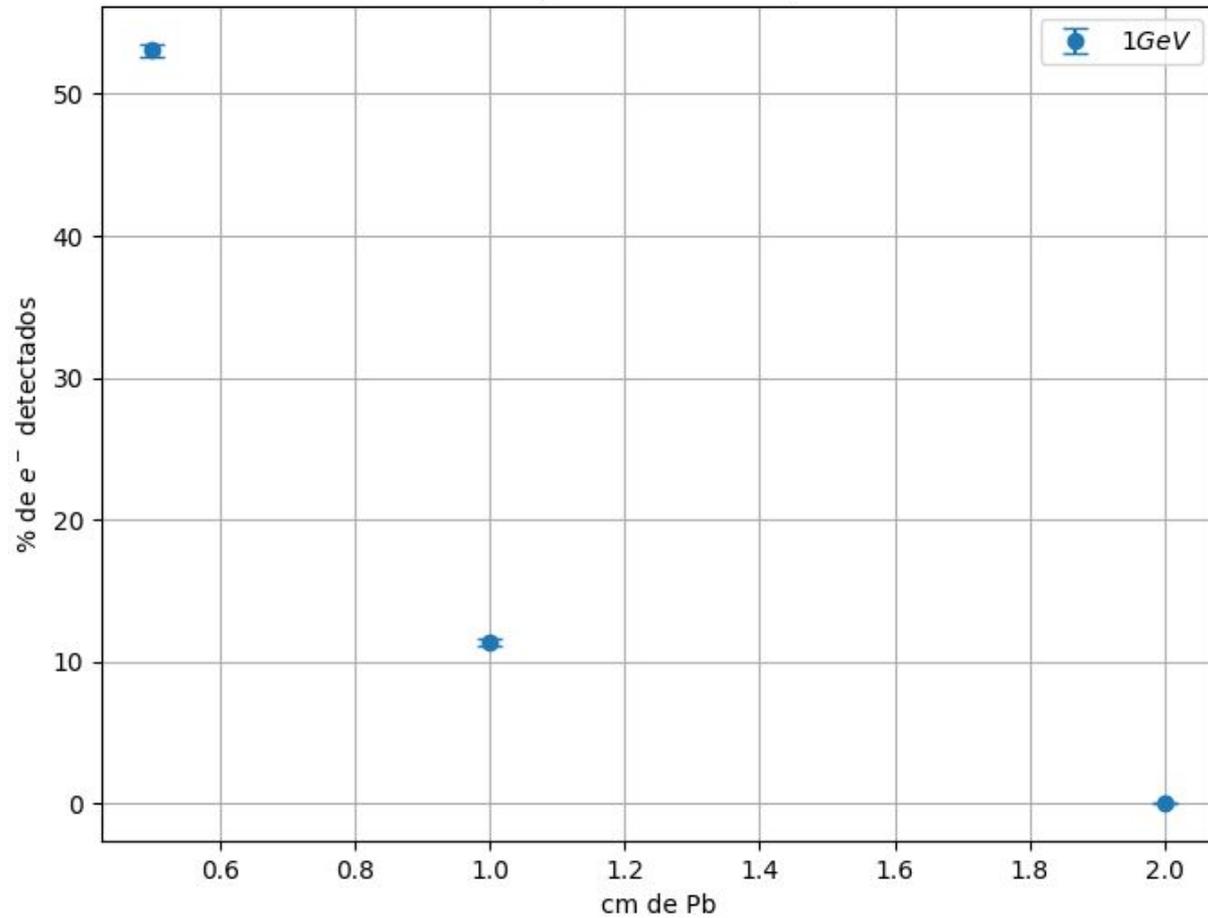
Hydrotreating Unit



Avance semanal

- Se creó el programa para la escritura del archivo de flujo arti generalizado para cualquier intervalo de energías
- Se implementó la simulación haciendo el bootstrap para $E = 1\text{GeV}$

e^- detectados para diferentes grosores de Pb



% de Atenuacion Pb flujo e^- monocromatico

