

Workshop on Particle Detectors for
Interdisciplinary Applications.
September 30 – October 2.

Official Language: Spanish/English.
Idioma Oficial: Español/Inglés.

Estimación de la densidad interna en torres de hidrotatamiento mediante detectores de centelleo en la industria petroquímica.

R. A. Martínez Rivero¹, C. Sarmiento-Cano, V. Baldovino, J. Stephany, L. Nuñez.

¹rafael2248058@correo.uis.edu.co



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



Introducción y motivación

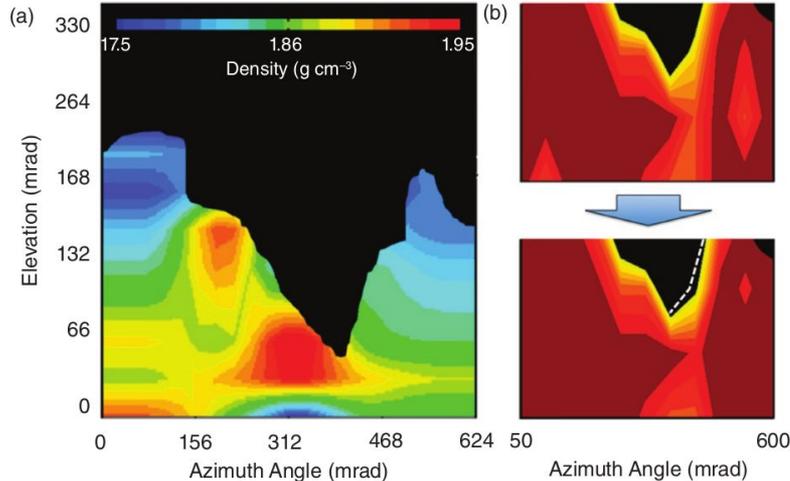
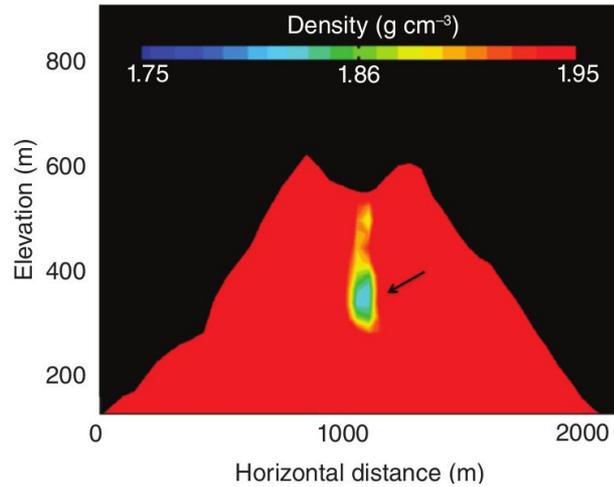
- Desafío en la extracción y refinamiento del **crudo pesado**.
- Reactores de hidrotratamiento.
- Catalizador y altas temperaturas.
- **Obstrucción**: Acumulación de material en los poros. **fouling**
- Detección temprana de la obstrucción.
- Modelos y técnicas de monitoreo.
- Espectroscopia Raman o Infrarroja, absorción de rayos X. Limitaciones.



Muografía

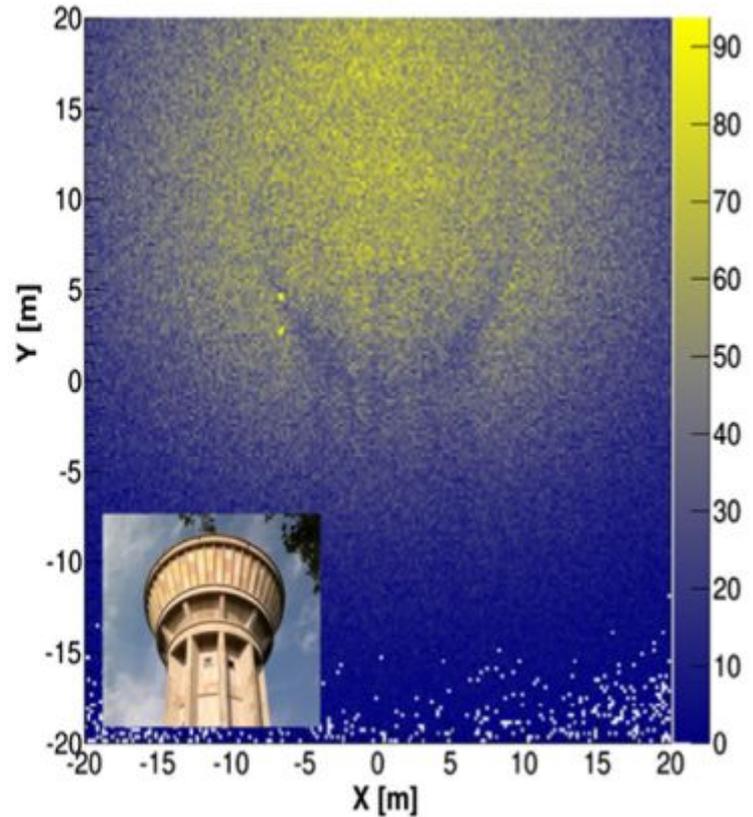
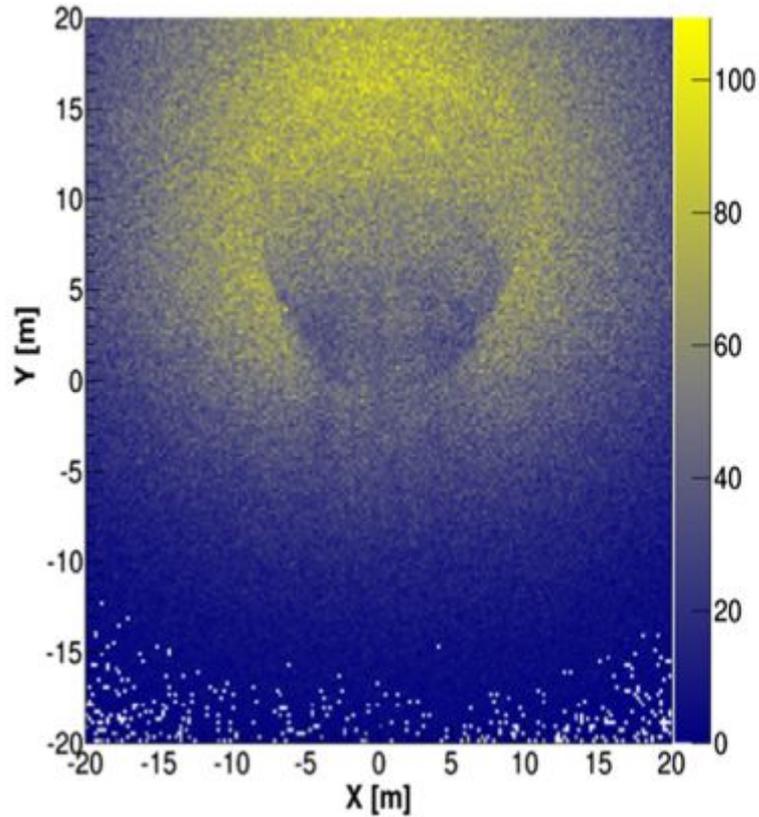
La obtención de una imagen de una estructura por medio de muones cósmicos.

Perfiles de densidad promedio



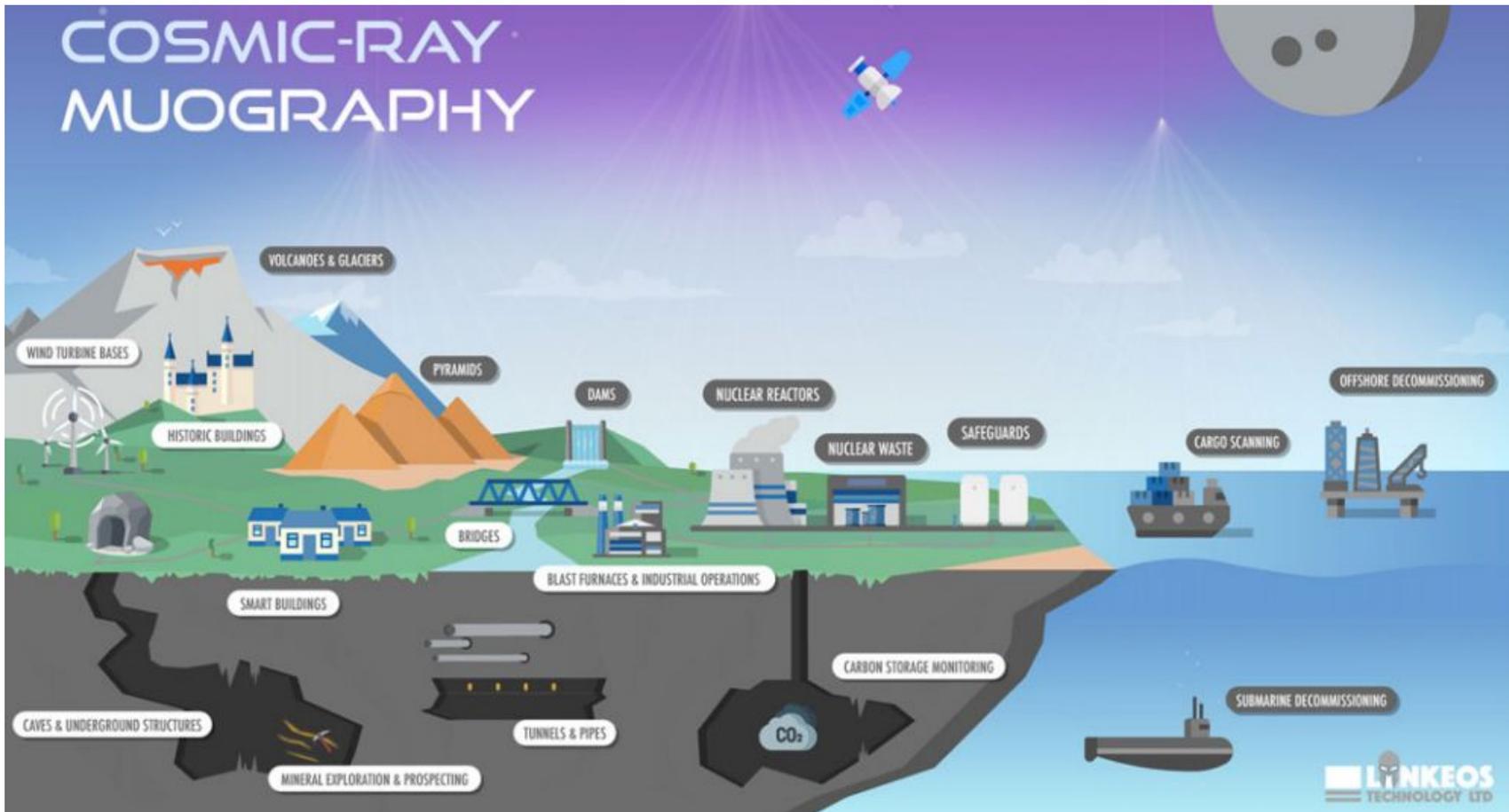
- H. Tanaka et al. Japanese volcanoes visualized with muography (2019)
E.S ~ (0.02 - 0.2) g/cm³ a 250 m a.s.l.

S. Bouteille, et al., Nucl. Instrum. Methods A 834 (2016) 223.



Tanque de agua, lleno Izquierda - vacío derecha. 4 días de exposición, Hodoscopio de $0,25 \text{ m}^2$

COSMIC-RAY MUOGRAPHY



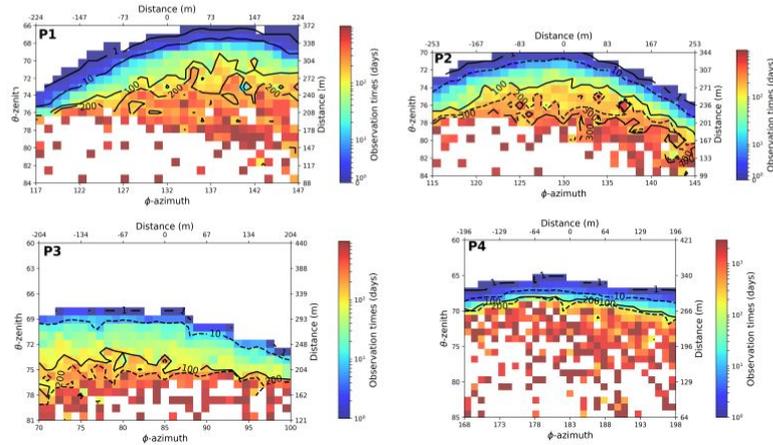
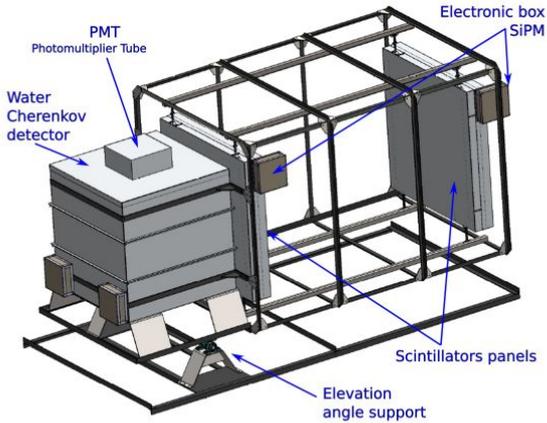
COSMIC-RAY MUOGRAPHY





Altura: 20 - 40 m (algunas alcanzan más de 50 m)
Diámetro: 3 - 6 m

MuTe: Muon Telescope.

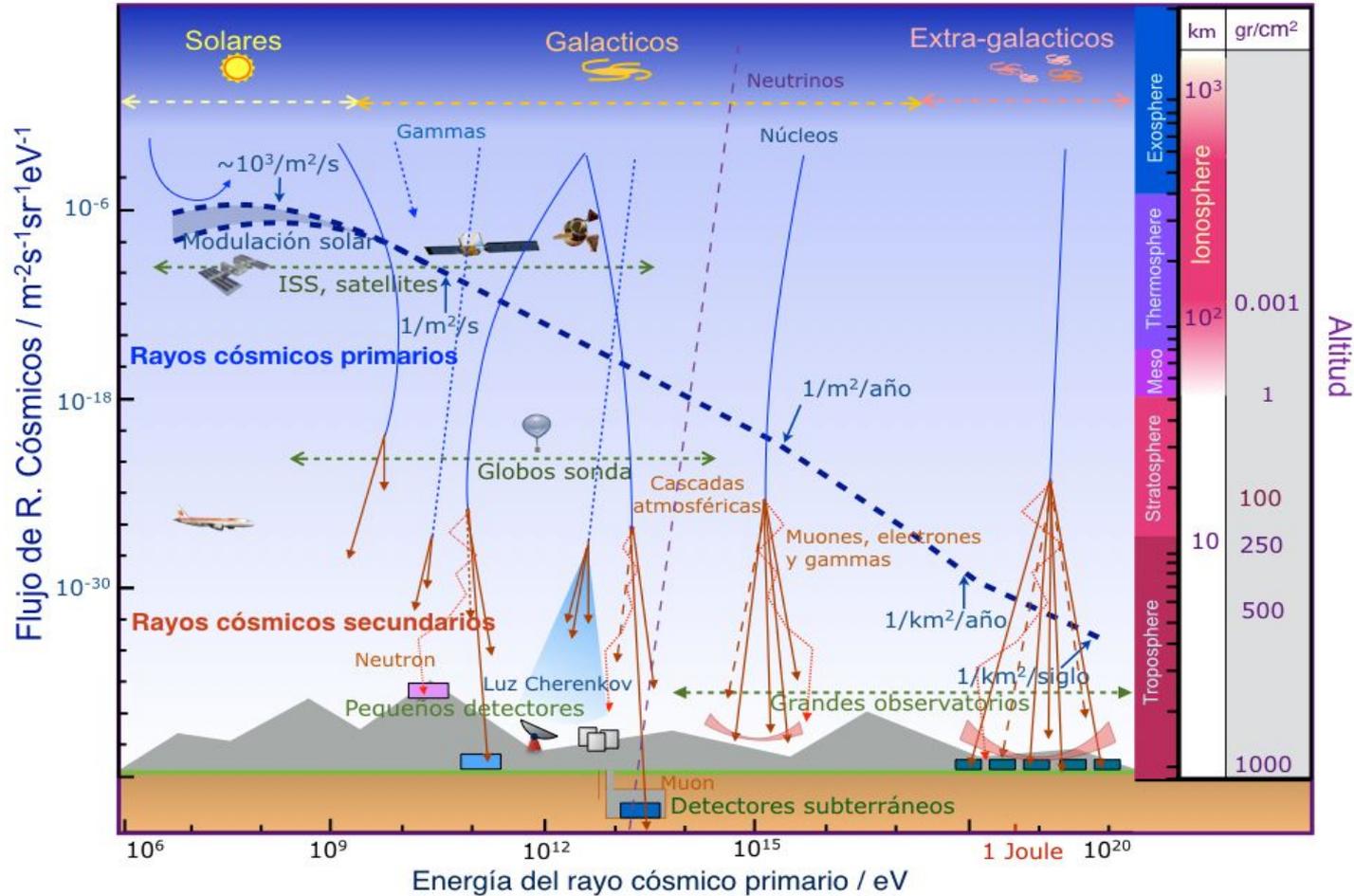


Calibration and first measurements of MuTe: a hybrid Muon Telescope for geological structures . Jesús Peña-Rodríguez, et al.

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.

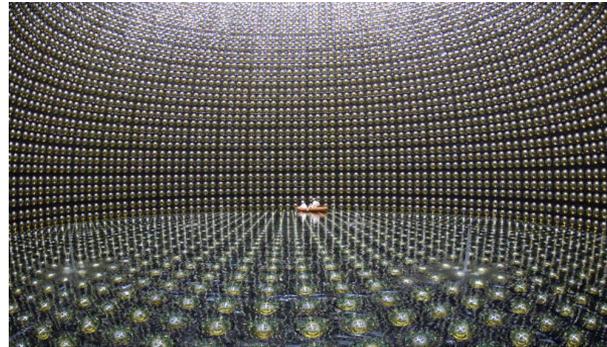
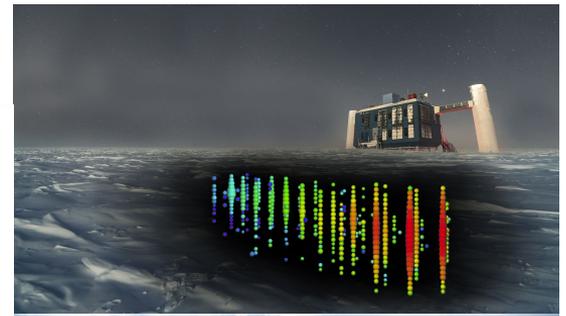
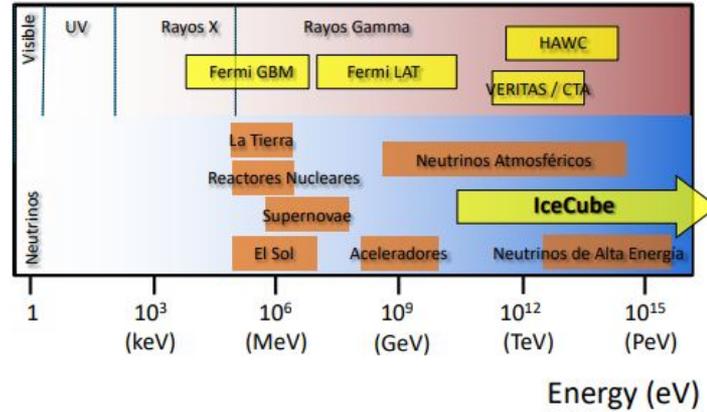
Astropartículas



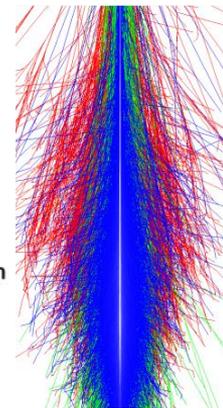
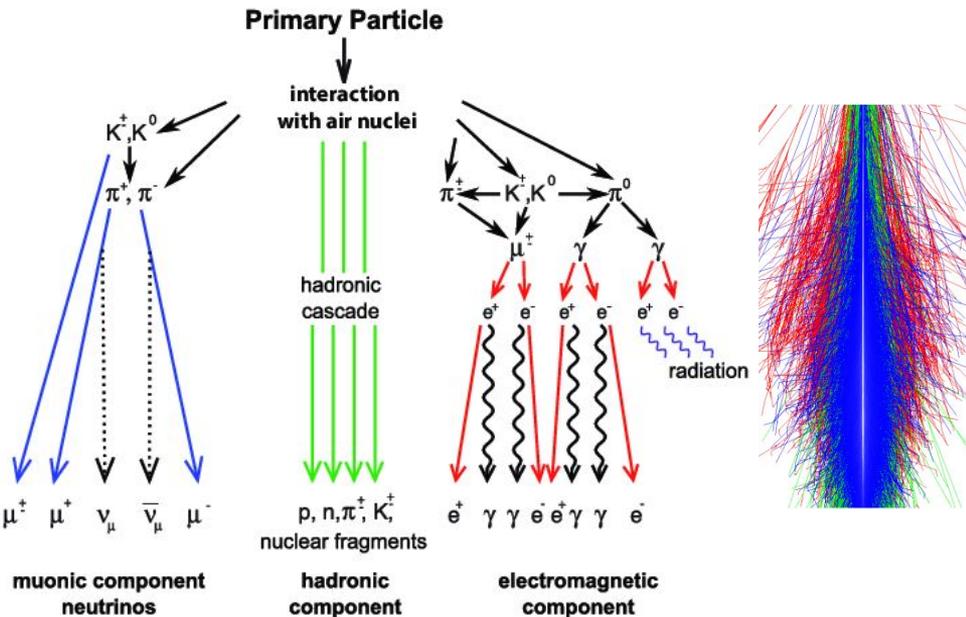
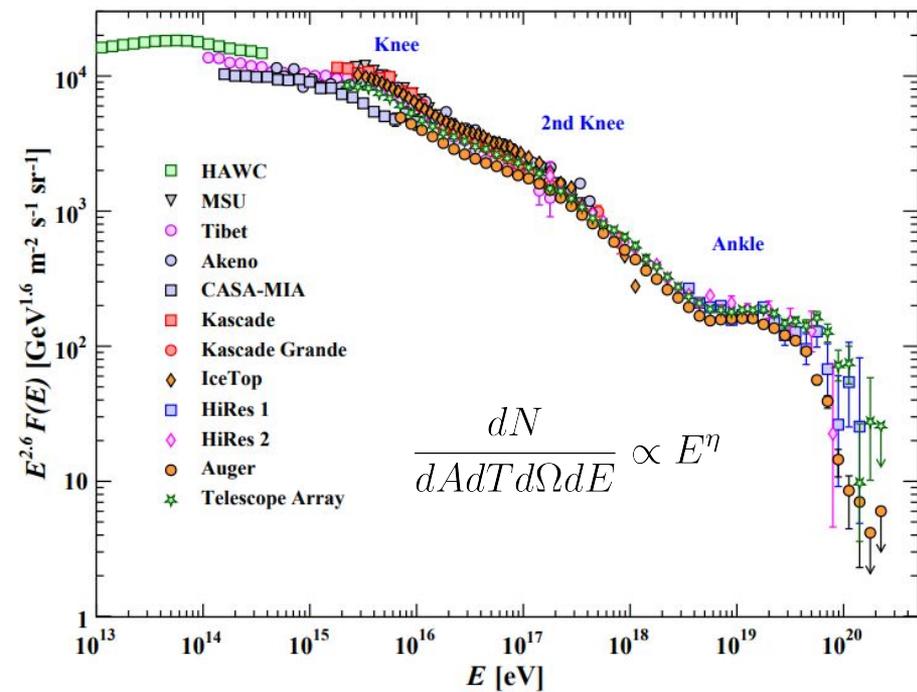
Línea principal

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

¿Altas energías?



Radiación Cómica y Muones



Partícula	Canales de desintegración parcial	BR [%]	Vida media [s]
π^\pm	$\mu^\pm + (\nu_\mu)$	99.99	$2.603 \cdot 10^{-8}$
K^\pm	$\mu^\pm + (\nu_\mu)$ $\pi^0 + \mu^\pm + (\nu_\mu)$	63.43 3.27	$1.238 \cdot 10^{-8}$
τ^\pm	$\mu^\pm + (\nu_\mu) + (\bar{\nu}_\tau)$	17.36	$2.906 \cdot 10^{-13}$
D^\pm	$K^0 + \mu^\pm + (\nu_\mu)$	7.0	$1.040 \cdot 10^{-12}$
D^0	$\mu^\pm + \text{Hadrones}$ $K^- + \mu^+ + \nu_\mu$	6.5 3.19	$4.103 \cdot 10^{-13}$

Pérdida de Energía en la Materia

Mecanismos:

- Producción de pares
- Radiación de frenado (Bremsstrahlung)
- Colisiones inelásticas con núcleos
- Ionización

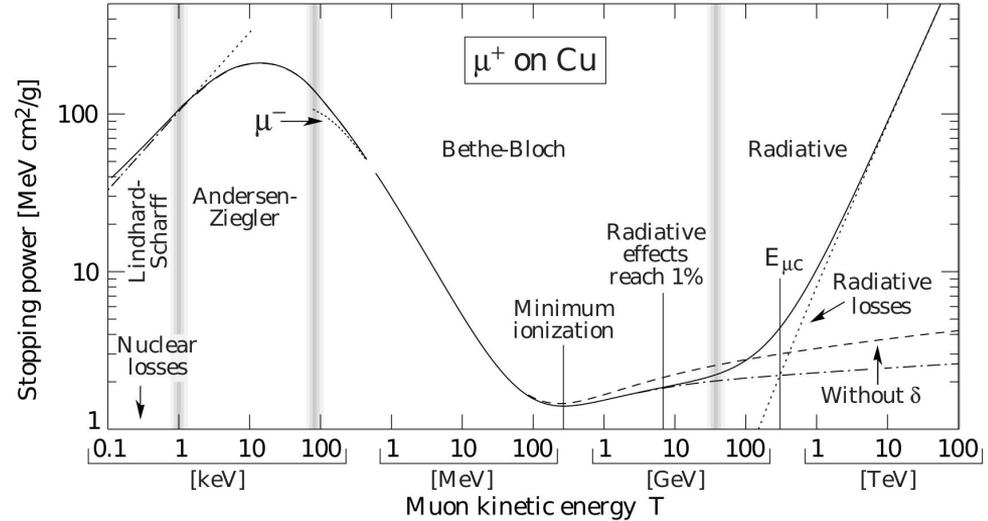
La pérdida de energía posee una dependencia de:

- Energía cinética del muón
- Densidad del material

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

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

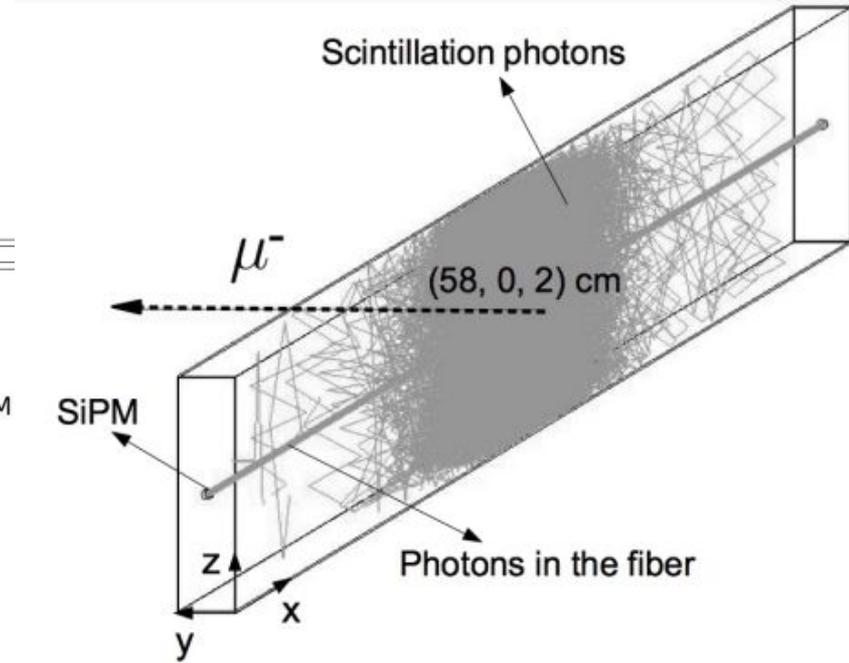
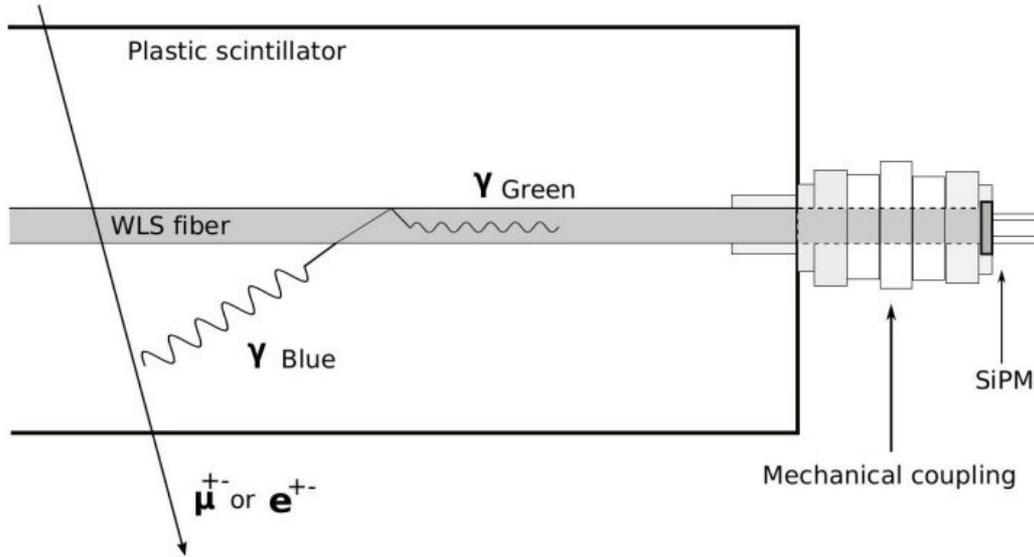
Groom et al. 2001 Caracterización de a y b para diferentes Materiales



$$P(E_\mu, v)_{br} dv = \alpha \frac{N_A}{A} Z^2 r_e^2 \left(\frac{m_e}{m_\mu}\right)^2 \frac{16}{3} \left(\frac{3v}{4} + \frac{(1-v)}{v}\right) dv \cdot \left[\ln \left(\frac{12(1-v)}{5} \frac{E_\mu}{v m_\mu Z^{1/3}} \right) - \frac{1}{2} \right],$$

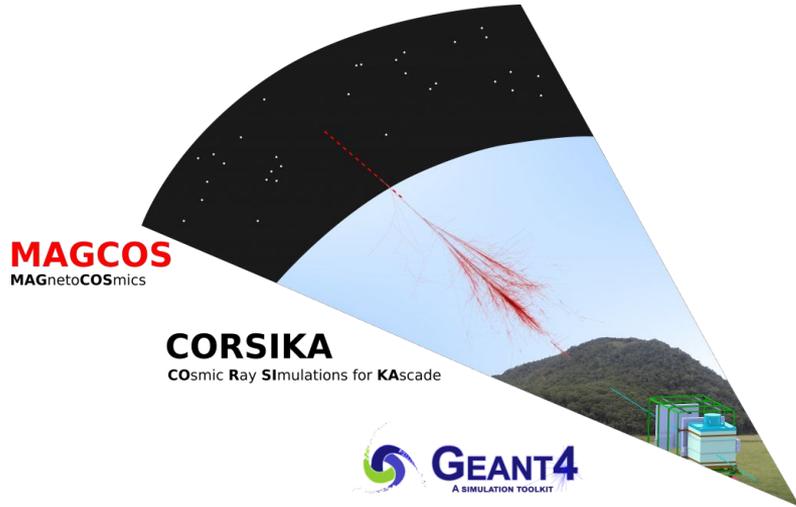
$$\frac{d\sigma}{dv d\rho} = 2 \frac{(Z\alpha r_e)^2}{3\pi} \left(\frac{1-v}{v}\right) \left[\Phi_e(E_\mu, \rho, v) + \left(\frac{m_e}{m_\mu}\right)^2 \Phi_\mu(E_\mu, \rho, v) \right]$$

Sistema de detección



ARTI

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



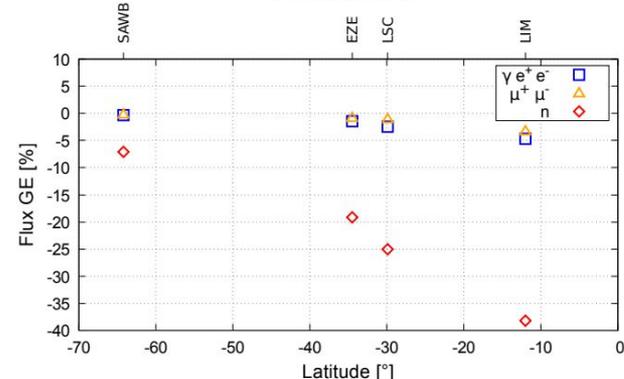
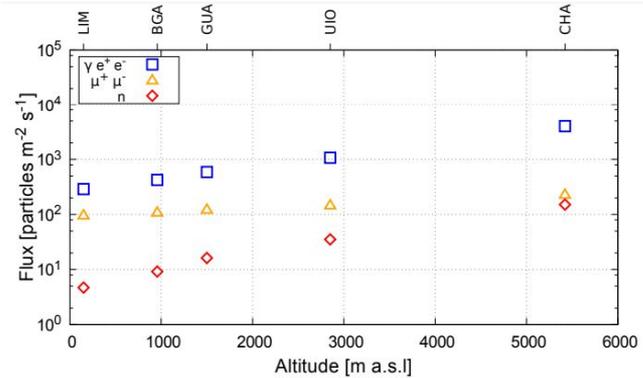
$$\Phi(E_p, Z, A, \Omega) \simeq j_0(Z, A) \left(\frac{E_p}{E_0} \right)^{\alpha(E_p, Z, A)}$$

(0.1 - 10⁶) GeV,

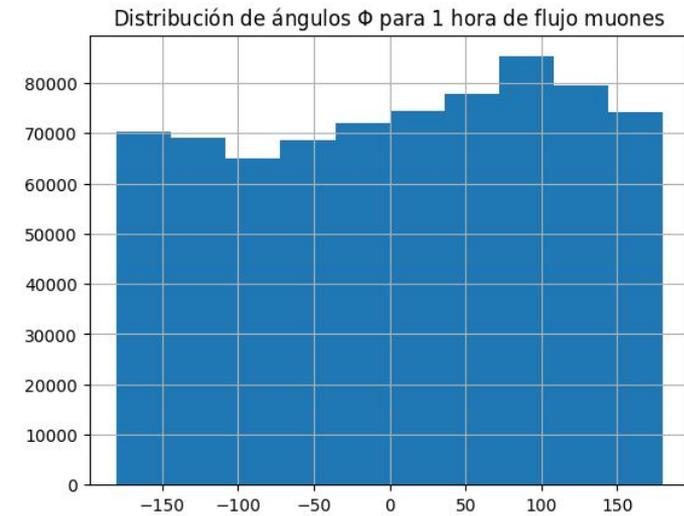
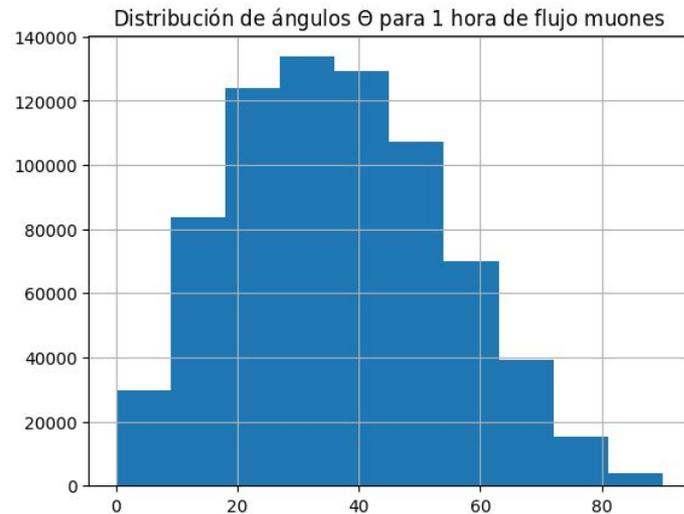
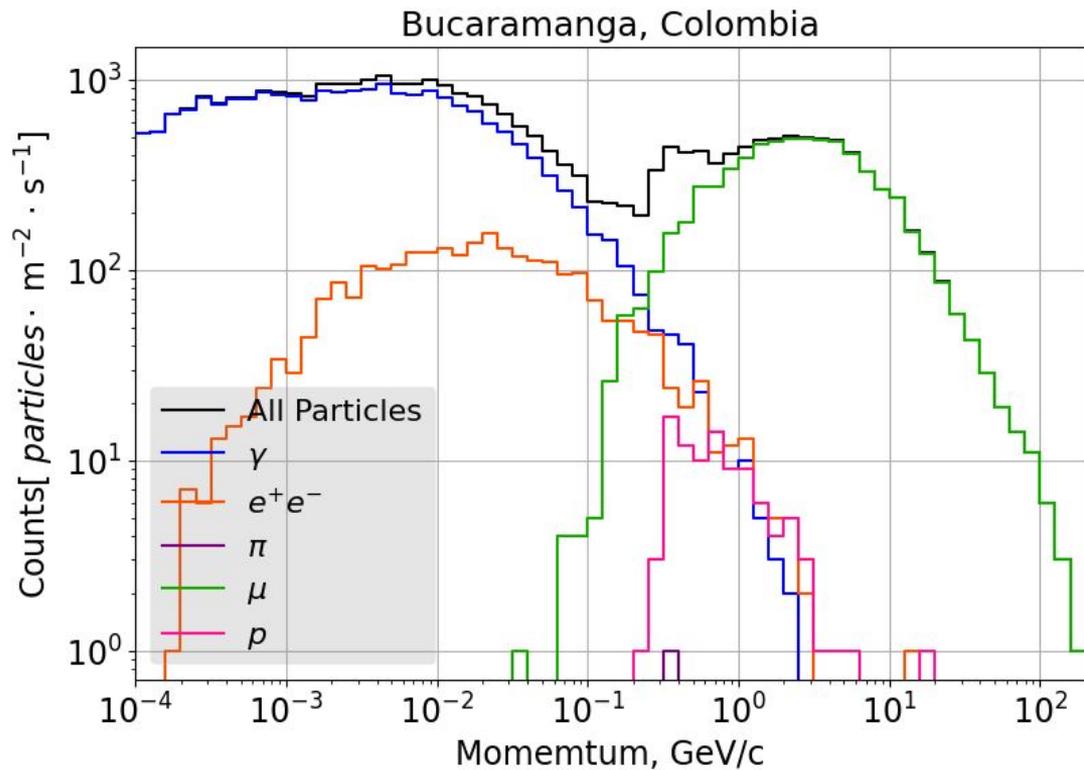
$$j_0(Z, A, E_0 = 10^3 \text{ GeV})$$

122km asl

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

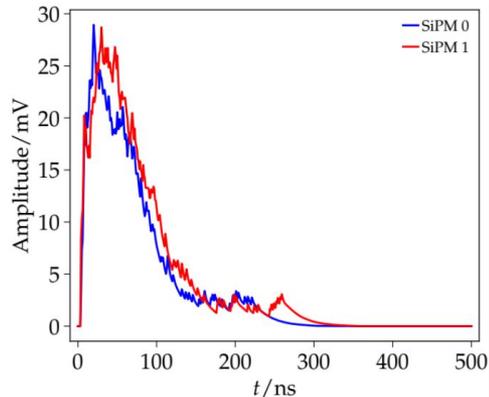
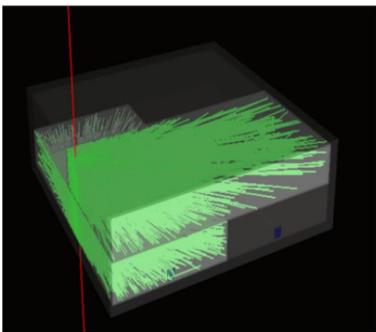
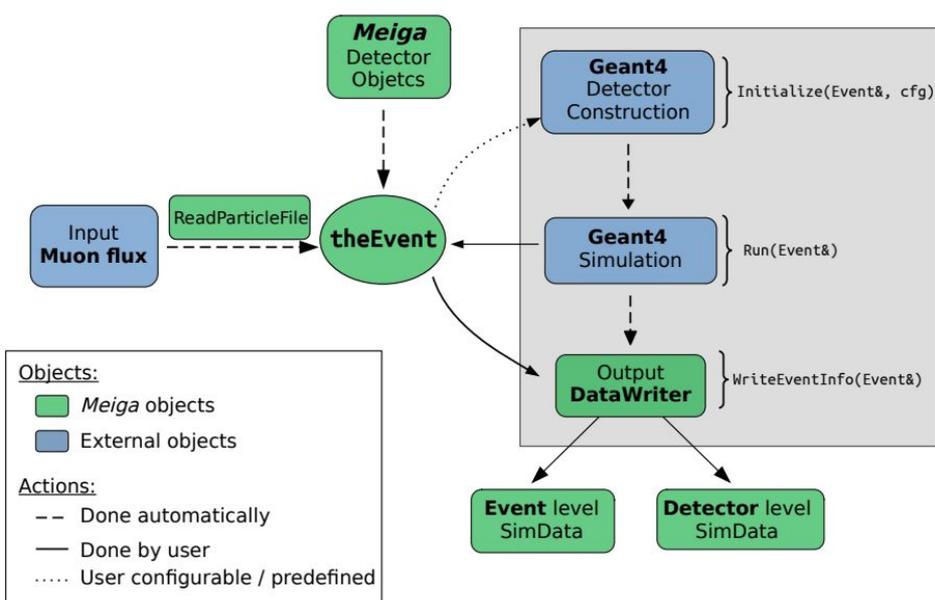


Flujo simulado en Bucaramanga

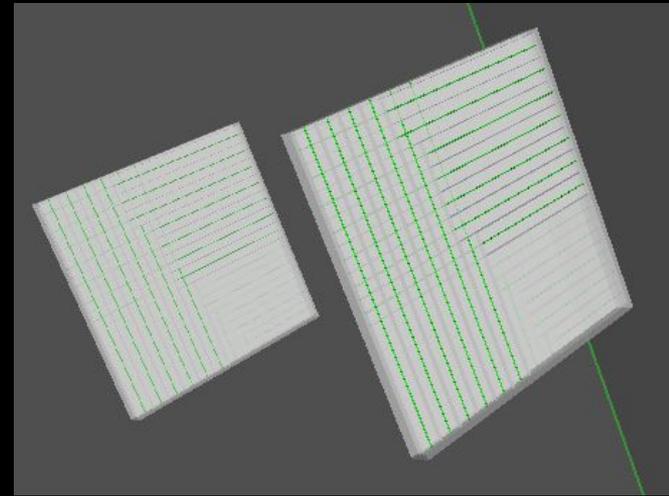


MEIGA

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

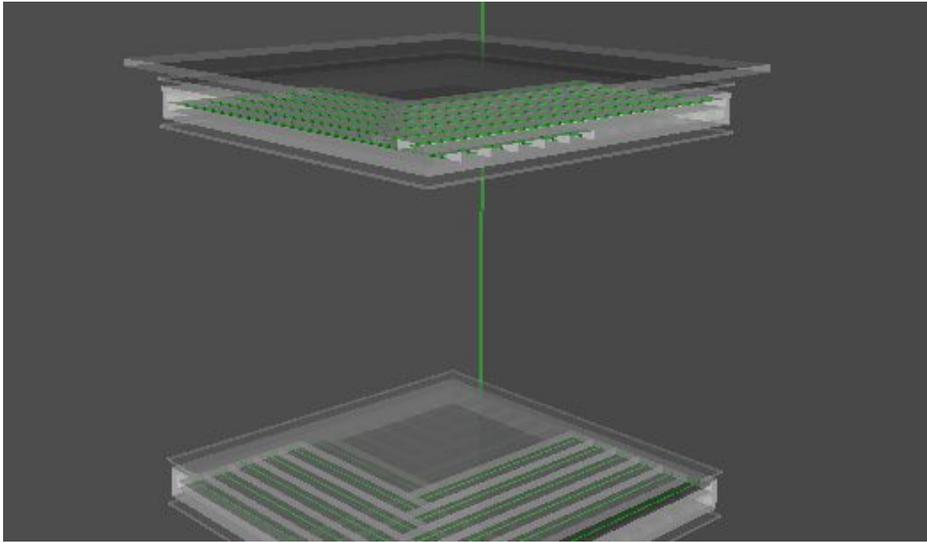


Meiga, a Dedicated Framework Used for Muography Applications A. Taboada, et al.



Physics List: QGSP_BERT_HP

Modelado del detector



- **Diseño geométrico:** Barras de centelleo organizadas en un arreglo **NxN** distribuidas en dos paneles perpendiculares.
- **Dimensiones de las barras:** Ancho, longitud y grosor ajustados según la simulación.
- **Carcasa externa:** Protege y afecta el comportamiento óptico de la luz emitida.

Propiedades Ópticas del Centelleador

- **Energía de los fotones:** 2.00 eV a 4.20 eV.
- **Índice de refracción:** Constante de 1.5.
- **Longitud de absorción:** 4 cm a 24 cm, dependiendo de la energía.
- **Componentes rápidas y lentas:** Simulación de respuesta temporal.

Fibras Ópticas y Detección

- **Transporte de fotones:** Fibras ópticas de PMMA con índice de refracción de 1.60.
- **Detección óptica:** Fotomultiplicadores con modelado preciso de su eficiencia cuántica.

Reflexión y Dispersión

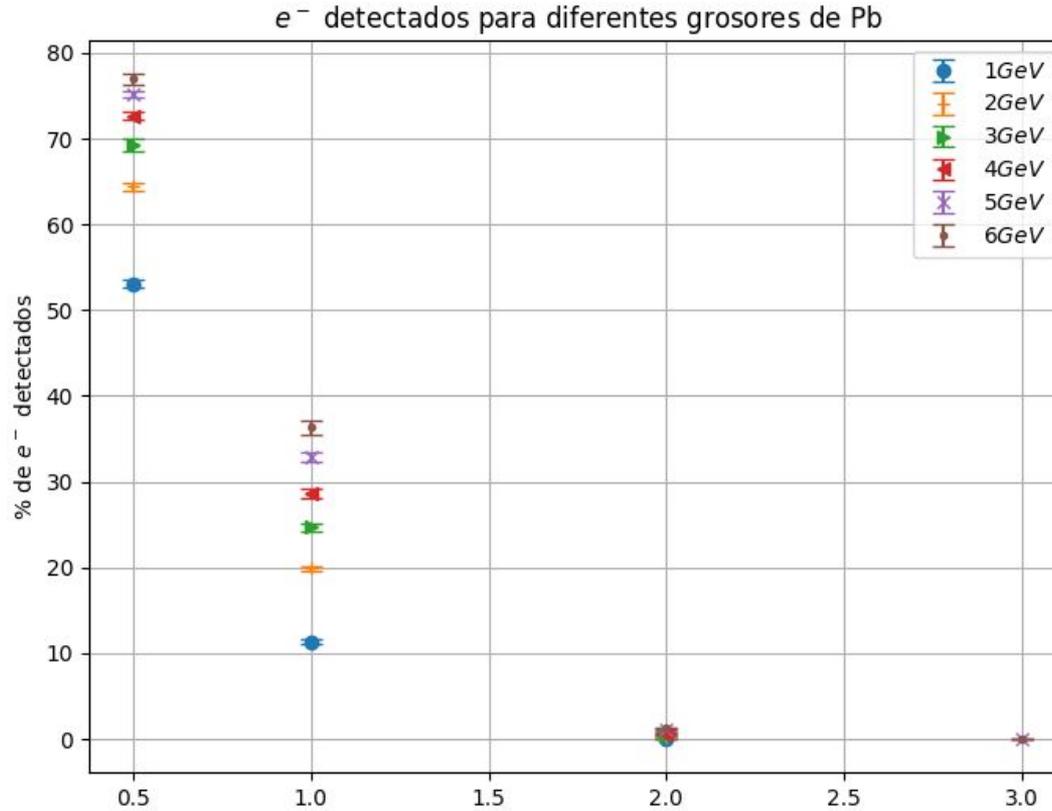
- **Rugosidad superficial:** Control de la dispersión de fotones.
- **Reflexión especular:** 20% de la luz reflejada en un lóbulo especular, sin reflexión especular exacta.

Sensor Óptico SiPM

Blindaje de Pb con densidad 11.3 g/cm³

Respuesta del detector frente al blindaje.

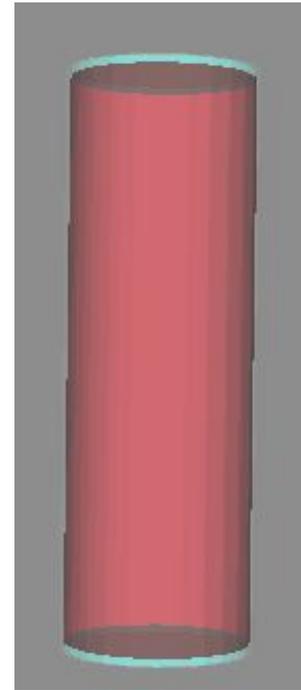
Inyección de 100000 electrones verticales monocromáticos.



Modelado de la Torre

Modelado de la Torre

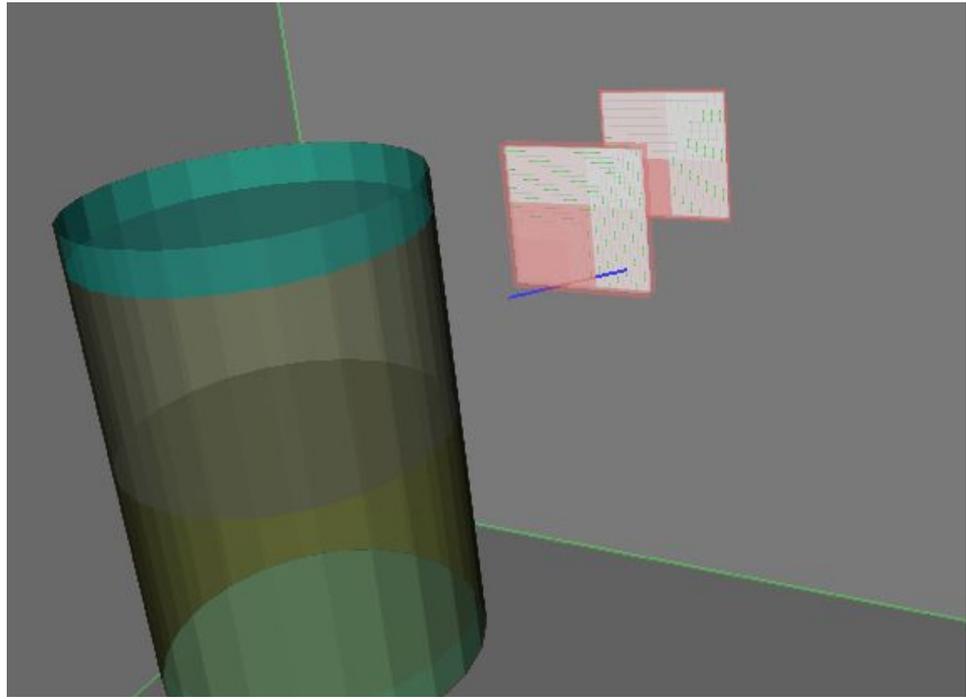
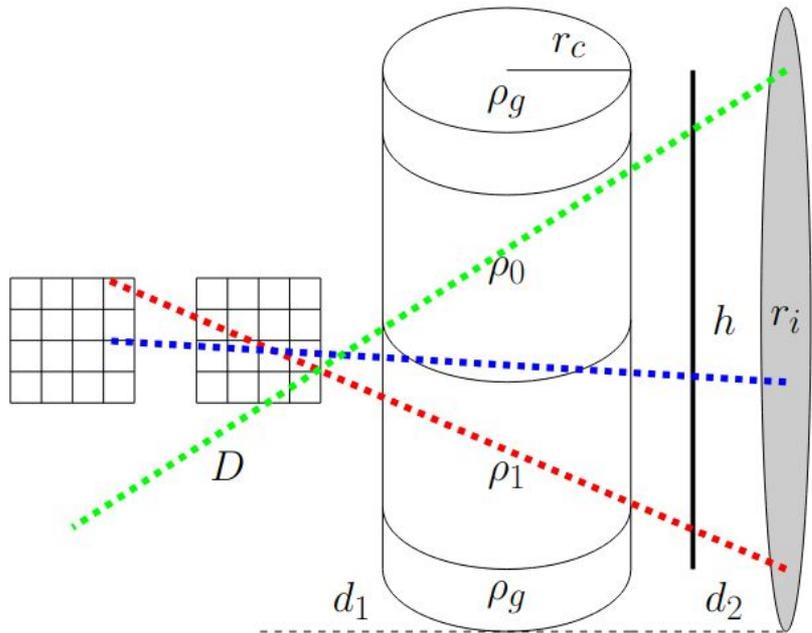
- **Envolvente de acero** para el lecho de catalizador.
- **Capa de calorifugado con aire** para aislamiento térmico.
- **Envolvente de aluminio** para protección y estabilidad estructural.
- **Lecho interno:** Mezcla de **diésel** (75% parafina, 25% benceno) y catalizadores **NiMo/Al₂O₃**.



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

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

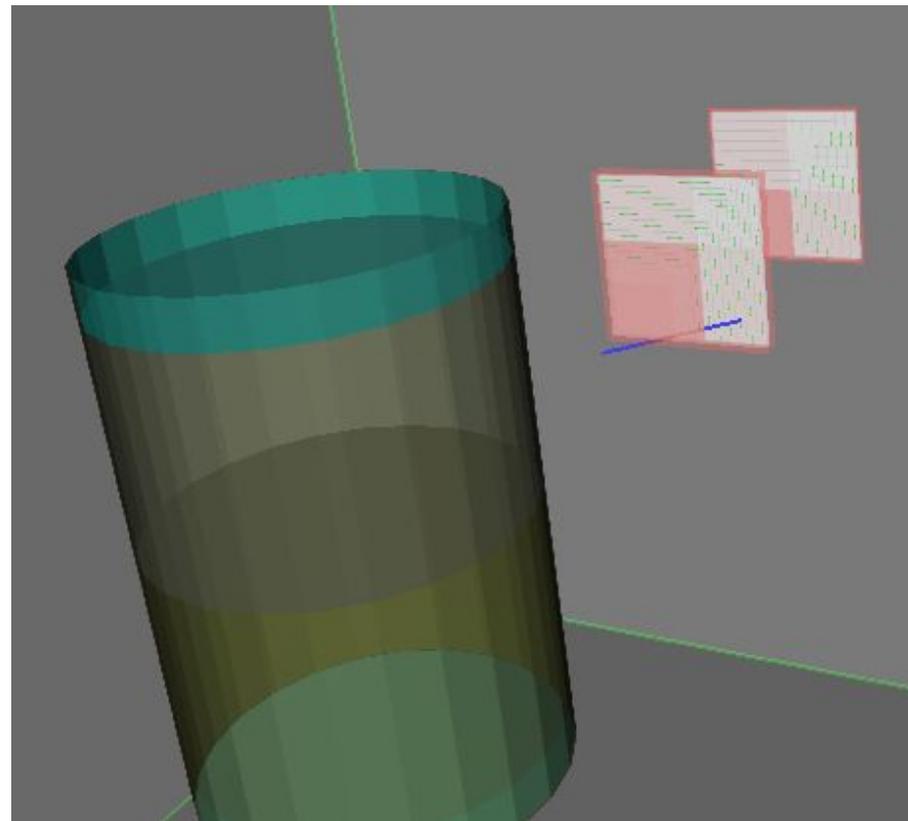
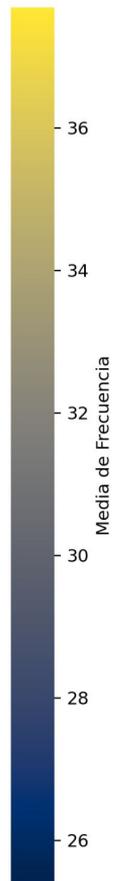
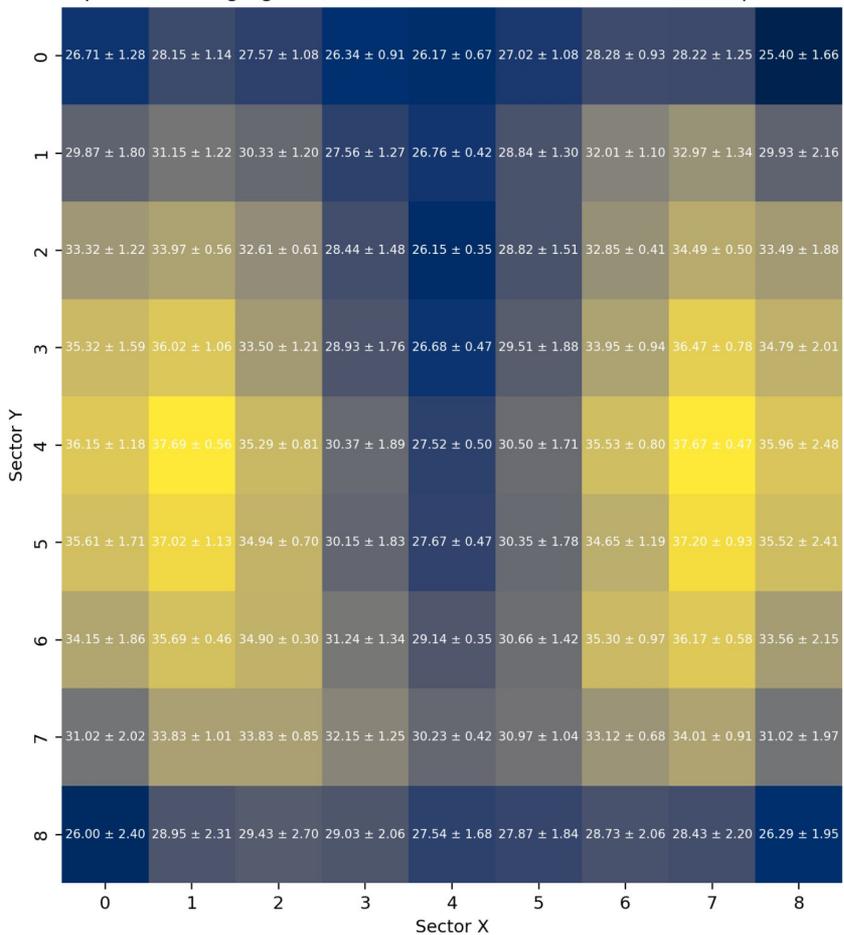
Esquema de simulación



Radio de inyección 1.8 m, a 5 cm del objetivo , 1 m de distancia entre paneles, Torre 50 cm de radio y 1,5 m de altura a 1 m del panel 1.

557740530 Partículas 20 H de Flujo. $\rho_0=4,1 \text{ g/cm}^3$ $\rho_1=1,2 \text{ g/cm}^3$

Mapa de Calor Agregado (9x9) con Media \pm Desviación Estándar por Sector



Conclusiones

- Se modeló el detector incorporando un blindaje de 2 cm, suficiente para atenuar por completo la radiación secundaria, incluyendo electrones de hasta 6 GeV.
- Se desarrolló un modelo computacional que integra la radiación cósmica de fondo, detectores de centelleo con fibras ópticas y SiPM, y la simulación de la torre de hidrotatamiento como objetivo.
- Este modelo permite simular con precisión la interacción de la radiación cósmica con la estructura de la torre y la respuesta del detector.
- Se reconstruyó un mapa de calor, mostrando una diferencia de conteo de hasta el 10% entre zonas de distinta densidad en la interfase y hasta un 30% en comparación con el fondo.

Workshop on Particle Detectors for
Interdisciplinary Applications.
September 30 – October 2.

Official Language: Spanish/English.
Idioma Oficial: Español/Inglés.

Gracias por su atención



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Backup

Condición de viabilidad.

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

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

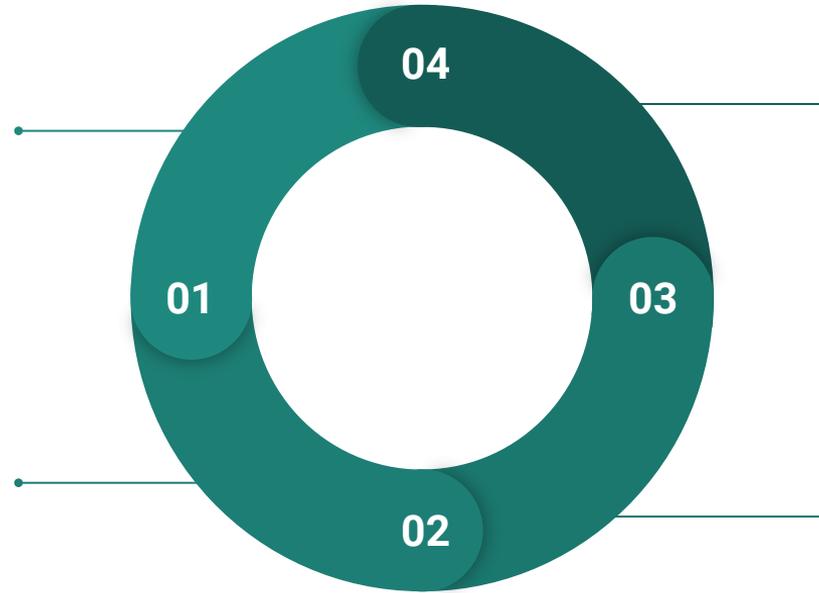
E_{\min}	GeV	minimum muon energy to cross a given opacity
Φ	$\text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{s}^{-1} \text{GeV}^{-1}$	differential flux of muons
γ	$\in \mathbb{R}$	power-law exponent of differential spectrum
A		scale factor (i.e. amplitude) of differential spectrum
I	$\text{cm}^{-2} \text{sr}^{-1}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

¿Es factible utilizar la muografía como una técnica para medir y estudiar la dinámica de los procesos de refinamiento en reactores catalítico de lecho fijo, 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.

Modelar y simular el Detector.

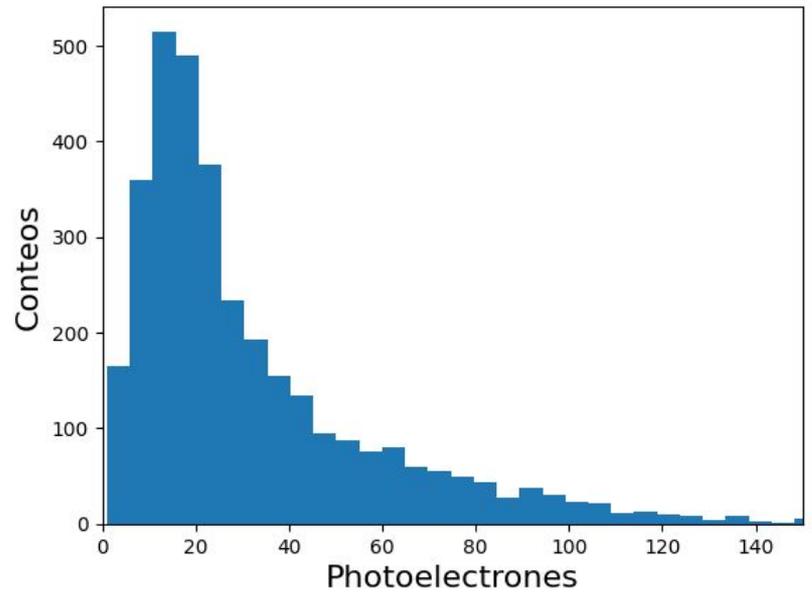


Integrar el FRC, el hodoscópio y el RLF.

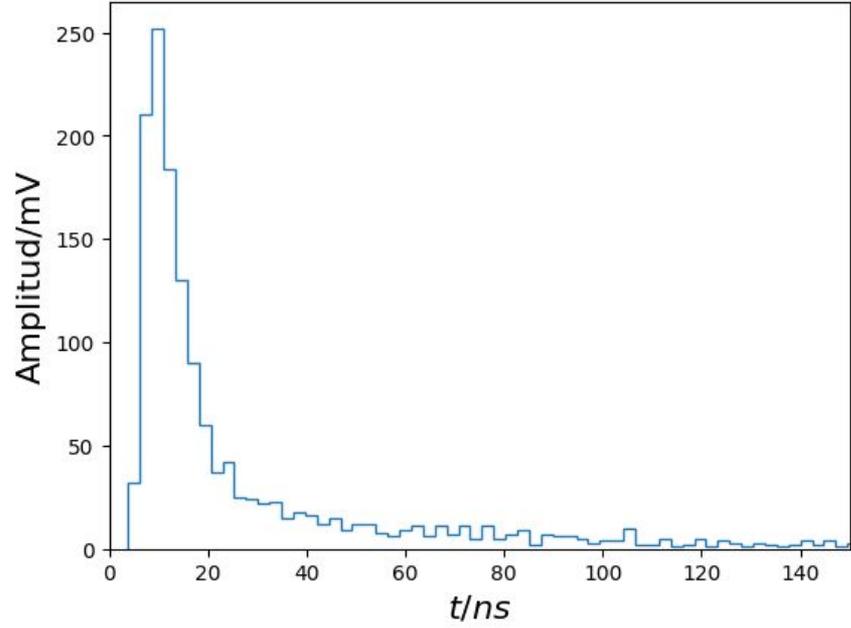
Emular un reactor de lecho fijo.

Respuesta del detector

Distribucion del Numero de PE en el SiPM

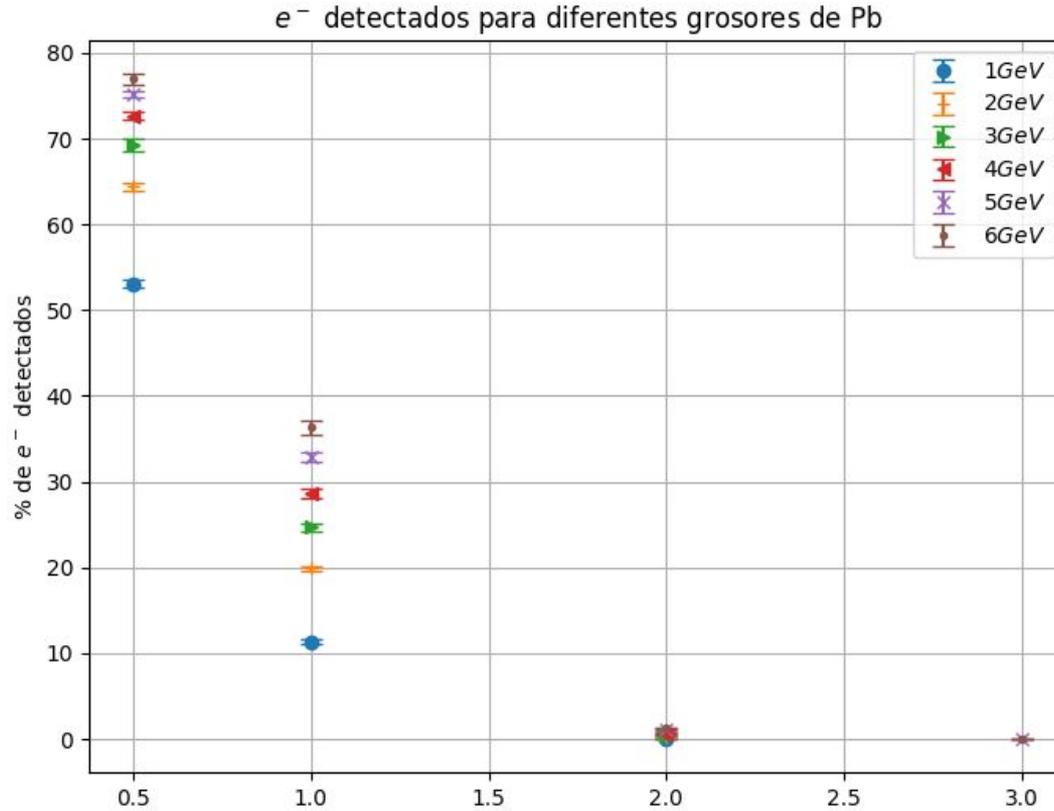


Distribución temporal en los SiPM



Respuesta del detector frente al blindaje.

Inyección de 100000 electrones verticales monocromáticos.



Parámetros geométricos del hodoscopio.

Opacidad

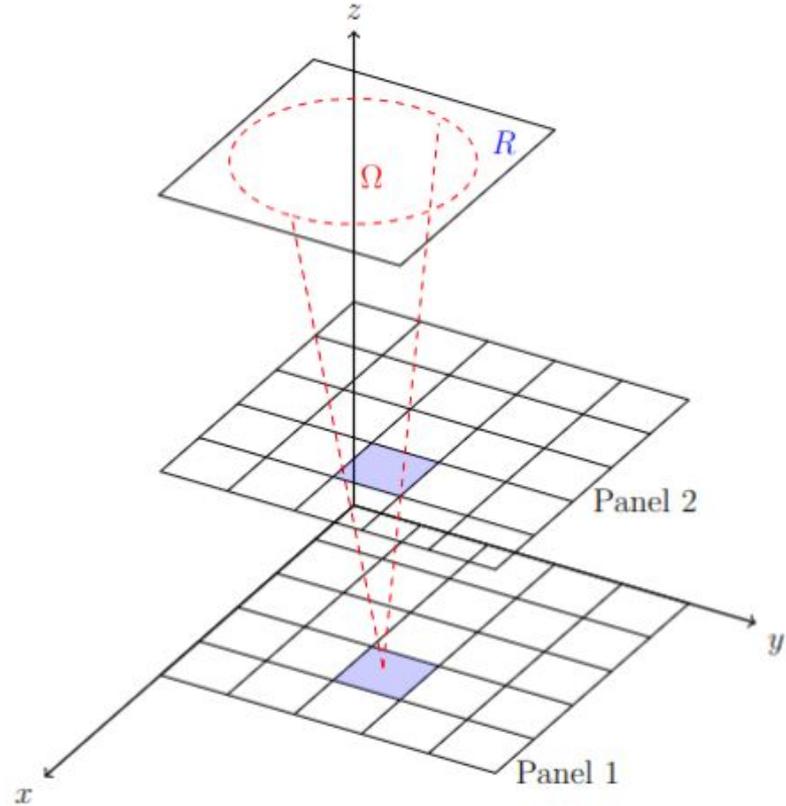
$$\varrho = \int_L \rho(\chi) d\chi = \rho \times L$$

Flujo detectado

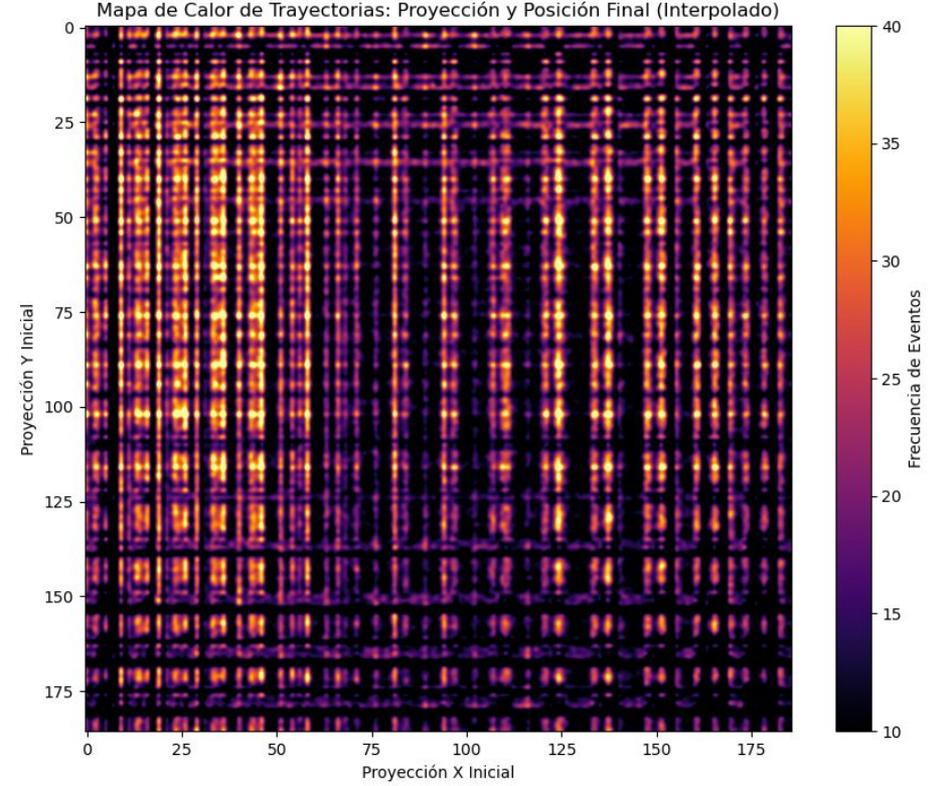
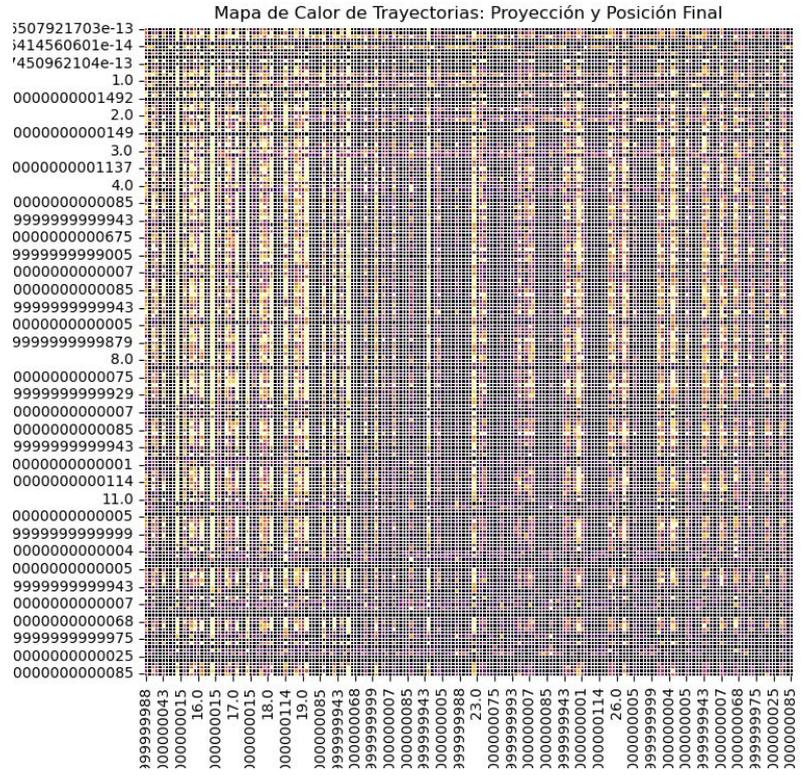
$$N(\varrho) = \Delta t \times T \times I(\varrho)$$

Aceptancia

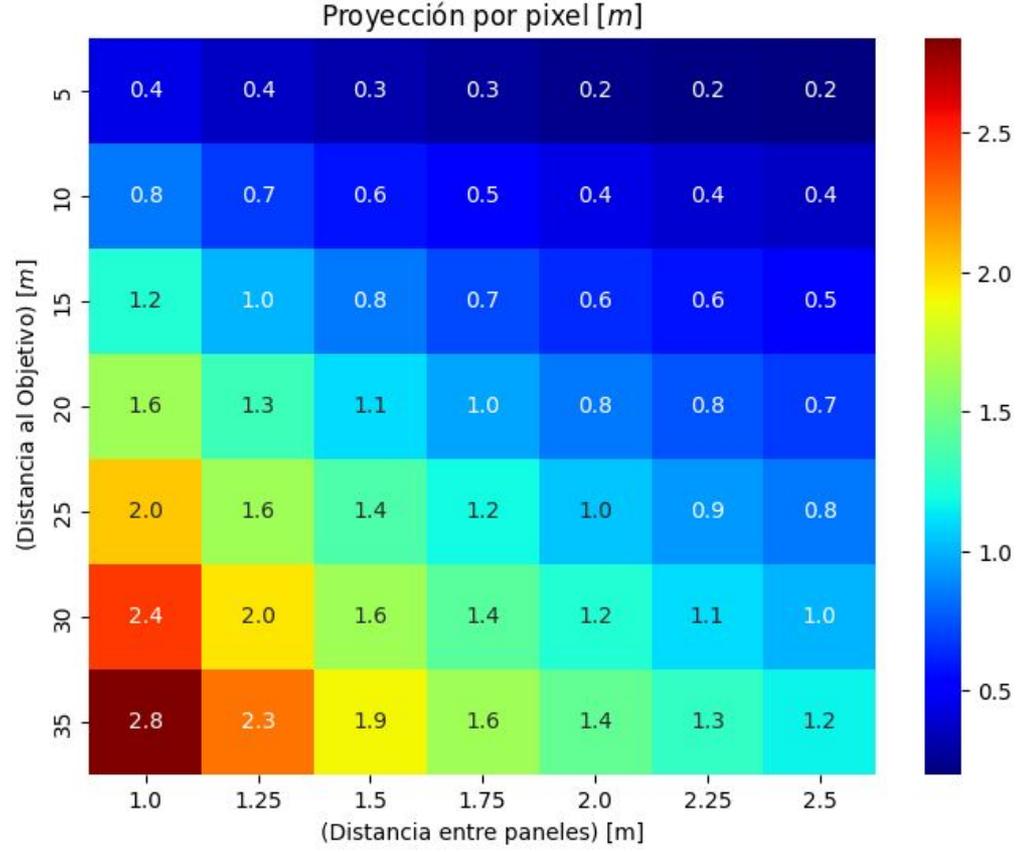
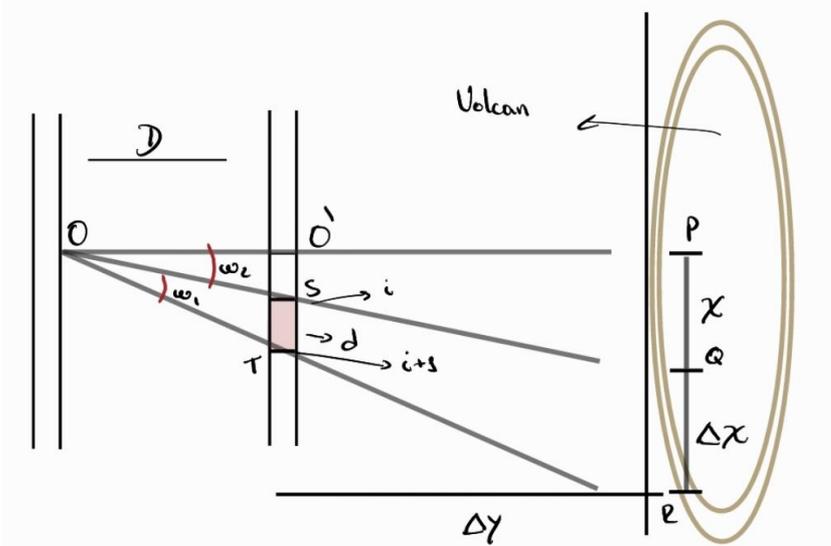
$$T(r_{ij}) = R(r_{ij}) \times \delta\Omega(r_{ij})$$



Muograma y procesamiento:

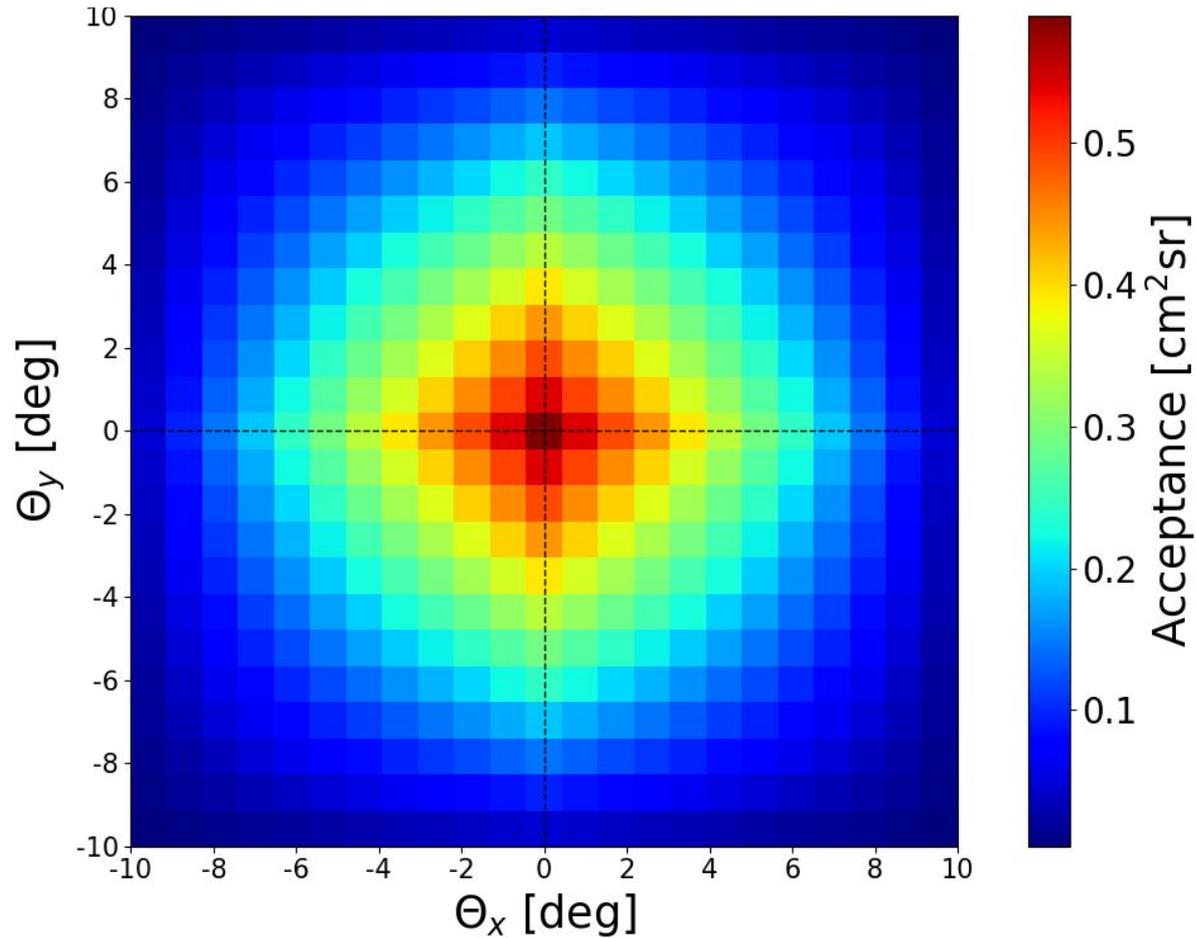


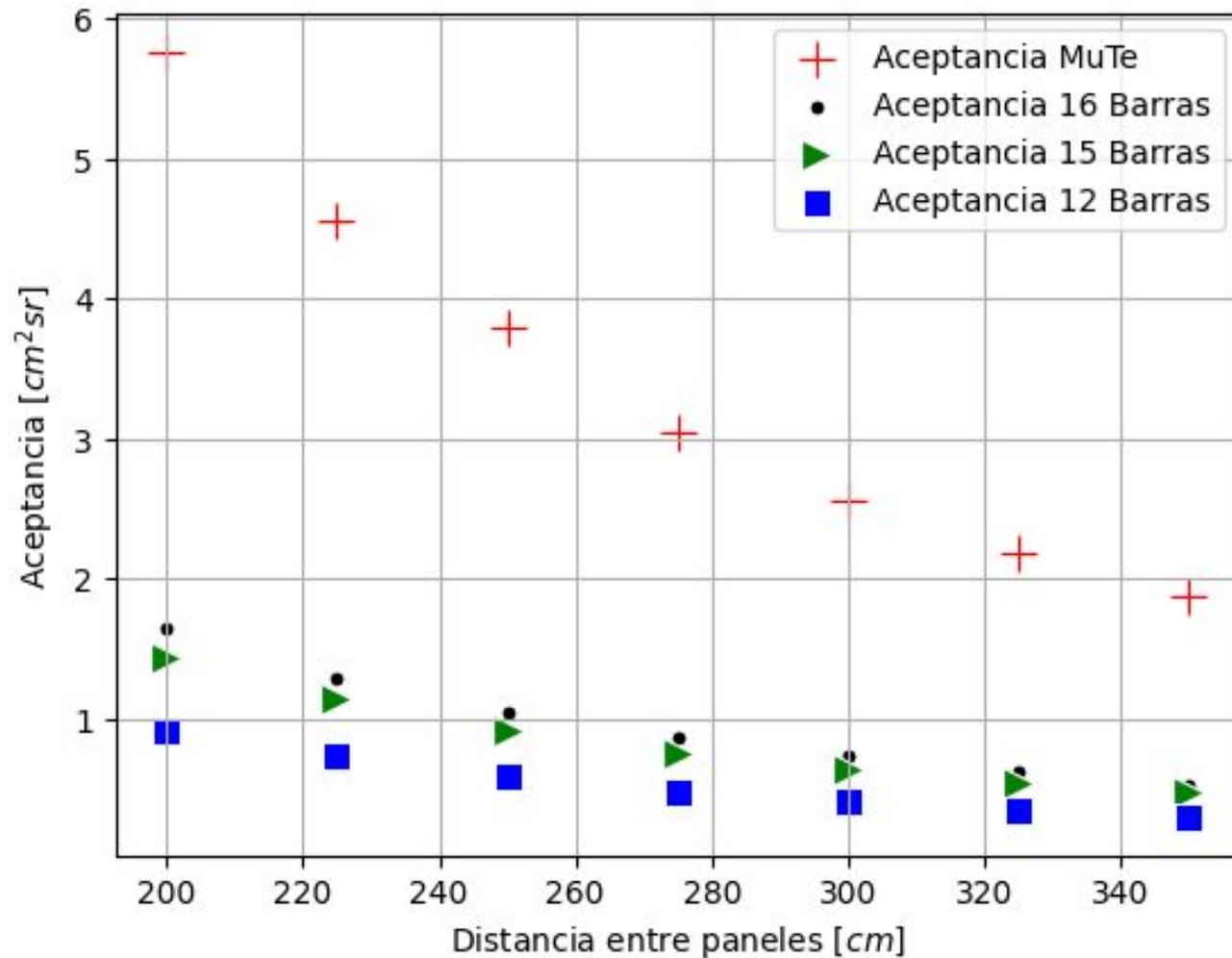
Resolución Espacial 15 Barras



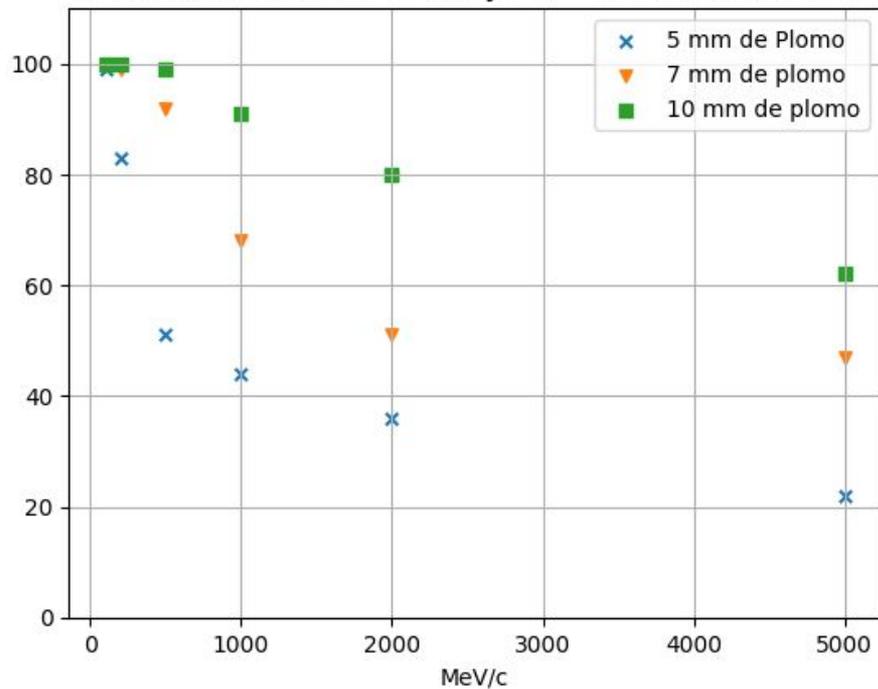
$$\Delta x = \frac{d(2\Delta y + D)}{D}$$

Aceptancia 15 Barras

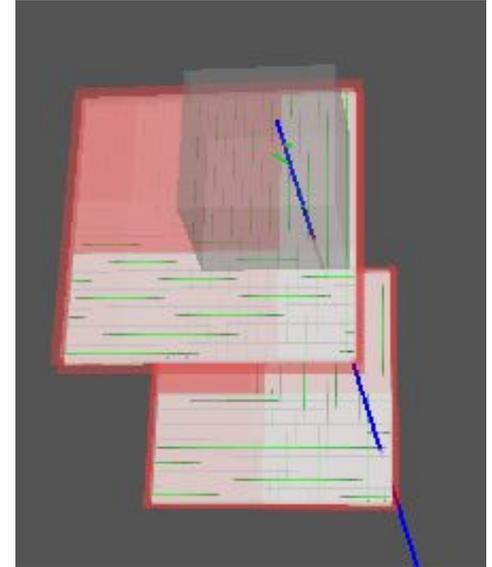
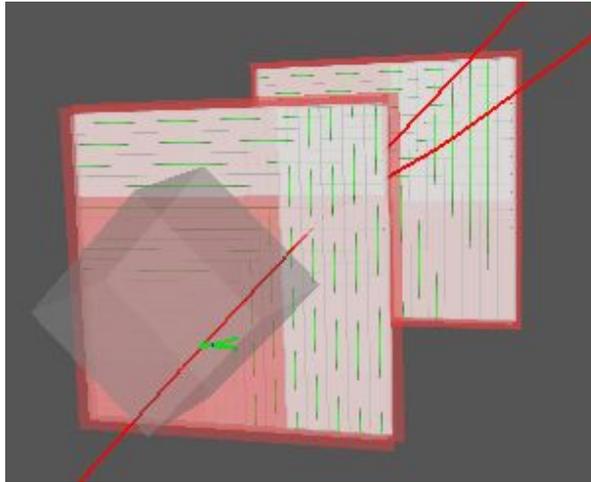
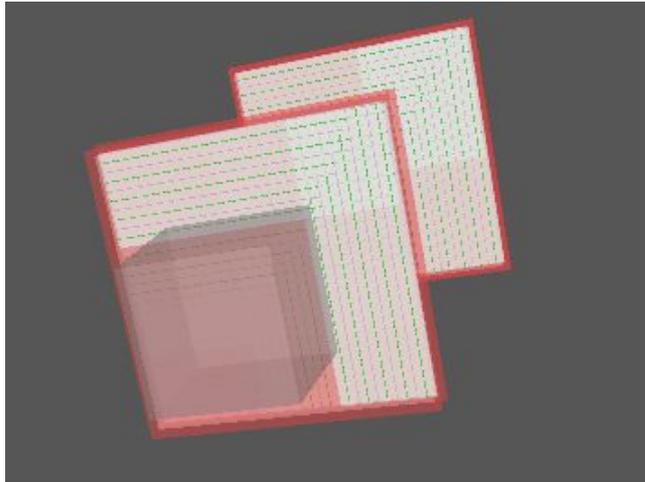




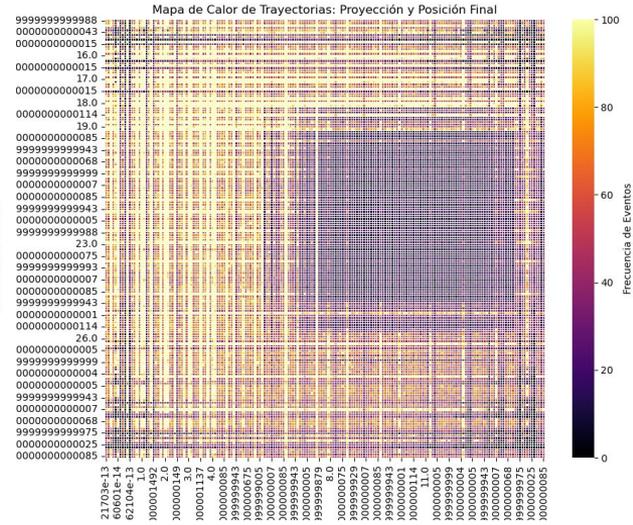
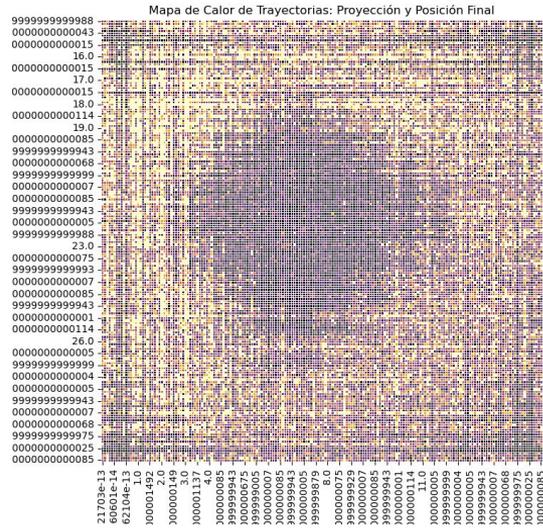
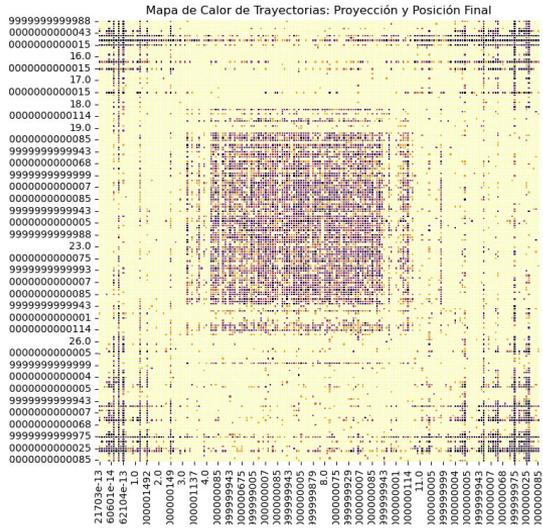
% de Atenuacion Pb flujo e^- monocromatico

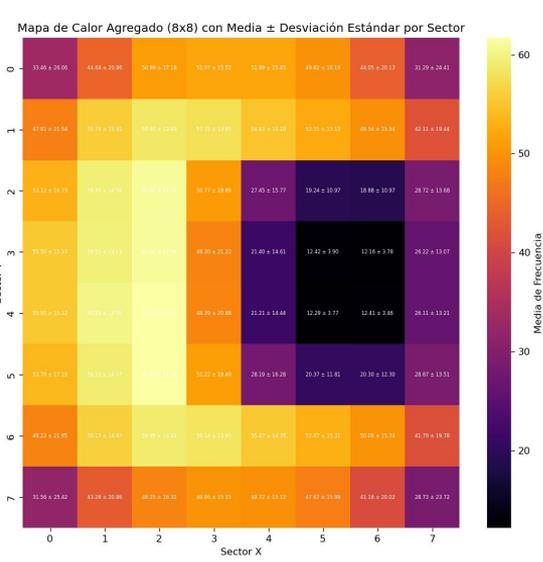
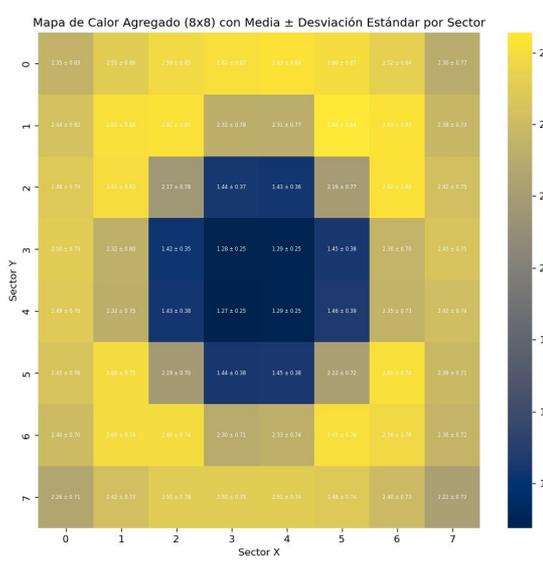
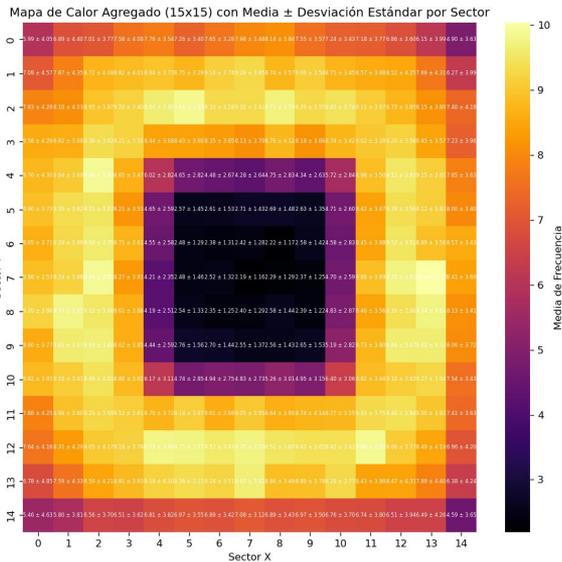
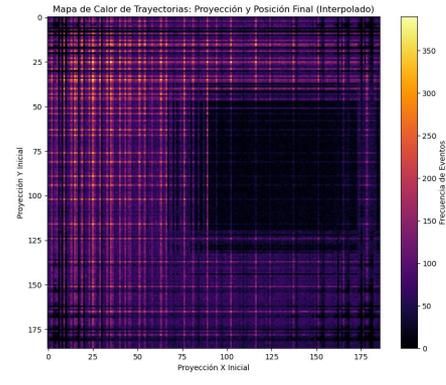
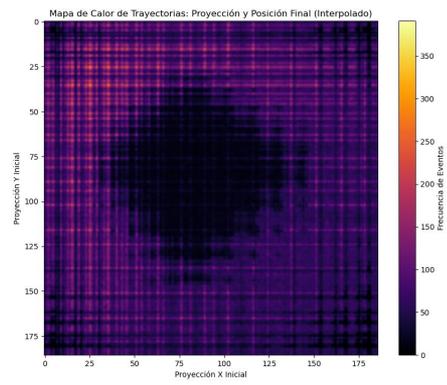
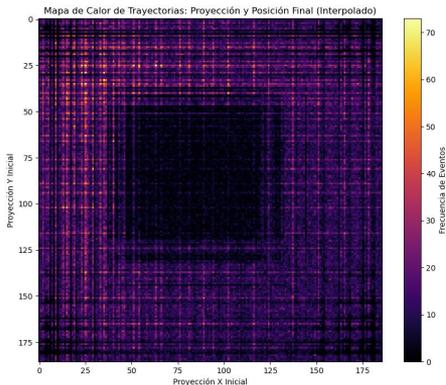


Simulación: Centrado, rotado z 45° y desplazado.

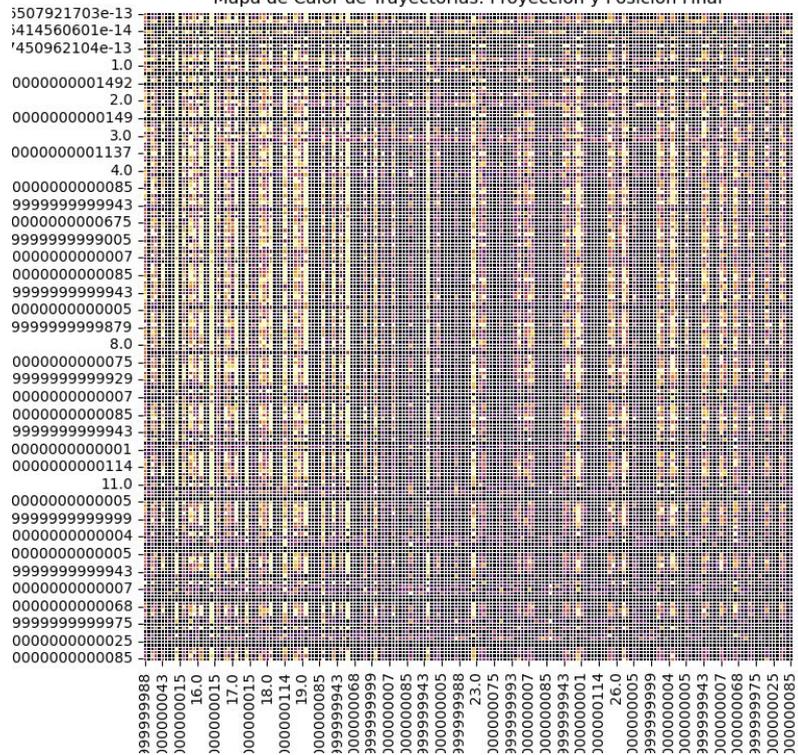


Radio 0.6 m^2 , a 5 cm del objetivo , 1 m de distancia entre paneles, Cubo de 30 cm a 10 cm del panel 1 Simulados 12 H de flujo: 55774053 particulas.

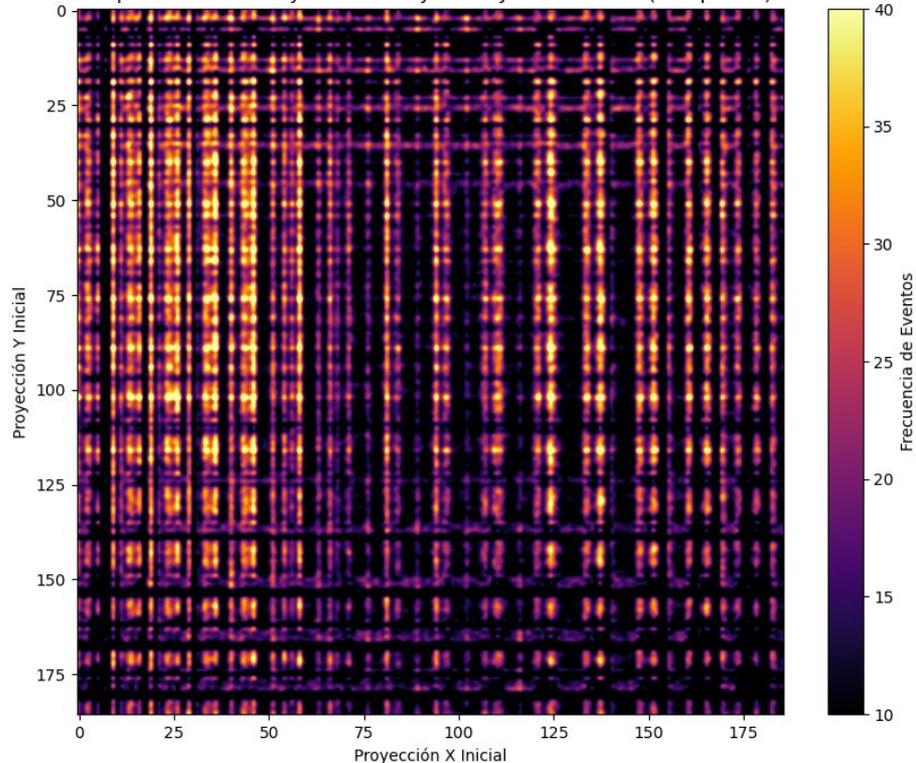




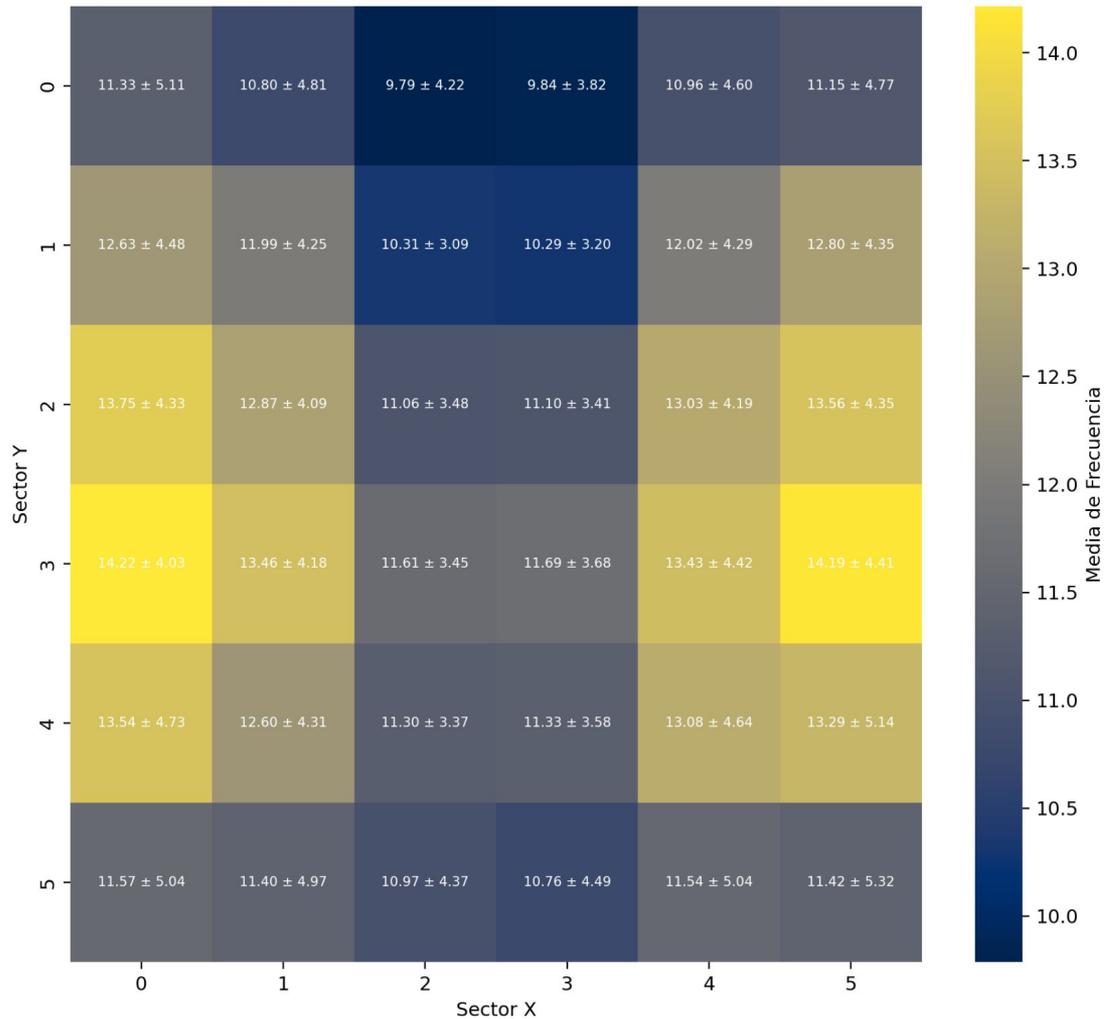
Mapa de Calor de Trayectorias: Proyección y Posición Final



Mapa de Calor de Trayectorias: Proyección y Posición Final (Interpolado)



Mapa de Calor Agregado (6x6) con Media \pm Desviación Estándar por Sector



3	11	8	17
5	19	9	16
7	20	2	14
18	12	4	15

Regularización

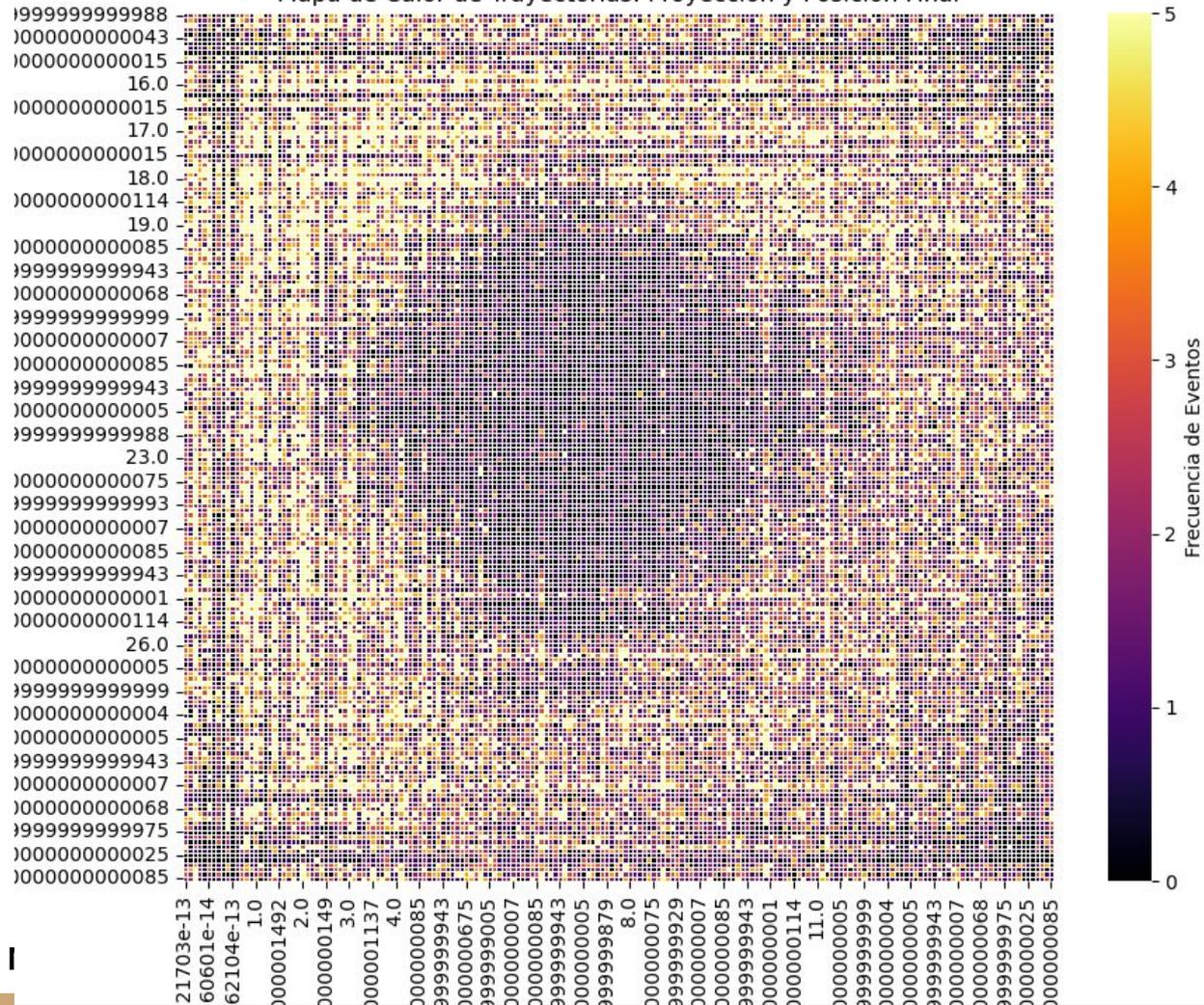


Si $f_{\text{orig}}(x, y) \in [f_{\text{media}}(x, y) - N \cdot \sigma, f_{\text{media}}(x, y) + N \cdot \sigma]$
entonces $f_{\text{orig}}(x, y)$ no cambia, de lo contrario:
 $f_{\text{nuevo}}(x, y) = (1 - w) \cdot f_{\text{media}}(x, y) + w \cdot f_{\text{orig}}(x, y)$

3	11	8	17
5	14	8	16
7	16	11	14
18	12	4	15

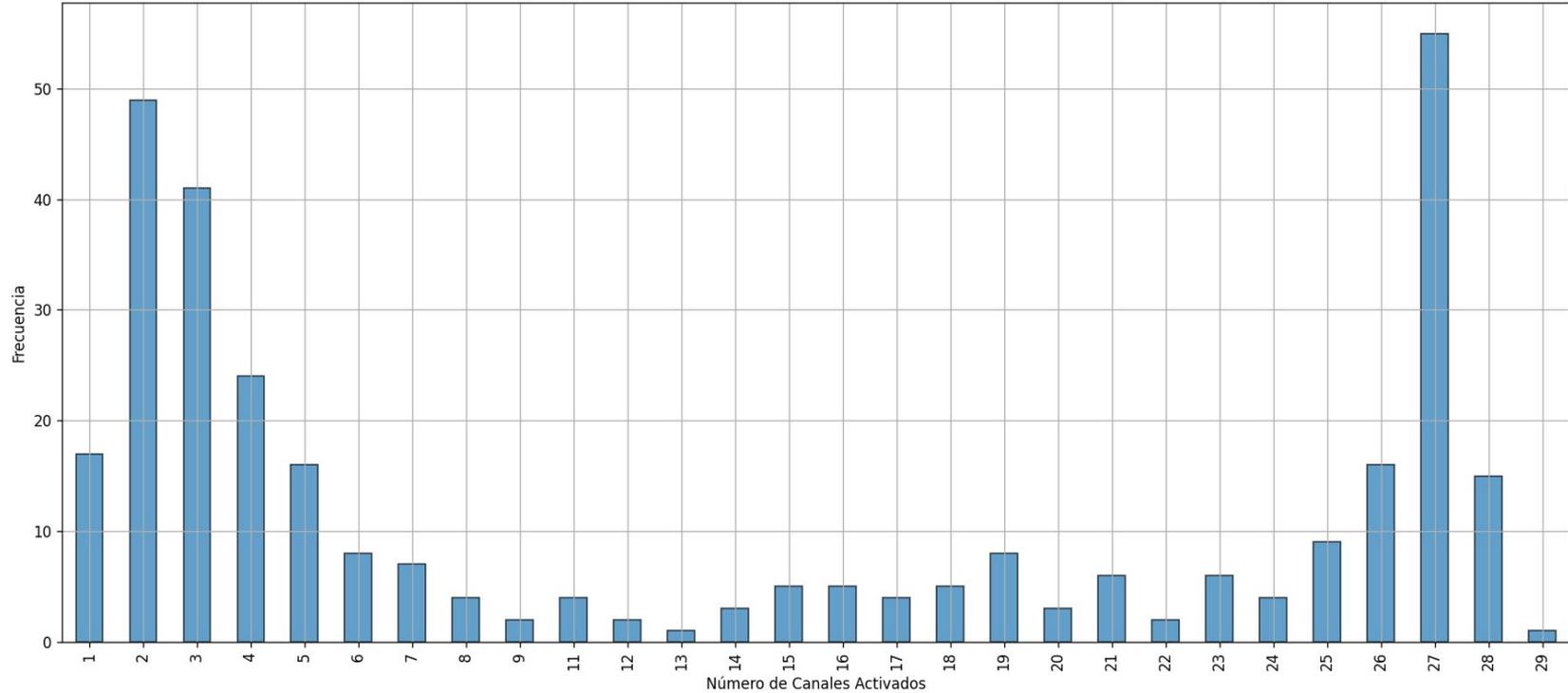
Y un nuevo enrejillamiento para calcular la media y std por región

Mapa de Calor de Trayectorias: Proyección y Posición Final



Datos Exp: # de canales activados por evento

Frecuencia de Número de Canales Activados por Evento (ch05)



Resultados de la simulación

Frecuencia de Número de Canales Activados por Evento (ch09)

