

Implementación y perfeccionamiento de técnicas de reconstrucción de imagen utilizando muones provenientes de rayos cósmicos

Presentador: Jalil Villalobos Alva¹

Dr. C. Uribe Estrada²

Mtro. Ángeles Ruiz¹

1. Universidad Iberoamericana

2. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Introducción

- Los rayos cósmicos, son rayos de partículas y núcleos que se crean en diferentes procesos del universo.
- Dentro de las partículas producidas el muon (μ), es una partícula de gran interés.
- El uso de rayos cósmicos se han utilizado en diversas aplicaciones a lo largo de los años.
- Dentro de los desarrollos de interés nos enfocamos en la radiografía y tomografía de muones como técnicas de reconstrucción de imagen.

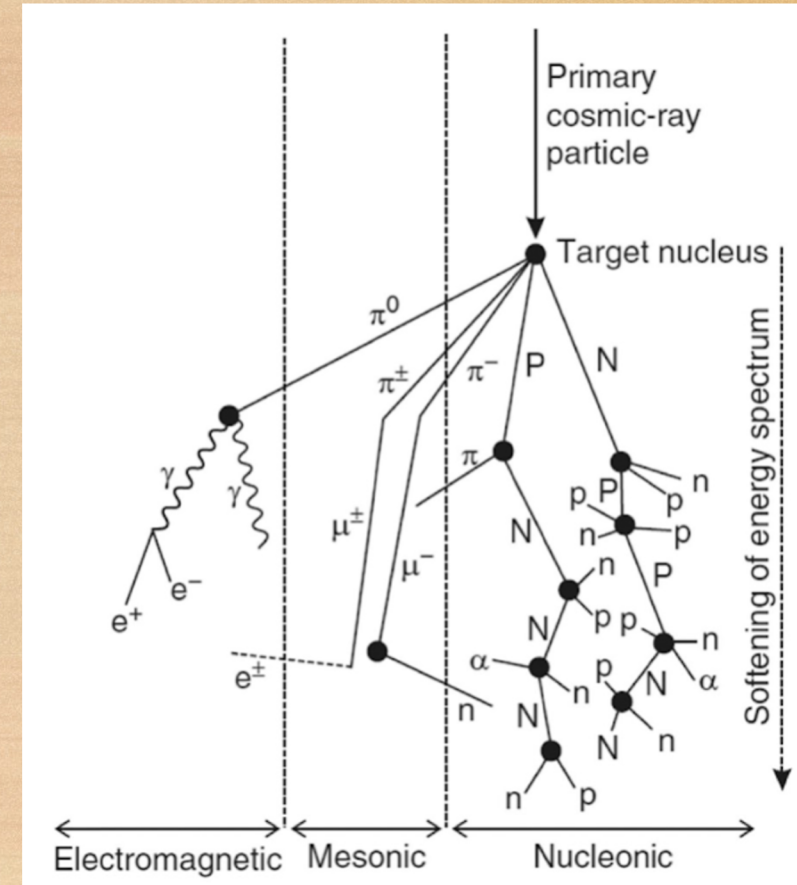


Fig. Cascada de partículas, por los rayos cósmicos primarios.

Radiografía y Tomografía

La radiografía de muones implica medir el flujo de muones que pasan un objeto, basado en la absorción-transmisión de muones. Se utilizan los flujos de muones medidos como los datos de entrada. La transmisión efectiva de muones se obtiene de la relación entre las distribuciones angulares corregidas (del objetivo y la de cielo despejado).

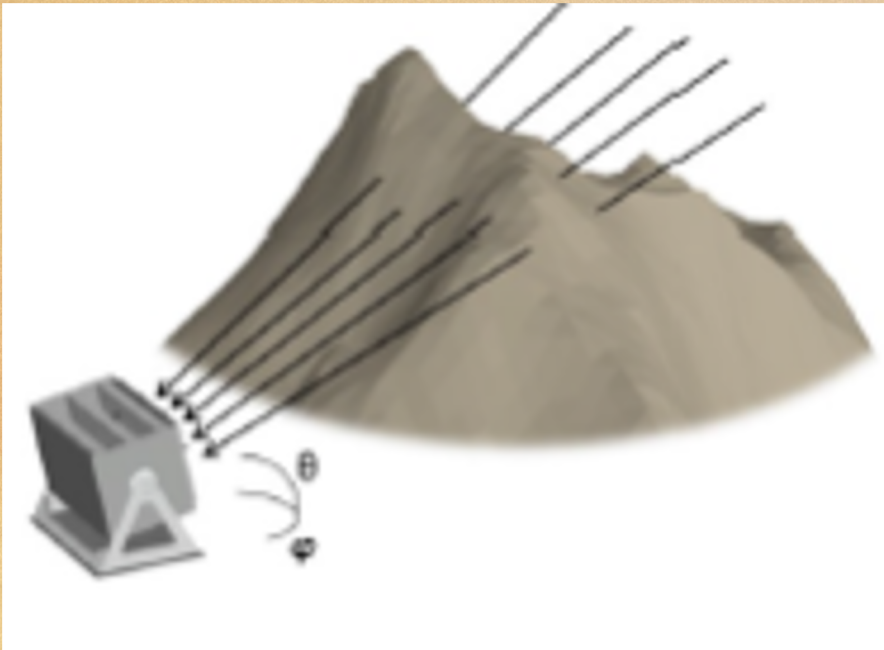


Fig. Ejemplo de reconstrucciones del proyecto TOMUVOL, en Francia que utiliza detectores de muones.

La tomografía de muones implica acumular ángulos de dispersión en diferentes ubicaciones en un objeto de imagen y luego generar un mapa de densidades de dispersión basado en su cálculo de varianza, la cual estará relacionada con su longitud de radiación y densidad de dispersión.

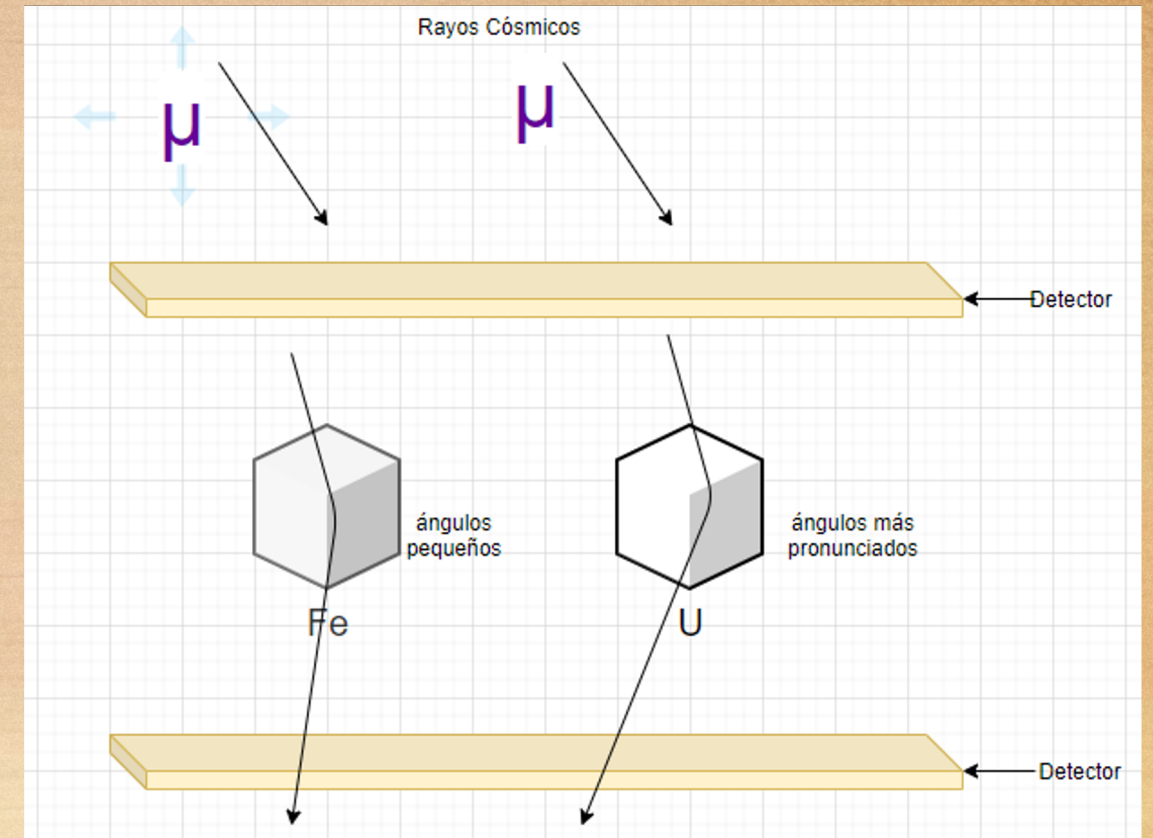


Fig. Representación esquemática de la tomografía de muones.

Esquema del RPC

- Las cámaras de placas resistivas (RPC) son detectores gaseosos rápidos que proporcionan un sistema de activación de muones.
- ¿ Porque RPC ?
- Mediciones rápidas del impulso del muon.
- Los RPC combinan una buena resolución espacial-temporal (con MRPCs de vidrio alcanzando resoluciones de algunos picosegundos).
- Bajo costo y bastante asequibles de uso extensivo en la física de altas energías.

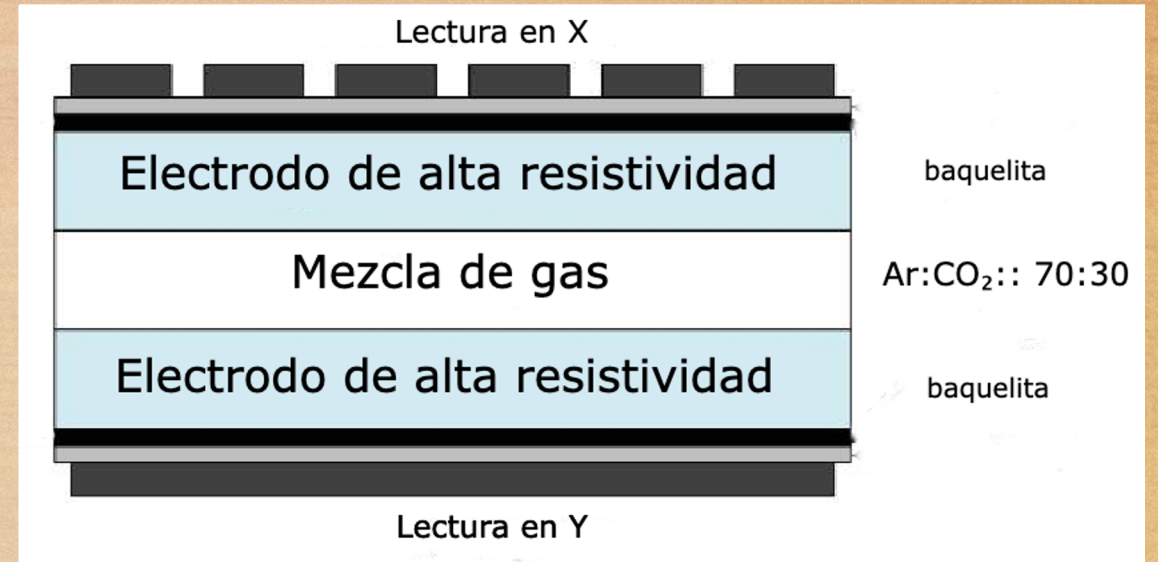


Fig. Detector de muones de RPC, diseño gráfico.

Bosquejo geométrico de reconstrucción de trayectorias

5

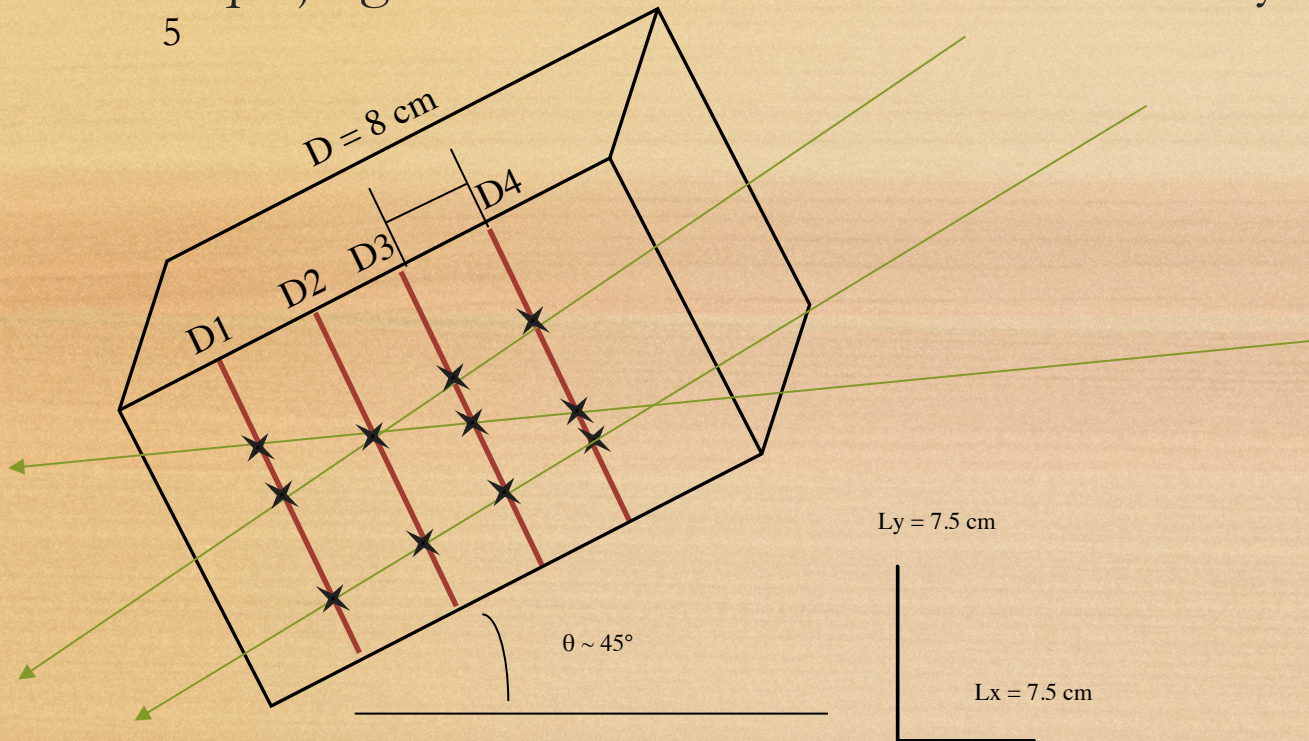


Fig. Esquema en 2D, para el sistema de detección.

- Las trayectorias se determinan siguiendo los pasos subsiguientes:
 - Las trayectorias exitosas son registradas cuando se activan las 4 RPCs.
 - La condición de tiempo de un detector posterior es mayor a uno anterior.

$$t_{n-1} > t_n, n \in \{2, 3, 4\}$$

- Para elegir trayectorias correctas, solo se registran los eventos, con trayectorias válidas; así eliminando el posible ruido de un evento que no es un muon.

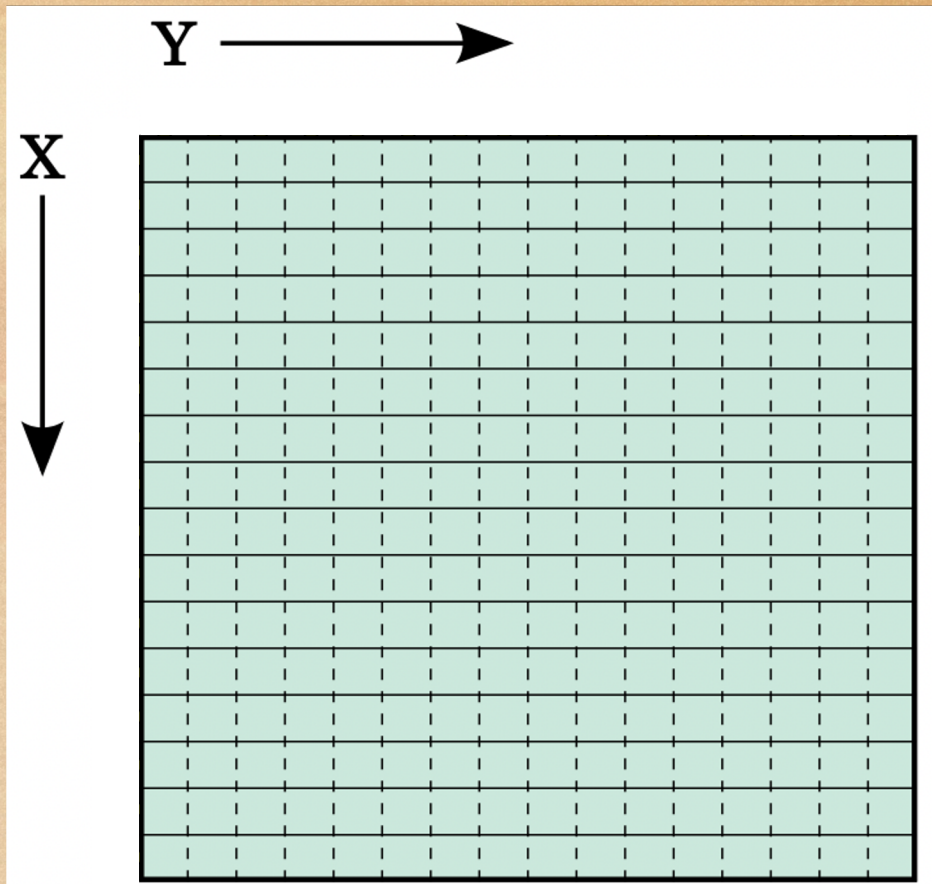


Fig. Esquema representativo de una matriz, del sistema de detección.

- La matriz de detección consiste en la construcción de series ortogonales, en dirección en x, y.
- La superficie de detección necesaria para medir el número de muones suficiente de cada trayecto, en tiempos razonables.

Simulación Geant4

6

- Geant4, es un paquete para la simulación del paso de partículas a través de la materia que utiliza técnicas de Monte Carlo.
- Implementación de la geometría del sistema de detección.
- La simulación incluye los materiales y el gas de los RPCs.

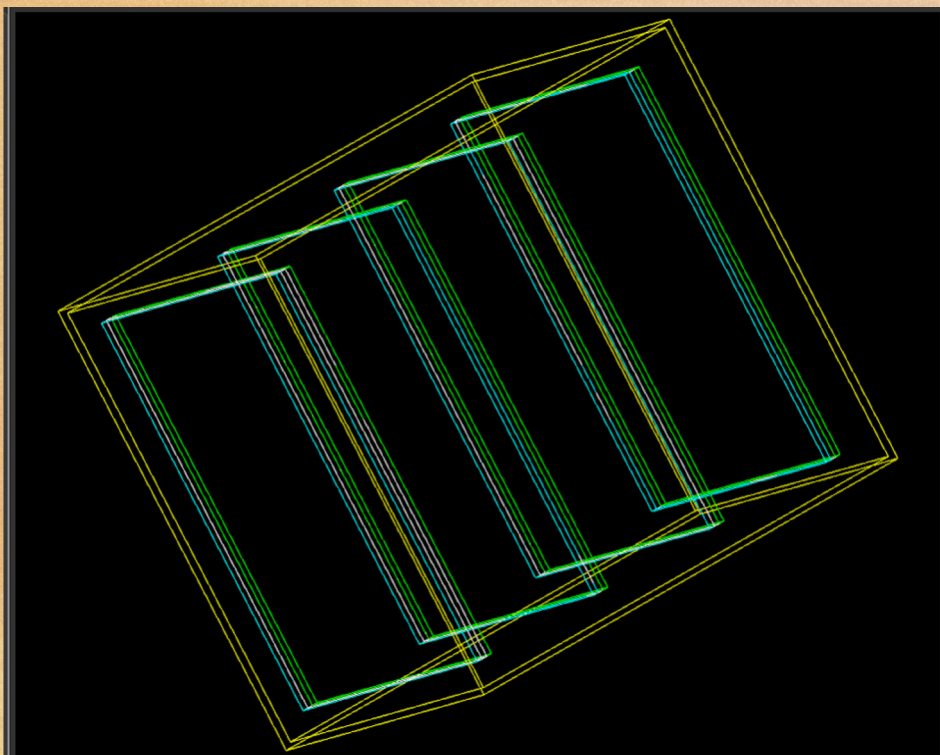


Fig. Caja ensambladora de los detectores de muones de RPC, simulación de Geant4.

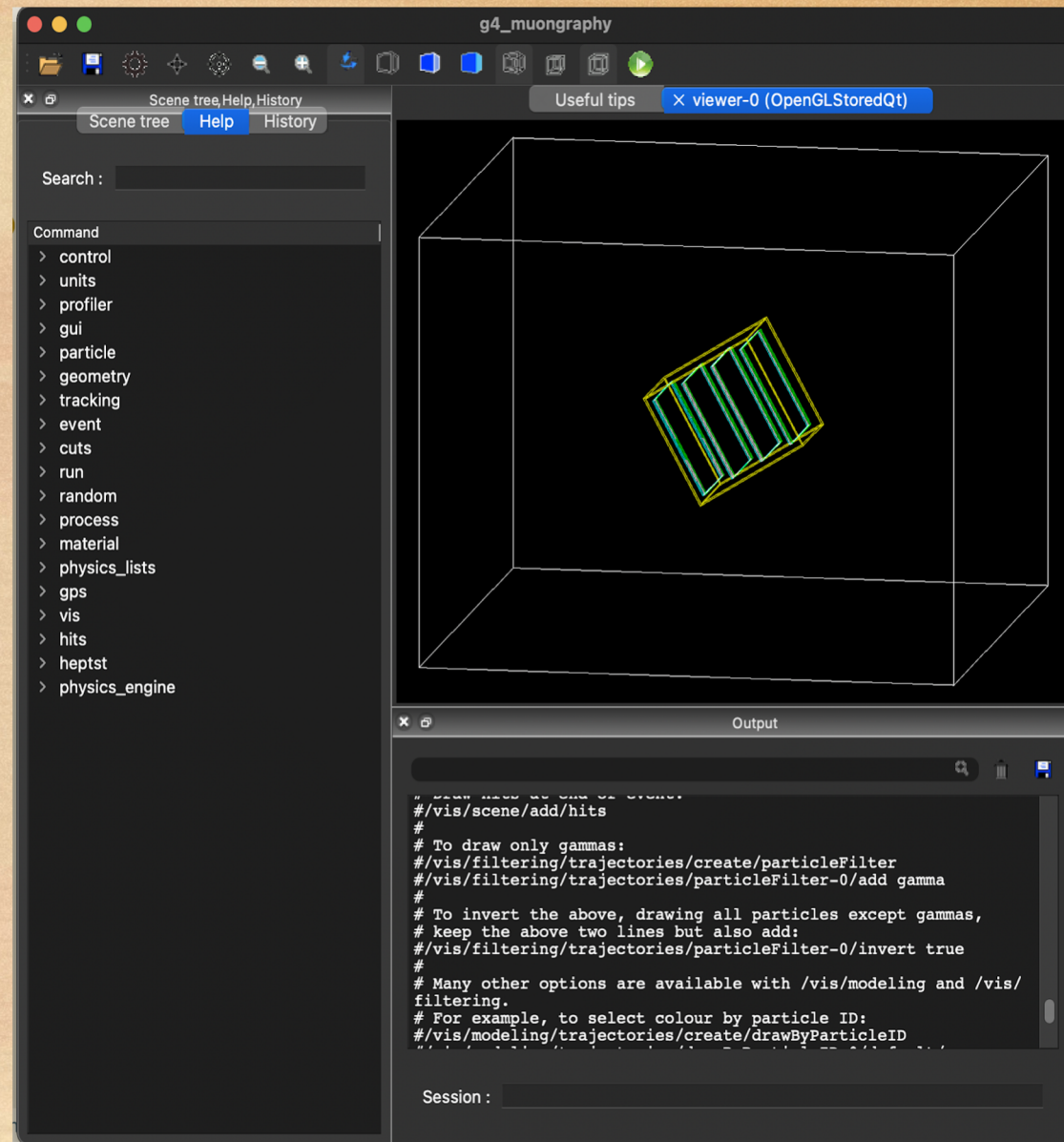
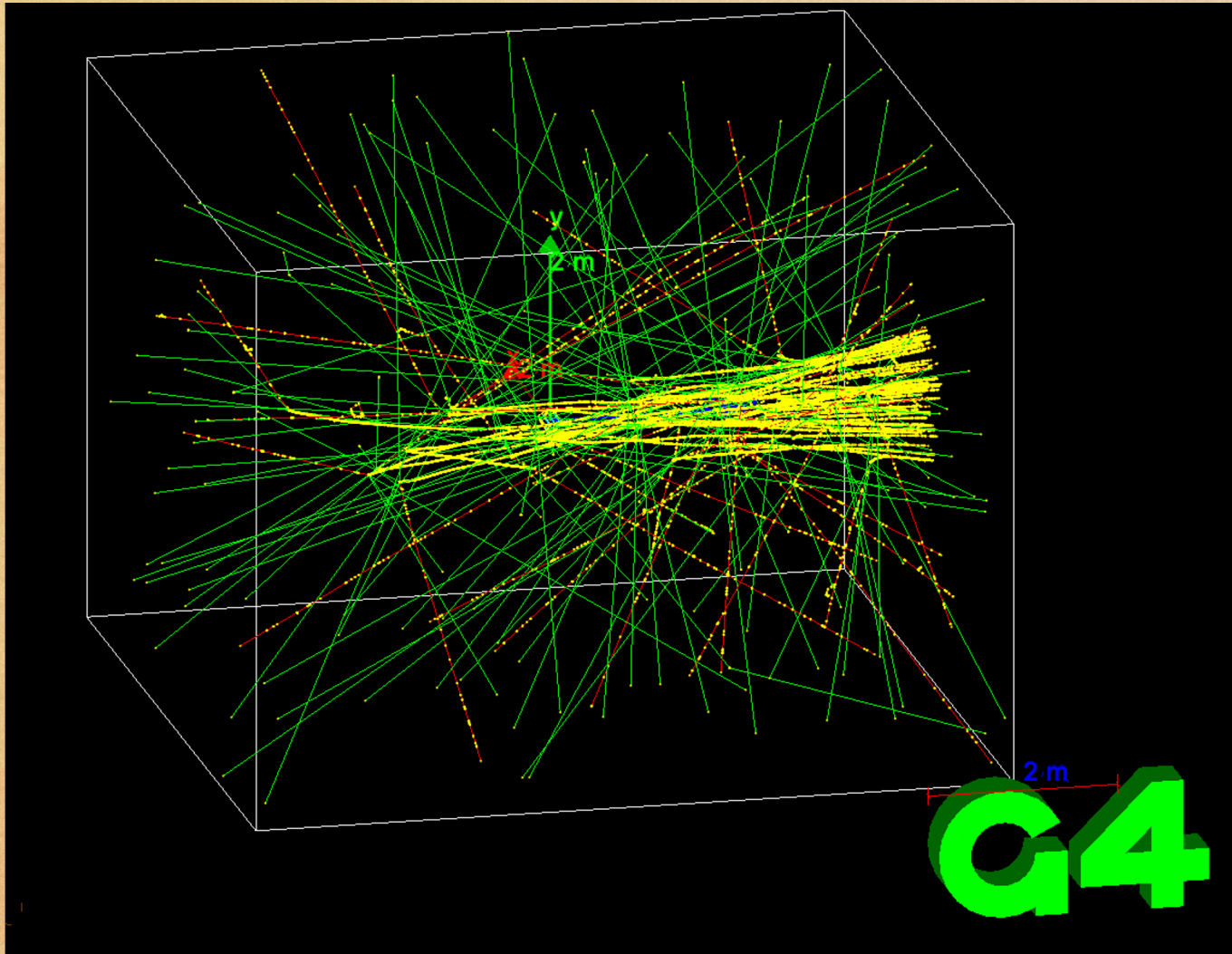


Fig. Ventana principal de la simulación Geant4.



Continuación

Simulación de la interacción de los muones provenientes de la fuente con el sistema de RPCs

- Características de la fuente:
 - Forma circular, ~ 70 cm de radio.
 - Distribución angular, focalizada.
 - Energía ~ 2 MeV a 10 MeV.

Fig. Representación de la simulación de Geant4.

Continuación

8

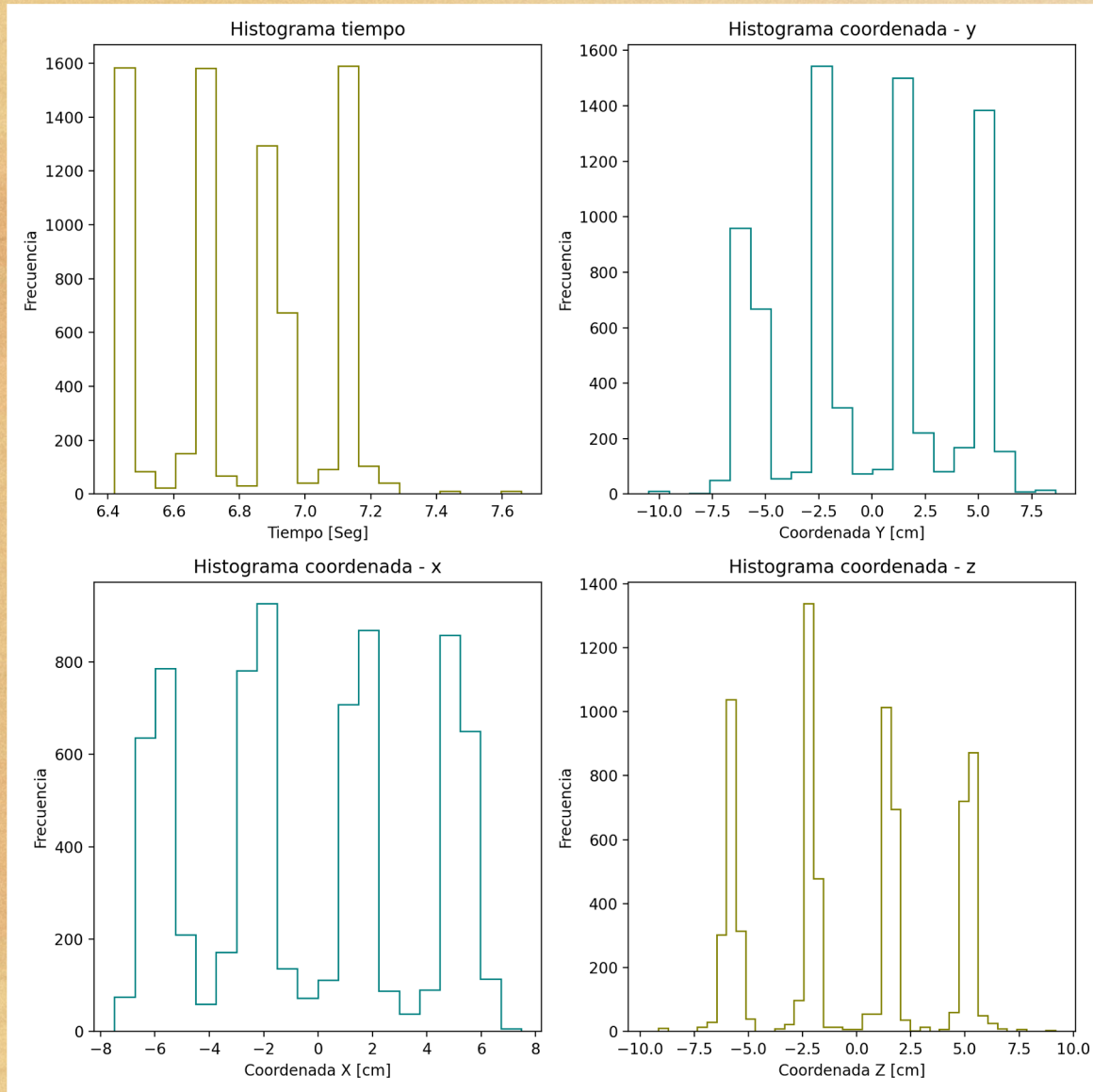


Fig. Histogramas de las coordenadas; temporal-especial.

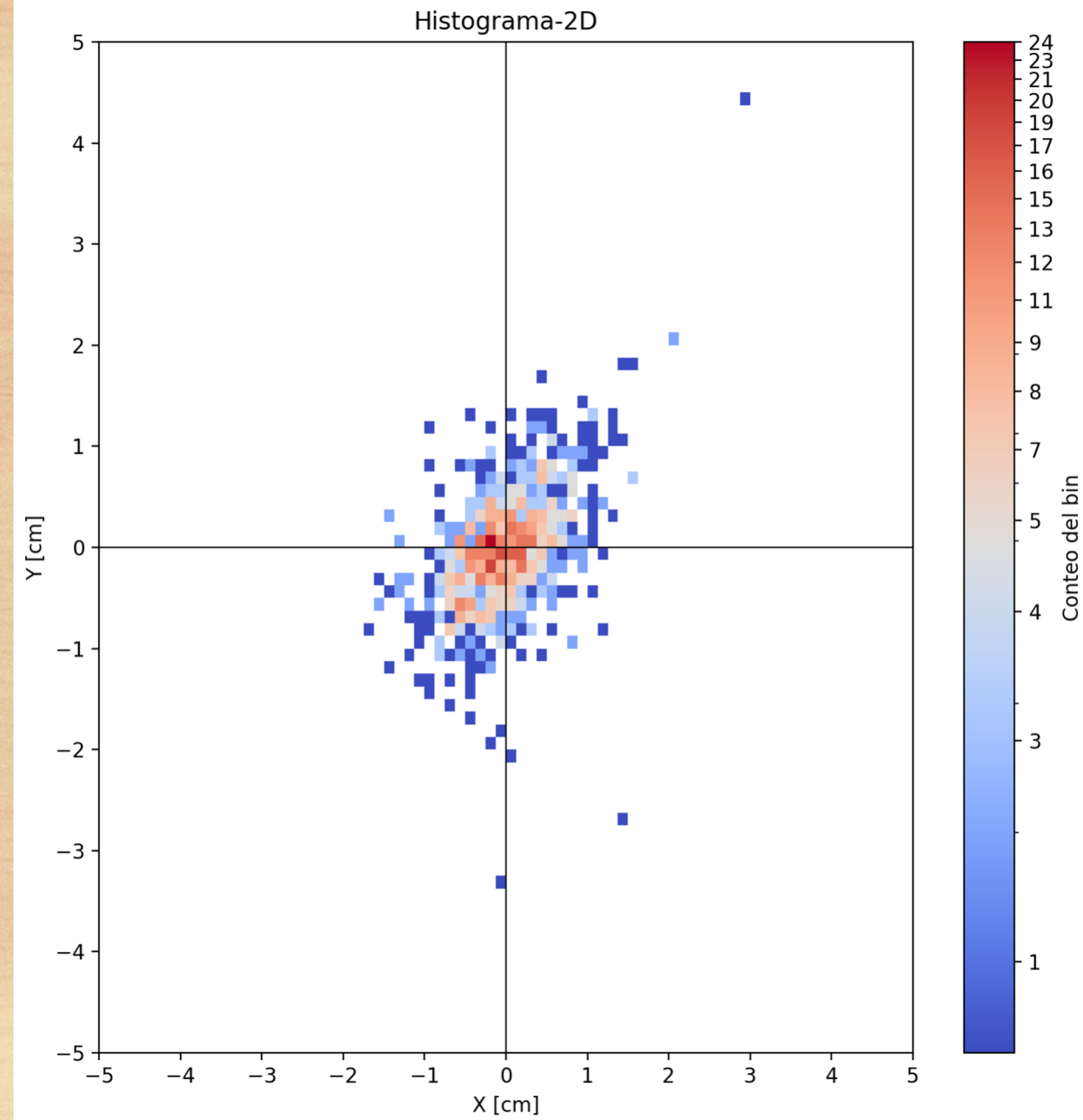


Fig. Imagen reconstruida.

Conclusiones

9

1. Utilizando el paquete de Geant4 se ha simulado un sistema de detección de muones.
2. El sistema consta de cuatro RPCs (Resistive Plate Chambers) que son detectores gaseosos que cuentan con una buena resolución espacial y temporal. Se consideran detectores de baquelita con una mezcla de gases de Ar:CO₂: :70:30.
3. Las simulaciones creadas en Geant4 son, prometedoras ya que es posible extraer la información temporal-espacial, que es necesaria para iniciar el proceso de una reconstrucción de una imagen.
4. El algoritmo de reconstrucción funciona adecuadamente ya que nos permite observar, como el sistema simulado registra los datos de la información recabada a partir de los muones que pasan por el multi-sistema de cuatro RPC.
5. La simulación muestra congruencia con la reconstrucción de la imagen de la fuente. La imagen 3D de Geant4 ayuda a verificar las distribuciones angulares de la fuente y las partículas simuladas.
6. Este sistema puede ser adaptado y utilizado para radiografía y tomografía de muones con diferentes aplicaciones para reconstrucción de imágenes.

Gracias por su atención

Referencias

- [1] Bonomi, G., Checchia, P., D'Errico, M., Pagano, D., & Saracino, G. (2020). Applications of cosmic-ray muons. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 112, 103768.
[2] Bonechi, L., D'Alessandro, R., & Giammanco, A. (2020). Atmospheric muons as an imaging tool. *Reviews in Physics*, 5, 100038.
- [3] Procureur, S. (2018). Muon imaging: Principles, technologies and applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 878, 169-179.
[4] Pacini, A. A. (2016). Cosmic rays: bringing messages from the sky to the Earth's surface. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39.

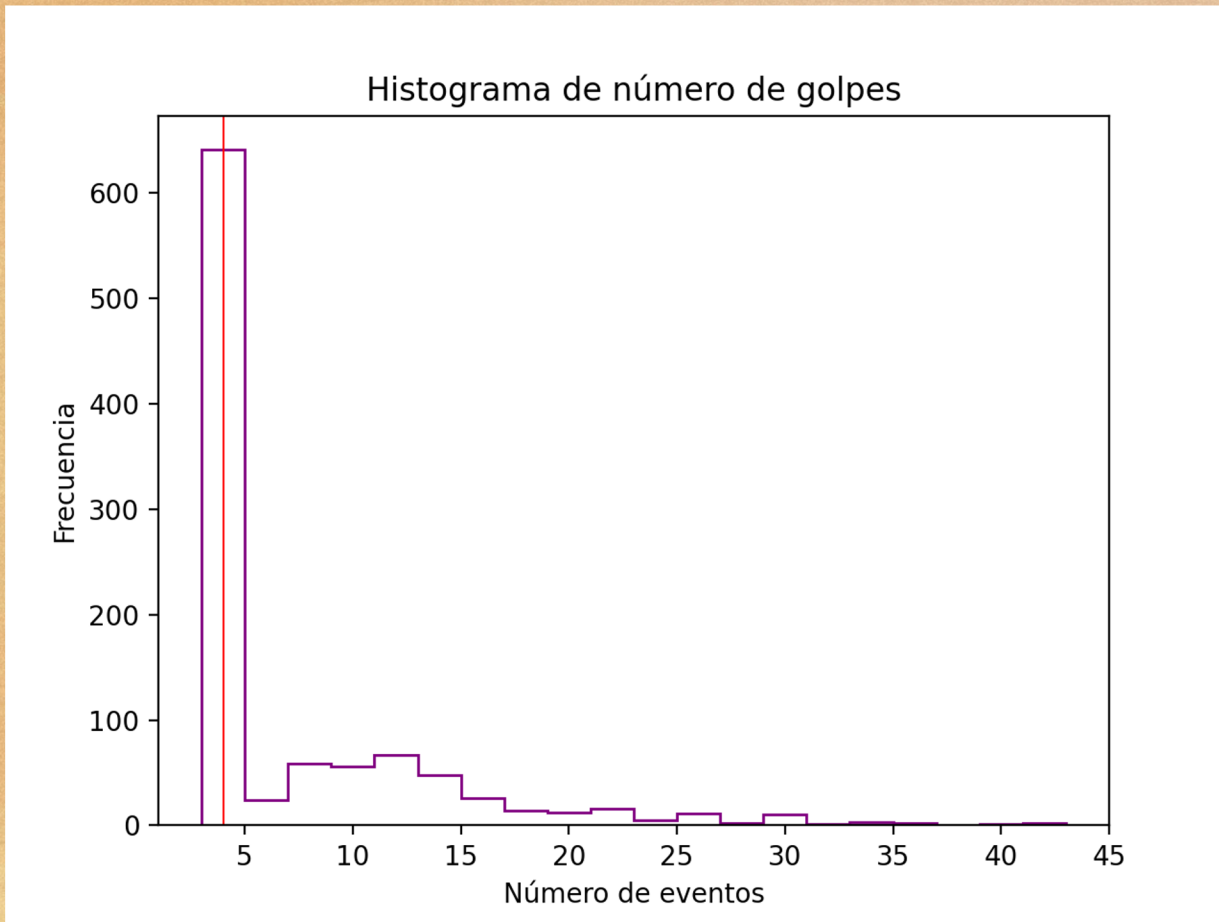


Fig. Histogramas de número de golpes.

- Sucesión de golpes para eventos registrados.