

Heavy Neutral Leptons

Reunión de Grupo: Semana 09/01/2022-12/01/2023

Luis Pelegrina Gutiérrez

Modelo HNL

- Extensión del modelo estándar que añade un nuevo neutrino masivo dextrógiro (N)
- N da masa al neutrino del ME a partir de diferentes mecanismos (See-Saw)
- Características:
 - La masa de N no está constreñida
 - N puede ser de Majorana o de Dirac
 - N no produce oscilaciones nuevas con los neutrinos del ME

Standard mixing

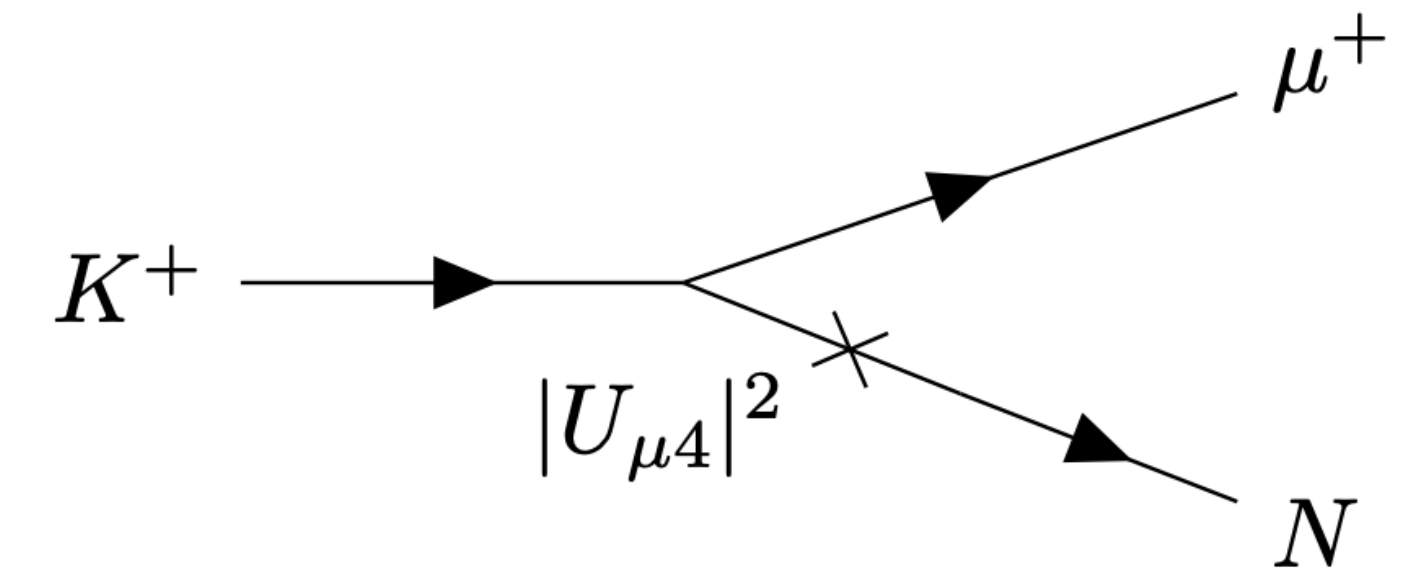
$$U_{PMNS}^{Extended} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} & U_{e4} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} & U_{\mu4} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} & U_{\tau4} \\ U_{41} & U_{42} & U_{43} & U_{44} \end{pmatrix}$$

(Small)
New
physics

$$\nu_{\alpha} = \sum_i U_{\alpha i} \nu_i + U_{\alpha 4} N$$

Producción de HNL:

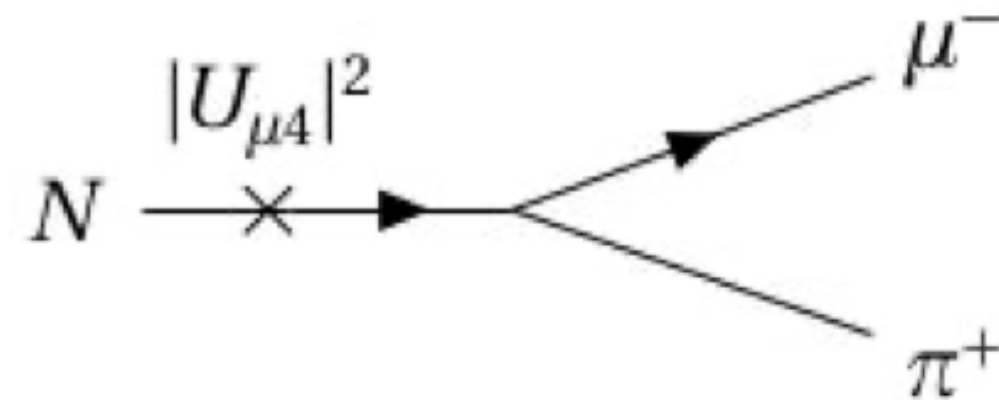
- Productos de desintegración de partículas producidas en el blanco de BNB
- Estudios anteriores se centran en los N producidos por el decaimiento de un K^+
- En SBND se puede restringir la existencia de HNL con masas inferiores a la masa del Kaon (493 MeV)



Trabajos anteriores HNL en SBND

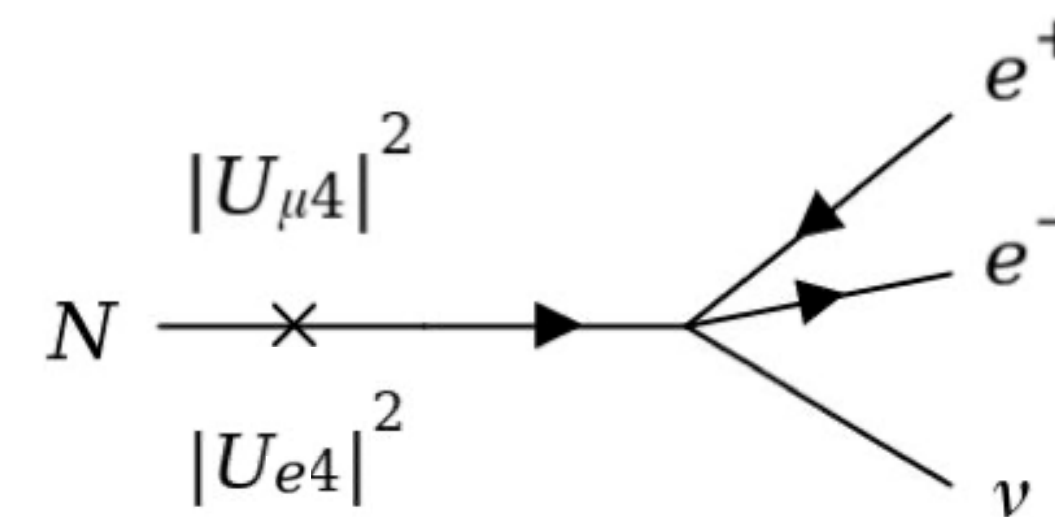
Lan Nguyen, canal $\mu^-\pi^+$:

- Rango de masas permitido:
[245,388] MeV



Rodrigo Alvarez, canal $e^-e^+\nu$

- Rango de masas permitido inferior a 245 MeV



Ambos empezaron a trabajar en 2022

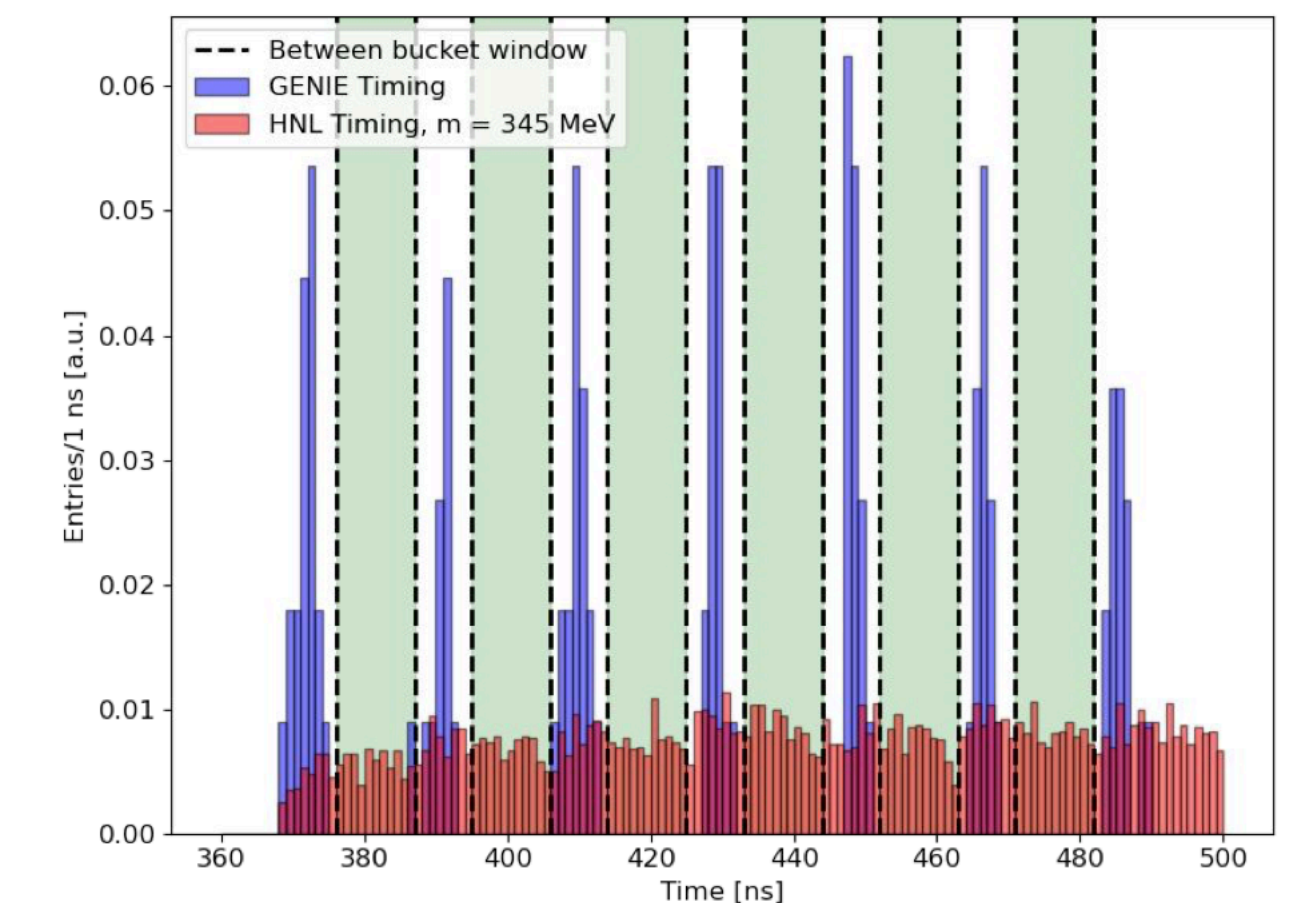
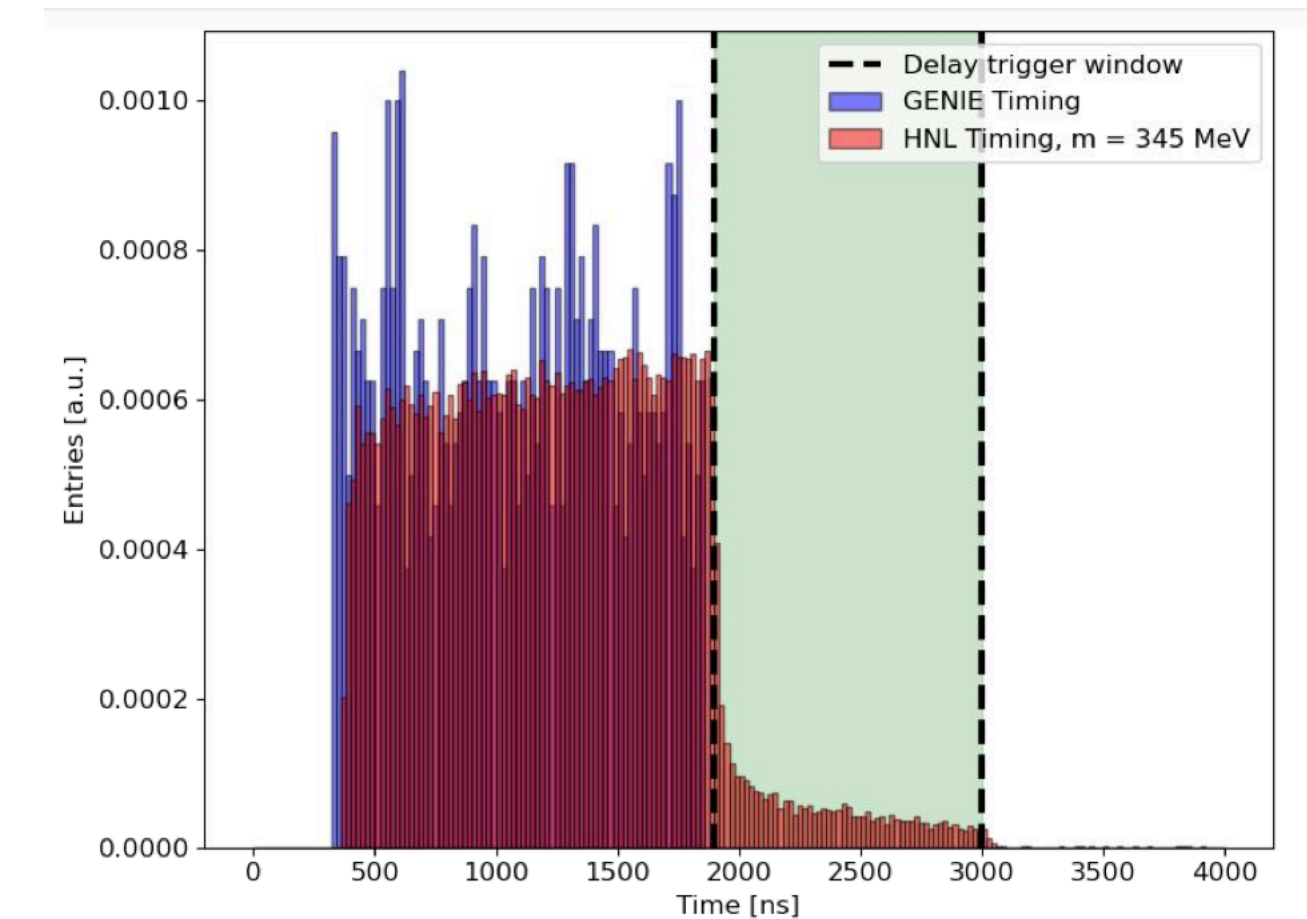
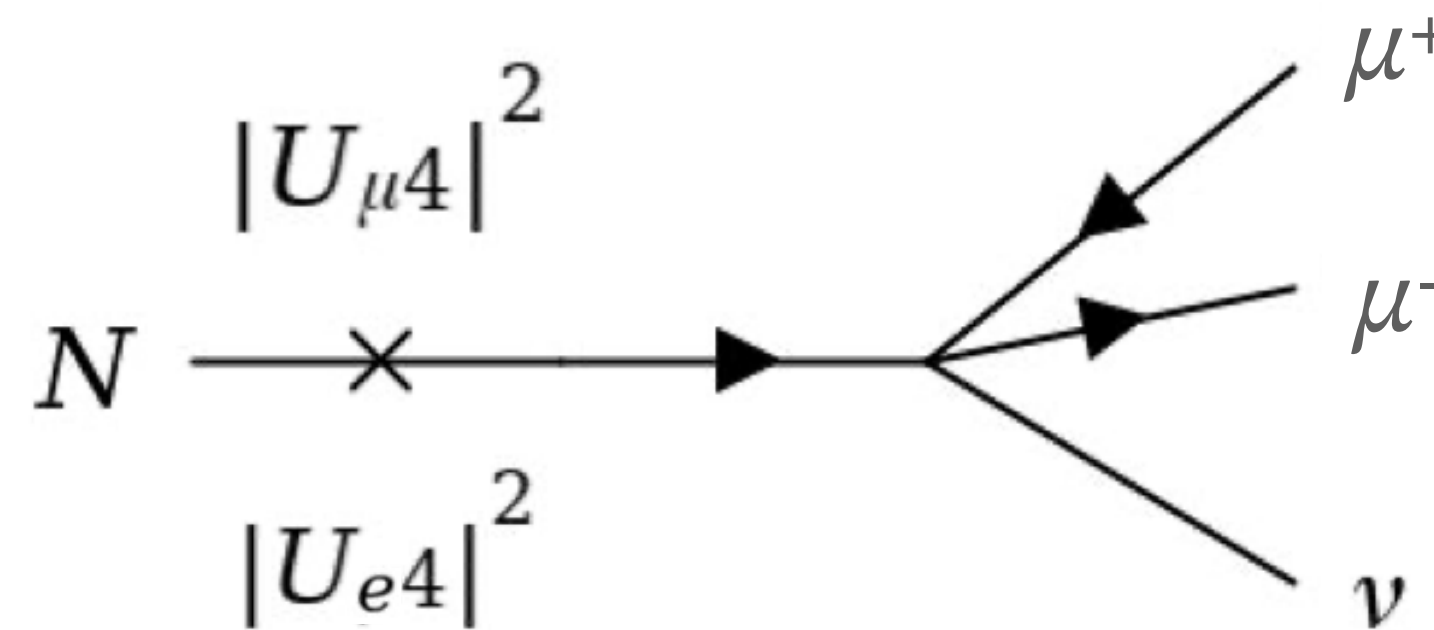
Canal $\nu\mu^-\mu^+$:

Motivos de estudio:

- Rango de masas permitido hasta los 211 MeV
- Señal parecida al canal $\mu^-\pi$

Características de la señal:

- Dos muones con vértice común
- Señal retrasada respecto a los eventos producidos por neutrinos del modelo estándar
- Los HNL llegan más colimados respecto a la dirección del meson padre (menos momento transverso)

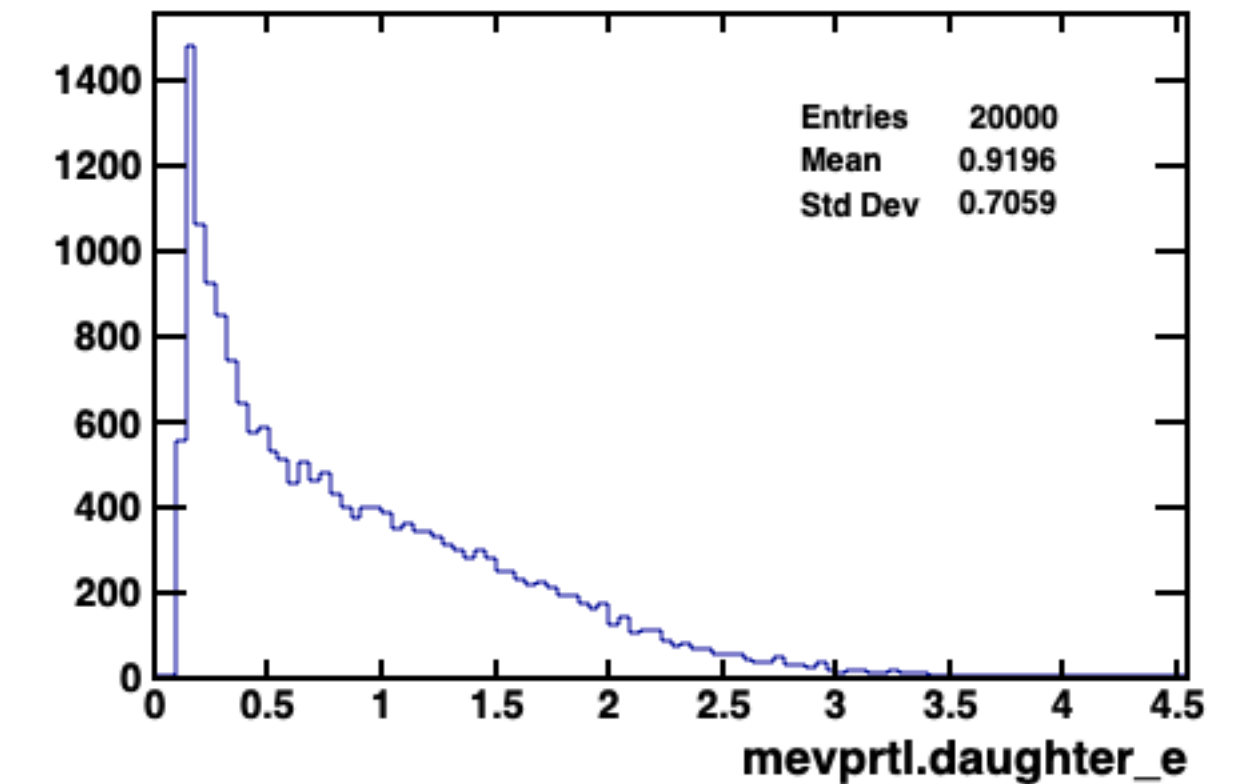


Doc:28776-v1:HNL time of flight implementation, Vu Chi Lan Nguyen

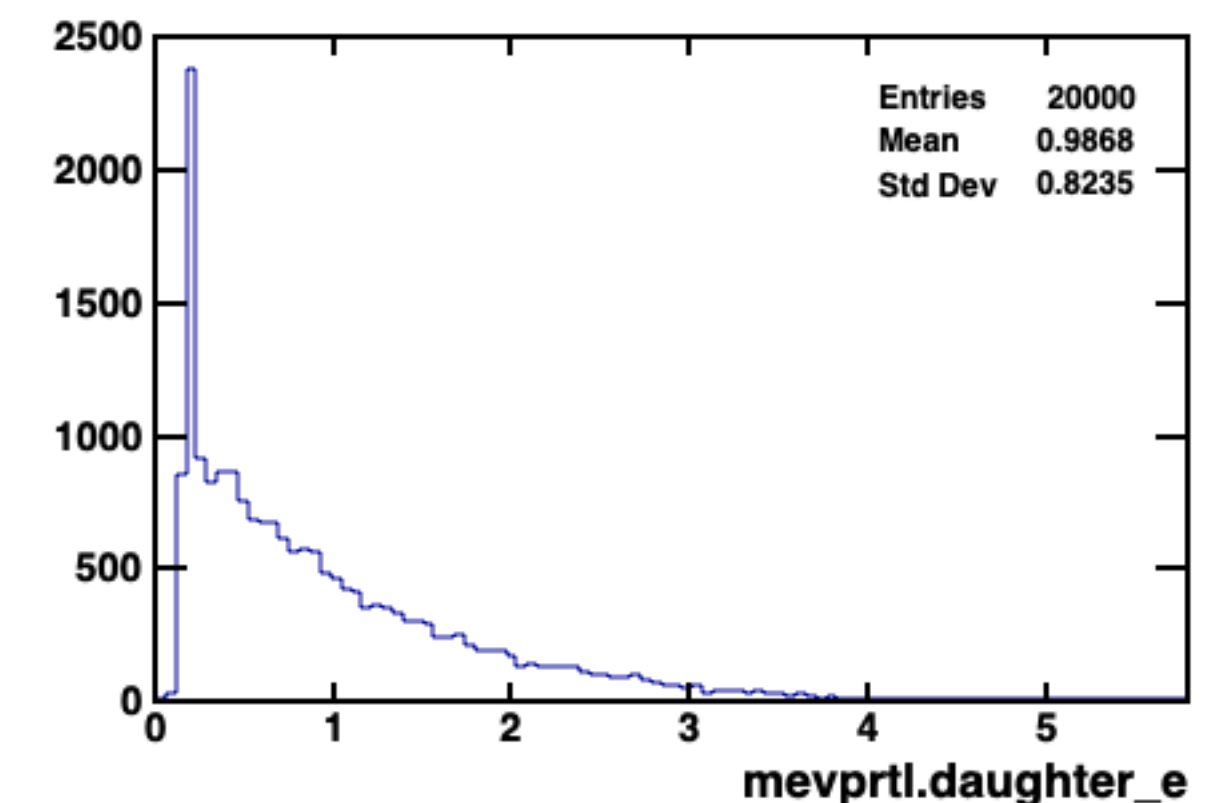
Primer paso: Estudio de la eficiencia de detección de un muon

Módulos empleados y condiciones iniciales

- Generación → Single Particle Gun
- Reconstrucción → Pandora
- Condiciones iniciales:
 - $(x,y,z) = (-100,0,150)$
 - $(p_x,p_y,p_z) = (0,0,p) \rightarrow$ Propagación en dirección paralela al plano de colección y perpendicular al de los hilos
 - p distribuido uniformemente entre 0 y 2 GeV → Energía distribuida entre 0 y 2 GeV



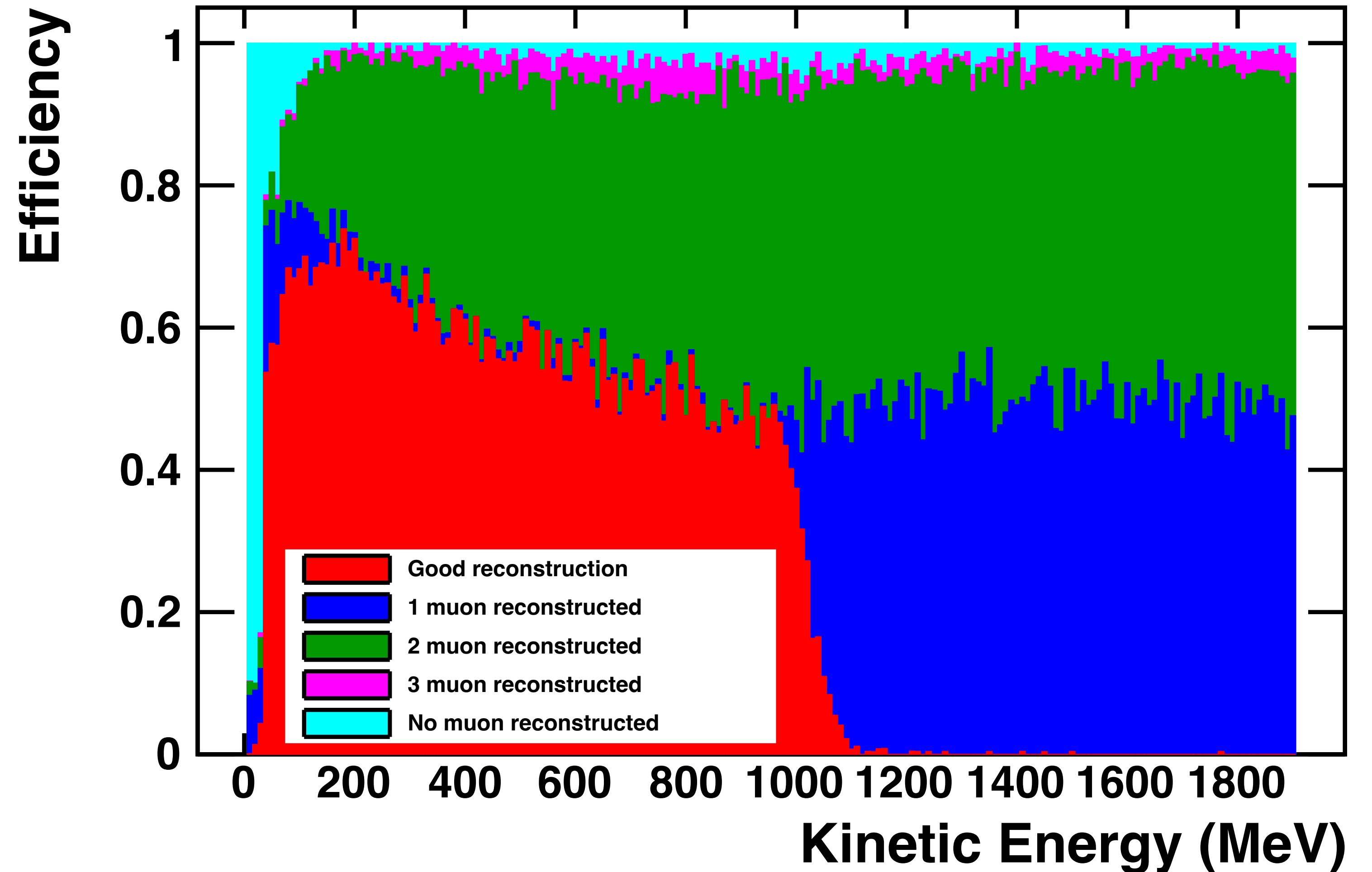
$$M_N = 250 \text{ MeV} \quad U_{\mu 4} = 10^{-7}$$



$$M_N = 375 \text{ MeV} \quad U_{\mu 4} = 10^{-7}$$

Resultados:

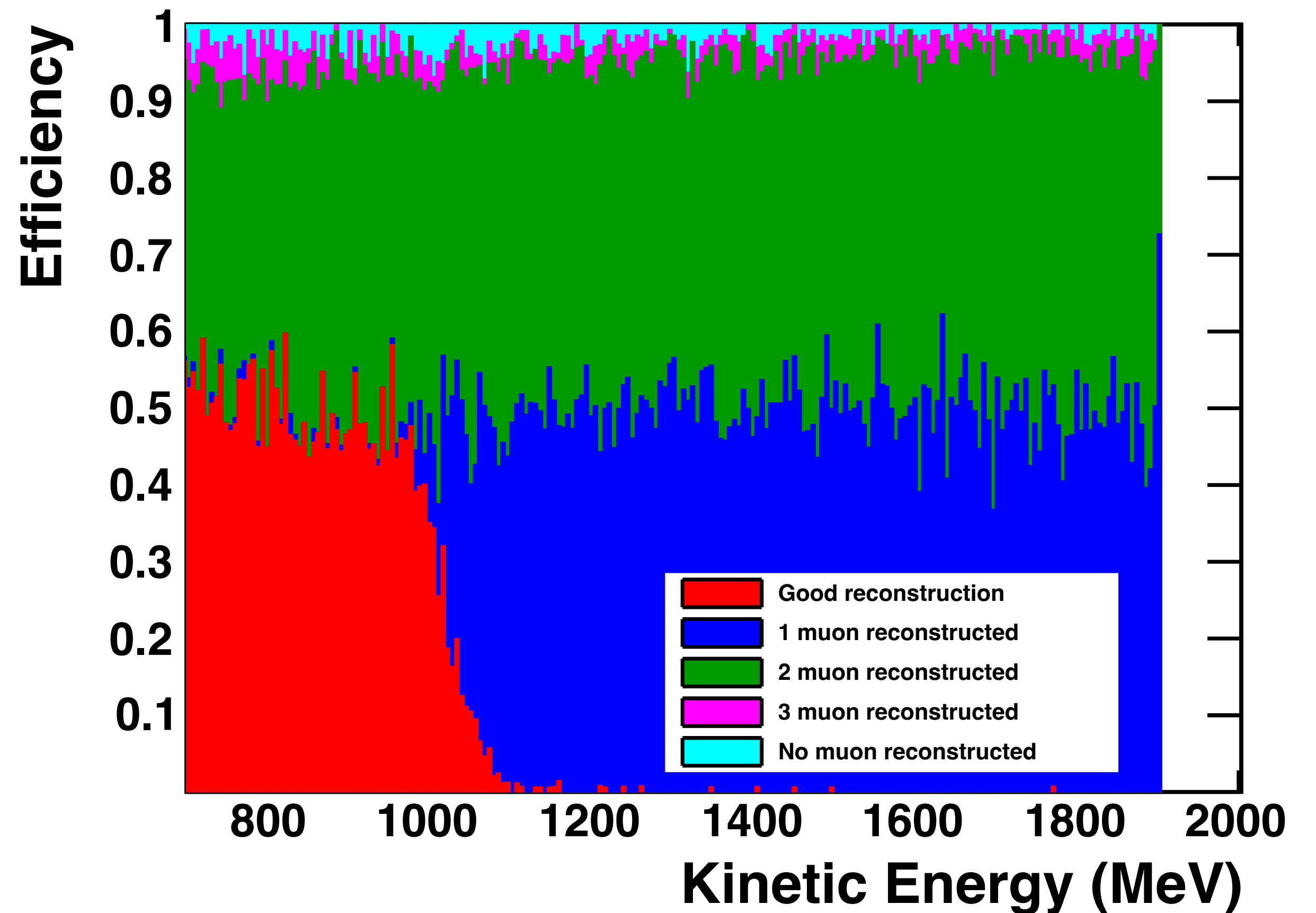
- Se considera una buena reconstrucción si la traza coincide con la verdadera con dentro del 20%
- 3 zonas de interés:
 - Zona 1, alta energía:
 - $K_0 > 700 \text{ MeV}$
 - $L > 300 \text{ cm}$
 - Zona 2:
 - $100 \text{ MeV} < K_0 < 700 \text{ MeV}$
 - $42 \text{ cm} < L < 300 \text{ cm}$
 - Zona 3, baja energía:
 - $K_0 < 105 \text{ MeV}$
 - $L < 42 \text{ cm}$



Zona 1:

Características:

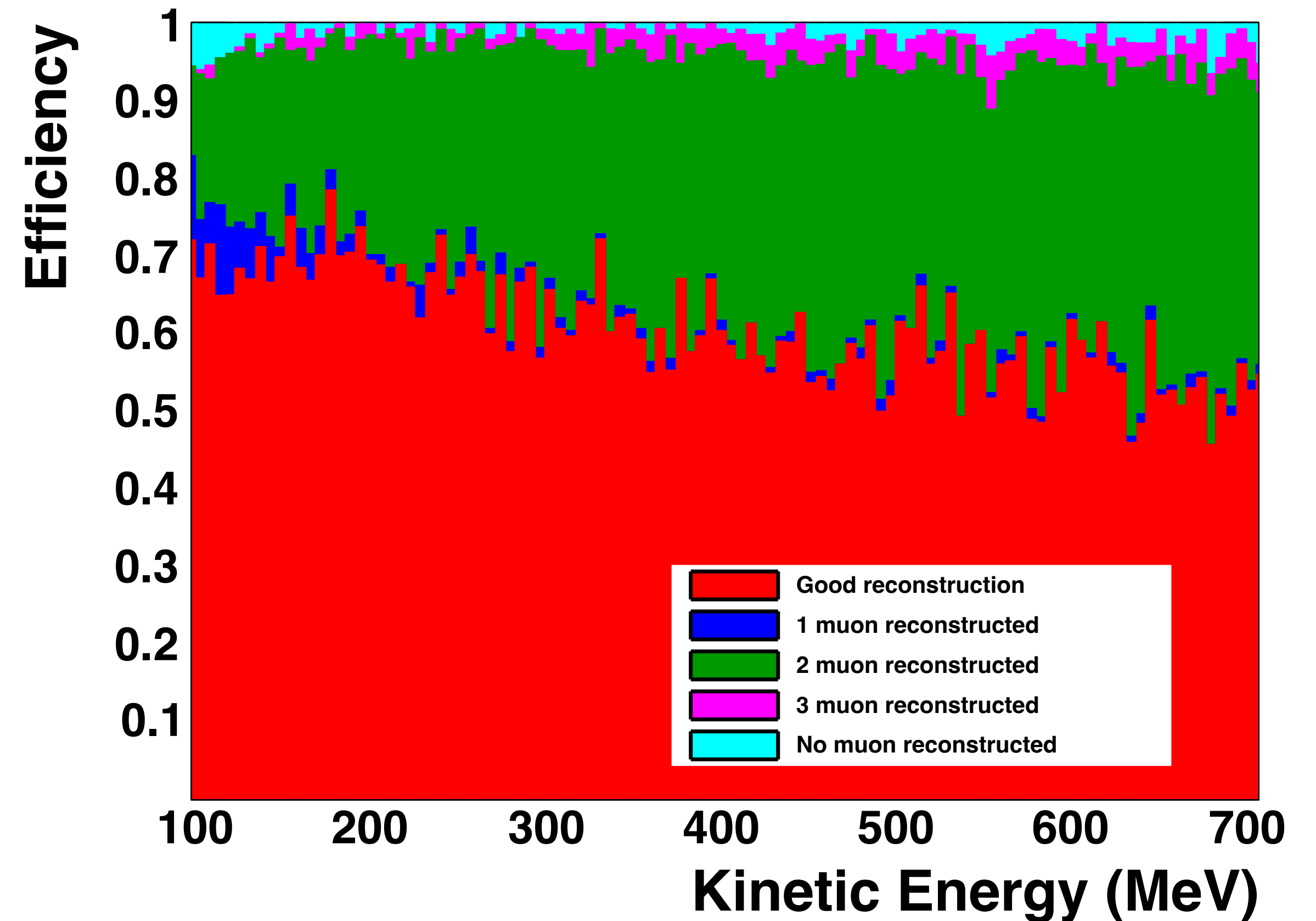
- $K_0 > 700 \text{ MeV}$
- $L > 300 \text{ cm}$
- En esta zona los muones escapan del detector → Pandora reconstruye su traza como la máxima posible dentro del volumen de la TPC
- Cualquier evento dentro de esta zona no se considera reconstruido correctamente



Zona 2:

Características:

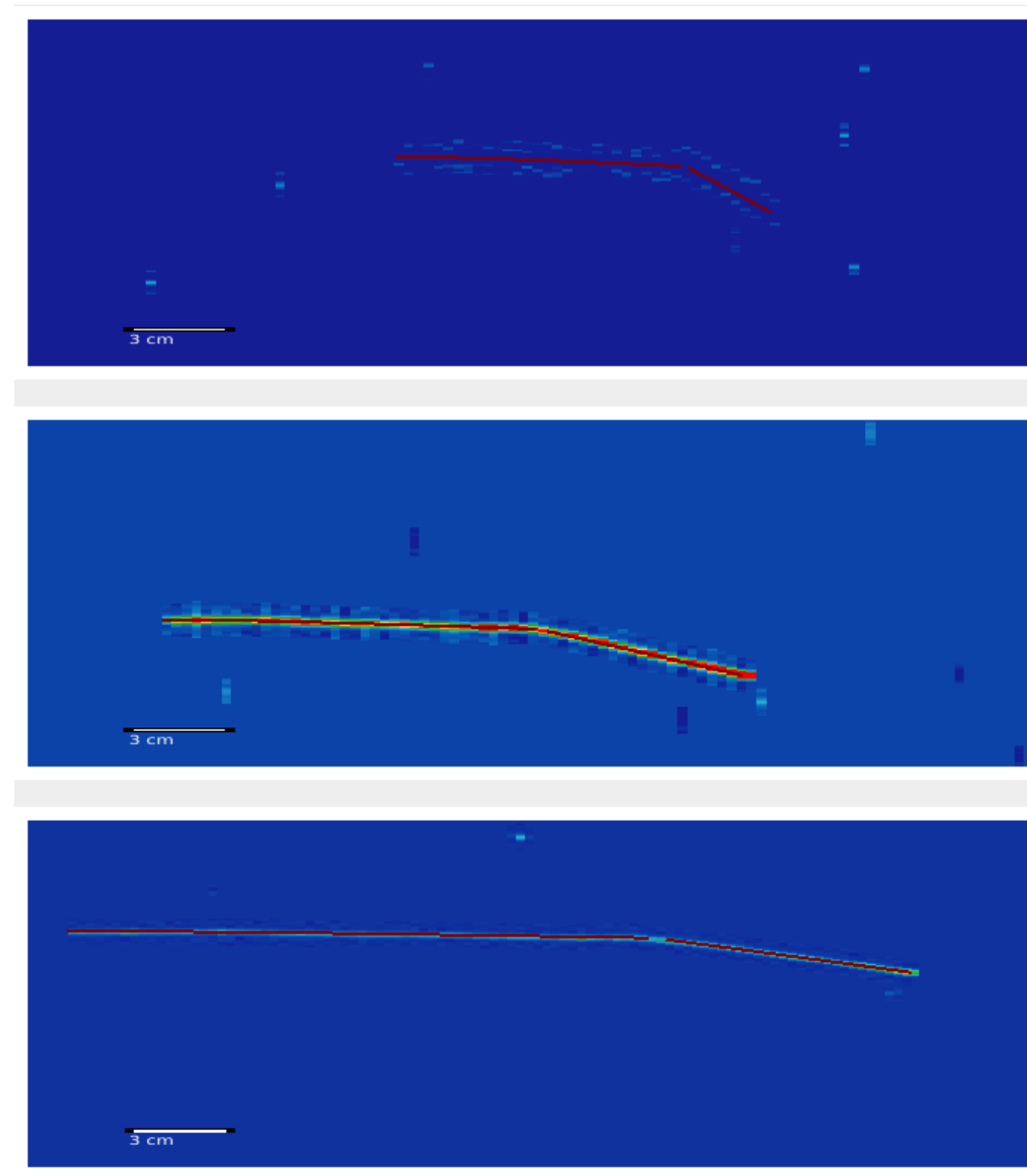
- $100 \text{ MeV} < K_0 < 700 \text{ MeV}$
- $42 \text{ cm} < L < 300 \text{ cm}$
- Muones contenidos dentro del detector
- Cuando reconstruye un solo muon se reconstruye correctamente
- Sobre un 25 % de los casos se reconstruyen dos muones
- En unos pocos casos se reconstruyen tres muones



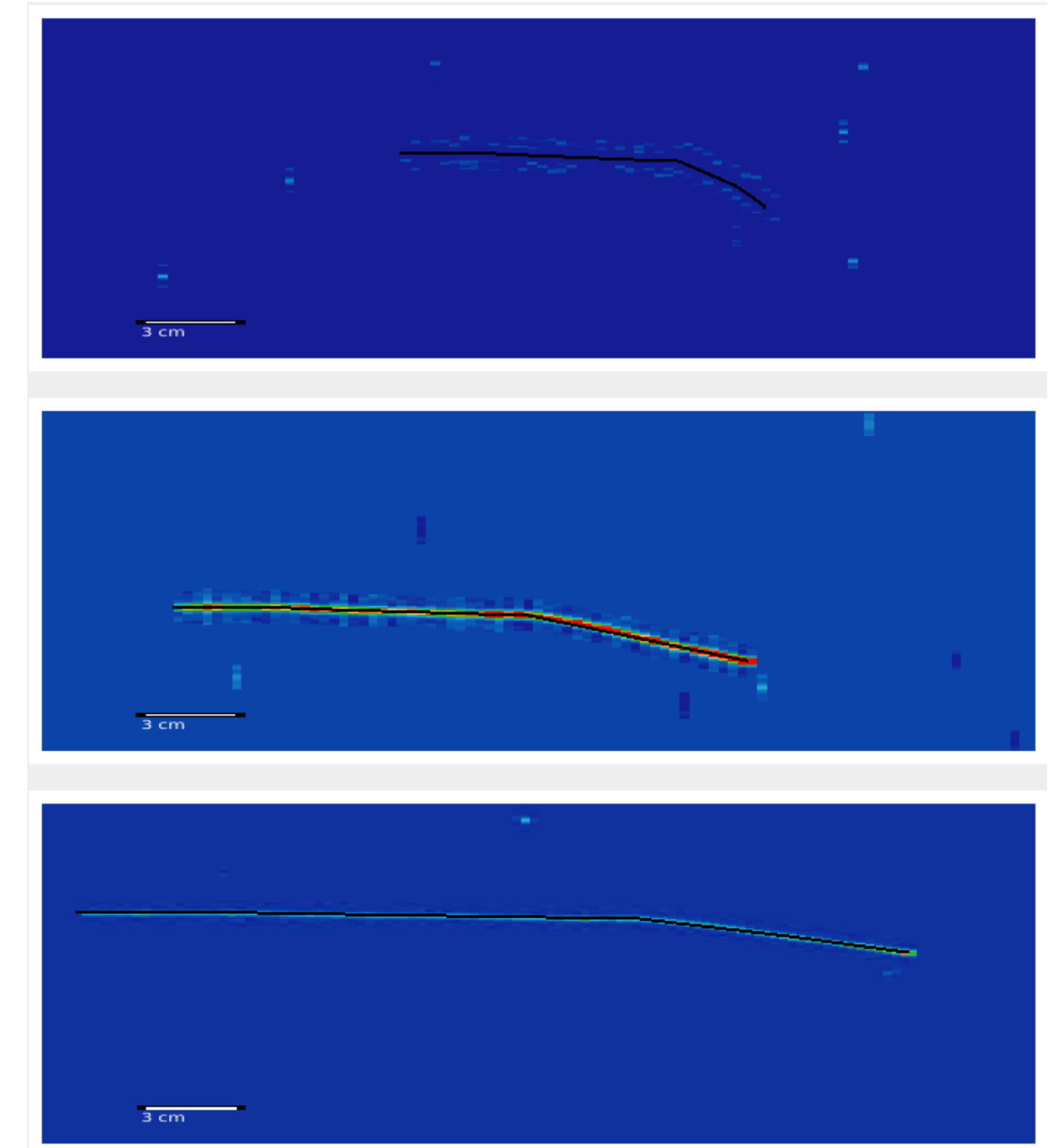
Zona 2:

Reconstrucción de dos muones:

- Caso 1: Pandora divide la traza del muón en dos partes (Producida principalmente por el desvío del muón)
- Caso 2: Pandora crea un muon sin traza ni energía cinética junto con un muón con traza



Caso 1: Reco

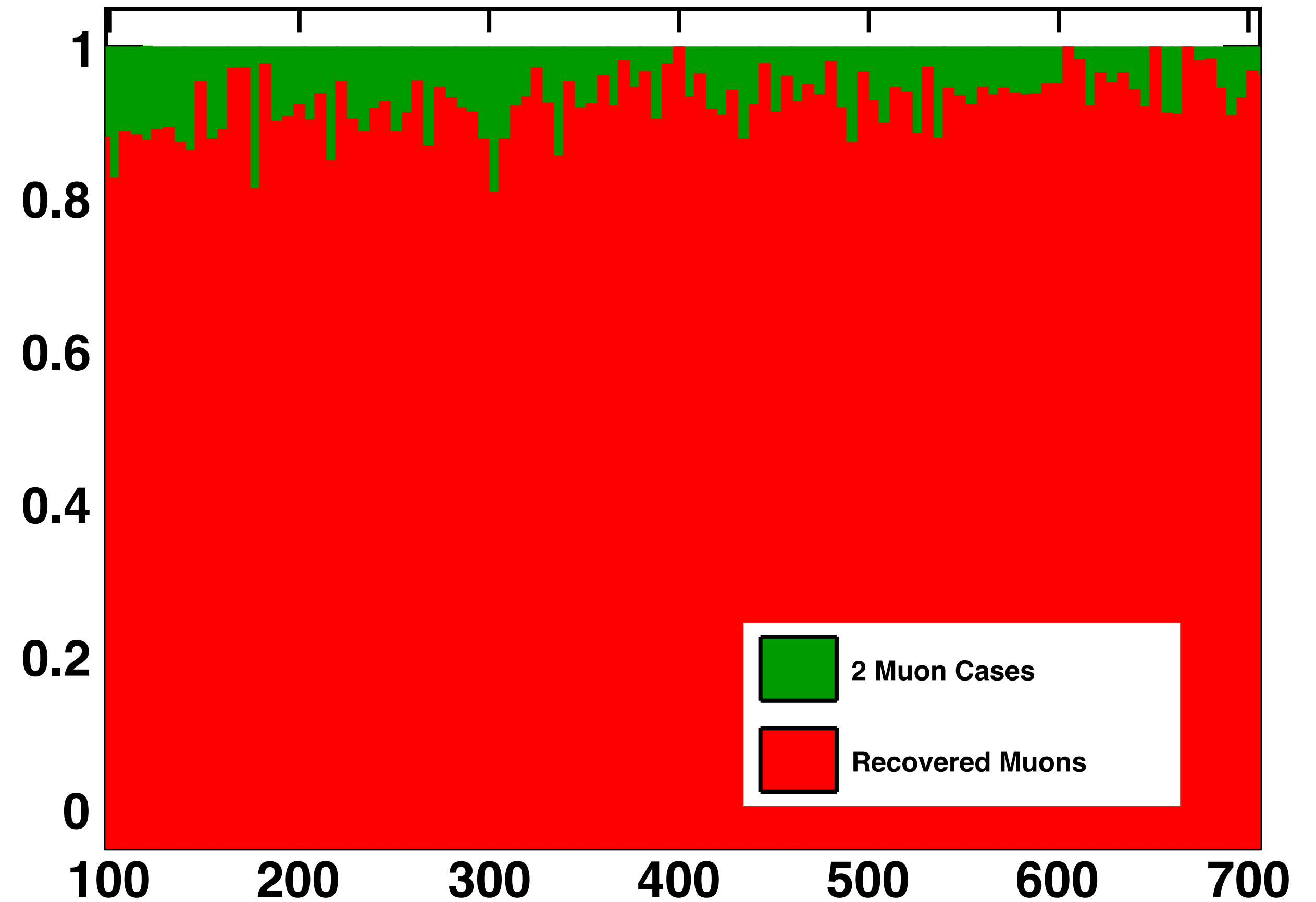


Caso 1: True

Zona 3:

Reconstrucción de dos muones, solución:

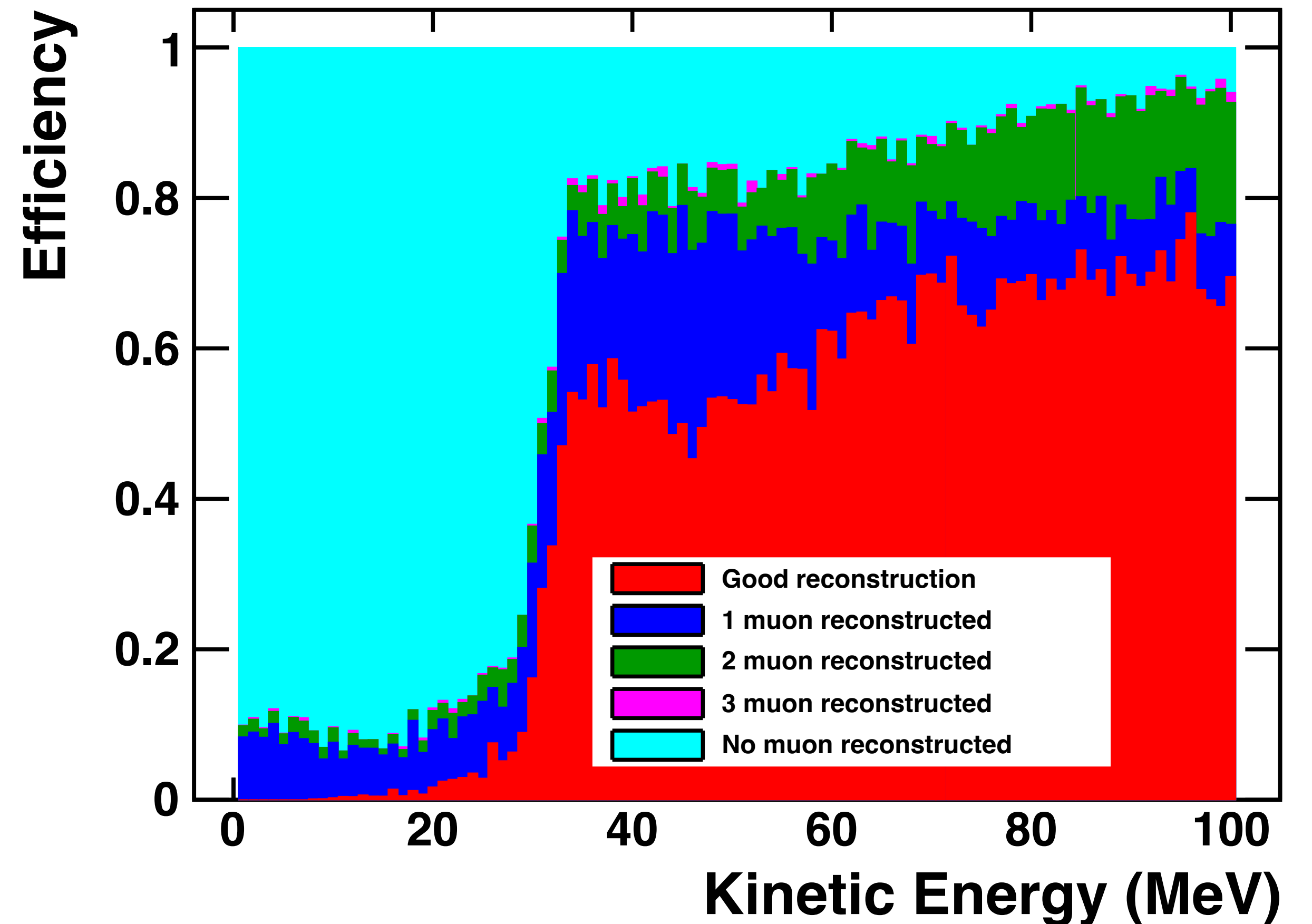
- Se puede aplicar la misma solución que en la zona 2
- Se recuperan en torno al 90% de los fallos



Zona 3:

Características:

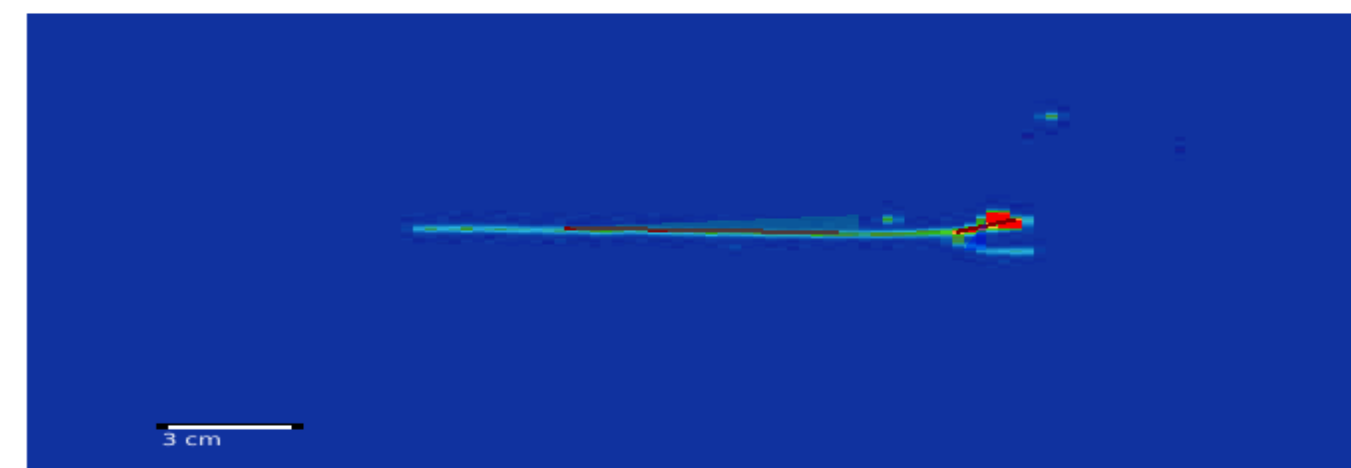
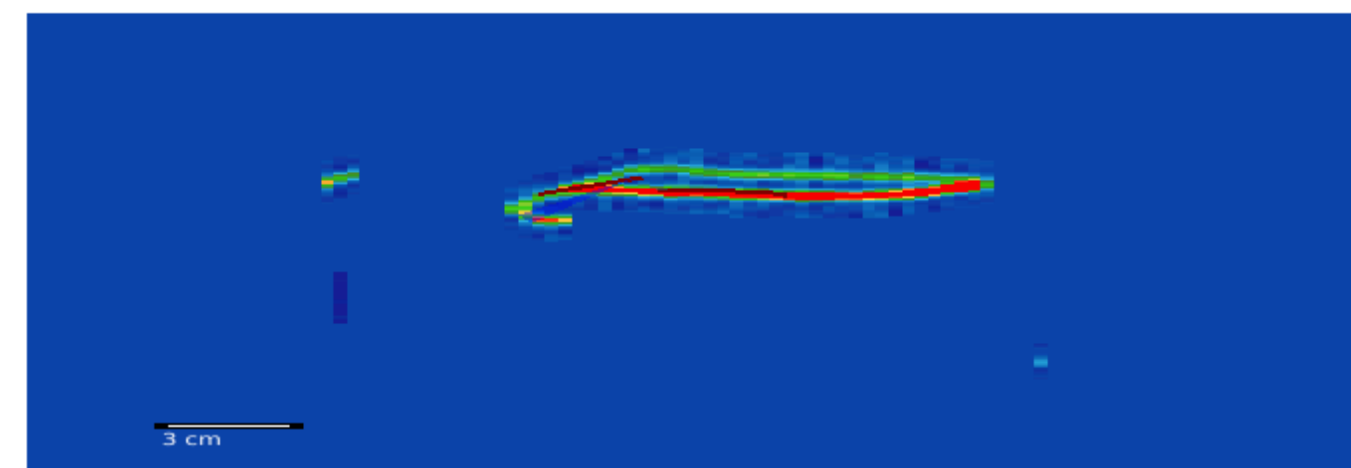
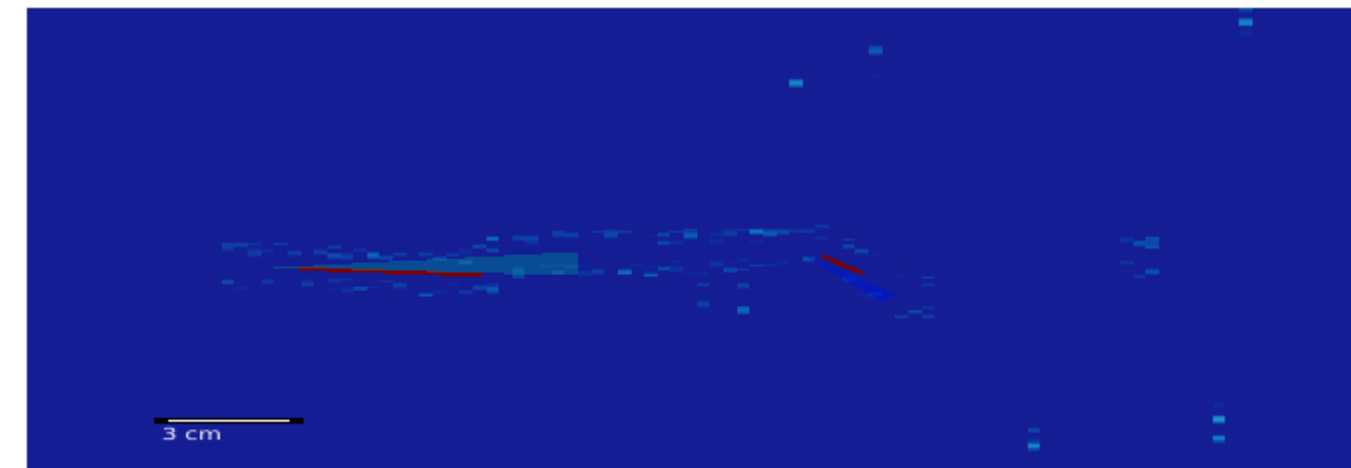
- $K_0 < 105 \text{ MeV}$
- $L < 42 \text{ cm}$
- Muones de baja energía con traza corta
- Contiene al limite de la resolución del detector en los planos de carga ($25 \text{ MeV} \approx 5 \text{ cm} \approx 16 \text{ hilos}$)
- Menos muones reconstruidos correctamente que en la zona 2



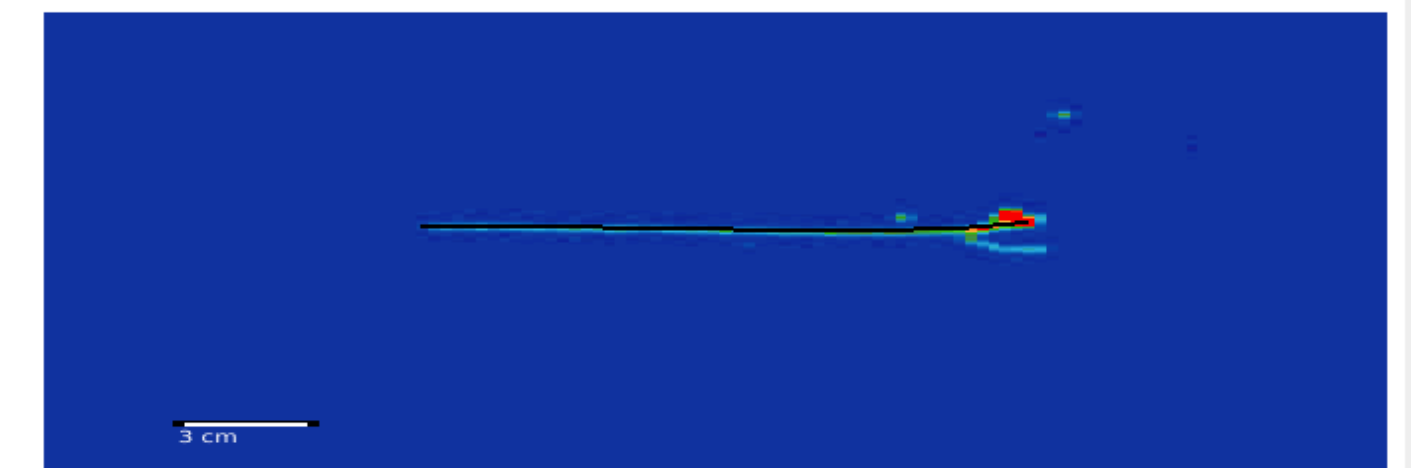
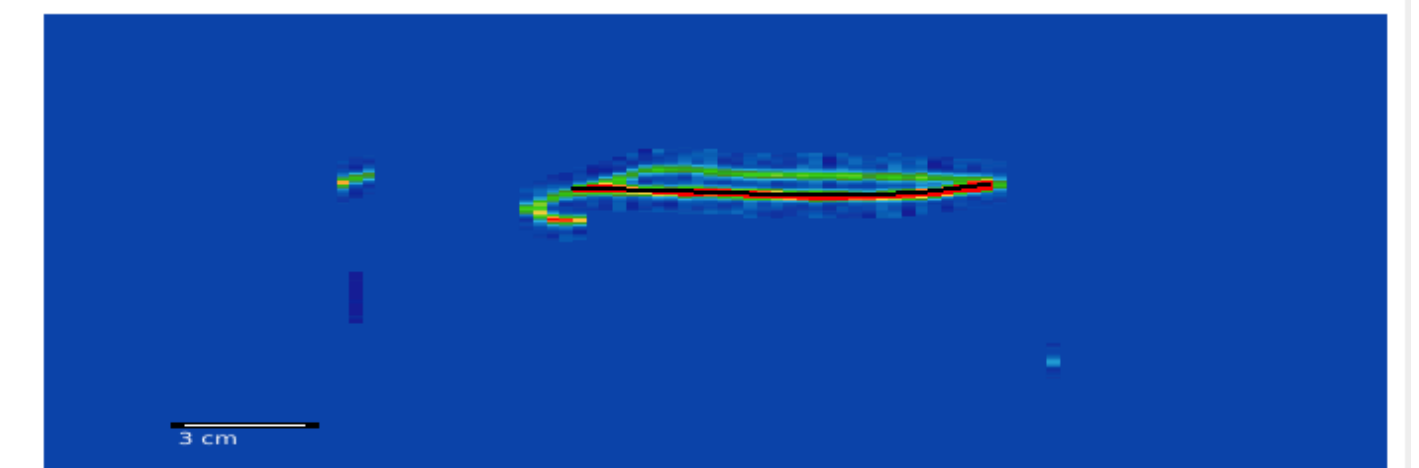
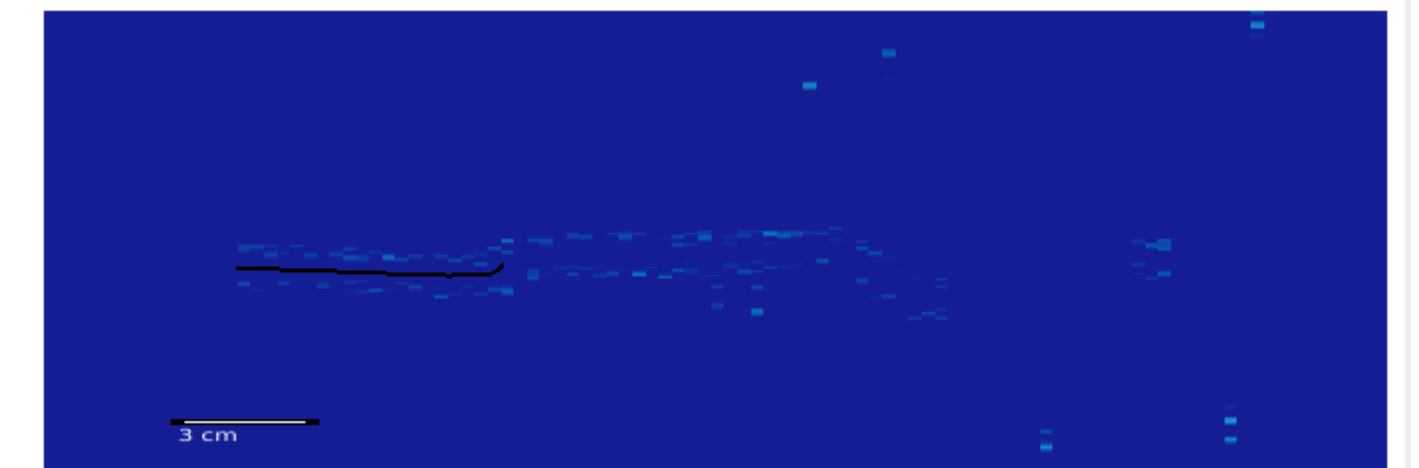
Zona 3:

Errores en la reconstrucción de un muon:

- Caso 1: Pandora reconoce la traza del muon como una cascada electronica por lo que crea un muon de momento 0 y un electrón
- Caso 2: Pandora no reconoce bien la traza y la subestima
- Caso 3: Pandora no reconoce bien la traza y la sobreestima



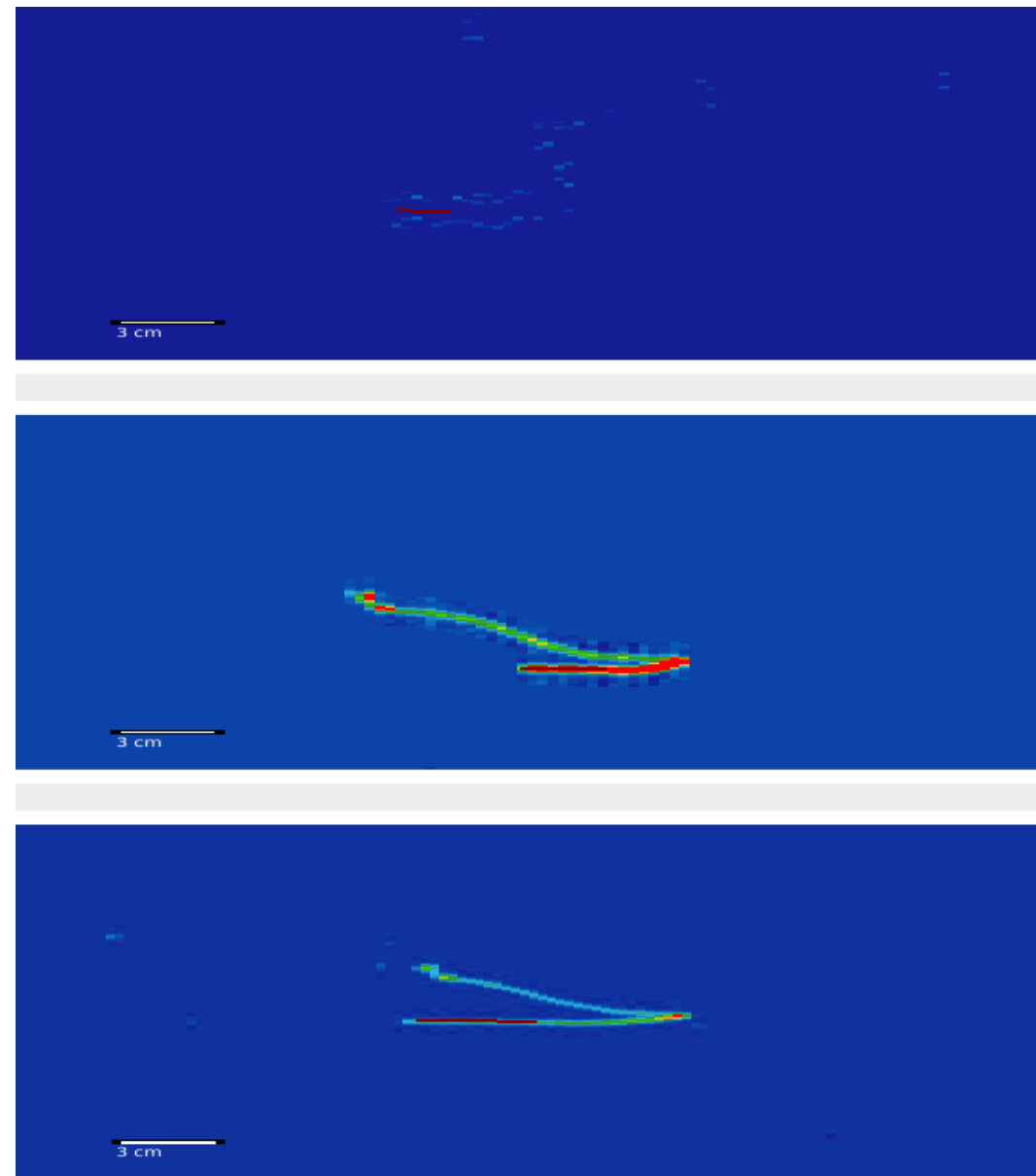
Caso 1: Reco



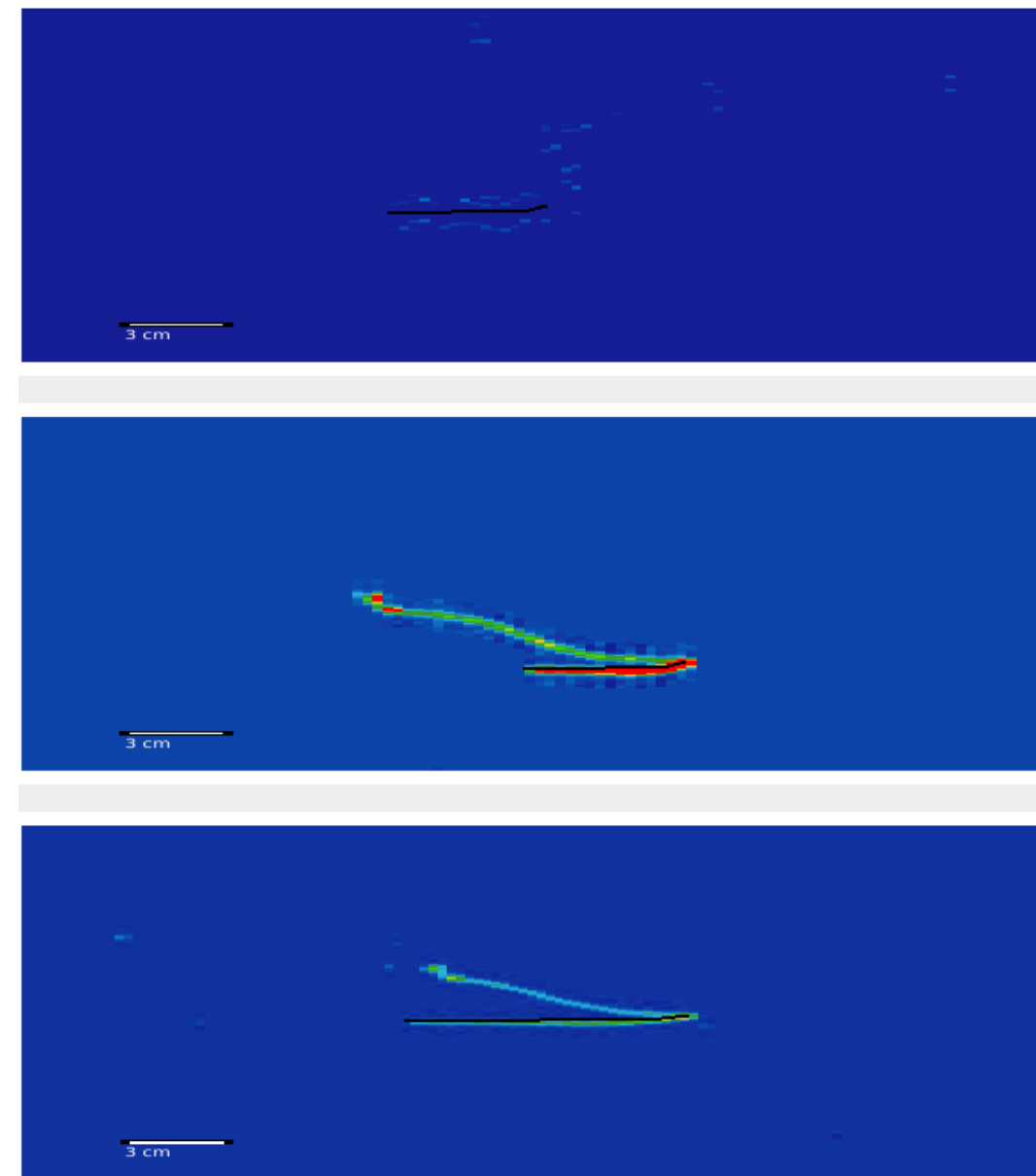
Caso 1: True

Zona 3:

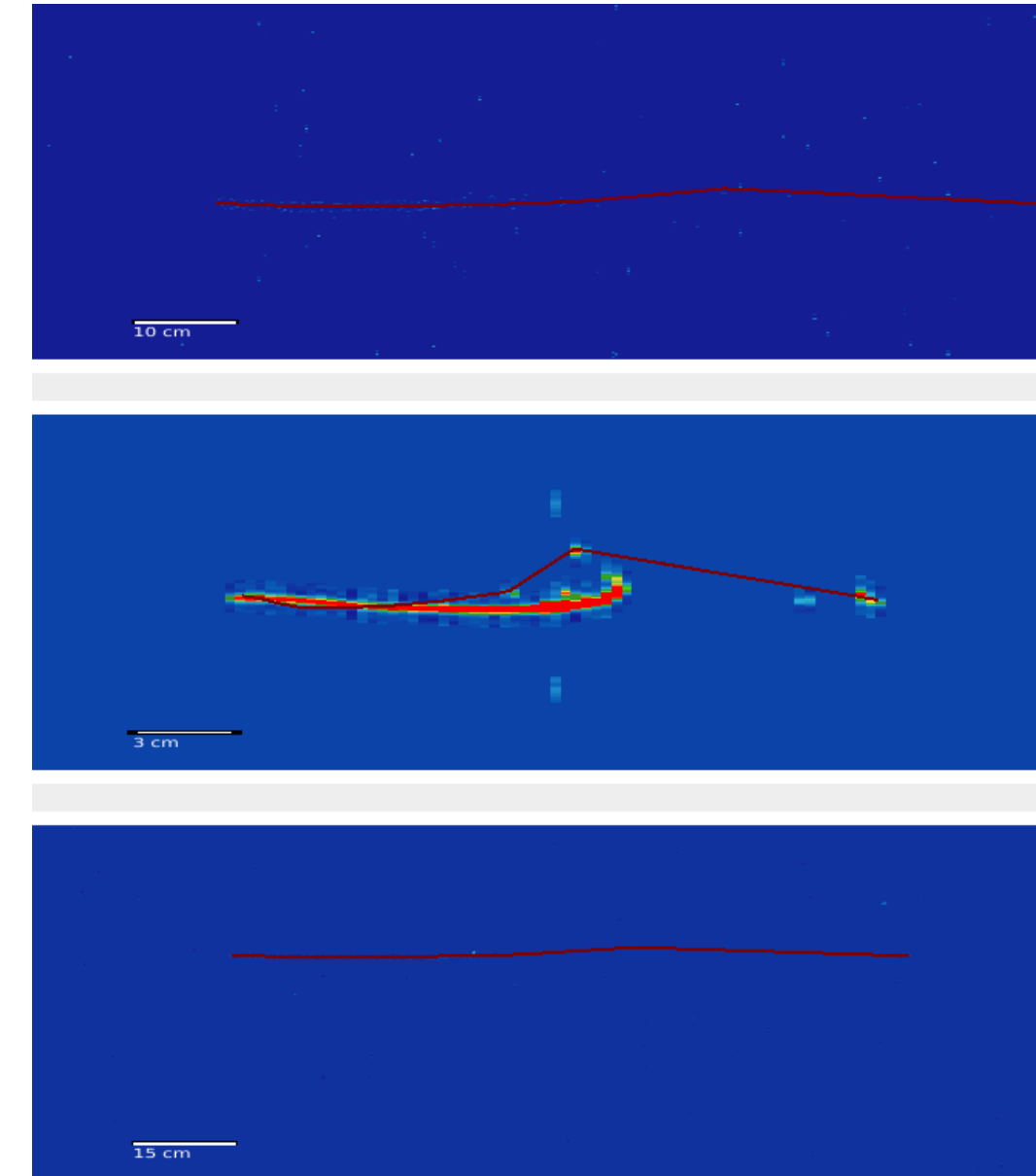
Reconstrucción de un muon:



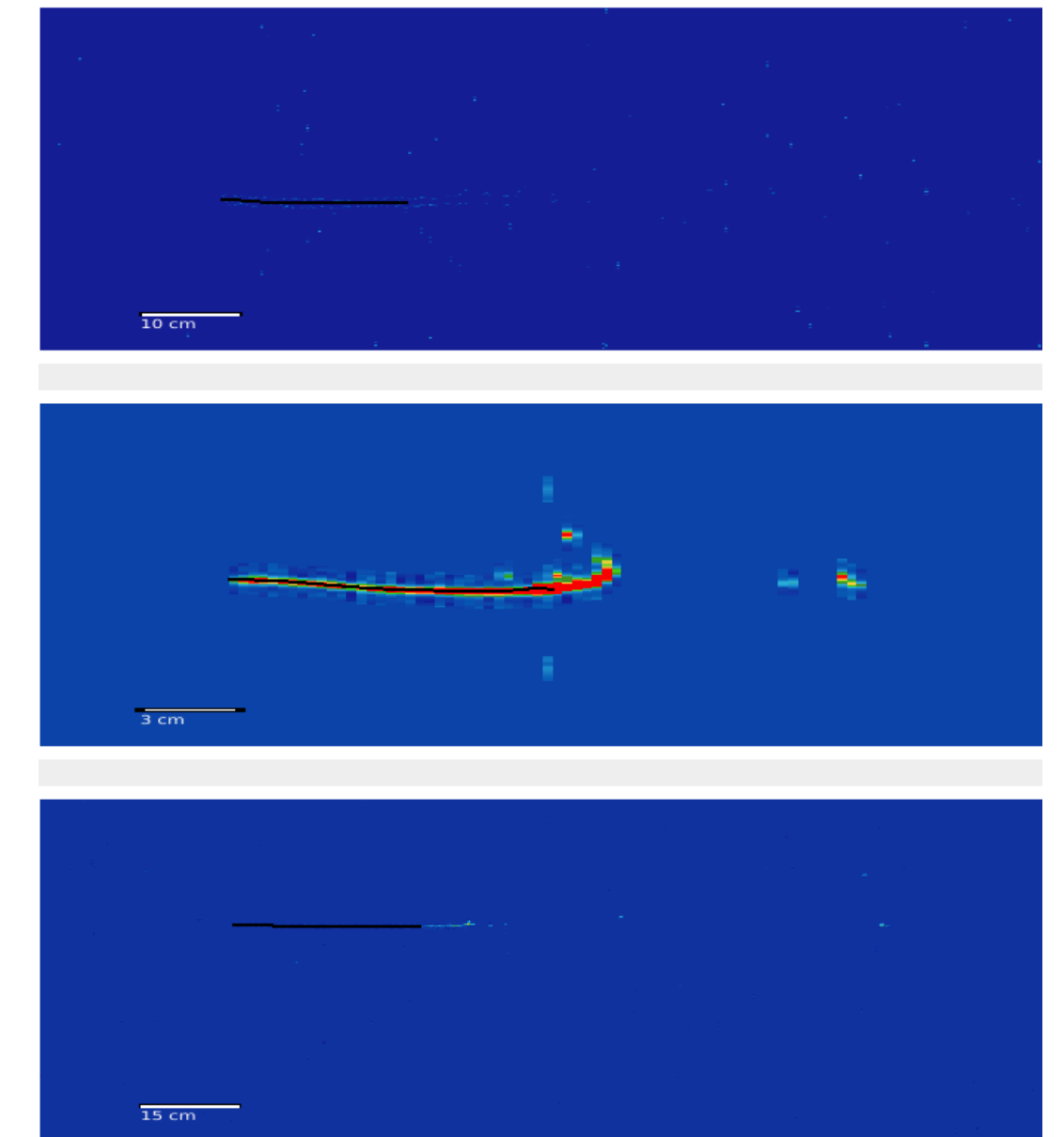
Caso 2: Reco



Caso 2: True



Caso 3: Reco



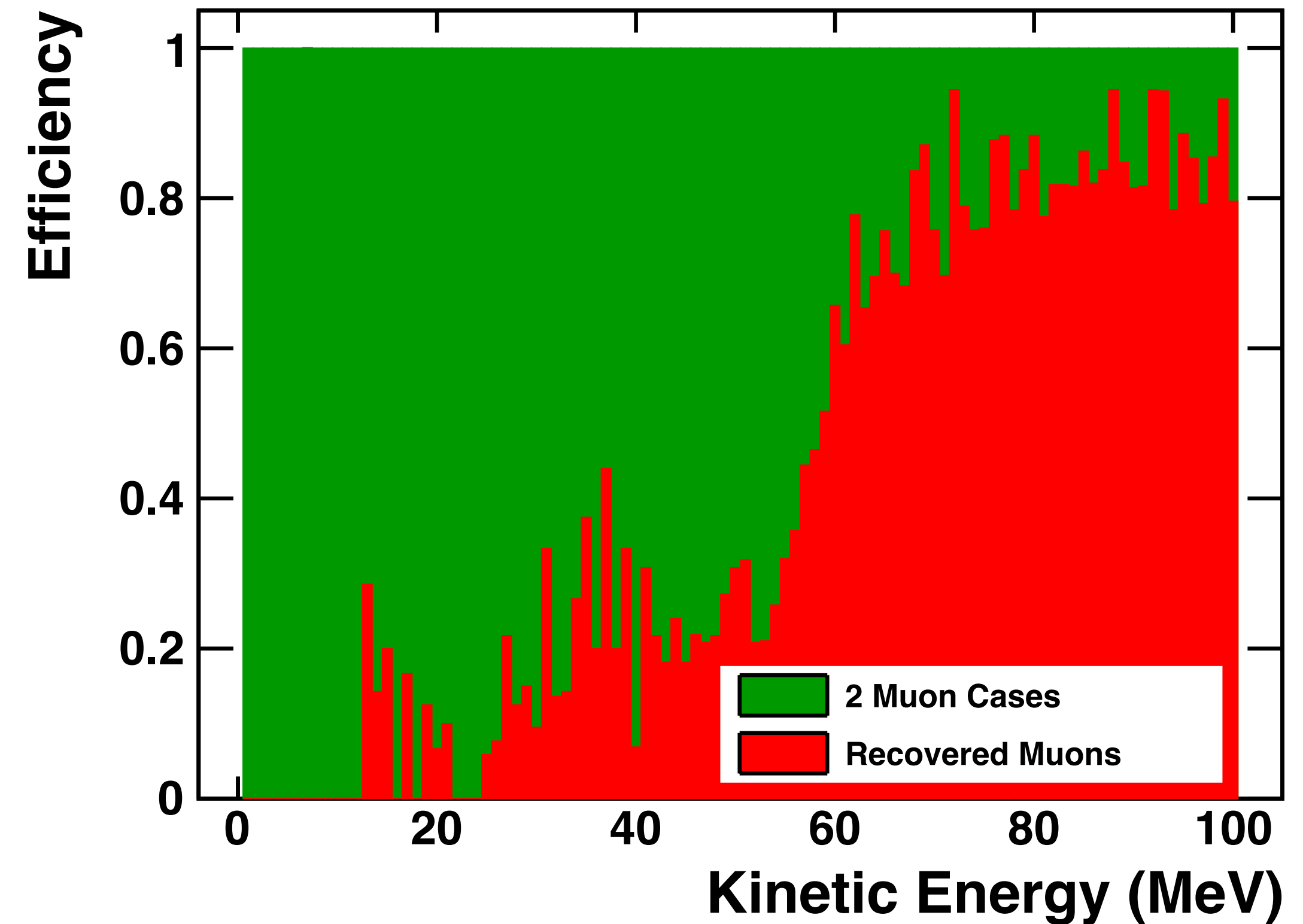
Caso 3: True

- Motivo 1: Pocas deposiciones de carga
- Motivo 2: Los muones se dispersan más al ser menos energéticos y pandora falla

Zona 2:

Reconstrucción de dos muones, solución:

- Sumar las trazas de ambos muones y someterlas al control
- Se comienzan a recuperar una mayoría de eventos sobre los $60 \text{ MeV} \approx 21 \text{ cm} \approx 70 \text{ hilos}$

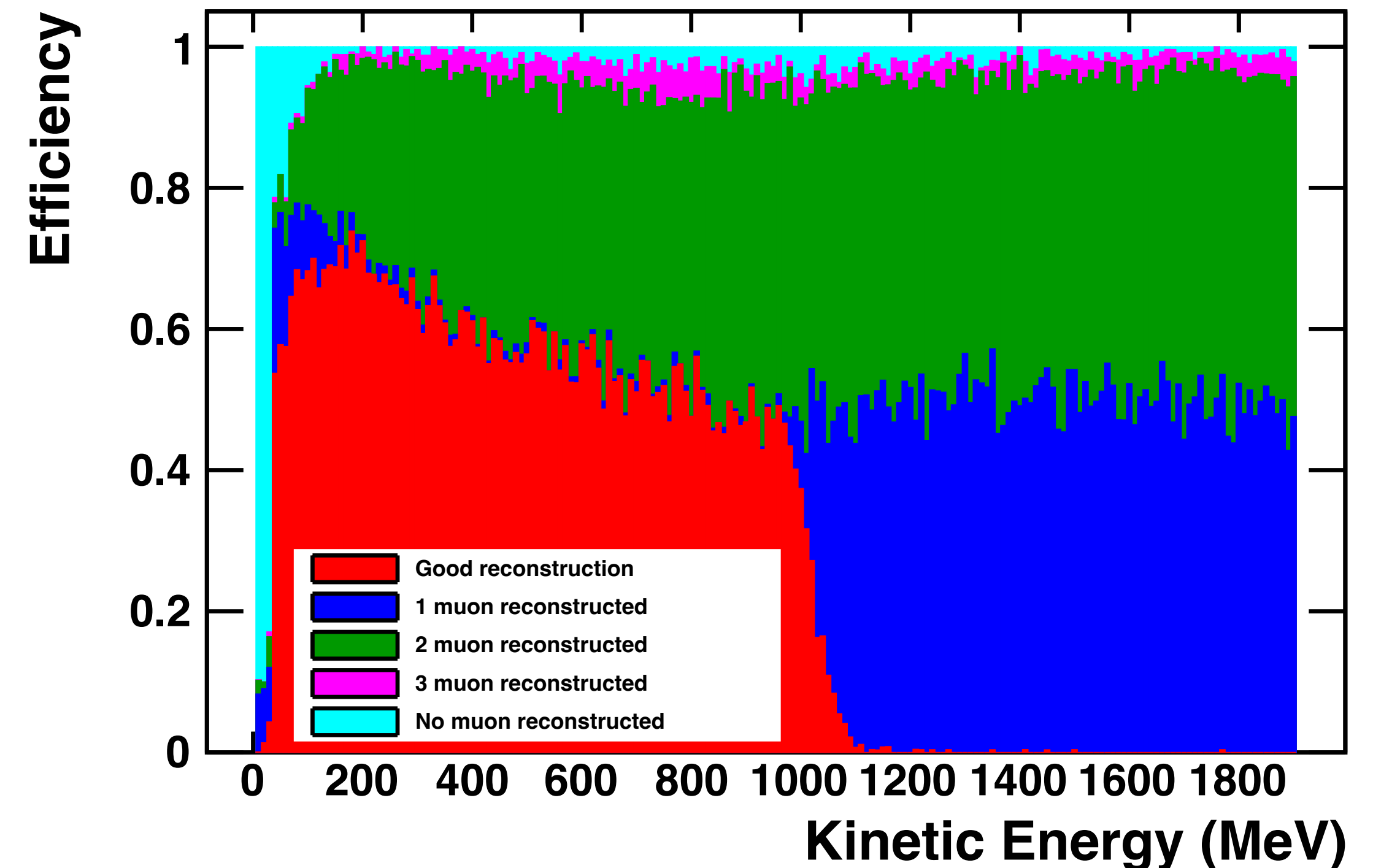


Conclusión

Buena reconstrucción en el intervalo de energías [100,700] MeV

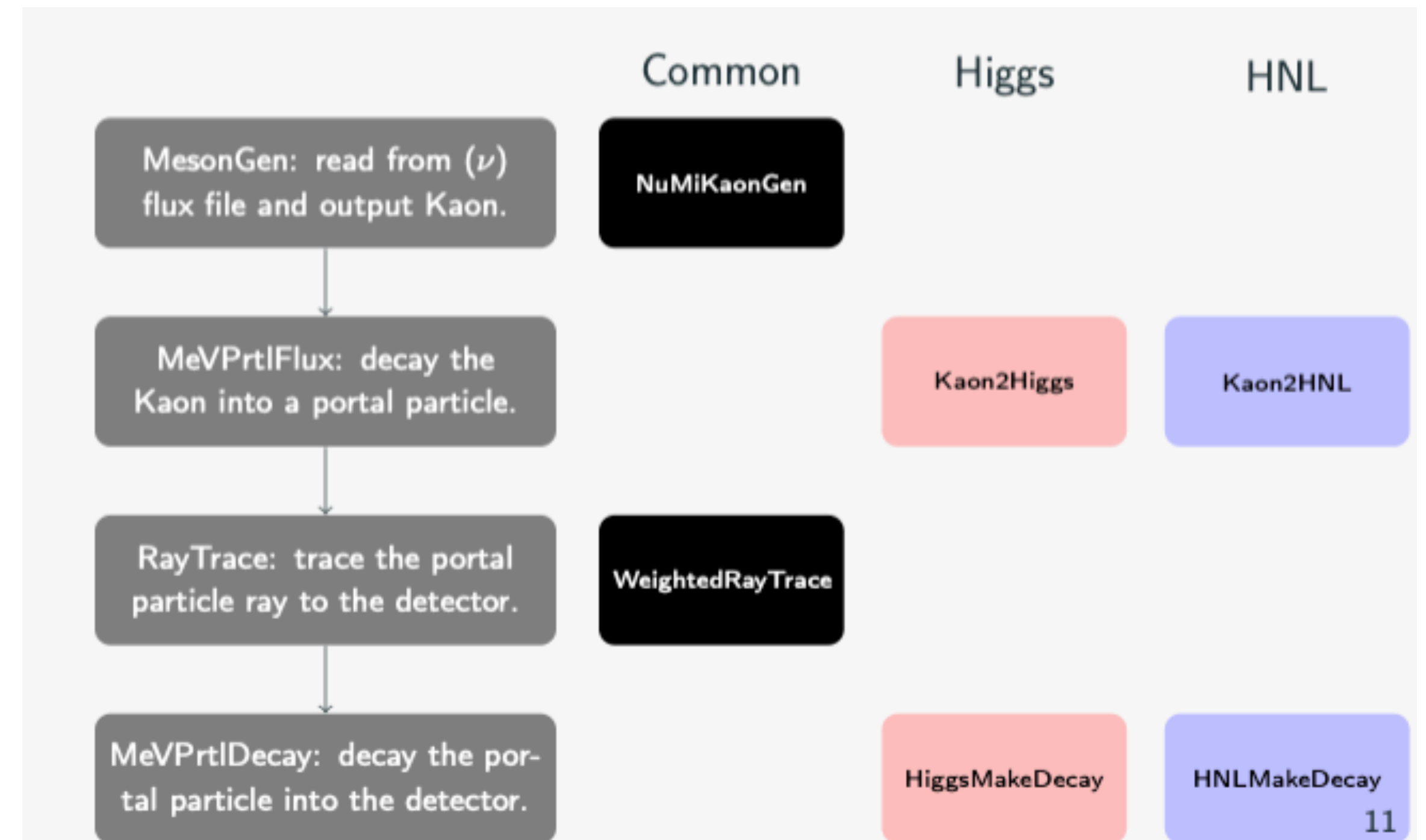
Principales causas de fallo:

- Fallos en pandora a bajas energías
- Muones cuya traza escapa de la TPC en altas energías
- Reconstrucción de un muón como dos independientes, eficiencia de recuperación superior al 0.8 en el intervalo [100,700] MeV
- Muones “fantasma”: muones sin traza ni energía generados por pandora que se reconstruyen como cascadas electrónicas



Segundo paso: Estudio de la eficiencia de detección del proceso $N \rightarrow \nu \mu^- \mu^+$

- Caso más complicado, empleo del generador de HNL adaptado de MicroBoone propuesto por Lan Nguyen y Rodrigo Alvarez
- Propósito: Implementar el canal de desintegración $N \rightarrow \nu \mu^- \mu^+$ y realizar un análisis de la sensibilidad de SBND a este canal
- Inconveniente: El simulador solo tiene implementado desintegraciones a tres cuerpos isótropas



Segundo paso: Estudio de la eficiencia de detección del proceso $N \rightarrow \nu \mu^- \mu^+$

- Estado actual:
 - Estoy en contacto con Lan y Rodrigo, las personas que están adaptando el generador a SBND
 - He implementado el canal $N \rightarrow \nu \mu^- \mu^+$, a la espera de consultar los resultados con Rodrigo
- Planes futuro cercano:
 - Reunirme con Lan y Rodrigo para resolver algunas dudas acerca del funcionamiento del simulador y plantear algunos cambios en el mismo
 - Ayudar a implementar o implementar por mi mismo la desintegración anisótropa
 - Formar parte de la mejora del simulador para su uso en SBND
 - Obtener una distribución angular y de energía para los muones y el neutrino