

Estudio en la composición y energía de rayos cósmicos secundarios con el detector Tragaldabas

Defensa de la Tesis de Yanis Fontenla Barba

Santiago de Compostela a
20 de Diciembre 2019

Directores:

Juan A. Garzón Heydt
Pablo Cabanelas Eiras

Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Índice

1. **Introducción y Motivación**
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Introducción y Motivación

Incrementar la investigación y desarrollo de los detectores TRASGO tanto para la identificación de partículas (e, μ) como para la estimación de las propiedades de los rayos cósmicos (E, m, θ) por medio del estudio de secundarios en una amplia superficie de acción a nivel del suelo. Para ello, dos requerimientos son necesarios:

- Un gran número de eventos electrónicos y muónicos simulados usando el framework EnsarRoot con el detector Tragaldabas en un amplio intervalo de energía de trabajo: de 10 MeV (e) y 100 MeV (μ) hasta 5.6 GeV (e, μ).
- Eventos primarios (H, He, C y Fe) a energías por debajo de la rodilla (10^9 - 10^{15} eV) y con diferentes ángulos de incidencia sobre la capa alta de la atmósfera, simulados con un programa Corsika.

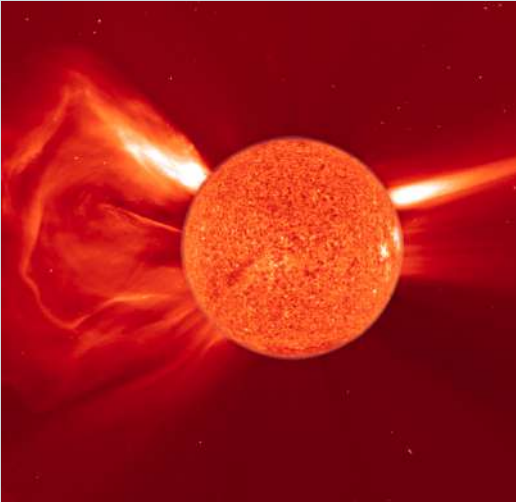
Índice

1. Introducción y Motivación
2. **Física de los Rayos Cósmicos**
3. Experimento Tragaldabas
4. Dispositivos de detección RPCs
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

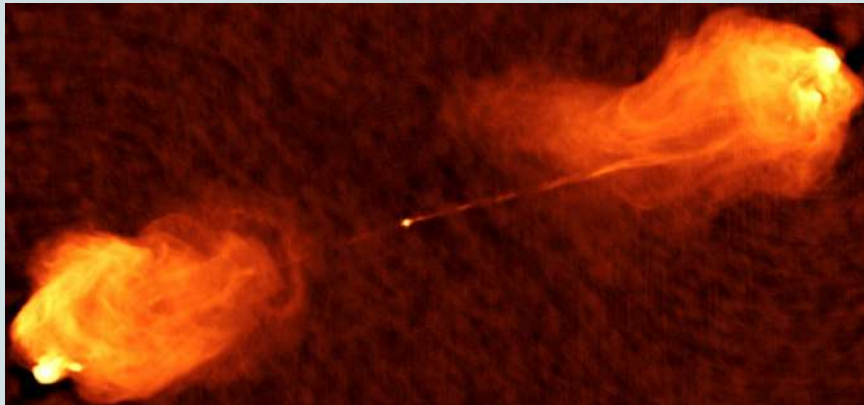
Física de los Rayos Cósmicos

Desde el premio nobel a V. Hess por el descubrimiento de los rayos cósmicos mucho a avanzado la ciencia en torno a la Física de partículas cósmicas. Los rayos cósmicos son de origen extragalácticos (ej: núcleos galácticos activos, estrellas de neutrones, ...), galácticos (supernovas) y fundamentalmente solares. Los núcleos atraviesan el cosmos hasta alcanzar el sistema solar (vencer el campo magnético solar) y la Tierra (vencer el campo magnético terrestre).

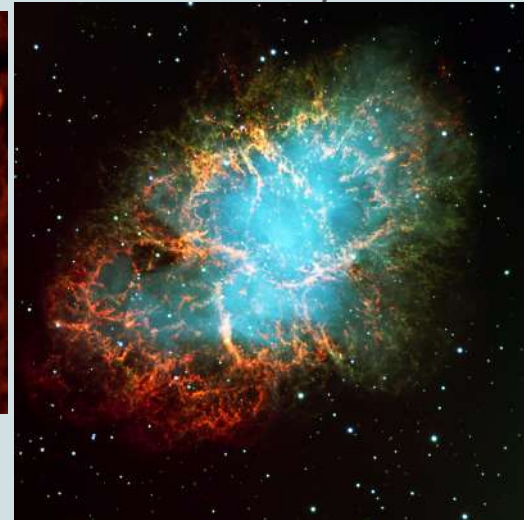
El sol (erupciones solares)



Núcleo galáctico activo (jets)



Remanente de supernova



Física de los Rayos Cósmicos

7

Espectro de Energías:

Rodilla: [100, 10⁶] GeV,

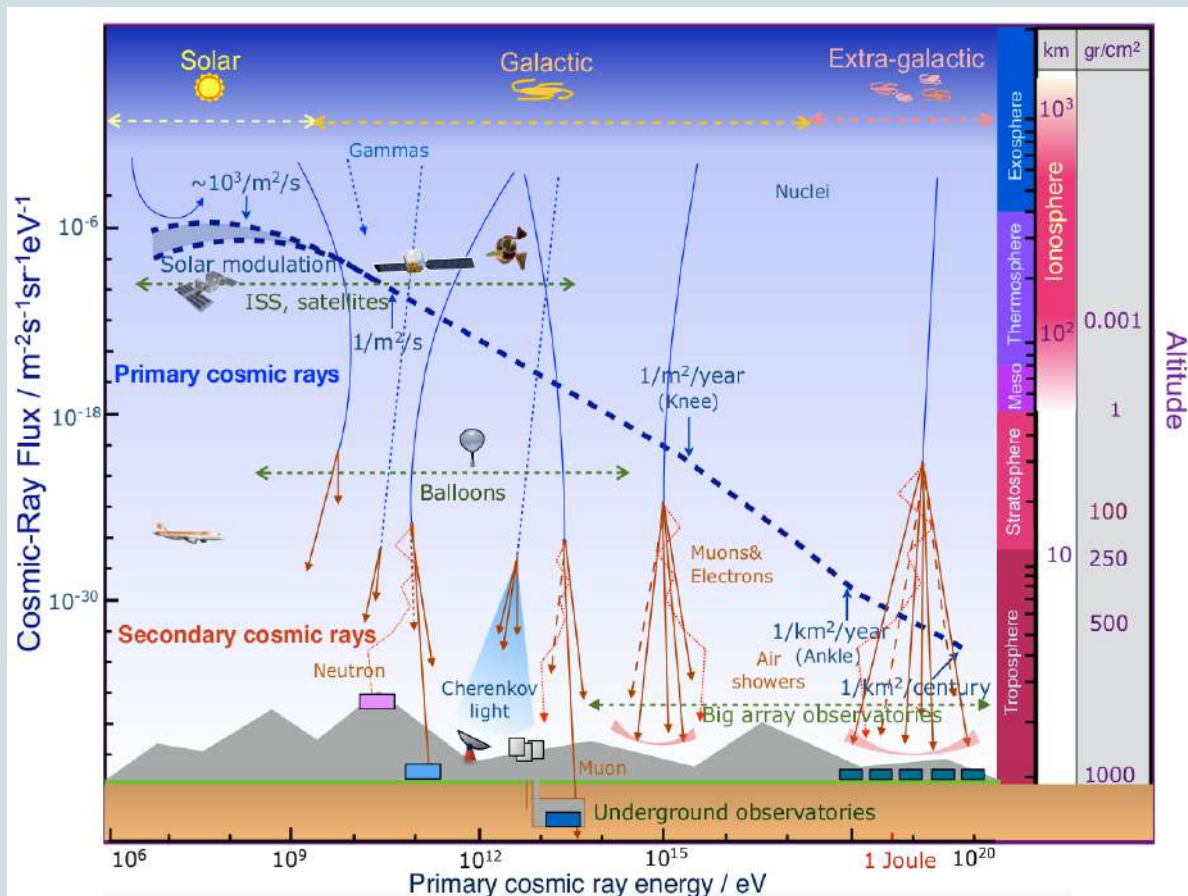
$$I(E) \approx 1.8 \cdot 10^4 (E/\text{GeV})^{-2.7} [\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{GeV}^{-1}]$$

Tobillo: [1, 10] 10⁹ GeV.

Límite de Greisen-Zatsepin-Kuzmin
(GZK): 5 · 10¹⁰ GeV.

Rayos cósmicos **primarios**: núcleos que interacciona con los elementos de la atmósfera en su capa más alta.

Rayos cósmicos **secundarios**: partículas cósmicas que tras las múltiples interacciones en la atmósfera llegan a nivel del suelo.



Física de los Rayos Cósmicos

Decay process:

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \quad (\text{BR}=98.82\%)$$

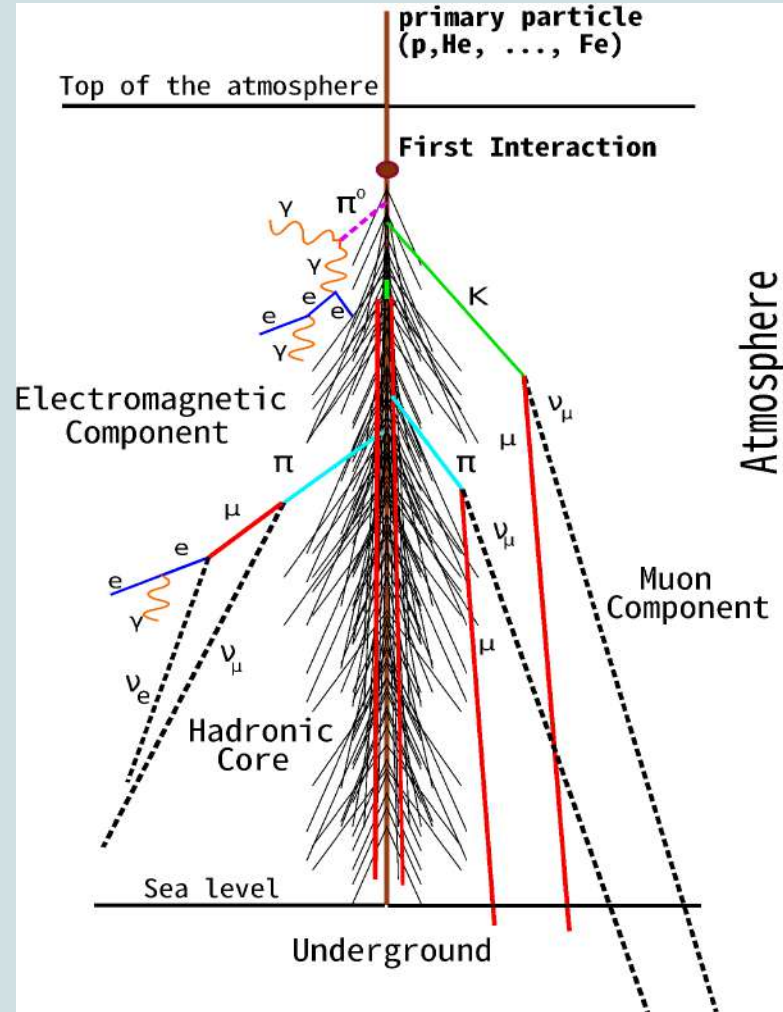
$$\pi^\pm \rightarrow \nu_\mu(\bar{\nu}_\mu) + \mu^\pm \quad (\text{BR}=99.98\%)$$

$$K^\pm \rightarrow \nu_\mu(\bar{\nu}_\mu) + \mu^\pm \quad (\text{BR}=63.55\%)$$

$$\mu^\pm \rightarrow \bar{\nu}_\mu(\nu_\mu) + e^\pm + \nu_e(\bar{\nu}_e) \quad (\text{BR}\sim 100\%)$$

Mayor es la masa del primario a la misma energía, mayor será su altura de interacción (H: 30 km, C: 40 km), menor es X_{Max} y mayor es el numero de partículas en ese punto.

Los muones son muy penetrantes en la atmósfera y por ello la desviación es muy pequeña según la dirección inicial de interacción del primario, localizándose cerca del núcleo de la cascada.



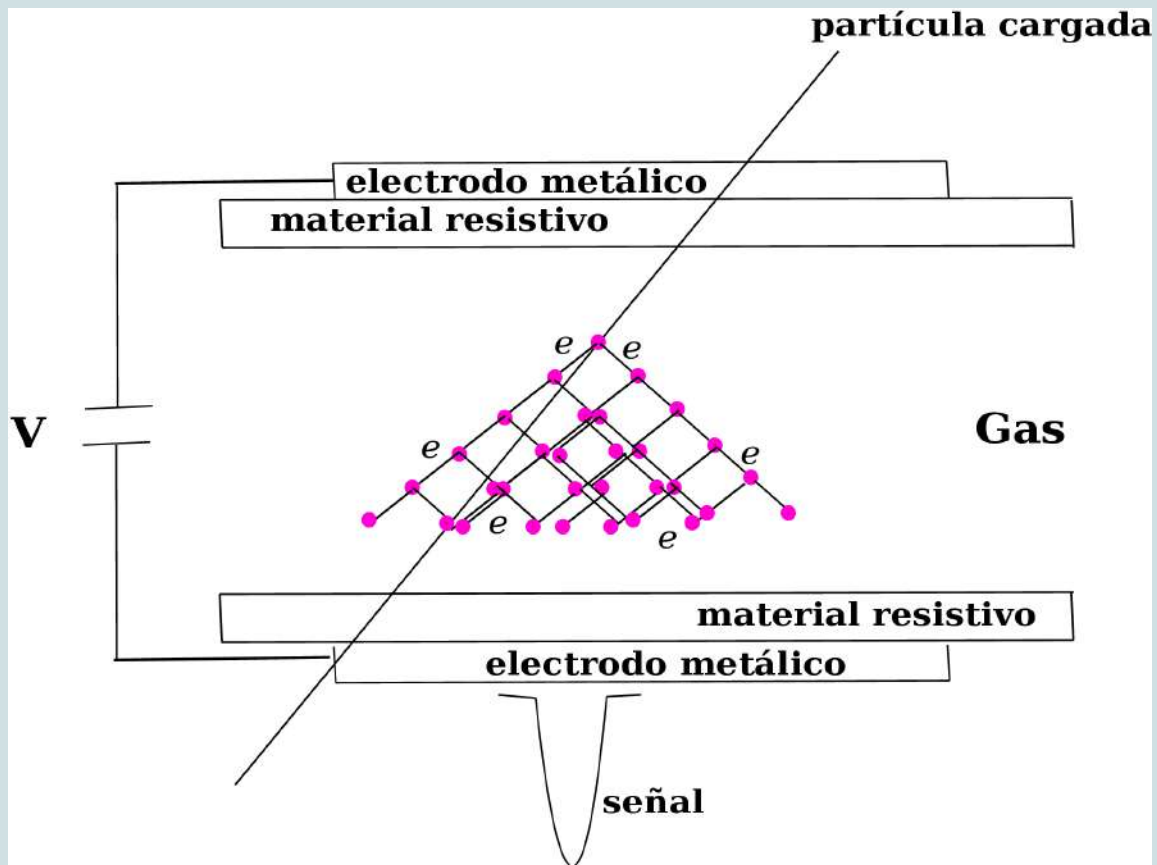
Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. **Dispositivos de detección RPCs**
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Dispositivos de detección RPCs

Detector a gas, dispositivo RPC simple:

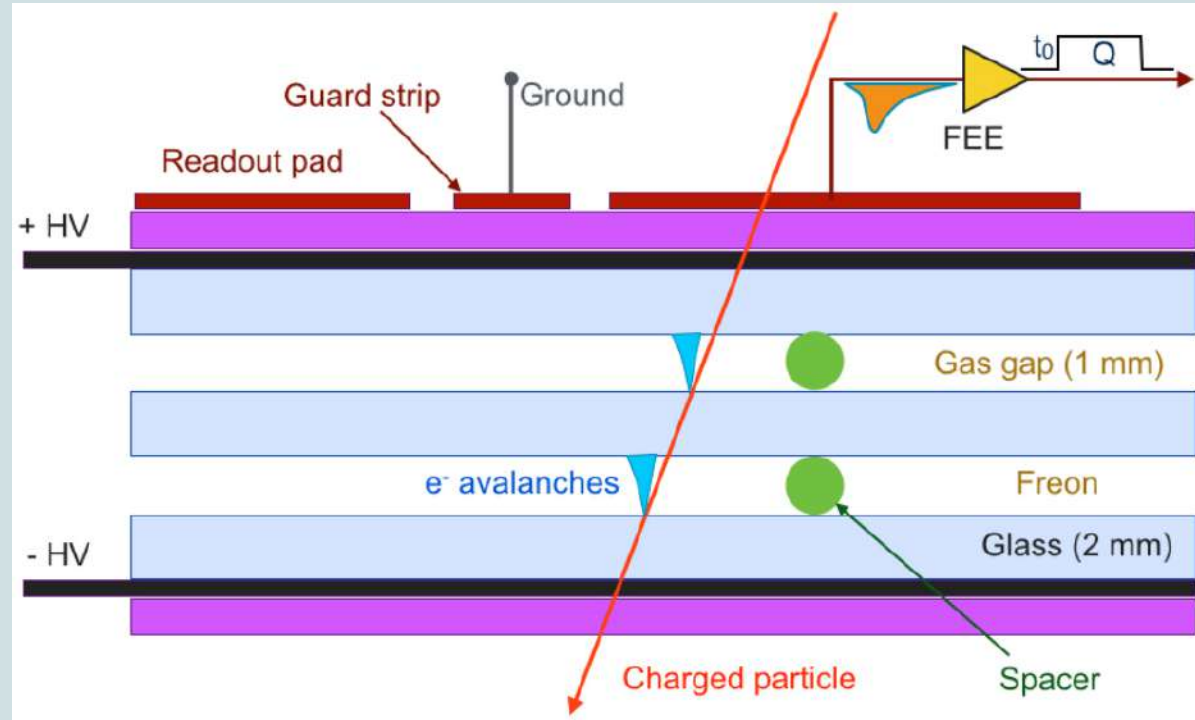
1. Partícula cargada ioniza el gas.
2. Reacción en cascada, se genera una avalancha de electrones.
3. La diferencia de potencial acelera los electrones en un sentido.
4. La señal inducida en el electrodo metálico.



Dispositivos de detección RPCs

Dispositivo RPC del experimento Tragaldabas:

1. 2 gaps con un material activo, freon R134a.
2. Material resistivo es vidrio.
3. HV corresponde a un $E=100$ KV/cm.
4. Longitud de radiación X_0 es de unos 0.27.
5. Señal eléctrica enviada a la FEE.

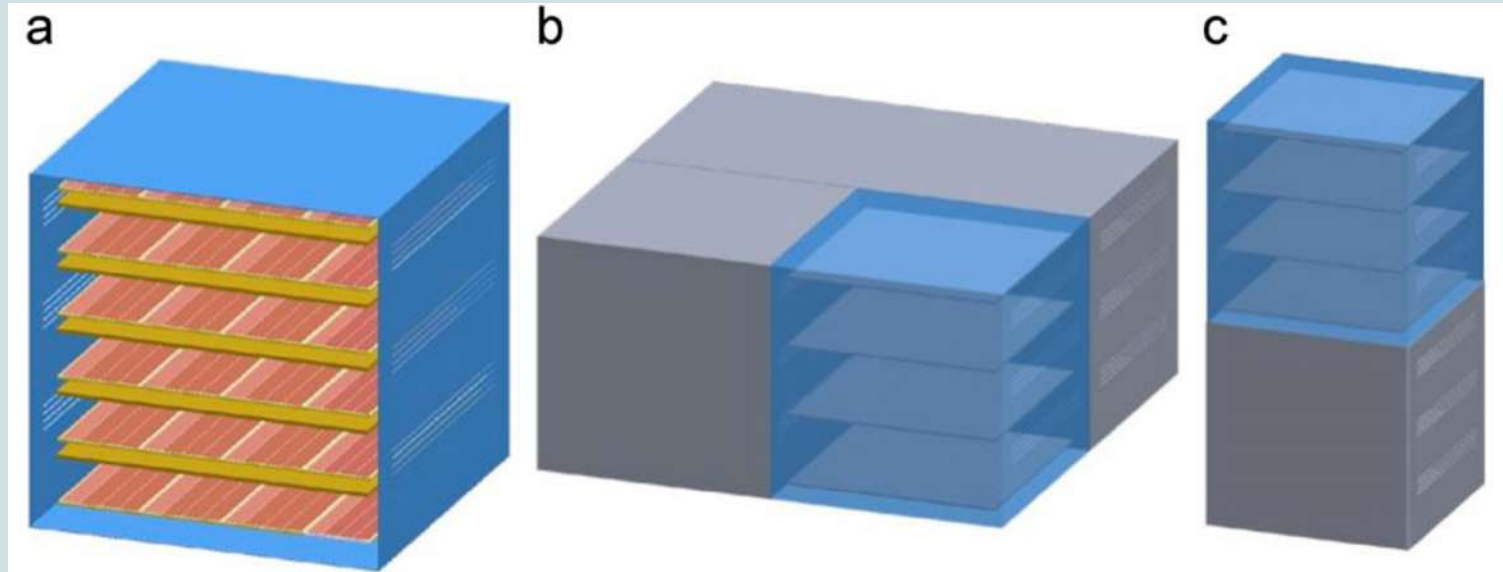


Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. **Experimento Tragaldabas**
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Experimento Tragaldabas

Tragaldabas es el producto de un proyecto definido como **TRASGO** (TRAck reconStructinG mODule).
Dispositivo desarrollados y construidos con planos RPCs.



Experimento Tragaldabas

Tragaldabas (TRAsgo for the AnaLysis of the nuclear matter Decay, the Atmosphere, the earth B-Field And the Solar activity) esta hecho para hacer correlaciones entre tasas y atmósfera, con 3 planos activos RPCs está situado en el ala Norte de la Facultad de Física (labCAF). Tragaldabas tiene un total de 480 canales de lectura.

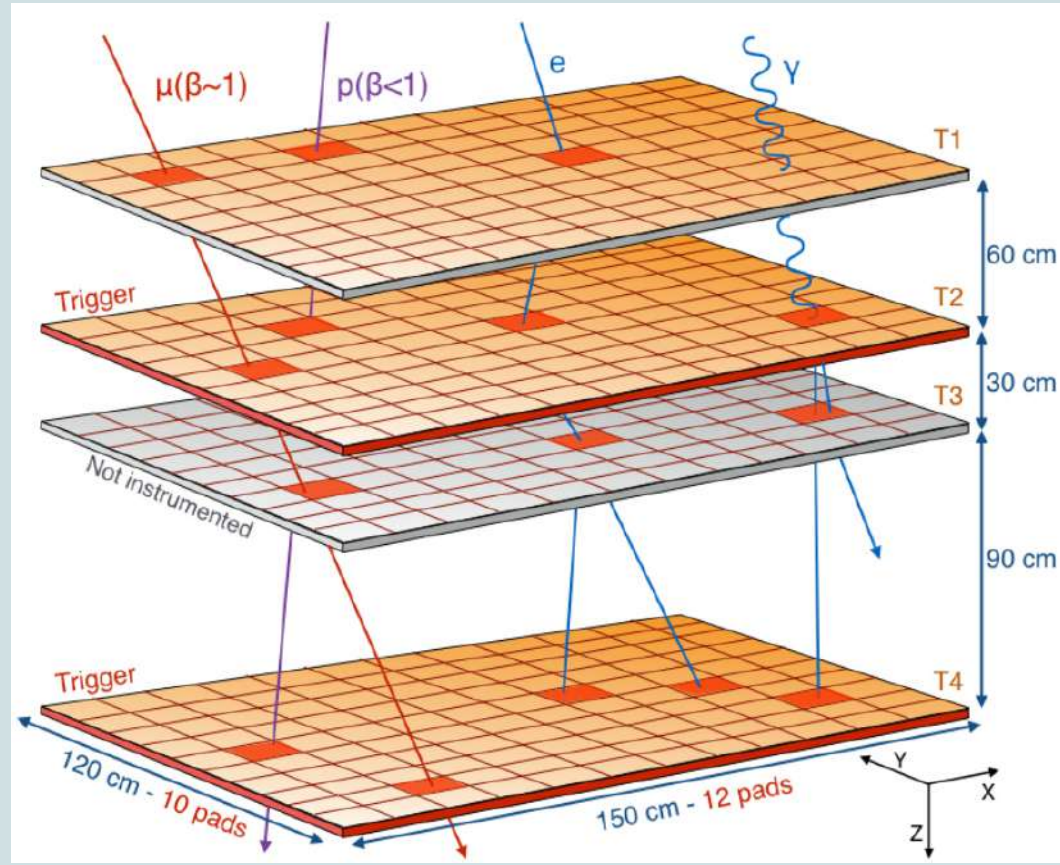
Especificaciones:

$$\sigma_{x-y} \sim 3 \text{ cm}$$

$$\sigma_t \sim 280 \text{ ps}$$

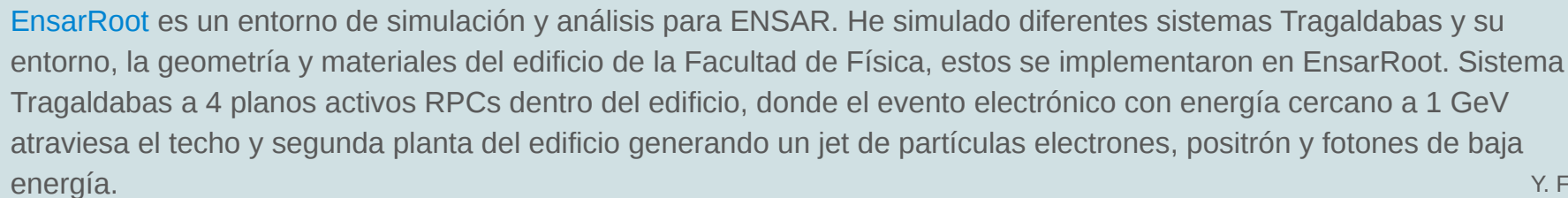
$$\delta\Omega \sim 2.5^\circ$$

$$\sigma_v \sim 3 \% c$$



Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. **Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot**
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas



Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

La necesidad de contabilizar (medir) los fenómenos físicos que ocurren en el experimento nos empuja a trabajar con observables.

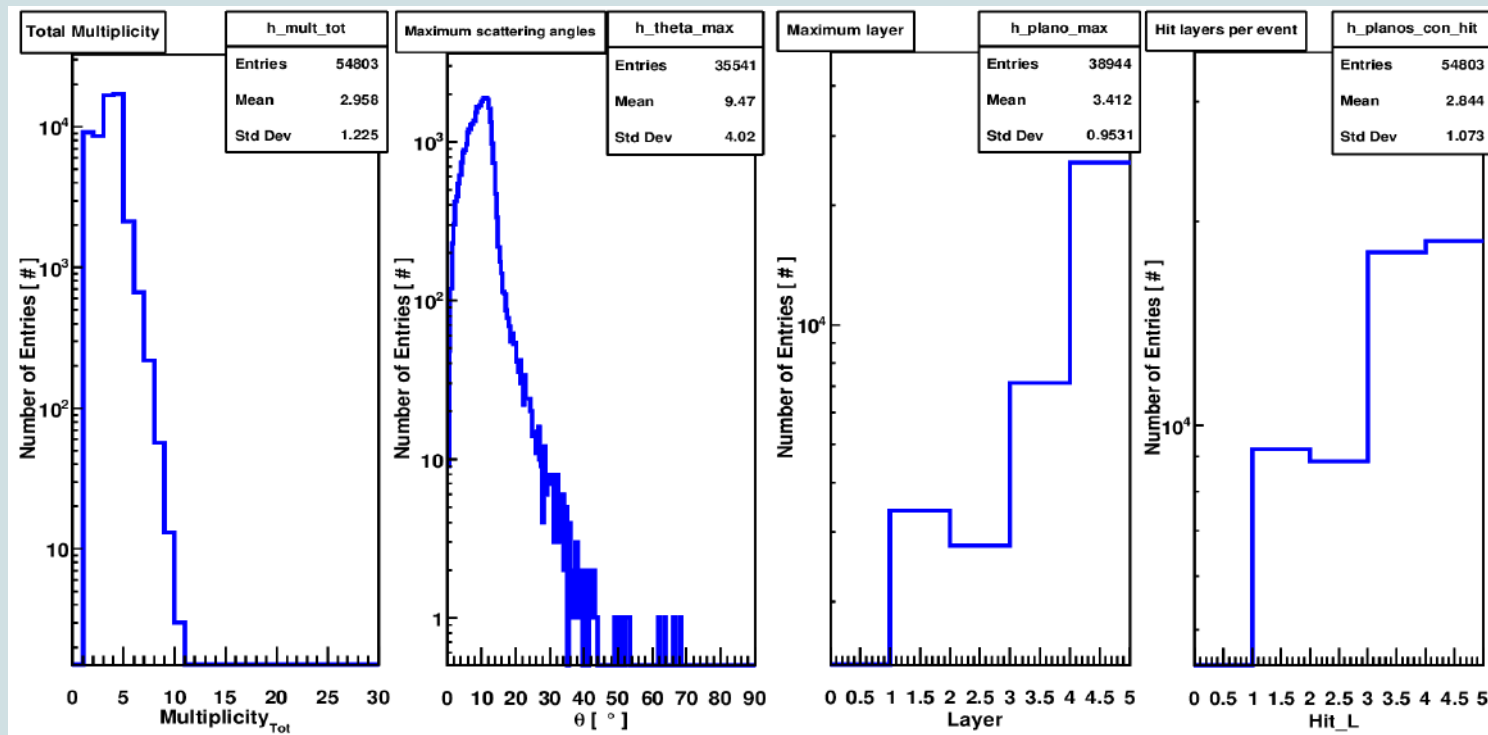
Observables con los que he trabajado son:

1. **Eficiencia absoluta** de detección de partículas (ε), independientemente del plano en el que se haya dado señal.
2. Mínimo, máximo y media de la **Multiplicidad (M)**: señales en todo el detector para una partícula incidente.
3. **Media de hits por evento**: la media de número de planos con hits por evento.
4. **Ángulo de dispersión máximo** (θ_{Max}): el ángulo polar máximo de la dispersión (cascada) de cada partícula una vez ha dado señal en el plano 1.
5. **Alcance ponderado** (a_n): la distancia alcanzada por la cascada en número de planos ponderado por la multiplicidad de hits en cada plano. La describe la ecuación: $\sum_i^p m_i n_i$, donde p es el numero de planos, m_i la multiplicidad por cada plano y n_i es el alcance, desde 0 (T1) hasta 3 (T4).
6. **Chi-cuadrado** (χ^2): el valor procedente del método TimTrack que permite realizar la reconstrucción de trayectorias o tracking.
7. **Aceptancia geométrica** (a_g), es la distribución de probabilidad que caracteriza la trayectoria de una recta cruzando el detector. Depende de la geometría del detector. a_g se usa para realizar correcciones a la tasa de cuentas reales medidas por el detector.

Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Estudio de los observables con incidencia vertical y no vertical de partículas (e , μ y γ). Método de generación de datos:

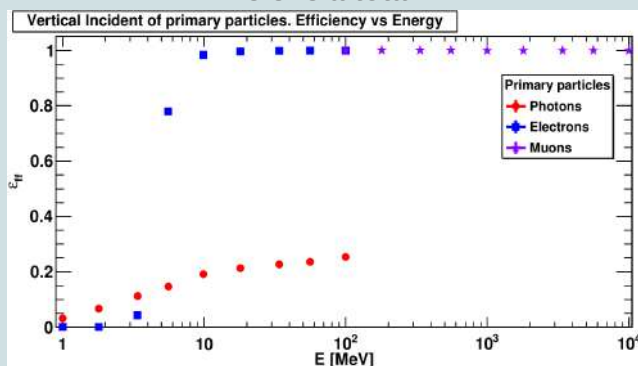
1. Eventos: 10^5 electrones, 10^5 fotones y 10^5 muones.
2. $E \in [1, 100]$ MeV (e y γ) y $E \in [0.1, 10]$ GeV (μ).
3. 4 transiciones energéticas de $10^{2/3}$ en escala logarítmica, por década.
4. Tanto incidencia vertical como incidencia aleatoria e uniforme en ϕ y $\cos(\theta)$.



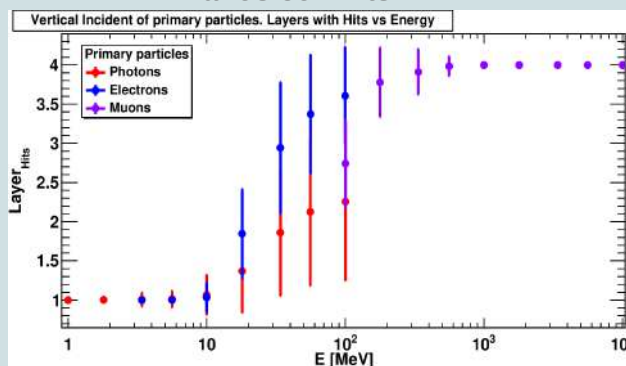
Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Resultados de los observables (ε , M , L_H , θ_{Max}) para el caso de **incidencia vertical** de partículas sobre el primer plano del detector Tragaldabas. Un aspecto importante a tener en cuenta en el programa de análisis es tener un hit sobre el primer plano.

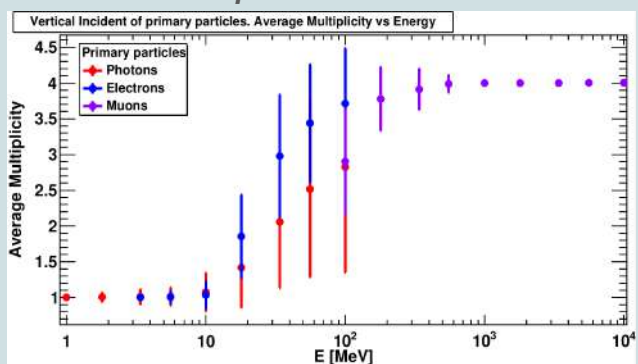
Eficiencia total



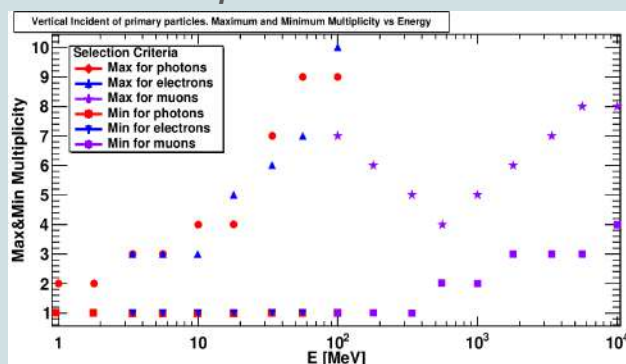
Planos con hits



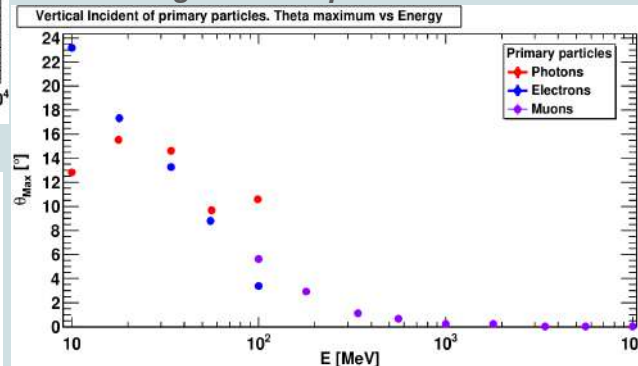
Multiplicidad media



Multiplicidad Max&Min



Ángulo de dispersión máximo

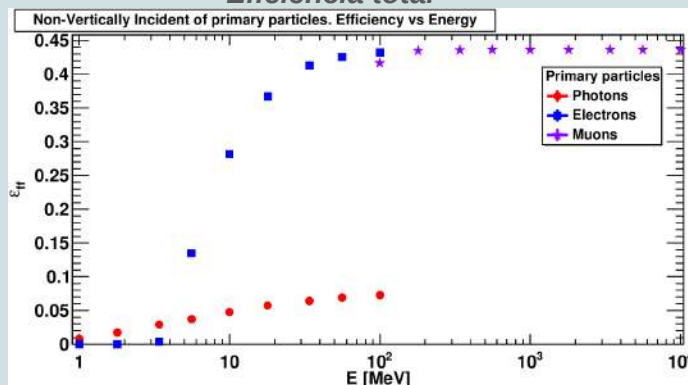


Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

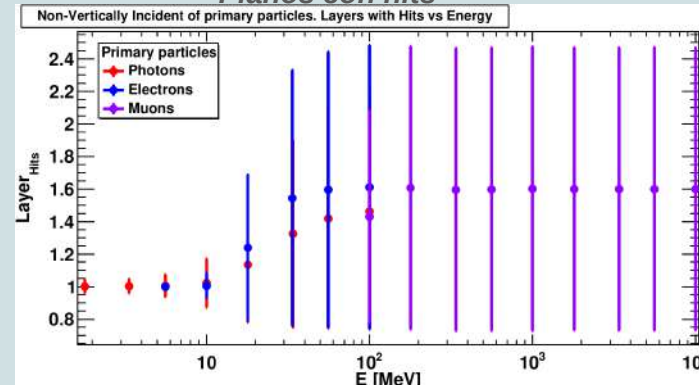
20

Resultados de los observables (ϵ , M , L_H) para el caso de incidencia **no vertical**, en todas las direcciones posibles en ϕ y $\cos(\theta)$, de partículas sobre el el detector Tragaldabas.

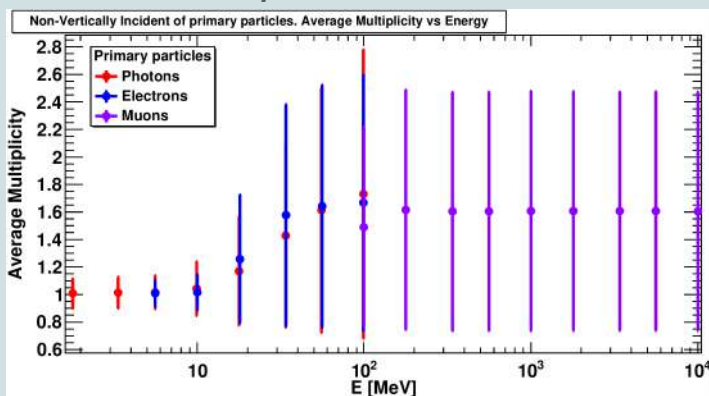
Eficiencia total



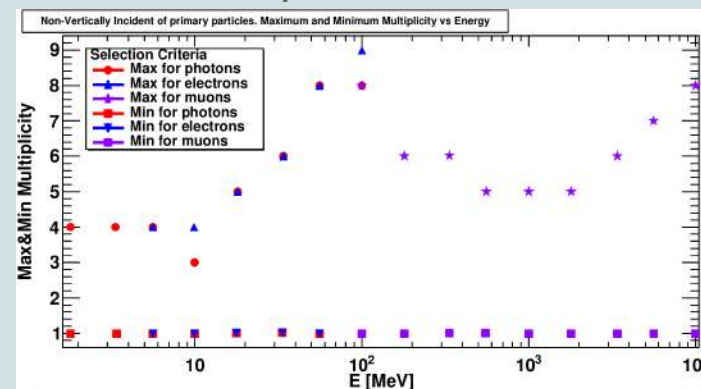
Planos con hits



Multiplicidad media



Multiplicidad Max&Min

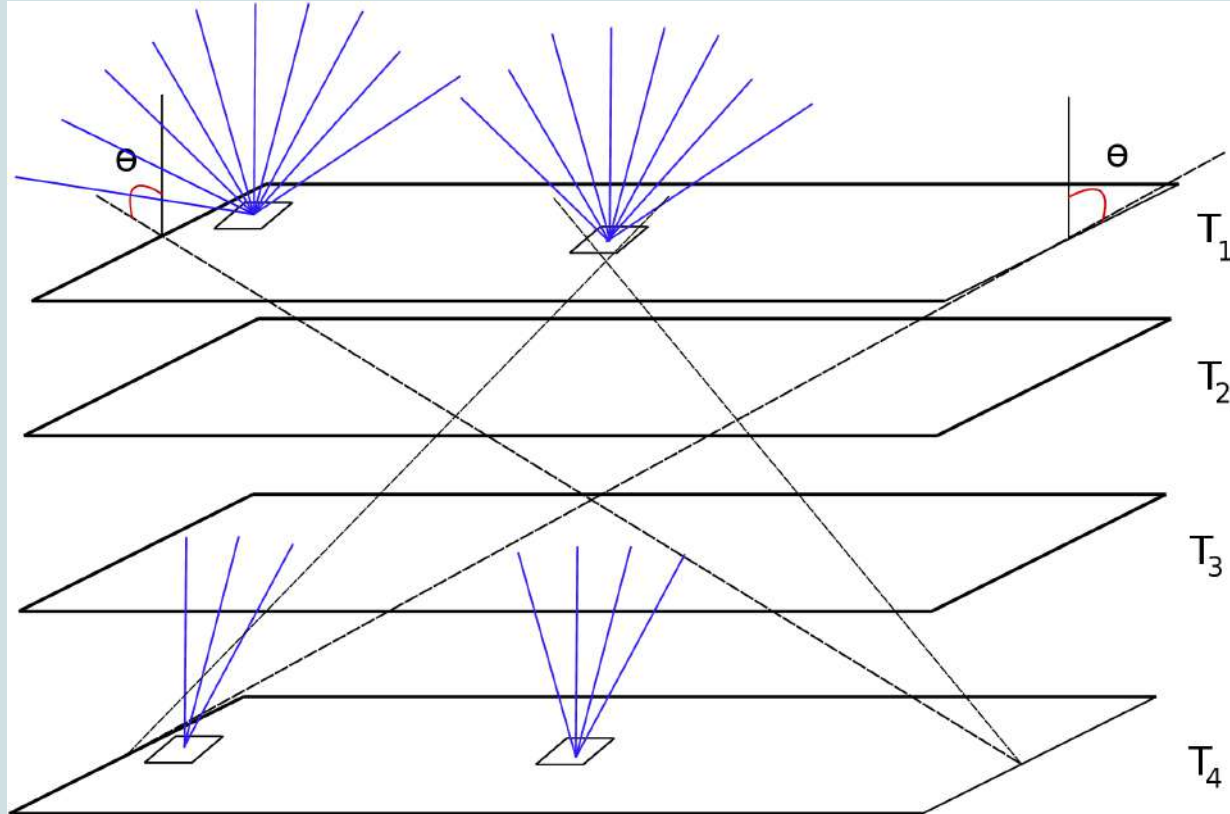


Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

21

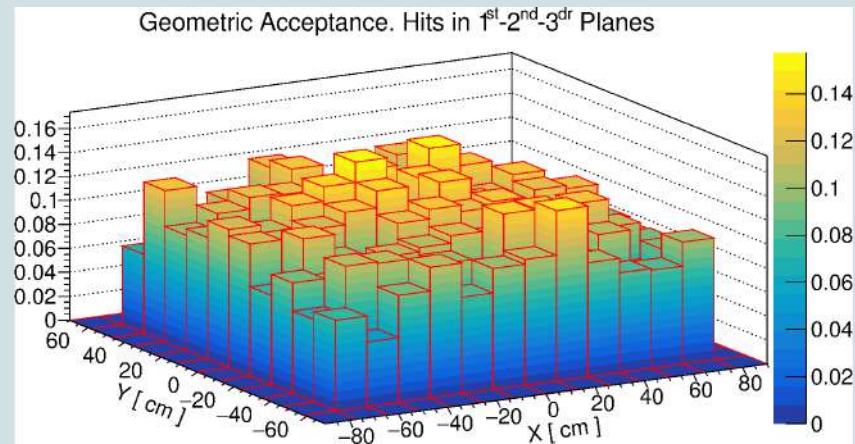
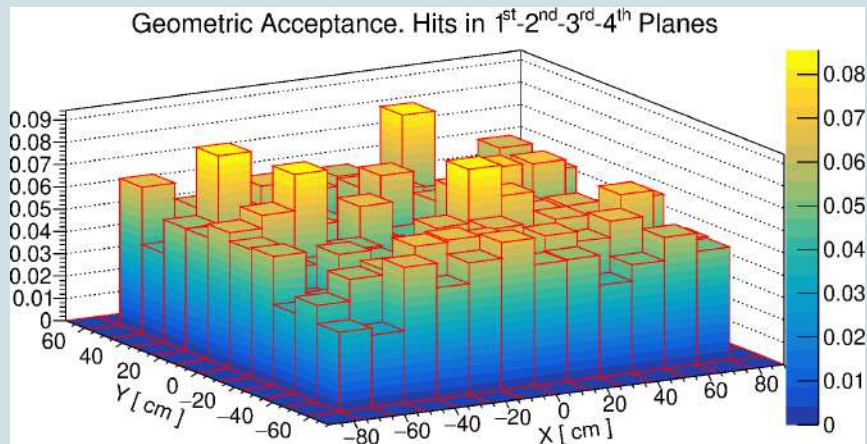
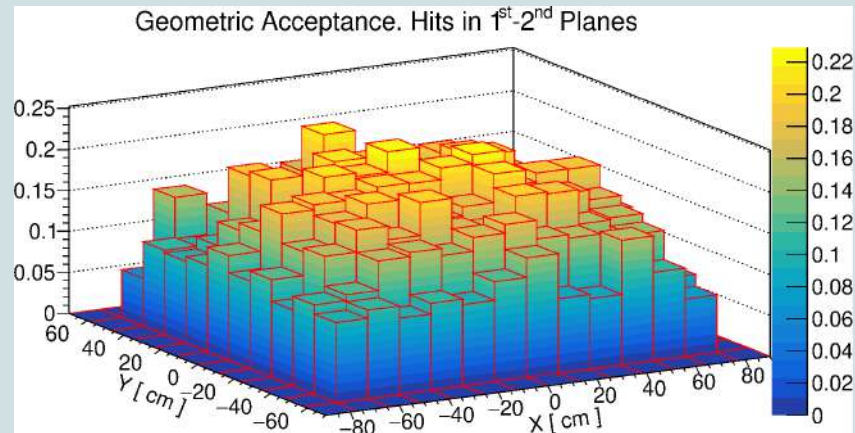
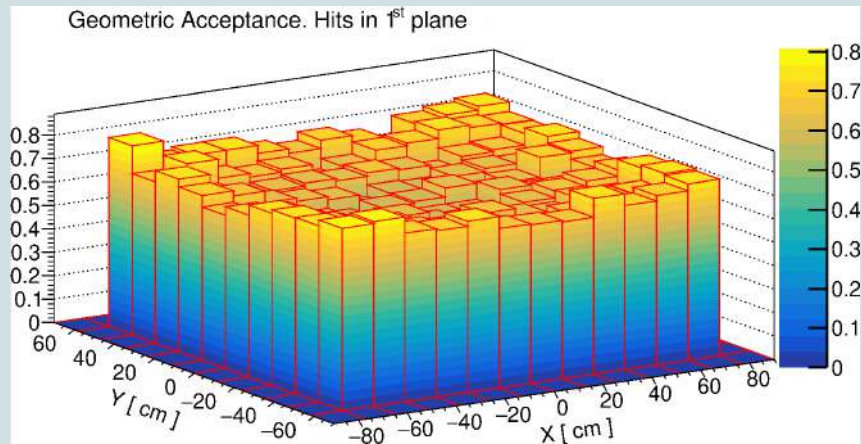
He calculado la **aceptancia geométrica** (a_g) de cada celda para señal o coincidencia en 1, 2, 3 y 4 planos del detector Tragaldabas. El comportamiento de las trayectorias rectas en nuestro detector.

1. A saber que T1 siempre esta incluido en la detección de trazas.
2. θ limite o privilegiado impuesto a las trazas en todo nuestro detector, entre T1 y T4 o pad central de T1 y todo T4.



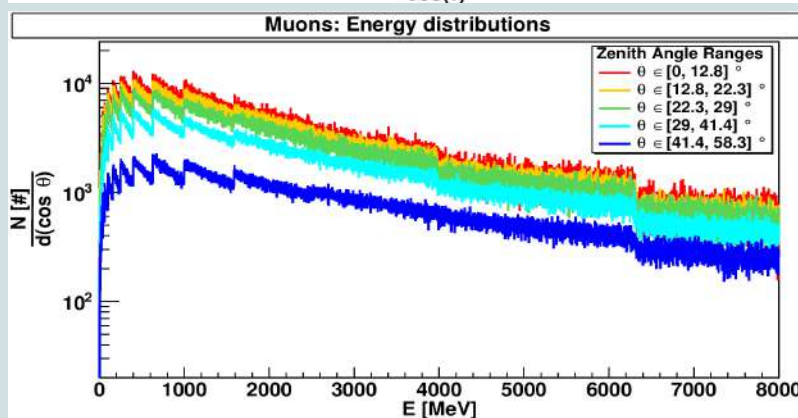
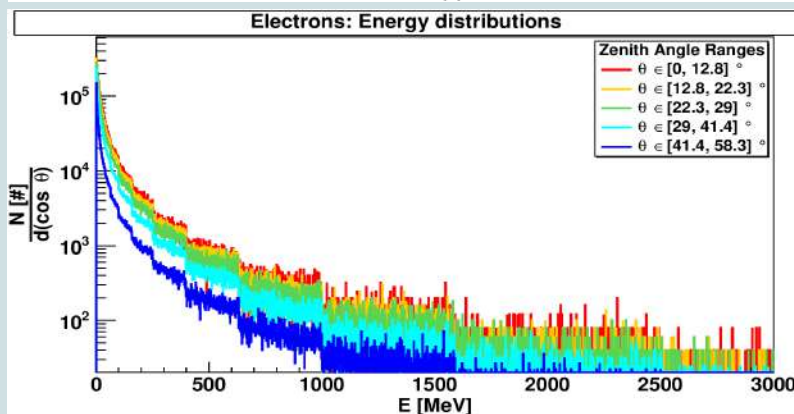
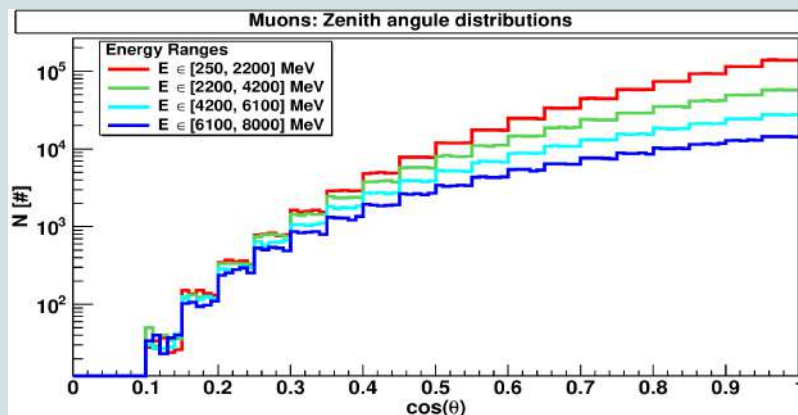
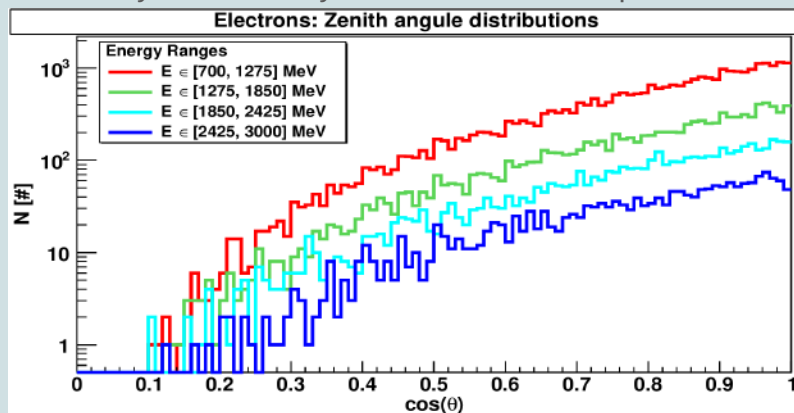
Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Mapas de aceptación geométrica (a_g) para 1 o varios planos del detector Tragaldabas.



Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Generador propio de secundarios. Cry es un simulador de eventos realista procedente de cascadas atmosféricas, dado la poca eficiencia de sus datos en mis estudios he hecho un programa de generación de partículas (γ , e , μ) y este fue implementado en EnsarRoot. Estudio de las distribuciones angulares ($\cos(\theta) \in [0,1]^\circ$) y energéticas dentro del intervalo en energías de 50 y 3000 MeV para fotones y electrones, y de 100 a 8000 MeV para muones.



Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Parametrización de los resultados de distribución angular y energética por medio de la función inversa:

distribuciones angulares: $f(x) = A x^\alpha \longrightarrow I_1(x) = A^{-1} (x)^{1/(1+\alpha)}$

Electrons			Photons			Muons		
E ranges [MeV]	A	α	E ranges [MeV]	A	α	E ranges [MeV]	A	α
[700, 1275]	$6.739 \cdot 10^5$	3.242	[700, 1275]	$1.385 \cdot 10^6$	3.254	[250, 2200]	$5.556 \cdot 10^7$	3.981
[1275, 1850]	$4.718 \cdot 10^5$	3.102	[1275, 1850]	$7.627 \cdot 10^5$	3.123	[2200, 4200]	$6.460 \cdot 10^6$	3.299
[1850, 2425]	$2.968 \cdot 10^5$	2.925	[1850, 2425]	$3.892 \cdot 10^5$	3.133	[4200, 6100]	$3.123 \cdot 10^6$	2.890
[2425, 3000]	$1.647 \cdot 10^5$	3.795	[2425, 3000]	$3.892 \cdot 10^5$	3.023	[6100, 8000]	$1.665 \cdot 10^6$	2.655

distribuciones energéticas: $f(x) = B x^\beta \longrightarrow I_2(x) = B^{-1} (\kappa(x)[\lambda^{(1-\beta)} - 100^{(1-\beta)}] + 100^{(1-\beta)})^{(\beta-1)}$, donde $\kappa(x) = 100^{(1-\beta)}/(1-\beta) + x^{(1-\beta)}/(1-\beta)$ y λ es 3000 para electrones o fotones ,y de 5000 para muones. Resultados energéticos con incidencia vertical de partículas.

Incident particles	B	β
Electrons	$1.7 \cdot 10^9$	2.596
Photons	$1.41 \cdot 10^{10}$	2.914
Muons	$3.17 \cdot 10^4$	0.0271

Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
- 6. Identificación de partículas con Tragaldabas**
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Identificación de partículas con Tragaldabas

He diseñado e implementado un método de identificación de partículas (e , μ) con el detector Tragaldabas basado en simulación de datos utilizando el framework EnsarRoot, llamado MIDAS (Multisampling IDentificAtion Software). [Ref: Y. Fontenla PoS(ICRC2019)072].

Método de generación de datos:

- Incidencia de eventos sobre el detector de 10^5 electrones y de 10^5 muones por separado.
- Eventos generados en un plano 200×200 cm² a 12.7cm encima del T1 y con distribución uniforme en ϕ y $\cos(\theta)$, donde $\theta \in [0, 12.8]^\circ$.
- $E \in [10, 5620]$ MeV (e y γ) y $E \in [100, 5620]$ MeV (μ), con intervalo de separación del 10%.
- 4 transiciones energéticas de $10^{2/8}$ en escala logarítmica por cada década.

Aspecto a nivel del detector:

- 4 configuraciones son abordadas. Sistema a 4 planos activos RPC, sistema a 3 planos (T1, T3 y T4), y por último un sistema a 4 planos con una lamina de Pb de 1 y 1.5 cm de espesor tras el plano T3 para poder separar mejor los electrones de los muones y hacer una mejor identificación.

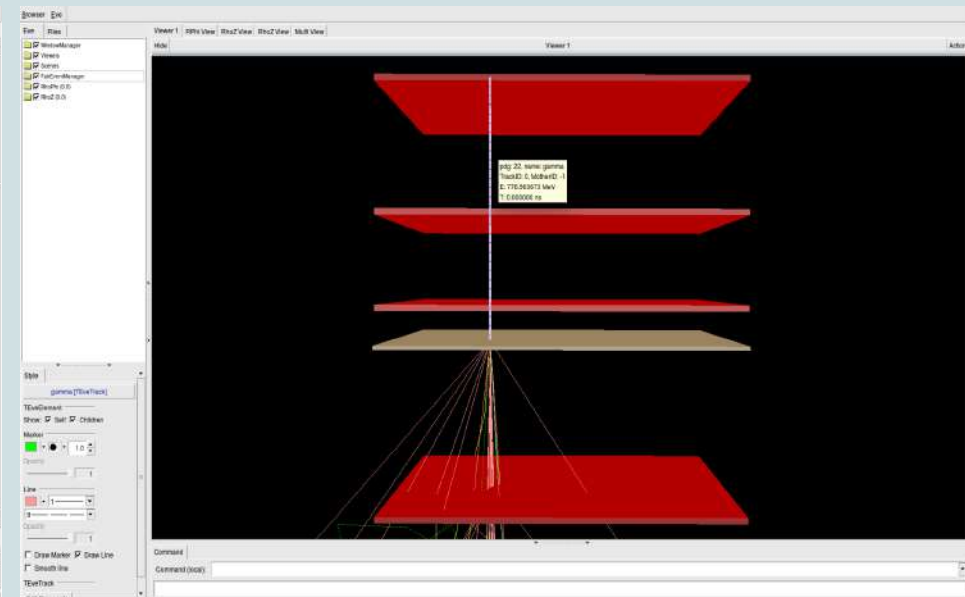
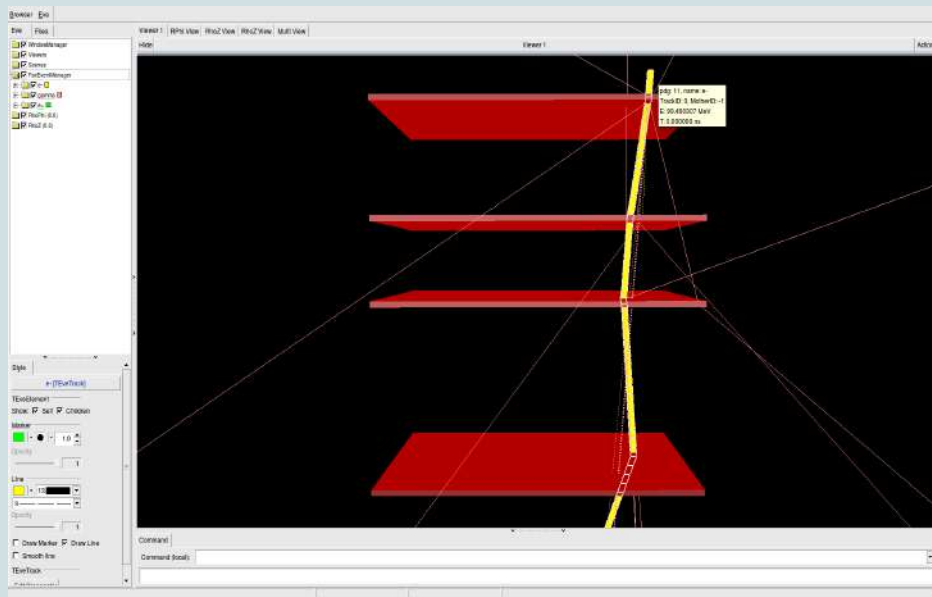
Aspecto analítico:

- Se eligen 3 observables: **Multiplicidad M, alcance ponderado a_n y χ^2 del tracking.**

Aspecto a nivel de algoritmo:

- Se proporciona la naturaleza de la partícula, una energía estimada y las probabilidades asociadas.

Identificación de partículas con Tragaldabas



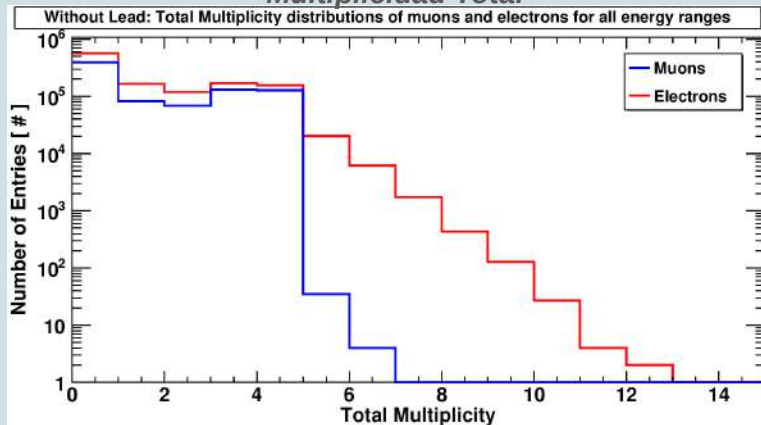
Las geometrías de los sistemas Tragaldabas incorporados en EnsarRoot. Sistemas a 4 planos activos con un evento electrónico de unos 100 MeV y 4 planos activos con una lámina de plomo de 1.5 cm de espesor cuyo suceso es de tipo fotónico con energía de unos 777 MeV. El electrón interactúa con los 4 planos del detector formándose fotones de baja energía. El fotón atraviesa los 3 primeros planos del sistema e interactúa con la lámina de plomo generando un chorro o jet de partículas, fotones de baja energía y un electrón.

Identificación de partículas con Tragaldabas

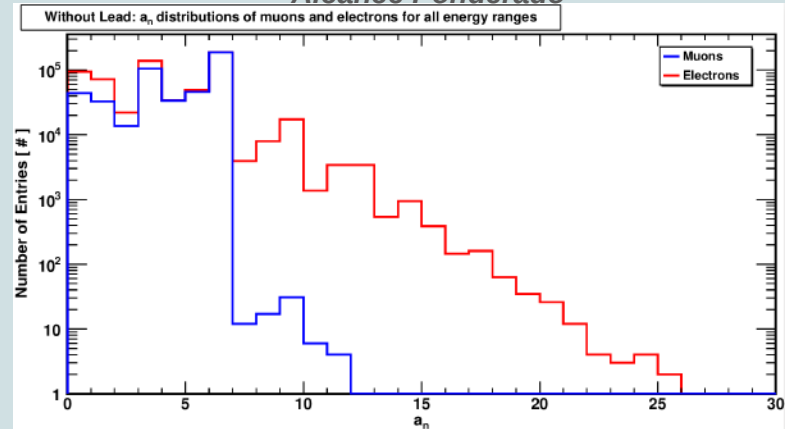
28

Sistema Tragadabas a 4 planos activos RPCs.

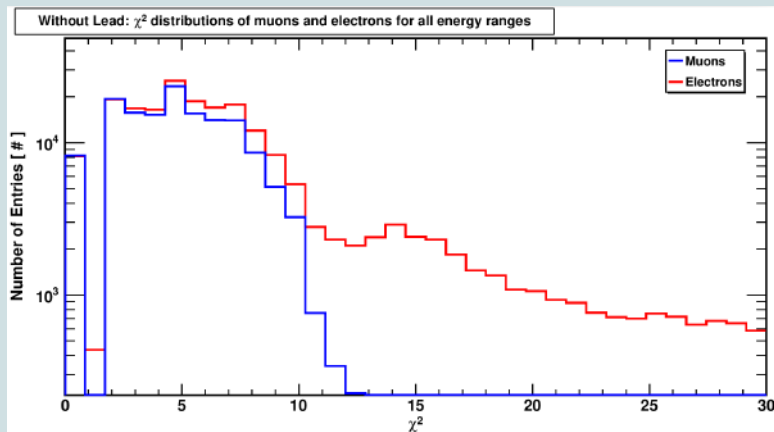
Multiplicidad Total



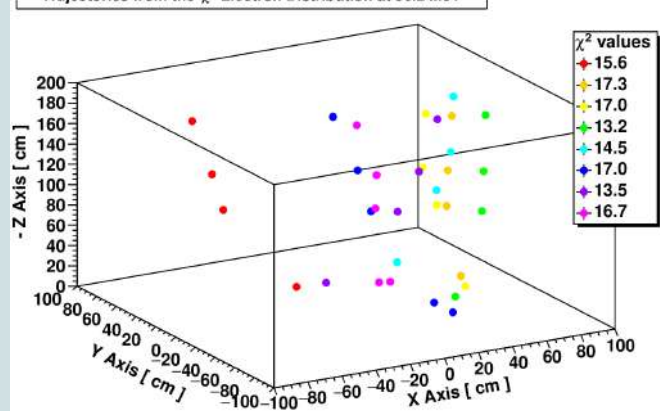
Alcance Ponderado



Chi-cuadrado



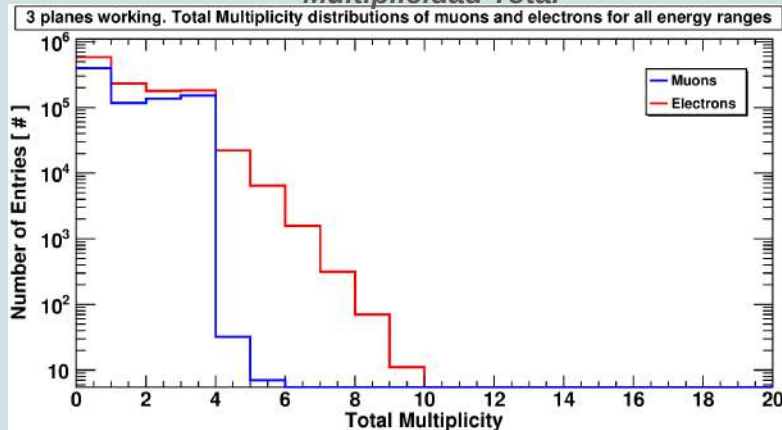
Trajectories from the χ^2 Electron Distribution at 56.2 MeV



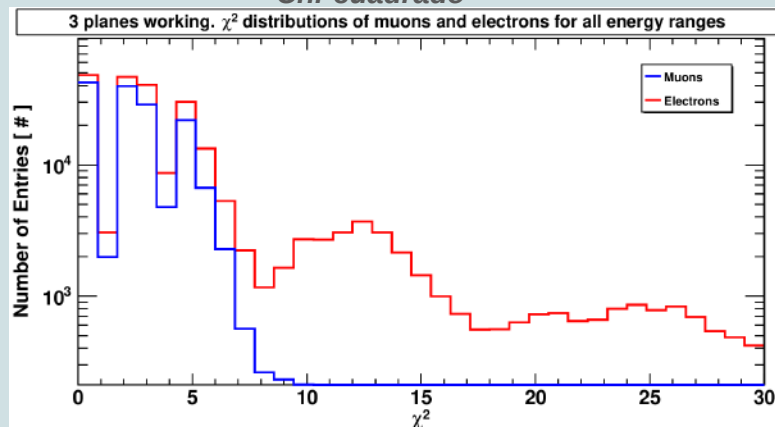
Identificación de partículas con Tragaldabas

Sistema Tragaldabas a 3 planos activos RPCs.

Multiplicidad Total

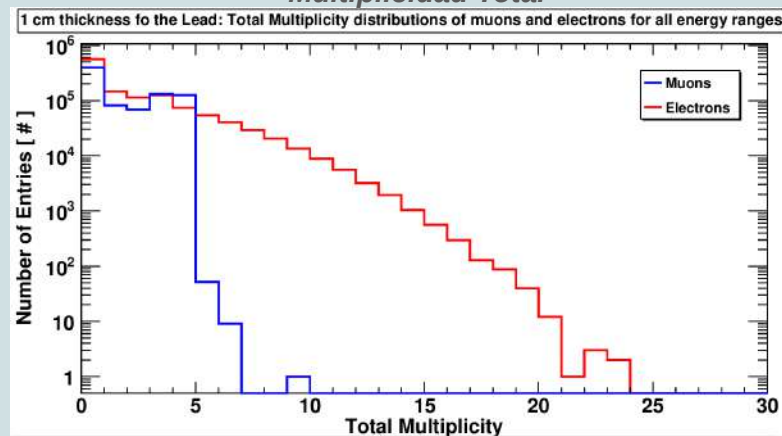


Chi-cuadrado

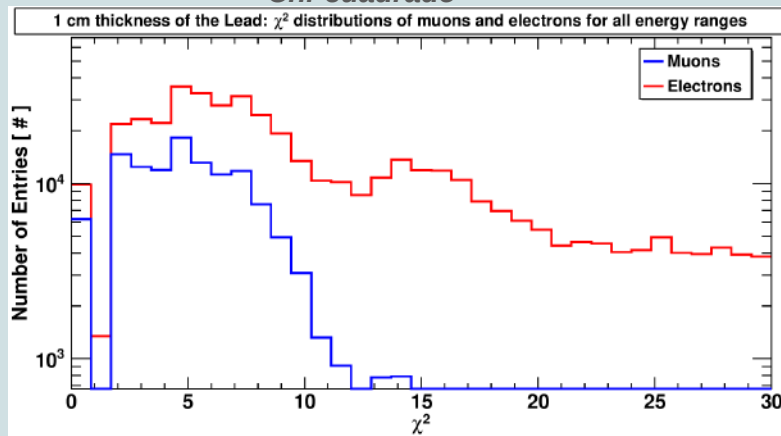


Sistema Tragaldabas a 4 planos activos RPCs con una lamina de plomo de 1cm tras el plano T3.

Multiplicidad Total



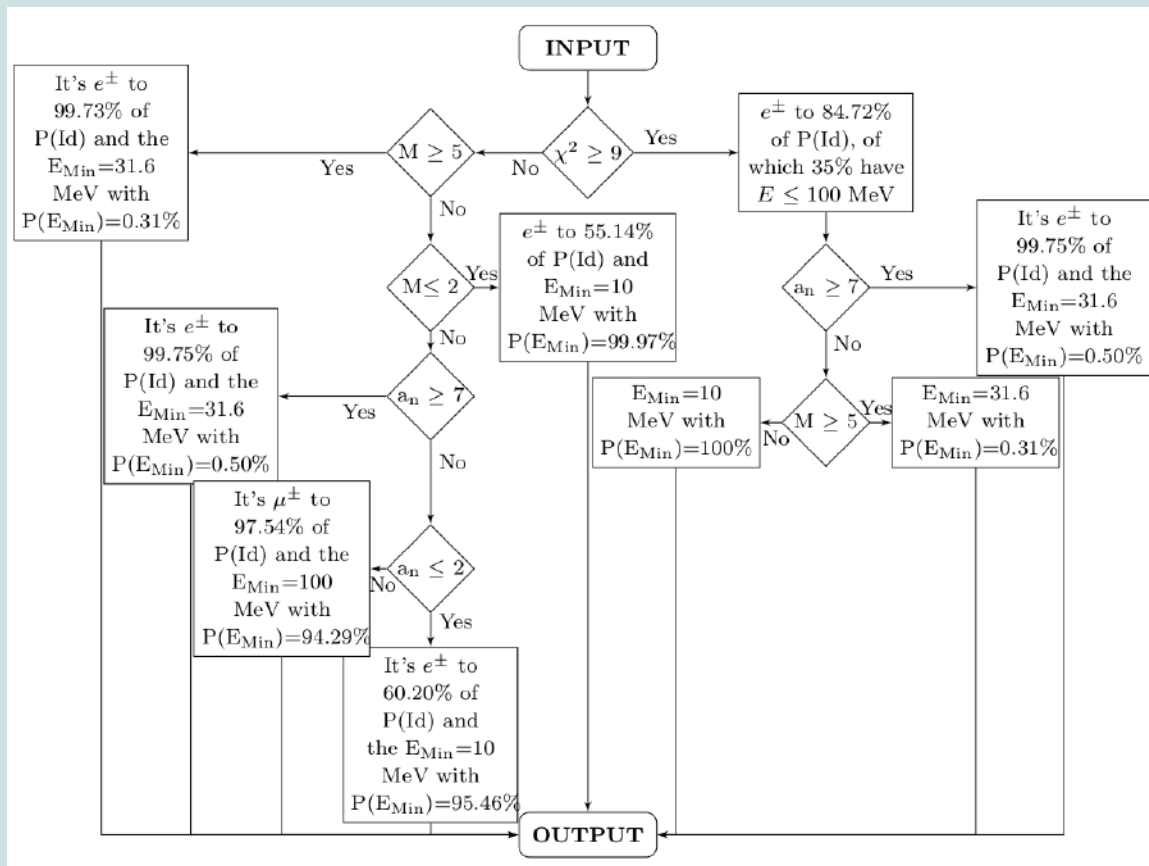
Chi-cuadrado



Identificación de partículas con Tragaldabas

Representación gráfica del algoritmo de identificación de partículas por medio del diagrama de flujo.

Sistema a 4 planos RPCs



Identificación de partículas con Tragaldabas

Aciertos en [%] para los 4 sistemas Tragaldabas estudiados. Los aciertos próximos al 100% para una simulación simple y del 90% par simulaciones realistas con datos CRY e usando el edificio.

Active Planes	Realistic Simulation	Simple Simulation
4	87.9 ± 1.5	99.3 ± 0.2
3	90.2 ± 1.4	99.3 ± 0.2
4 with 1 cm of Pb	91.9 ± 1.6	99.2 ± 0.2
4 with 1.5 cm of Pb	90.3 ± 1.6	98.8 ± 0.2

Eventos a **identificación erróneas** realizadas por el código. La flecha señala la partícula identificada erróneamente por el código descrita como b generada por una partícula a ($a \rightarrow b$). Parámetros relacionados con esta identificación son $M=4$ y $a_n=6$, supone partículas de alta energía cinética.

Active Planes	Misidentification				
	$e \rightarrow \mu$	$\gamma \rightarrow \mu$	$\gamma \rightarrow e$	$p \rightarrow e$	$p \rightarrow \mu$
4	68.5	0.3	20.6	9.4	1.1
3	66.7	0.8	20.6	11	0.8
4 with 1 cm of Pb	47.3	0.9	36.5	14.9	0.4
4 with 1.5 cm of Pb	65.2	0.3	21.7	11.9	0.9

Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. **Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo**
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Se ha realizado un estudio fenomenológico de partículas a nivel del suelo procedente de cascadas atmosféricas para diferentes núcleos primarios (H, He, C y Fe) utilizando CORSIKA y para 2 localizaciones geográficas (USC y BAE). El trabajo se divide en 3 estudios: respuesta de un detector aplicado a los Trasgo, estudio de distribuciones laterales o radiales y distribuciones de *clusters* a nivel del suelo. [Ref: A. Álvarez-Diéz, P. Cabanelas, Y. Fontenla* and J.A. Garzón PoS(ICRC2019)067].

Método de generación de datos:

1. Modelos de generación de datos con CORSIKA fueron GHEISHA (bajas energías) y QGSJET (tiempo de calculo relativamente rápido).
2. Método seleccionado para la salida de ficheros Root.
3. Eventos: 10^5 en $E \in [1.78, 5620]$ GeV y 10^3 $E \in [10^4, 10^5]$ GeV para cada especie de núcleos.
4. 8 transiciones energéticas separadas $10^{1/8}$ en escala logarítmica, por década.
5. 6 intervalos de angulo zenital con valores entre 0 y 58.3° de incidencia del primario en la atmósfera, separados multiples de 0.025 según el $\cos(\theta)$.
6. Cortes en energía seleccionados de 50 MeV para hadrones y muones y, de 90 MeV para fotones y electrones. Cortes seleccionados para recopilar un gran numero de eventos.

customized	hadrons	$\mu^\pm$	$e^\pm$	γ
E-cuts [GeV]	0.05	0.05	0.09	0.09

Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

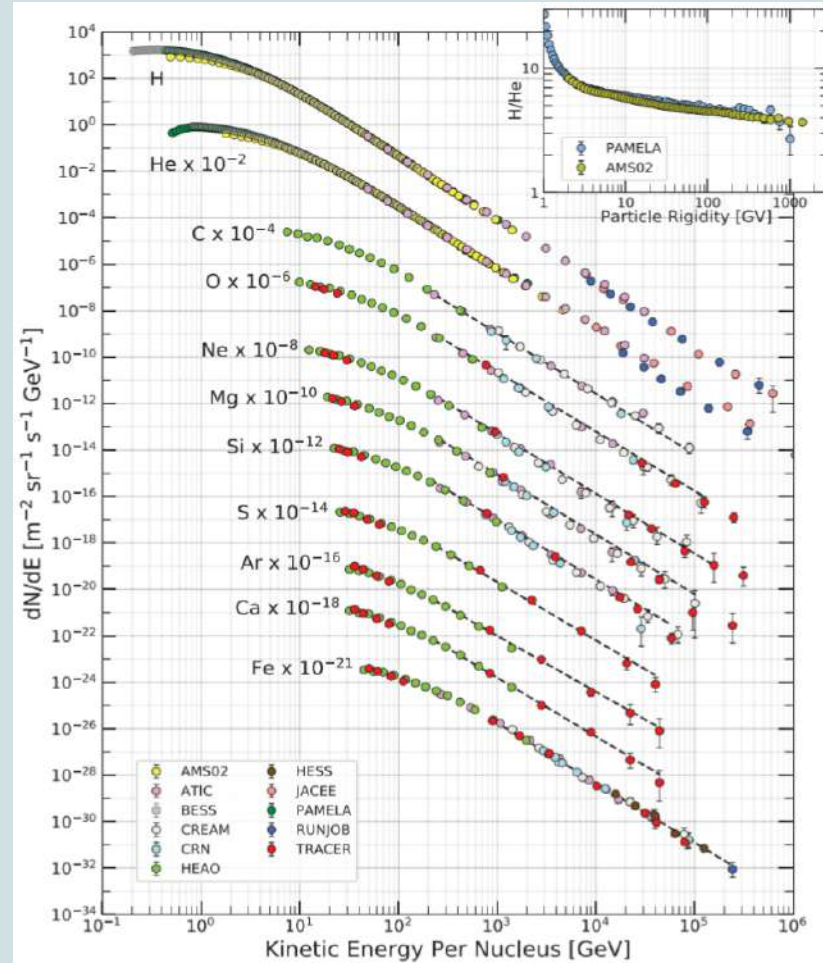
$$I(E) \simeq 1.8 \cdot 10^4 (E/\text{GeV})^{-2.7} [\text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{GeV}^{-1}]$$

Para un 74% de protones primarios y un 18% de He.

Respuesta del detector [GeV s]:

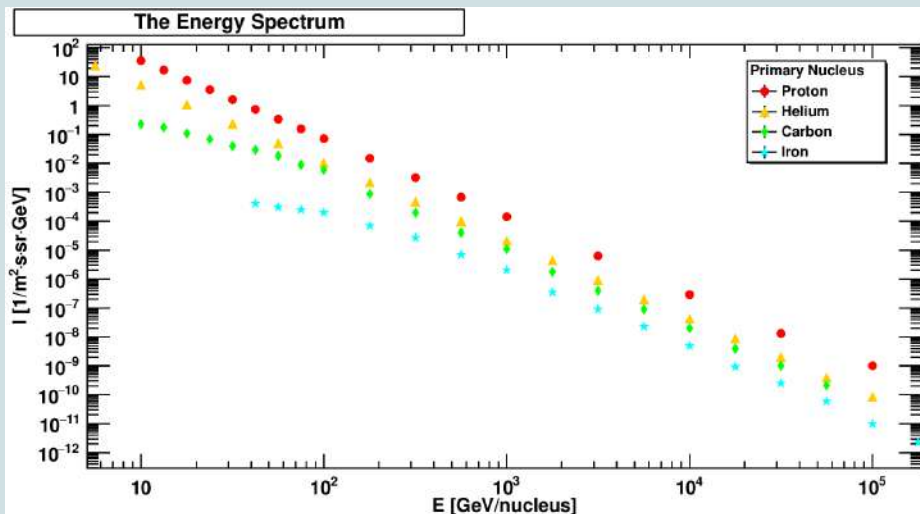
$$G(E, \theta_i, \phi_i) = M(E, \theta_i) \cdot J_p(E) \cdot \Delta S \Omega(\theta_i, \phi_i),$$

donde M es la función multiplicidad, $\Delta S \Omega$ es la aceptación parcial del detector para un cierto θ y Φ dado, y J es la energía diferencial o intensidad.



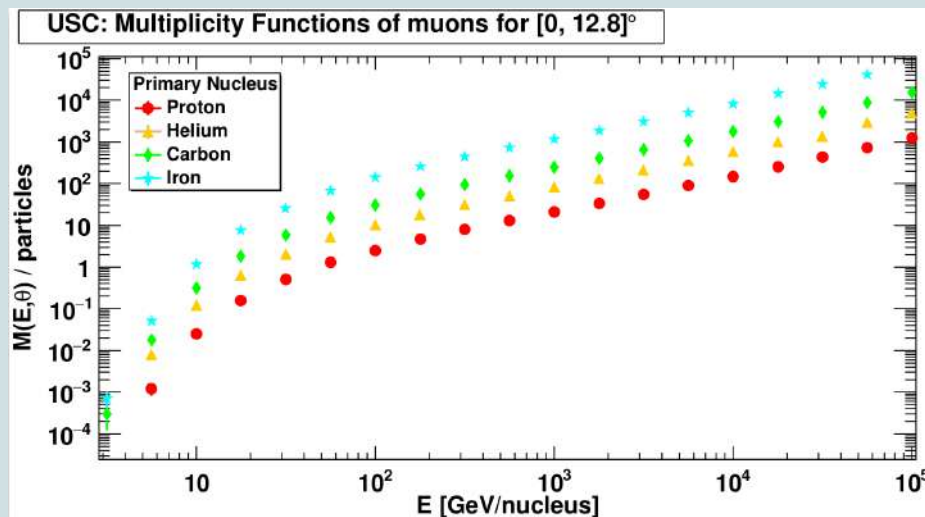
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Respuesta del detector: multiplicar las funciones de ajuste de cada histograma. La función de ajuste de cada histograma es un polinomio de orden 5, salvo la función de intensidad del protón $I_H(E)$.



$$I_H(E)$$

$$J_{He,C,Fe}(E^5)$$



$$M_{H,He,C,Fe}(E^5)$$

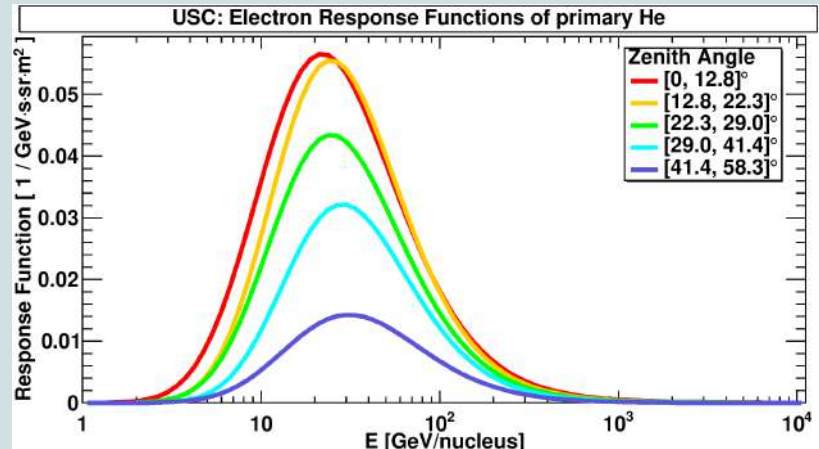
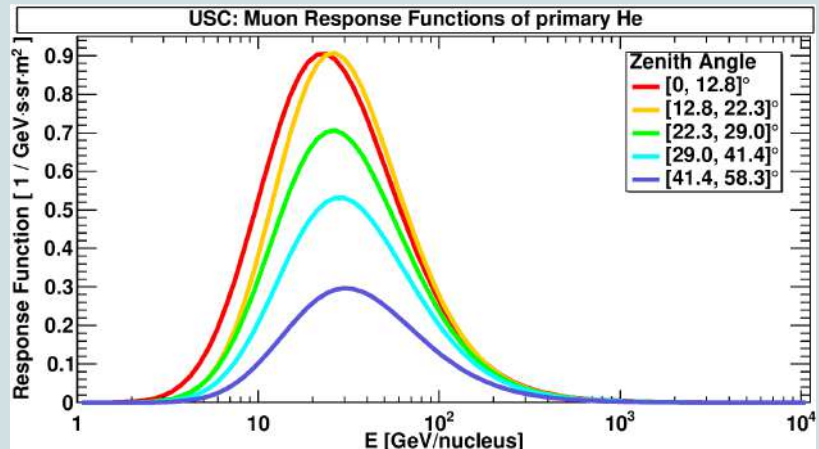
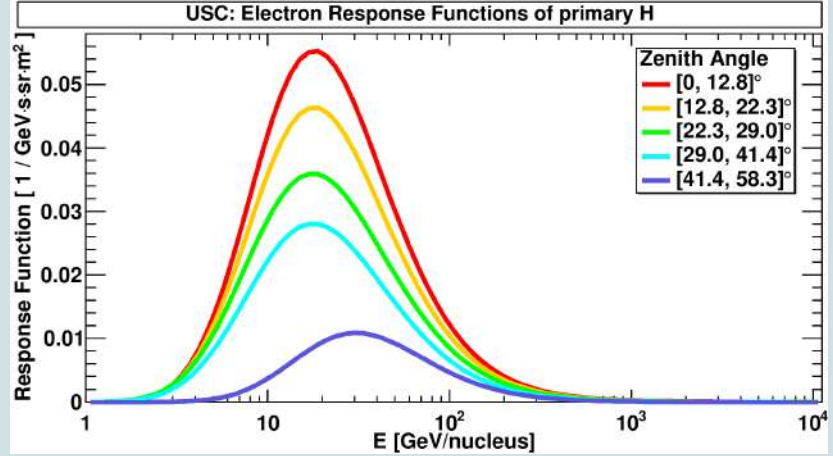
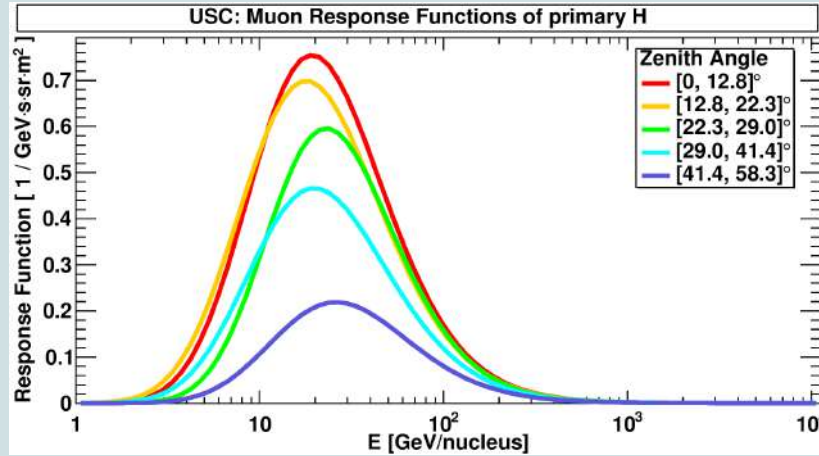
·

=

Respuesta de un detector ideal en la USC [flujo/energía]

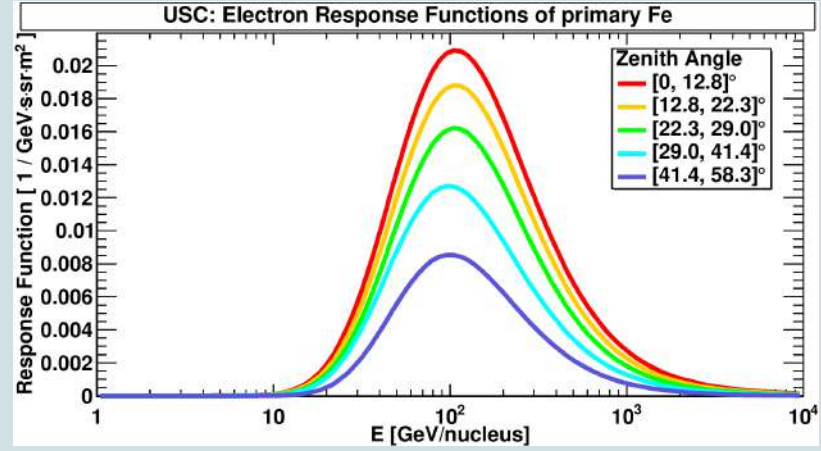
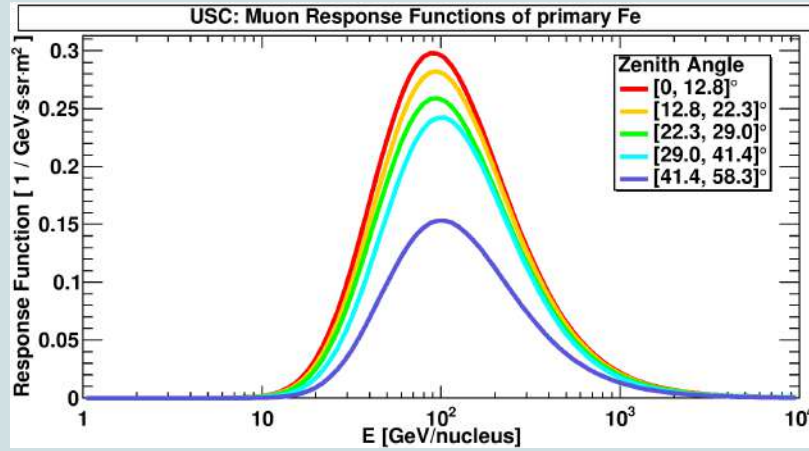
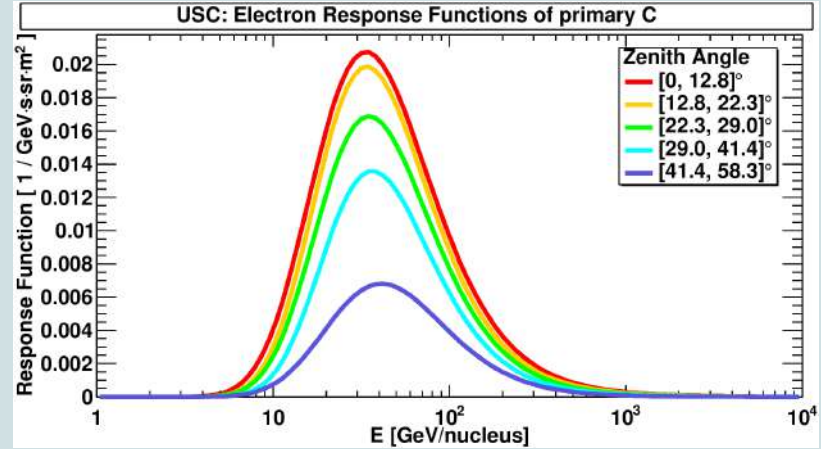
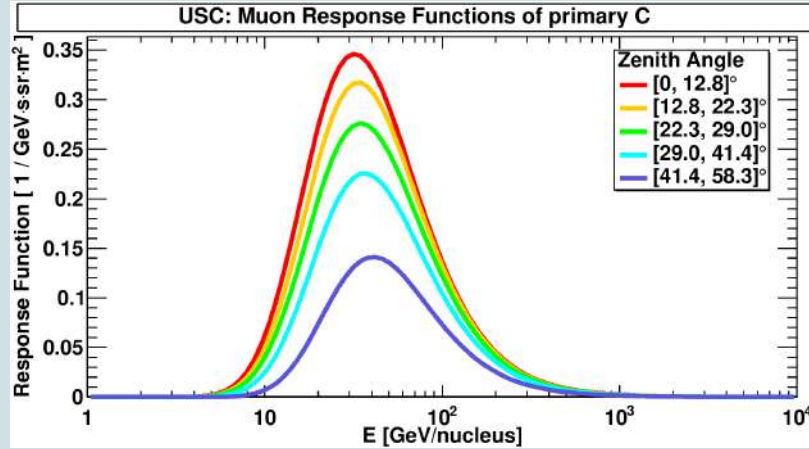
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo ³⁶

Respuesta de un detector ideal situado en la USC (42° N, 8° W, 235 m).



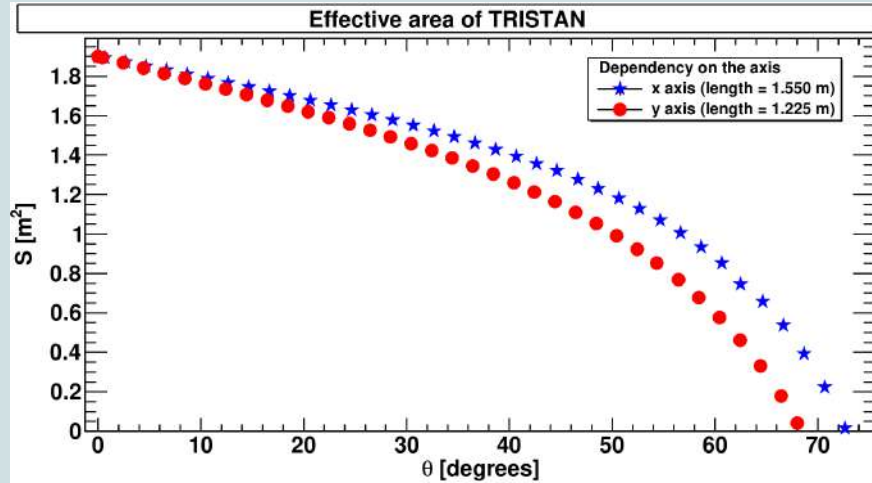
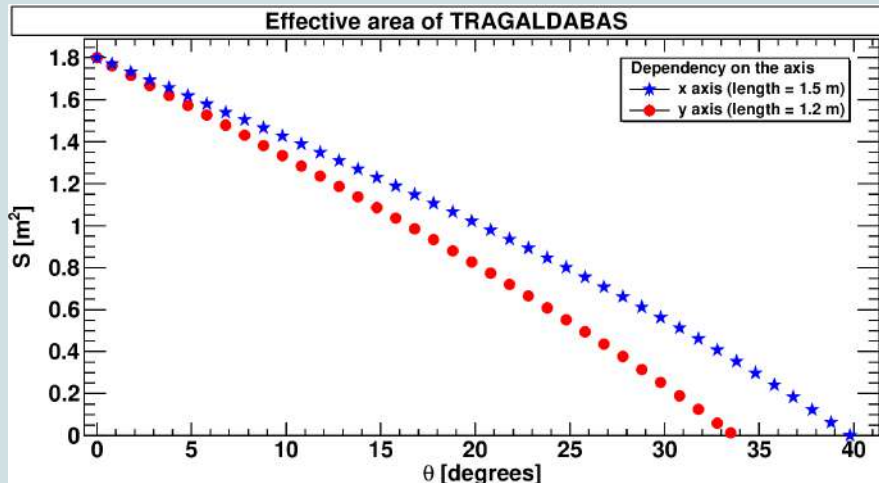
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo³⁷

Respuesta de un detector ideal situado en la USC (42° N, 8° W, 235 m).



Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo ³⁸

Respuesta aplicado a los Trasgo por media de la área efectiva del detector. Área efectiva depende únicamente de las propiedades geométricas del detector.



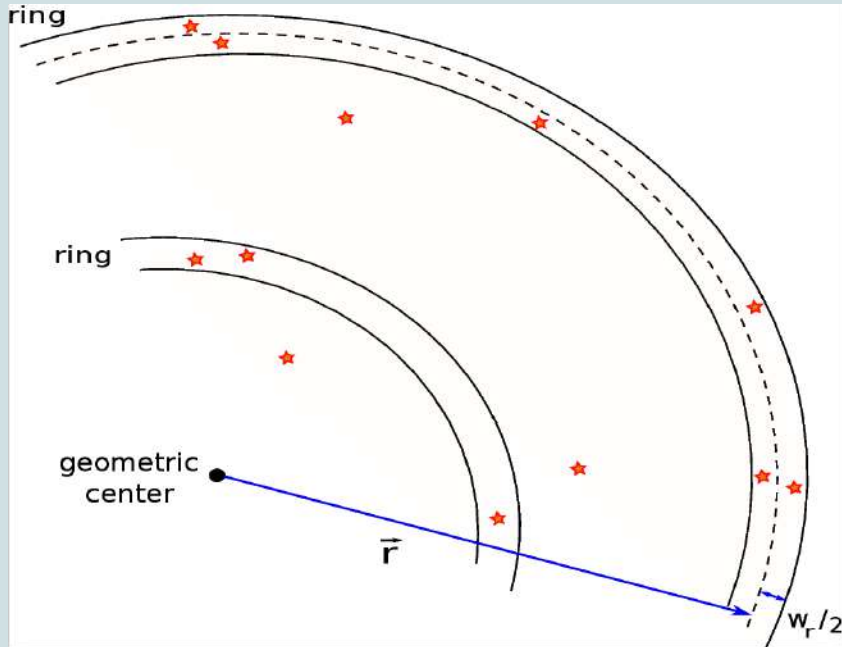
Aceptancia parcial de los detectores Trasgo.

	$\Delta\Omega \cdot S$ [sr·m²]	
θ Range [degrees]	Tragaldabas	Tristan
[0, 12.8]	0.28	0.30
[12.8, 22.3]	0.54	0.60
[22.3, 29]	0.52	0.60
[29, 41.4]	1.15	1.49
[41.4, 58.3]	1.64	2.68

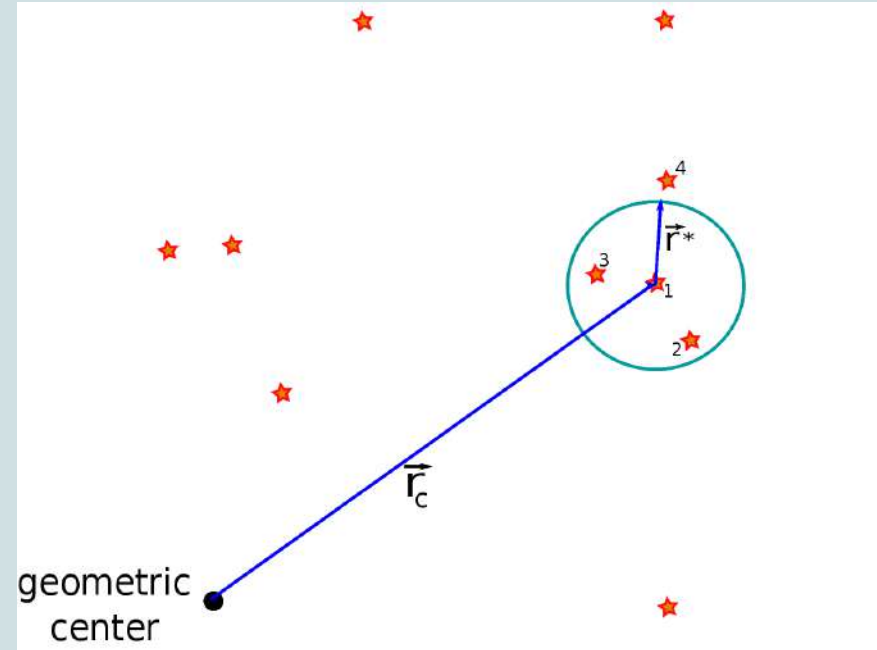
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Estudio fenomenológico de partículas a nivel del suelo por medio de las distribuciones laterales o radiales y distribuciones para el agrupamiento de secundarios o *clusters*.

Distribución Lateral



Distribución de clusters



Estructura y distribuciones de EAS a nivel del suelo

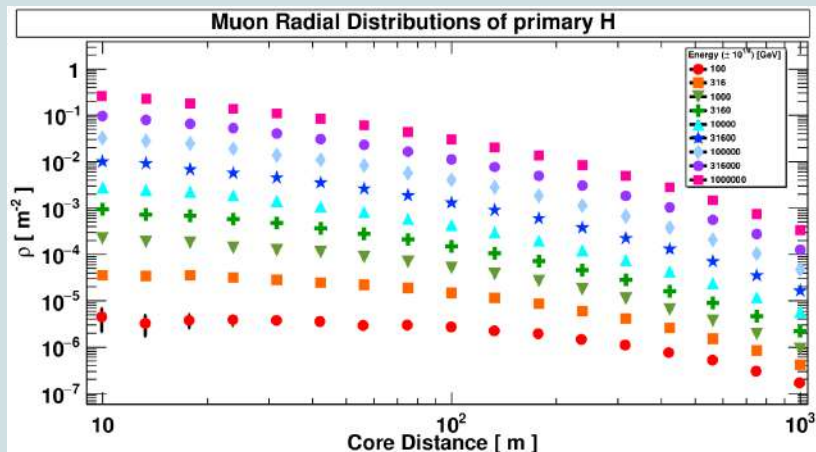
Ajustes en los datos de densidad radial y del número de partículas secundarias de las cascadas.

$$\rho(r) = C \cdot (r/r_0)^\alpha \cdot (1 + r/r_0)^\beta [m^{-2}],$$

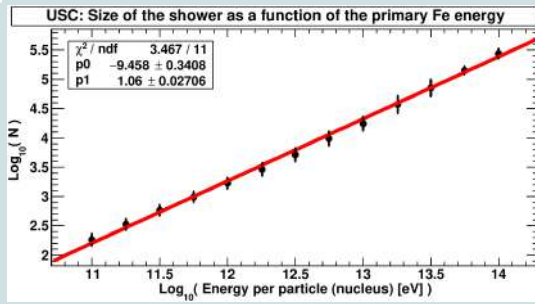
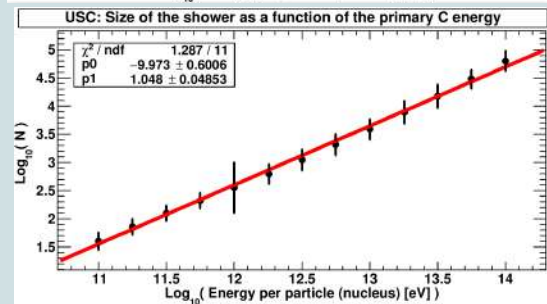
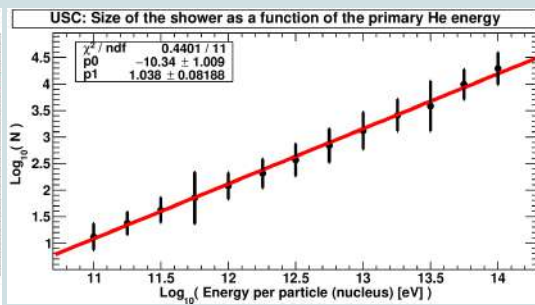
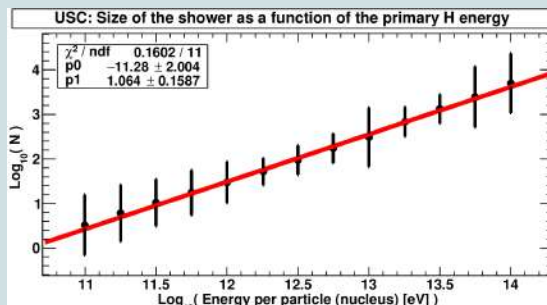
donde r es la distancia del anillo al centro geométrico de la cascada y (C, r_0, α, β) son parámetros libres.

$$N_0 \simeq (1/\kappa^{1/b}) \cdot E_0^{1/b},$$

donde E_0 es la energía del primario y (κ, b) son los parámetros libres.



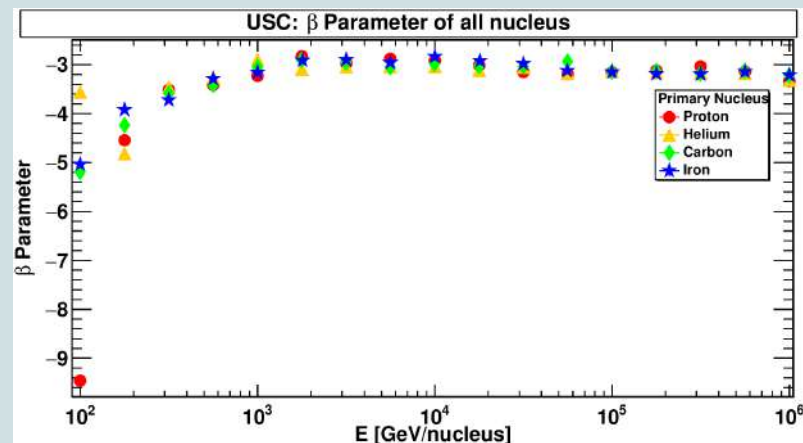
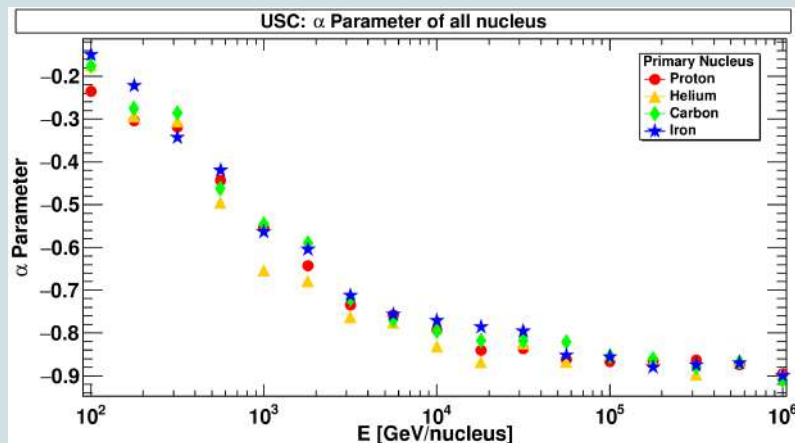
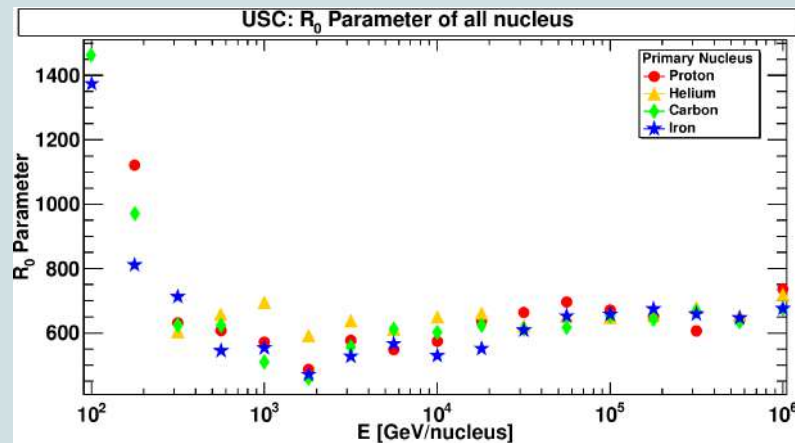
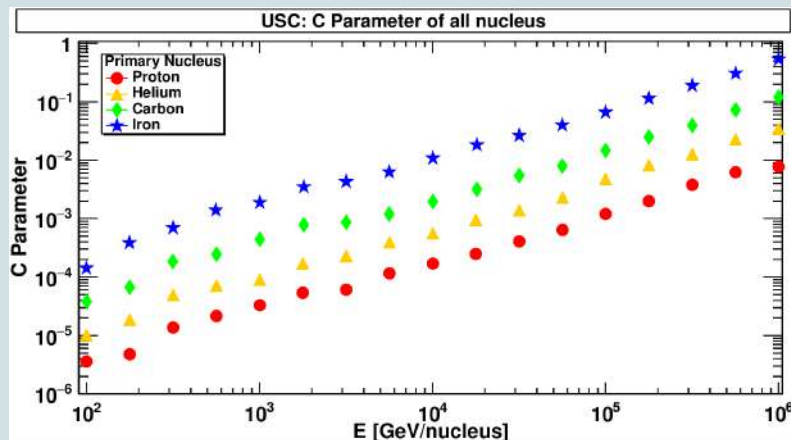
[T.Hara et al., 11, (1983) 276]. $r_0 = 280$ m, $\alpha = -0.75$, $\beta = -2.5$.



[A.M Hillas, Astrophys, 22 (1984) 425-44]. $\kappa = 2.217 \cdot 10^{11}$ y $b = 0.798$ para protones.

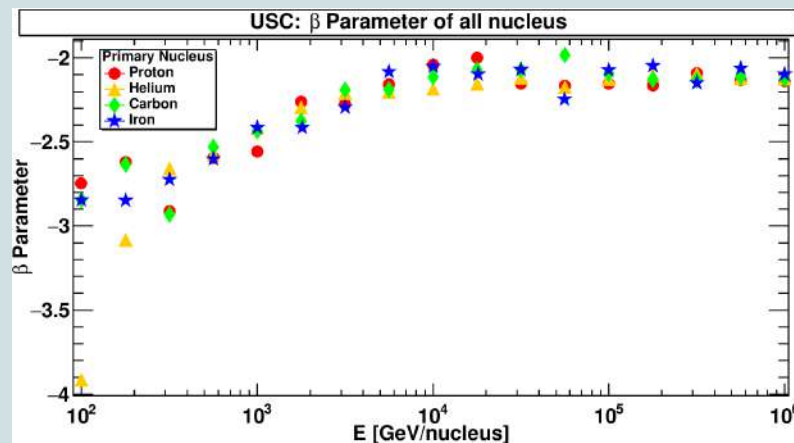
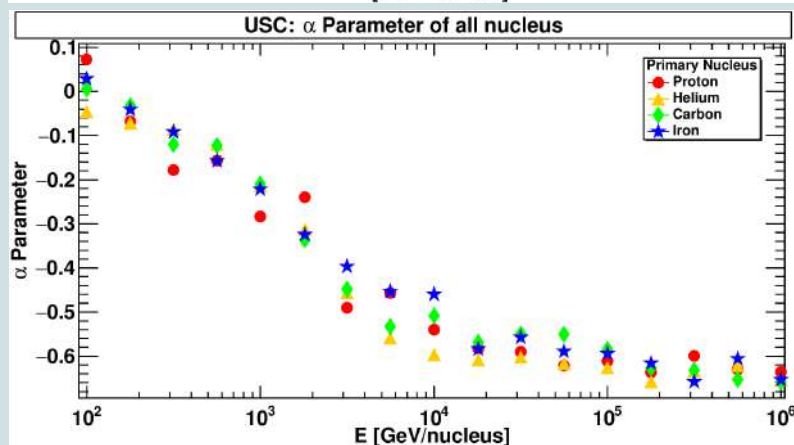
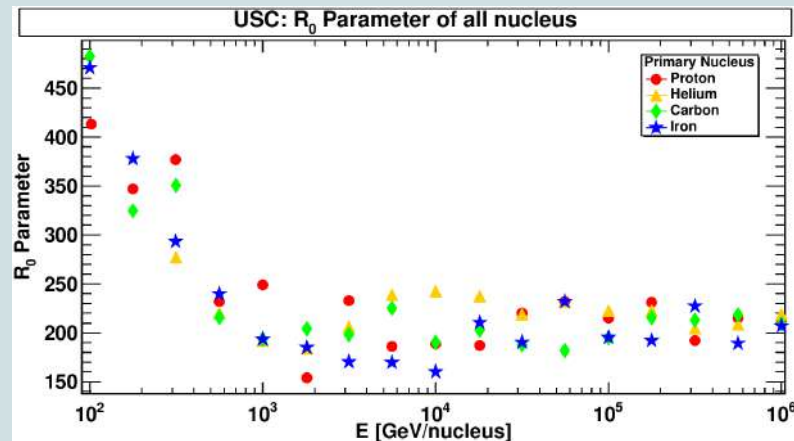
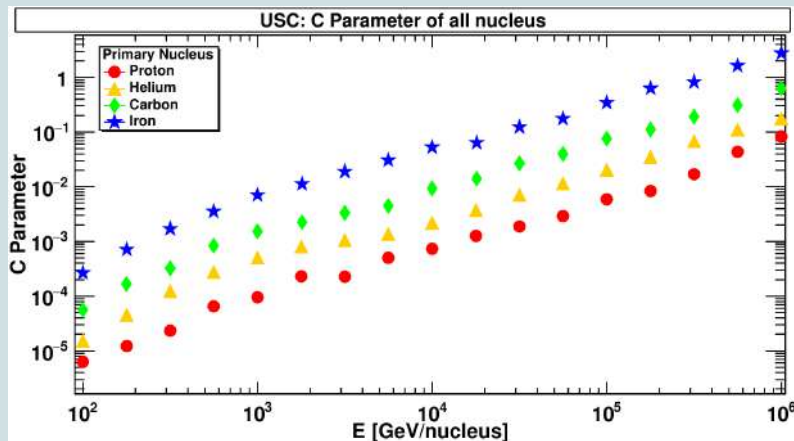
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Distribución lateral ($r \in [31.6, 1000]$ m).



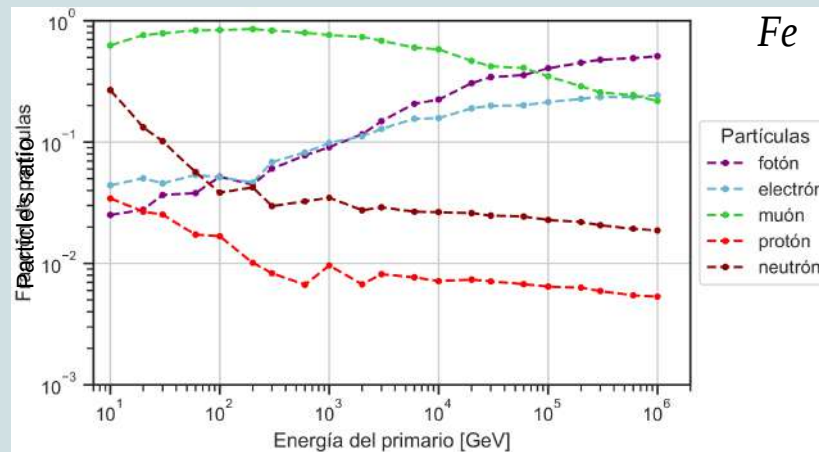
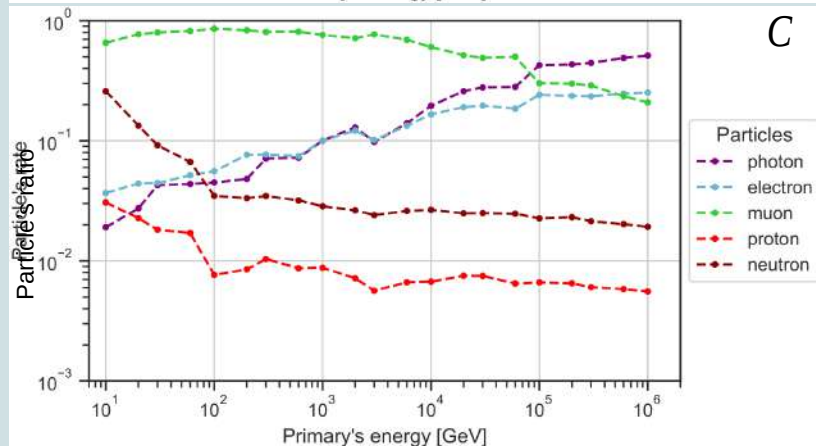
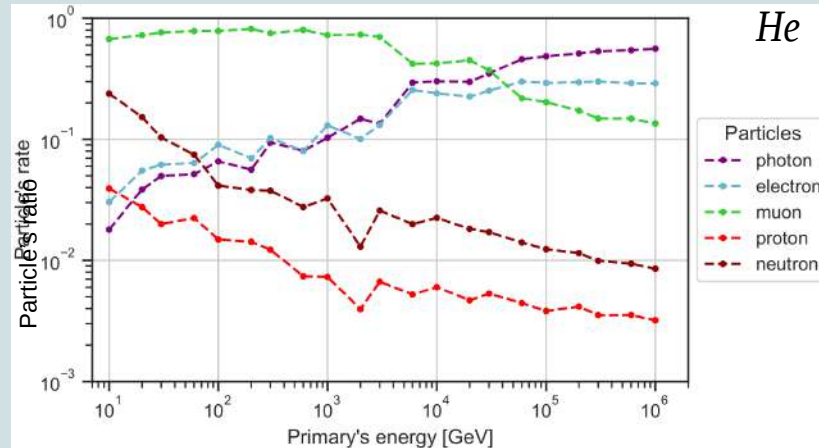
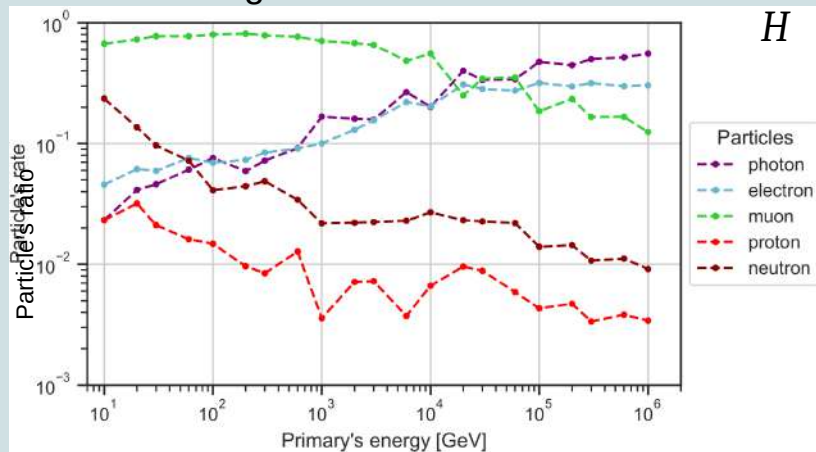
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Distribución lateral ($r \in [10, 562]$ m).



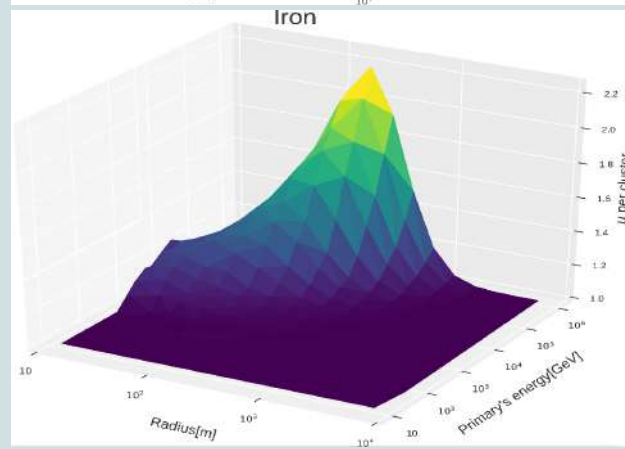
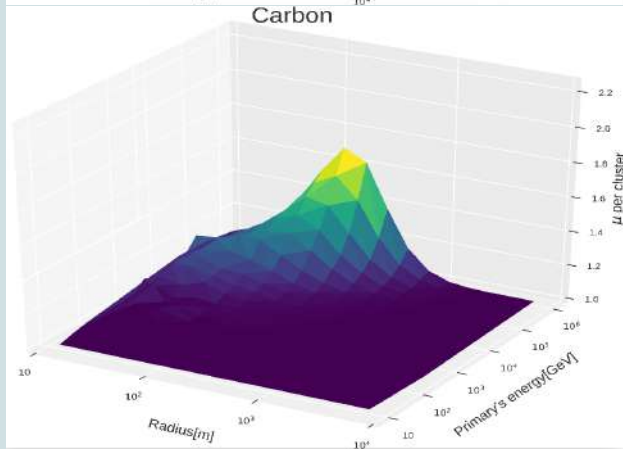
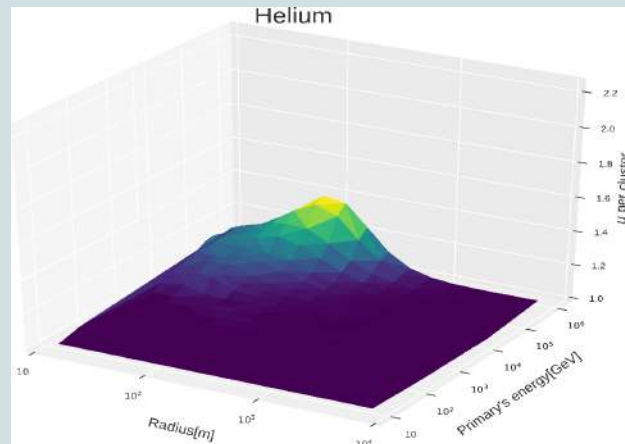
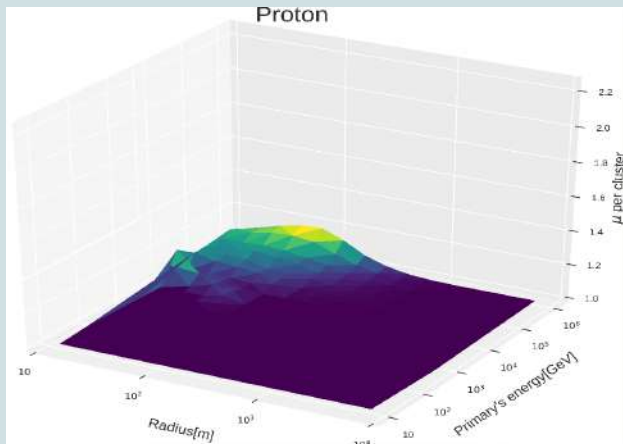
Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Distribución de clusters. Fracción total de partículas procedente de distintos núcleos primarios y a distintas energías:



Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo

Distribución de clusters. Gráficas 3D de distribución de muones, radio de clusters frente a la energía de primarios y frente al logaritmo de muones por clusters.



Índice

1. Introducción y Motivación
2. Física de los Rayos Cósmicos
3. Dispositivos de detección RPCs
4. Experimento Tragaldabas
5. Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot
6. Identificación de partículas con Tragaldabas
7. Estructura y distribuciones de secundarios a nivel del suelo
8. Conclusiones
9. Futuras perspectivas

1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y número de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, número de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y número de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, número de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y número de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, número de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y angulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y numero de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, numero de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. He implementado las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones laterales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y número de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, número de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y numero de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, numero de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

Conclusiones

1. He implementado las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y ángulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y número de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, número de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

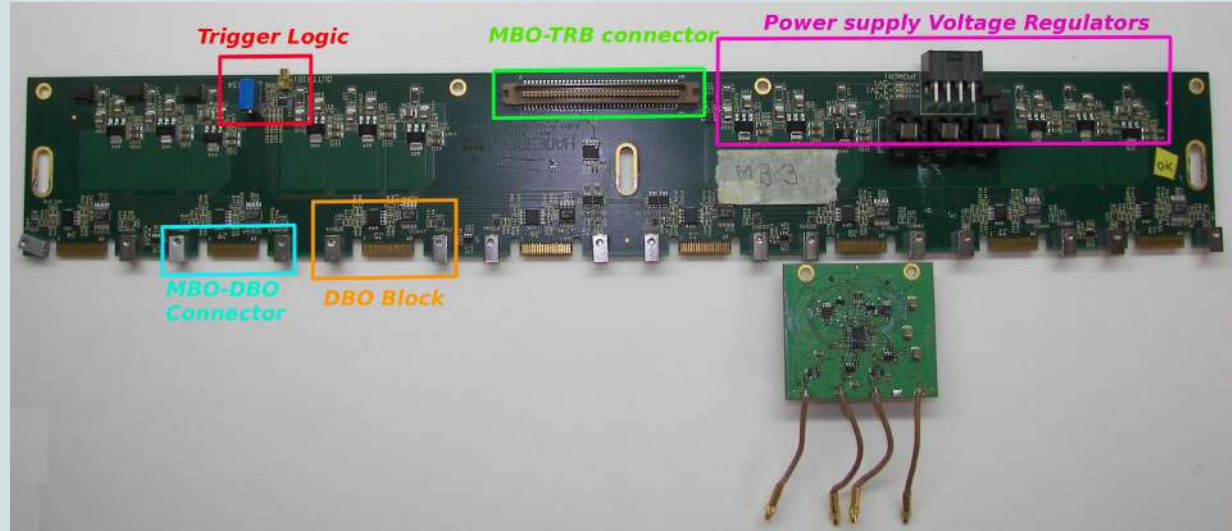
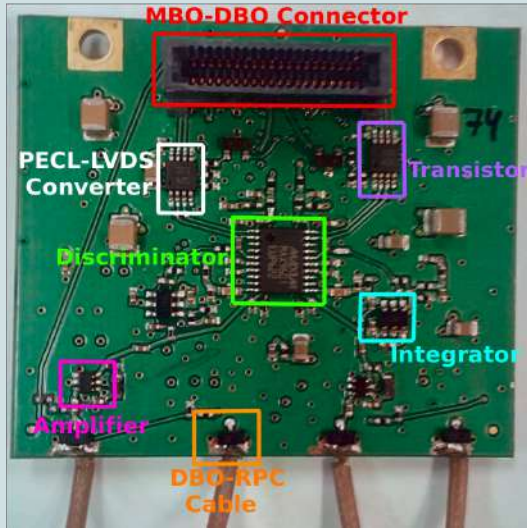
1. He implementado la las distintas geometrías del detector Tragaldabas y su entorno, el edificio de la Facultad de Física, en el framework EnsarRoot.
2. He analizado el comportamiento de partículas (electrones, muones y en algunos casos fotones) por medio de simulaciones en EnsarRoot en nuestro detector Tragaldabas.
3. He usado datos del programa de simulación de datos realista Cry en mis análisis y además he creado e implementado un generador de eventos basado en estos mismos datos.
4. He hecho un método de identificación de partículas con Tragaldabas. Los resultados de identificación nos proporciona una probabilidad de aciertos del 90% para simulaciones de Tragaldabas con edificio y del 99% sin el edificio.
5. He hecho un programa de análisis de distribuciones radiales y de agrupamiento de secundarios a nivel del suelo.
6. El estudio de distribuciones y estructura de cascadas atmosféricas nos proporciona gran información del primario (masa, energía y angulo de incidencia del primario) y sus tendencias con la masa de los núcleos.
7. El análisis de distribución radial y numero de partículas nos proporciona información esencial de la distribución de secundarios a nivel del suelo, numero de secundarios por cascada y relación con las energías de primario.
8. El estudio de distribución de agrupamiento de secundarios (electrones y muones) a nivel del suelo nos da una relación con las energías del primario y del radio al centro geométrico de la cascada atmosférica. El estudio nos proporciona un buen estimador del tamaño de una red de detectores Trasgo, de unos 500 a 1000 metros para muones.

1. Una identificación mas exhaustiva con protones y para ser más finos con fotones.
2. Realizar una identificación de partículas con datos reales para cualquiera de las configuraciones estudiadas.
3. En vez de incrementar el espesor de las laminas de plomo es conveniente en ciertos casos implementar laminas de plomo entre diferentes planos del detector (ej: entre T1-T2 y T2-T3) para aumentar la separación entre muones y electrones.
4. Implementar los algoritmos de identificación en la placa de adquisición de datos, para aumentar la eficiencia de nuestros análisis a la hora de recopilar datos en nuestro detector.
5. Montar una red de detectores Trasgo en una amplia superficie de acción a nivel del suelo.
6. Un nuevo análisis de datos para el estudio de clusters a nivel del suelo esta en proceso manteniendo unicamente electrones y muones, debido al gran numero de fotones nos aparecía un sobreconteo en en los radios de acción perturbando nos las tendencias en el análisis de electrones y muones en los resultados.
7. Optimizar mi método de identificación de partículas por medio de los observables en los diagramas de flujo MIDAS y los parámetros de ajuste en el estudio de distribución lateral implementando los en redes neuronales.

Gracias por vuestra atención

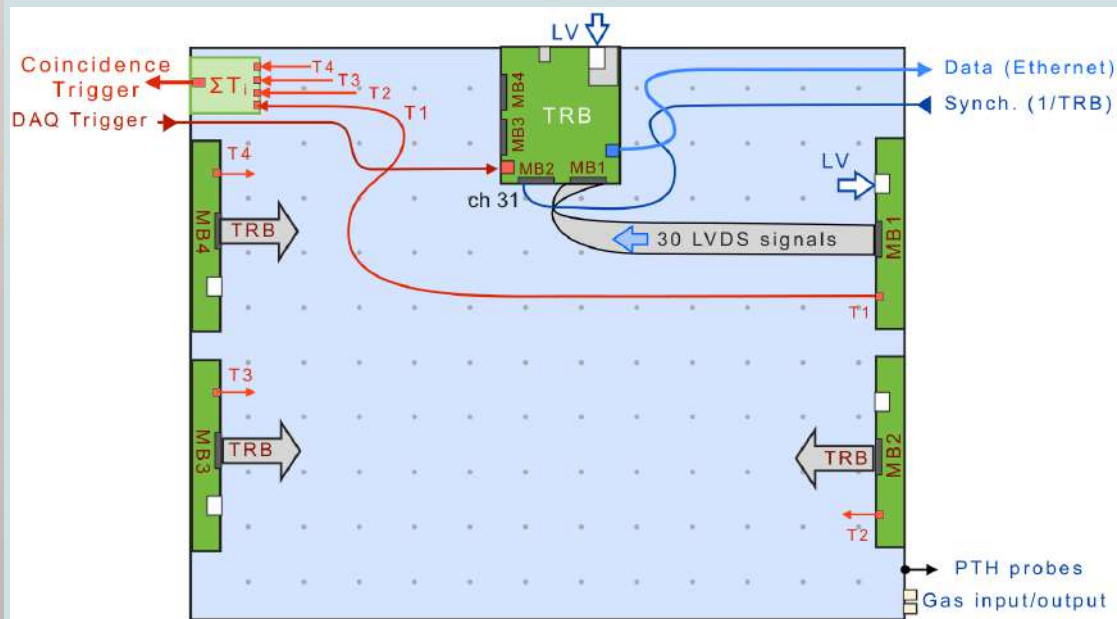
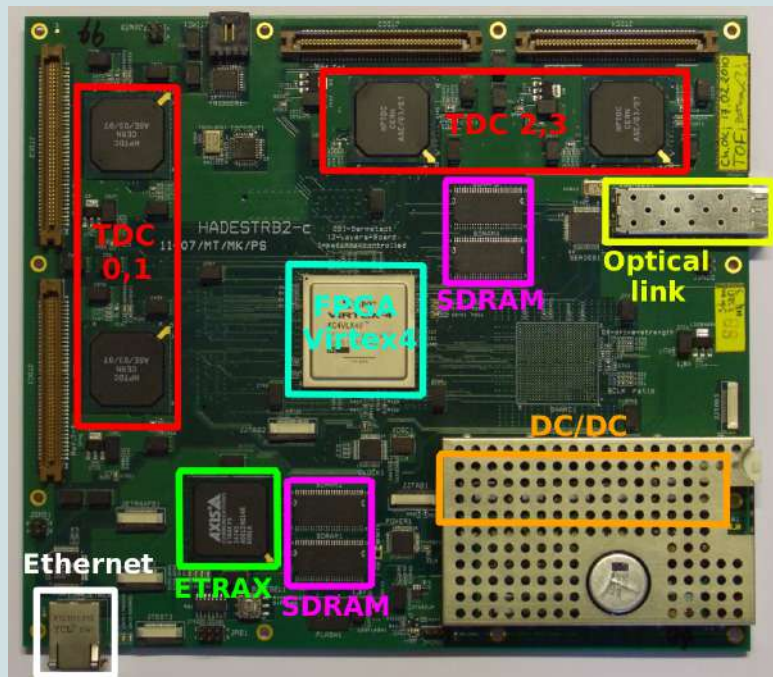
Suplemento con Figuras y Resultados

FEE (Front-End and Read-out electronics) se divide en dos placas, Daughterboard (DBO) and Motherboard (MBO).



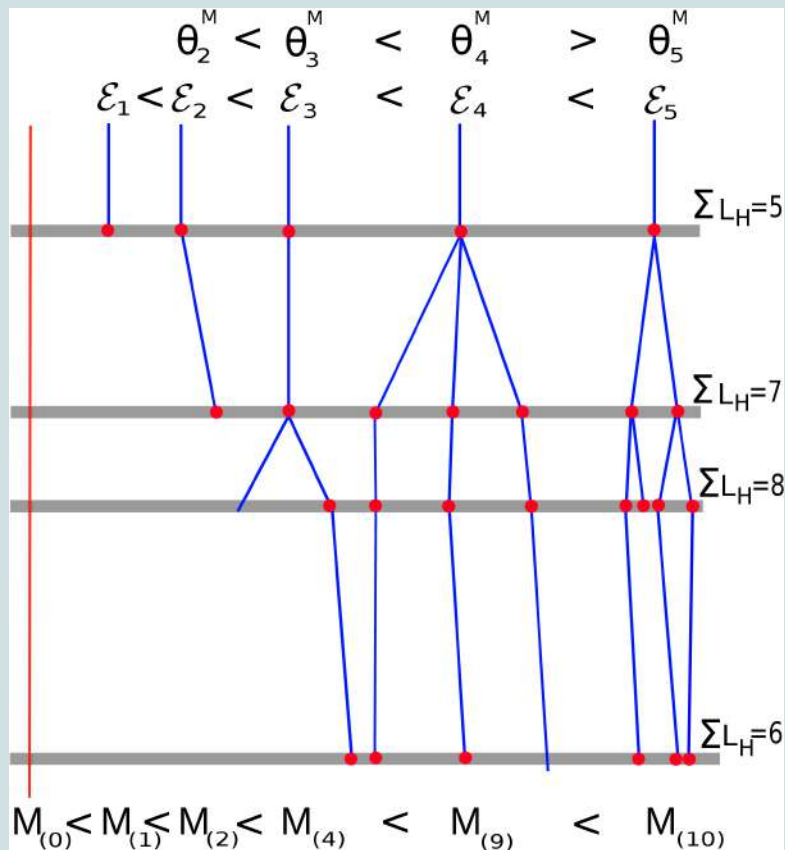
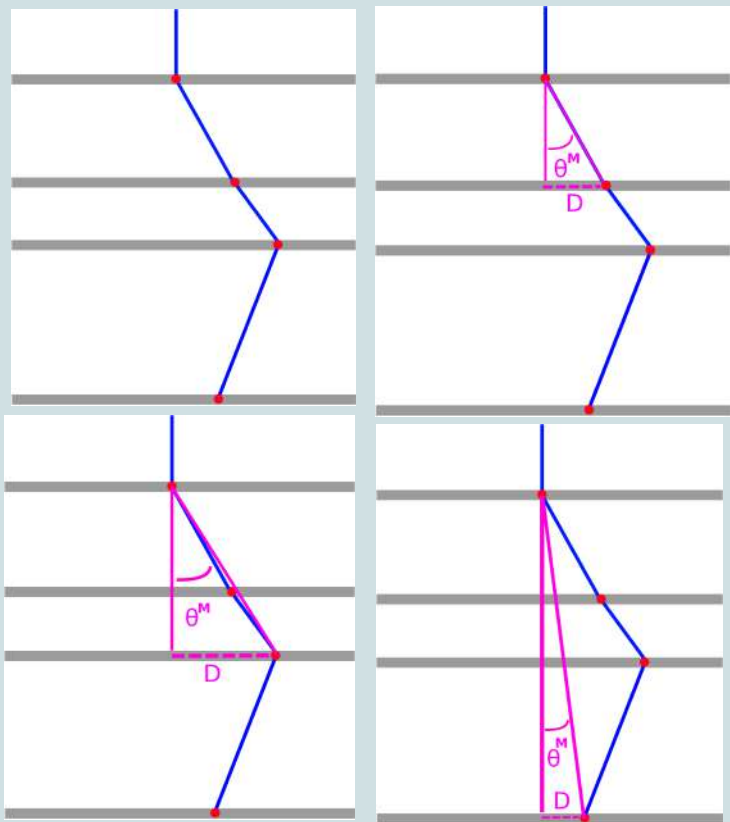
Suplemento con Figuras y Resultados

Placa TRBv2 (Trigger and Readout Board) para la adquisición de datos y la disposición de los dispositivos de un plano de Tragaldabas



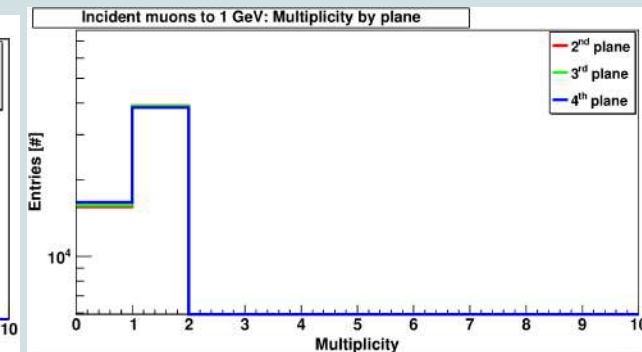
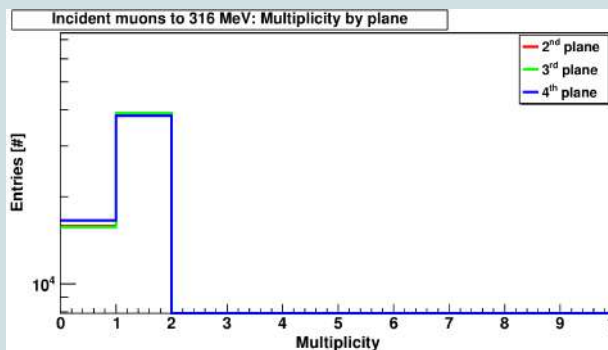
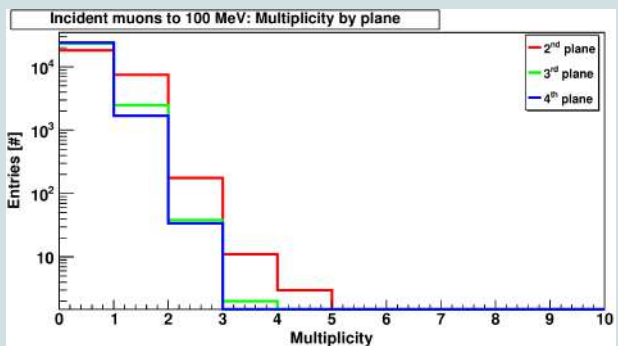
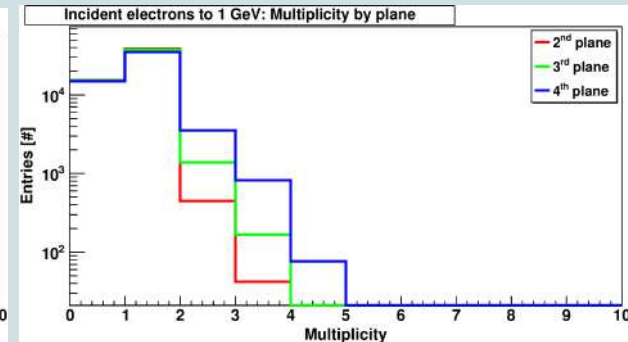
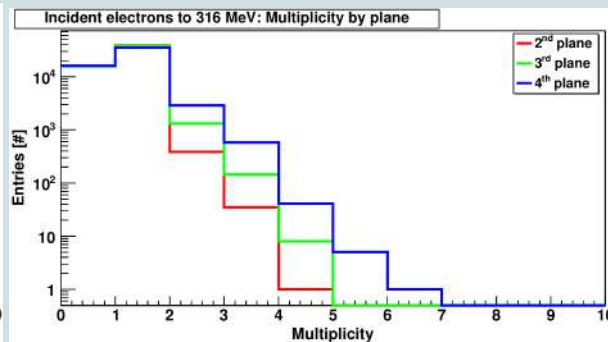
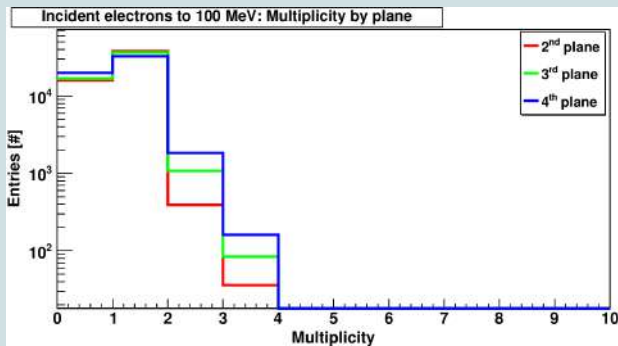
Suplemento con Figuras y Resultados

Ejemplo grafico del analisis del angulo maximo en el detector Tragaldabas y un esquema sencillo con ejemplos de trazas de partículas en el detector para comprender la función de los observables físicos en el analisis de datos.



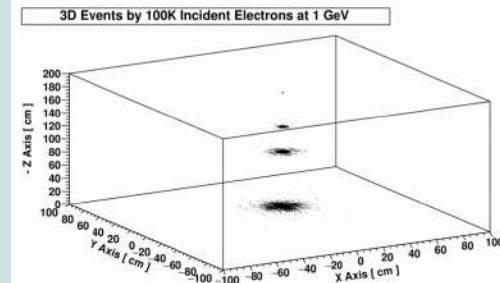
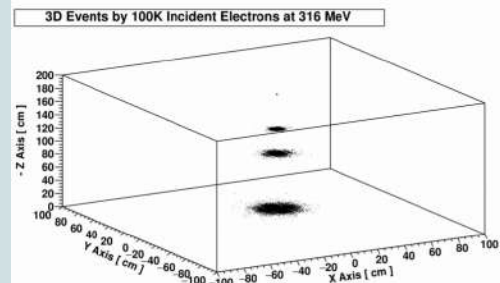
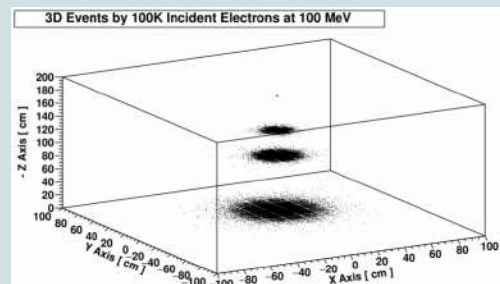
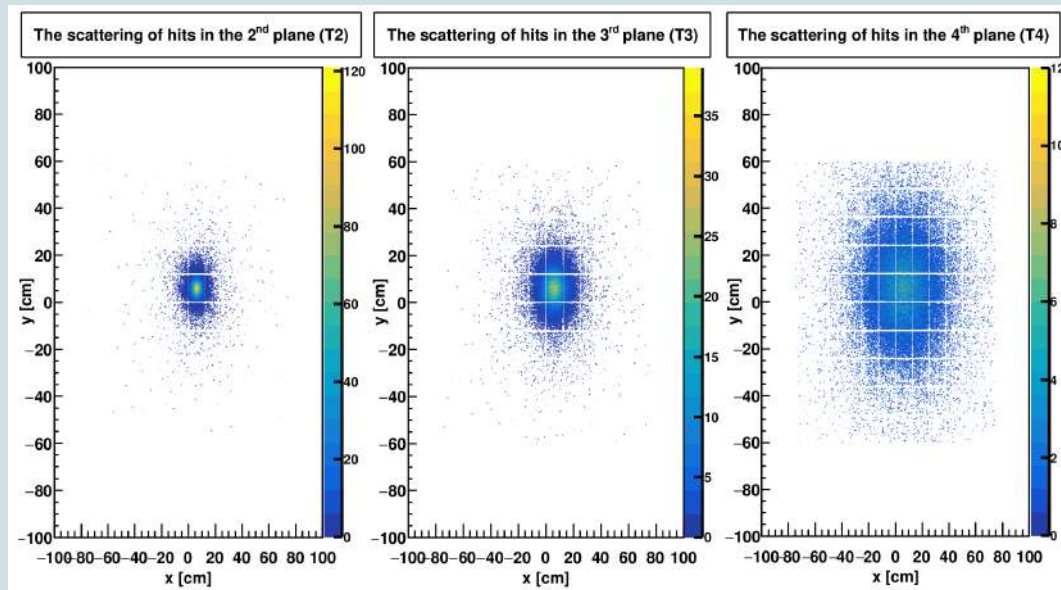
Suplemento con Figuras y Resultados

Multiplicidad por cada plano tanto para electrones como muones con la condición de tener un hit sobre el primer plano. Simulaciones realizadas para 100, 316 MeV y 1 GeV.



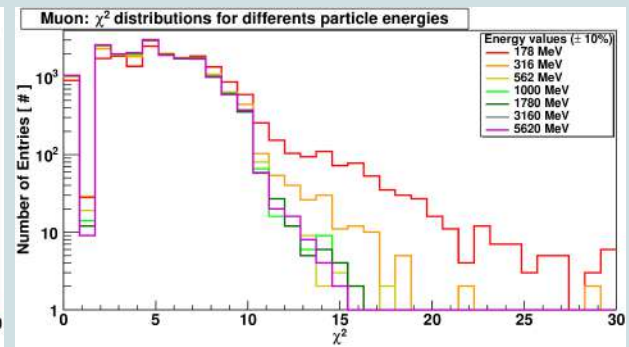
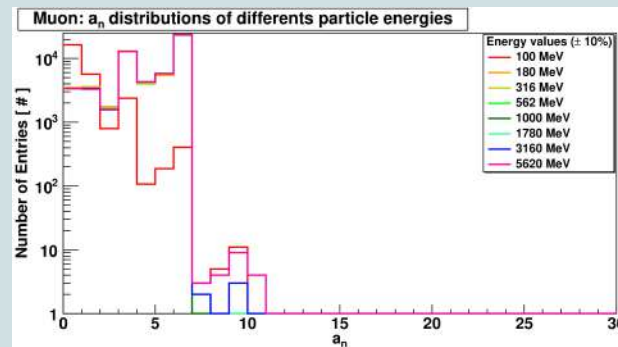
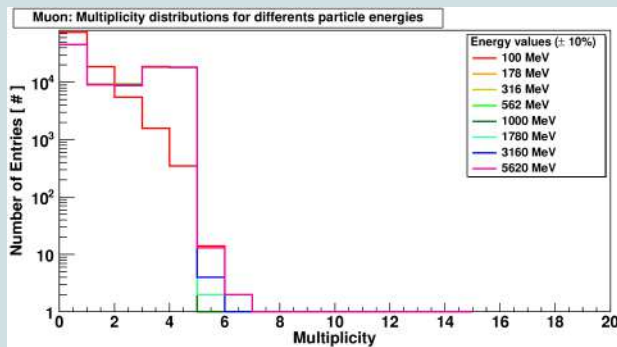
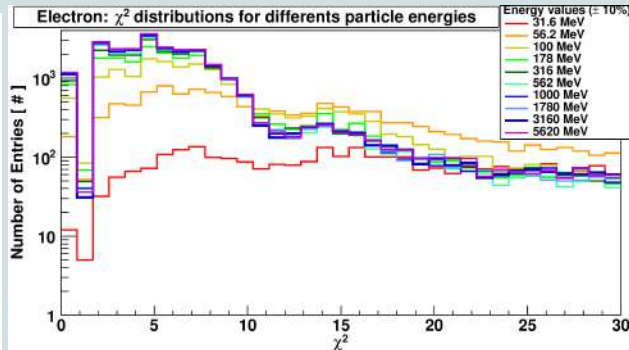
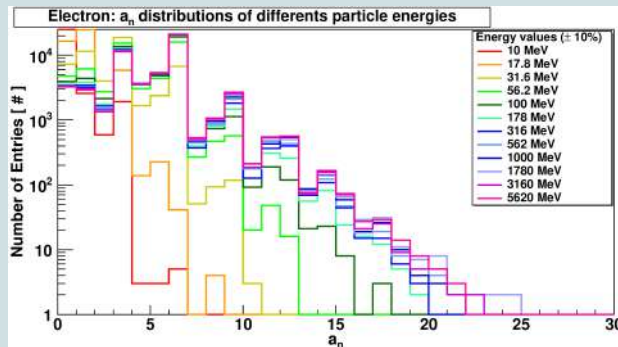
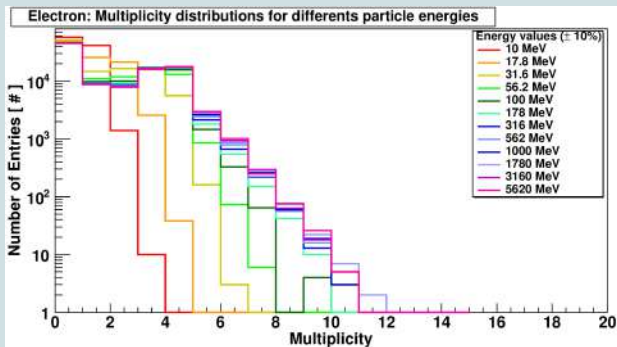
Suplemento con Figuras y Resultados

Dispersión de hits en cada plano del detector teniendo en cuenta que se de un hit sobre le primer plano T1 y la evolución de la cascada electromagnética para 100 eventos electrónicos a 100 MeV, 316 MeV y 1 GeV .



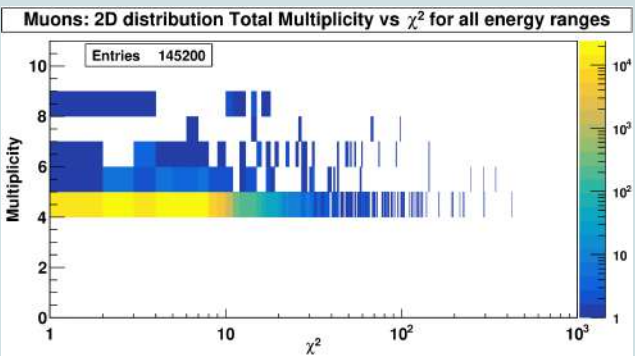
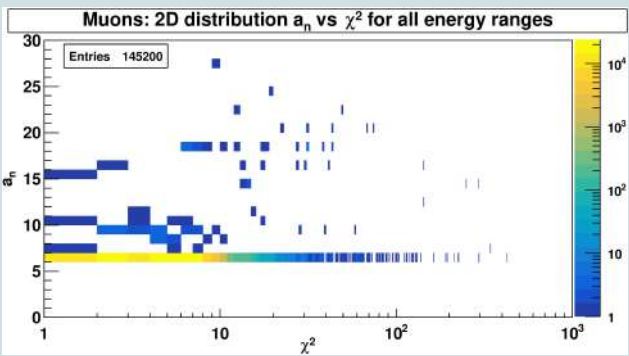
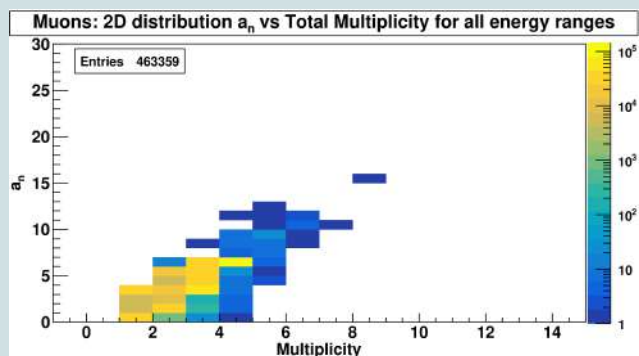
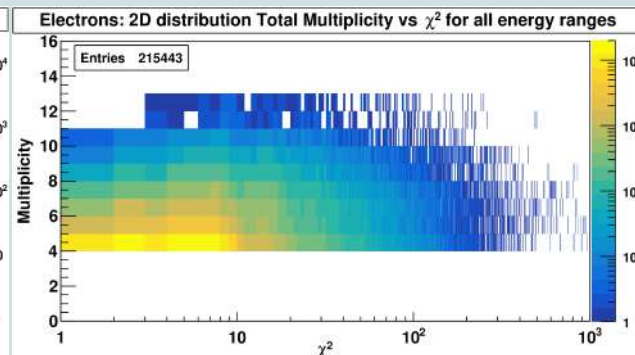
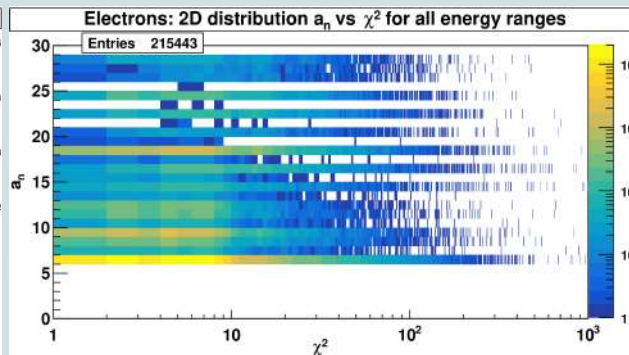
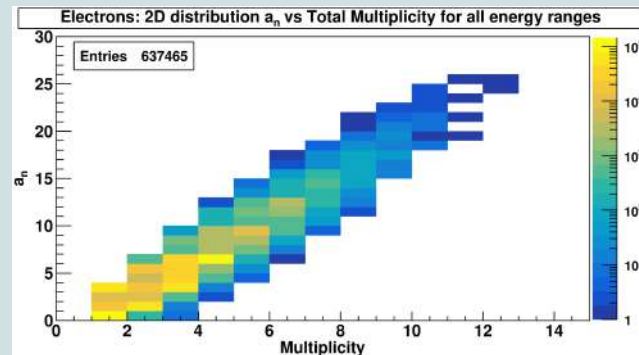
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



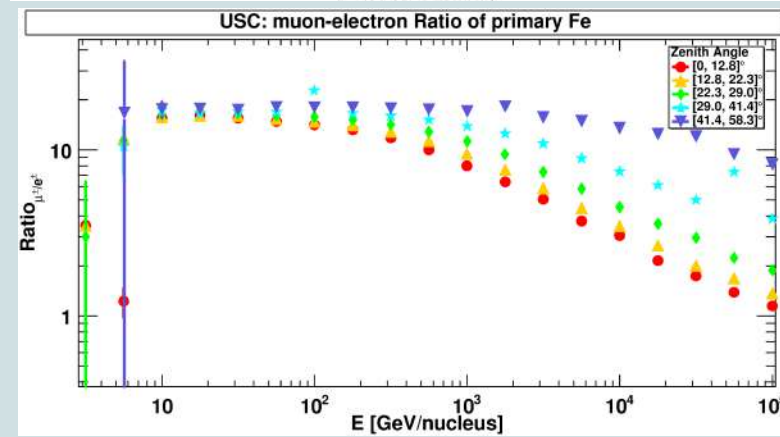
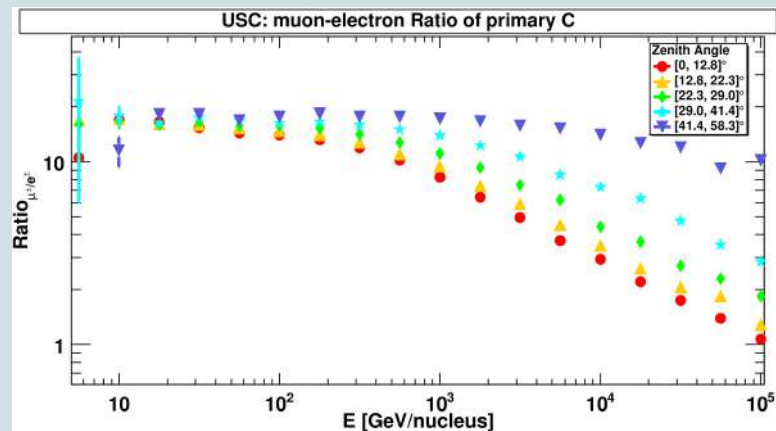
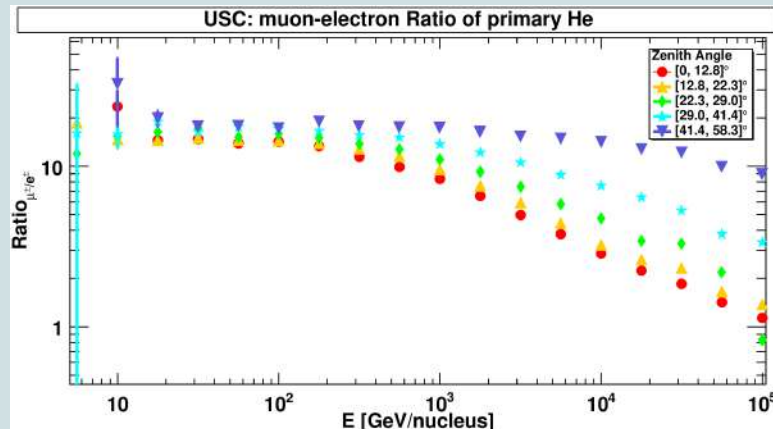
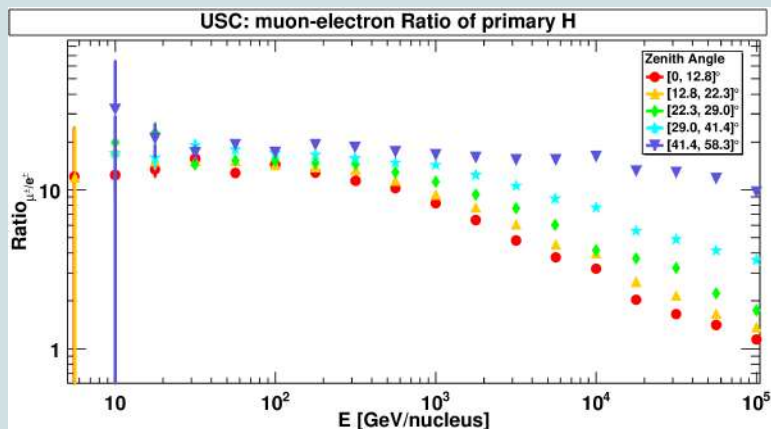
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



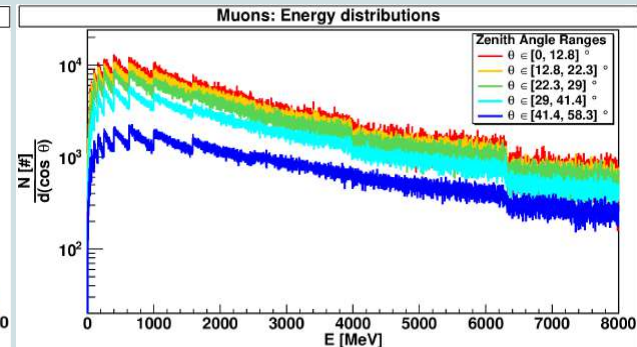
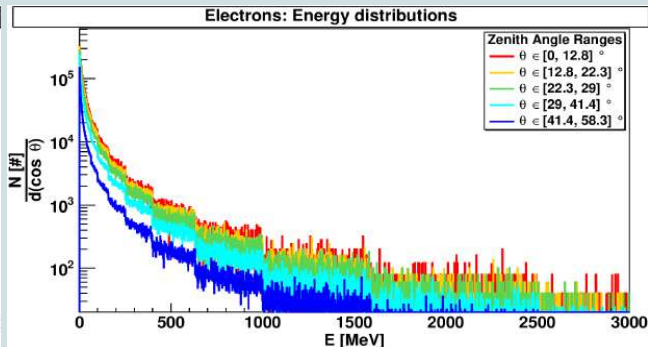
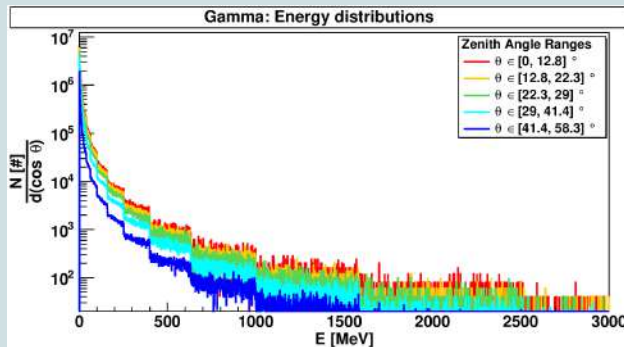
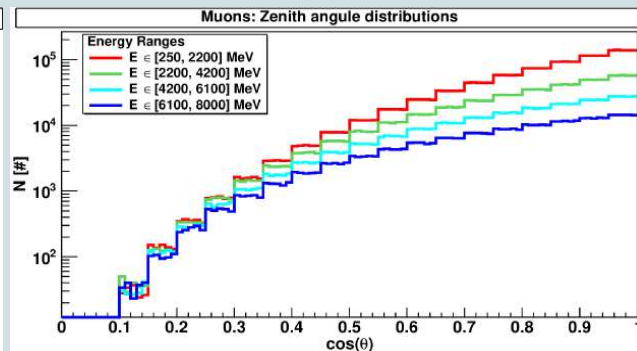
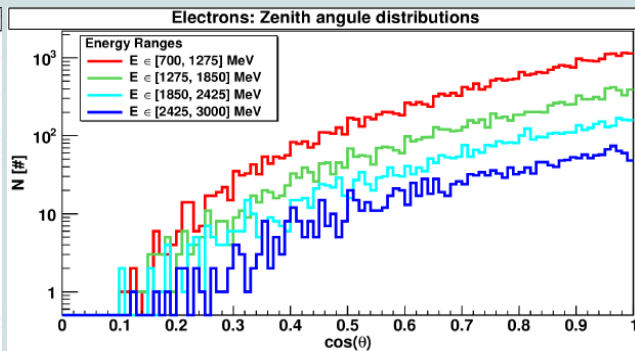
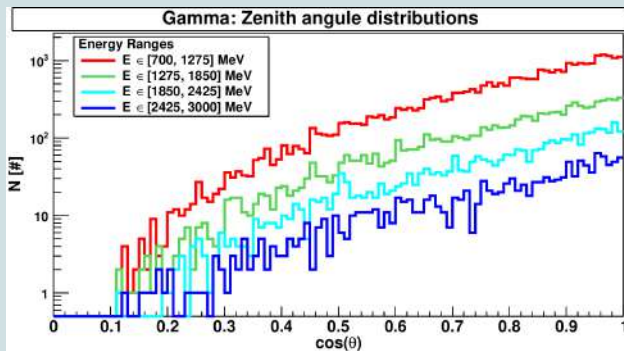
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



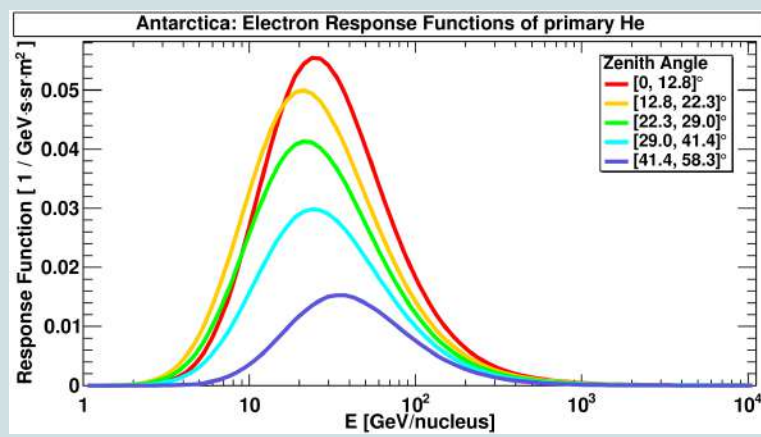
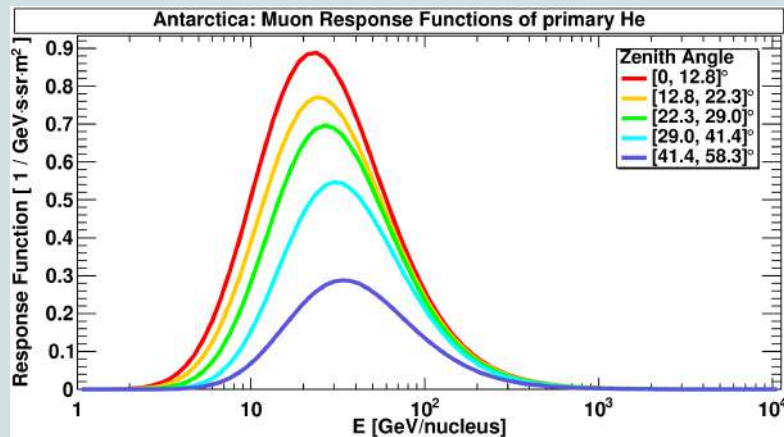
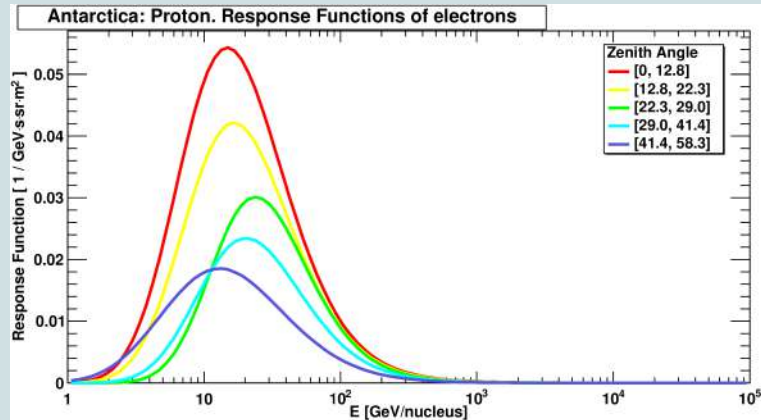
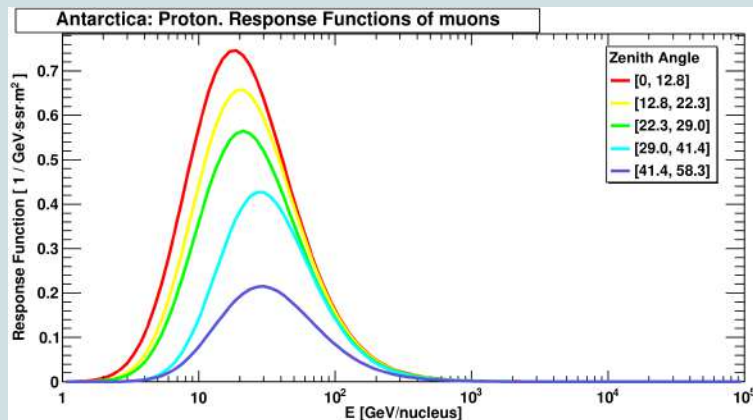
Simulaciones con Tragaldabas en EnsarRoot

Puesta a punto de un programa de generación de partículas (γ , e , μ) con datos realistas del programa de simulación CRY. Estudio de las distribuciones angulares ($\cos(\theta) \in [0,1]^\circ$) y energéticas dentro del intervalo en energías de 50 y 3000 MeV para fotones y electrones, y de 100 a 8000 MeV para muones.



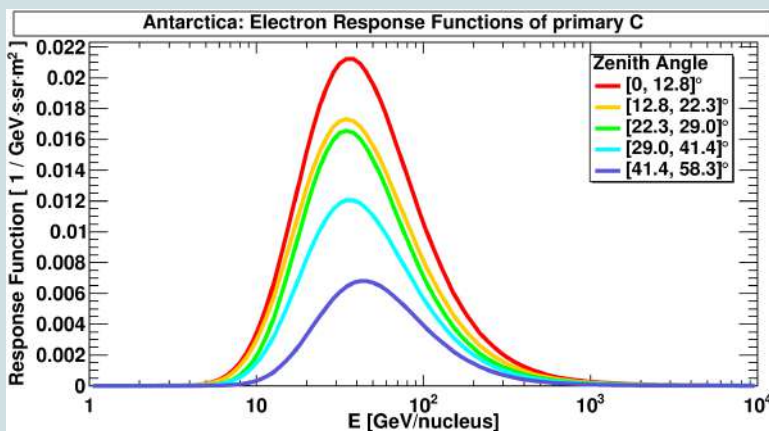
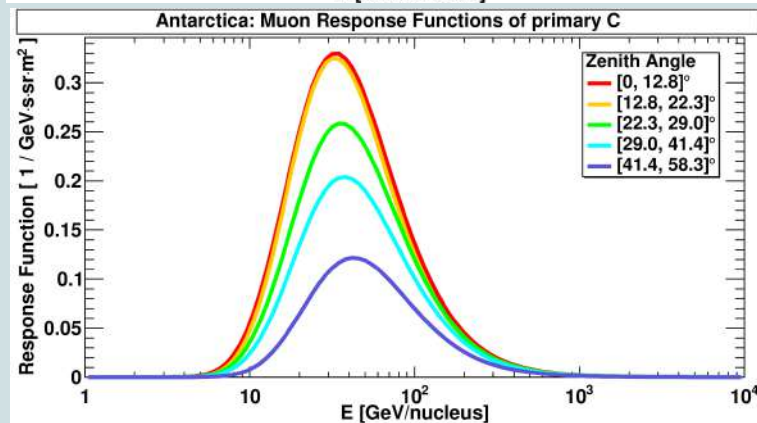
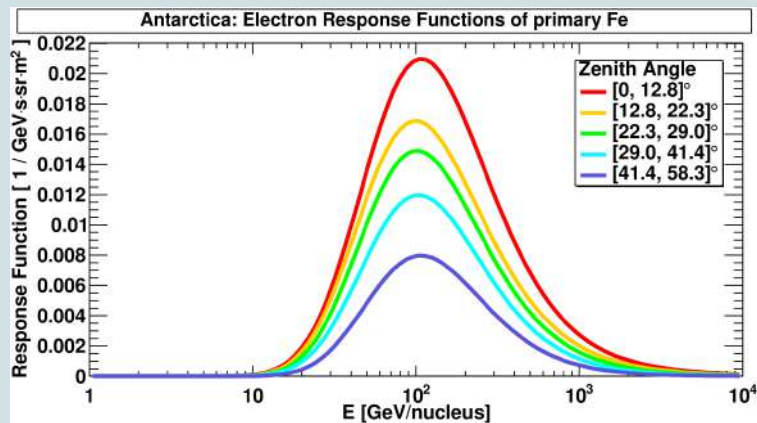
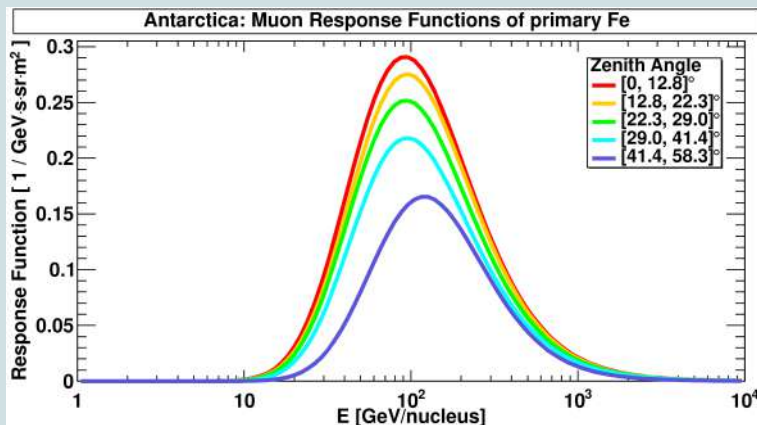
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



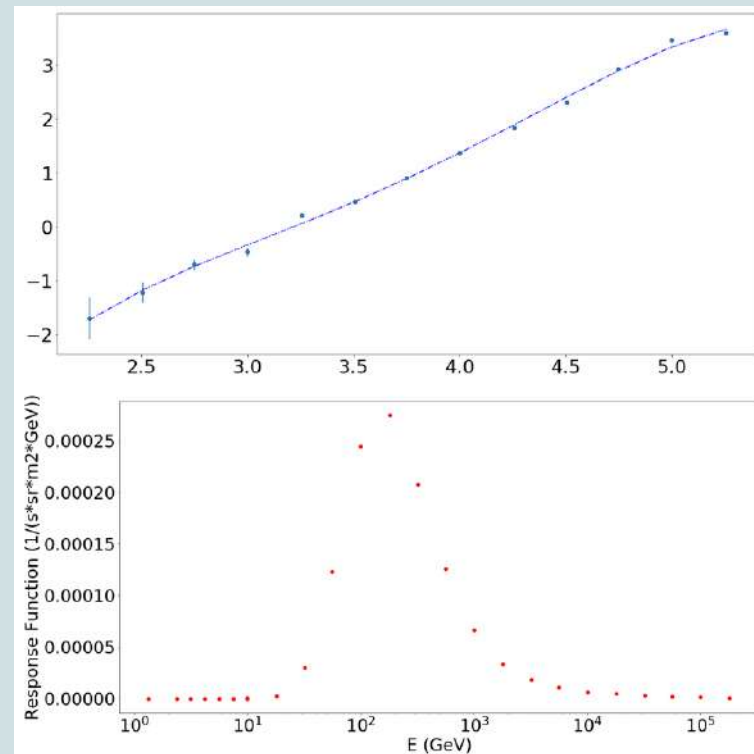
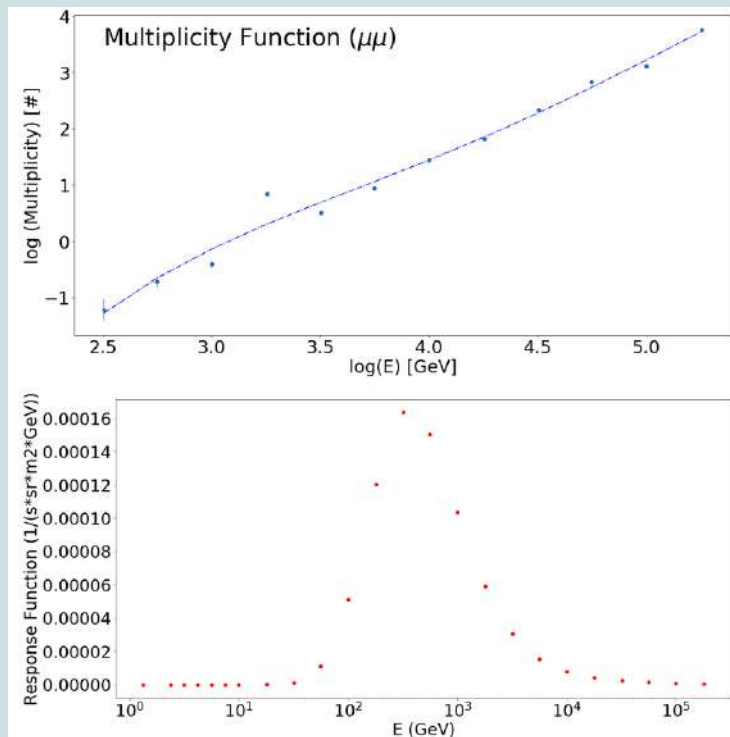
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



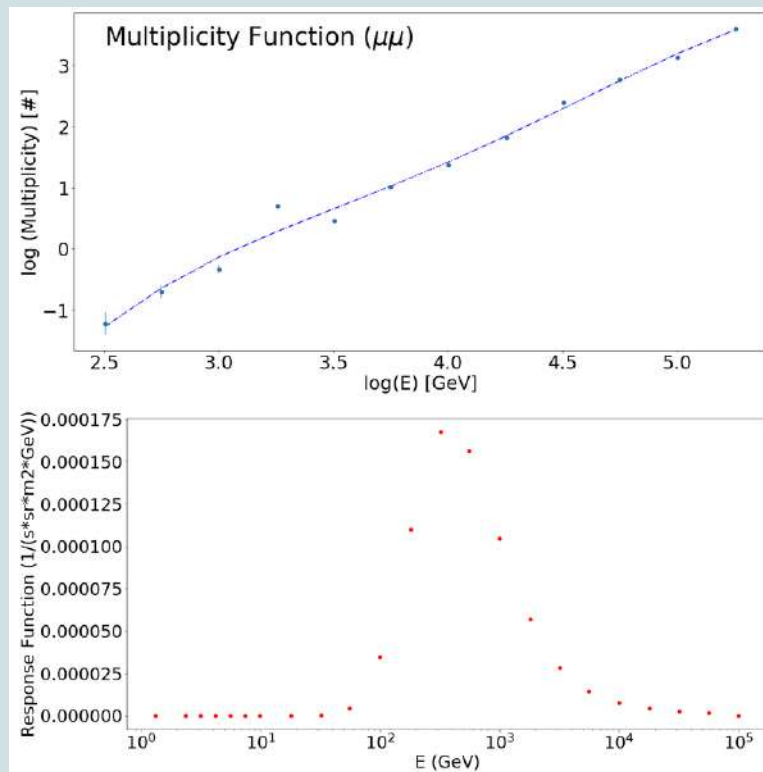
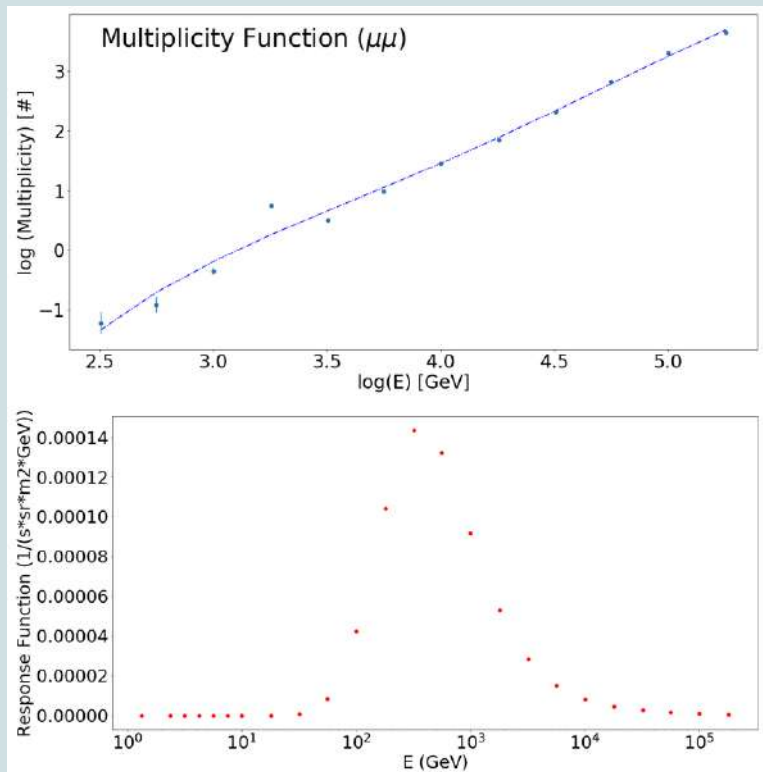
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



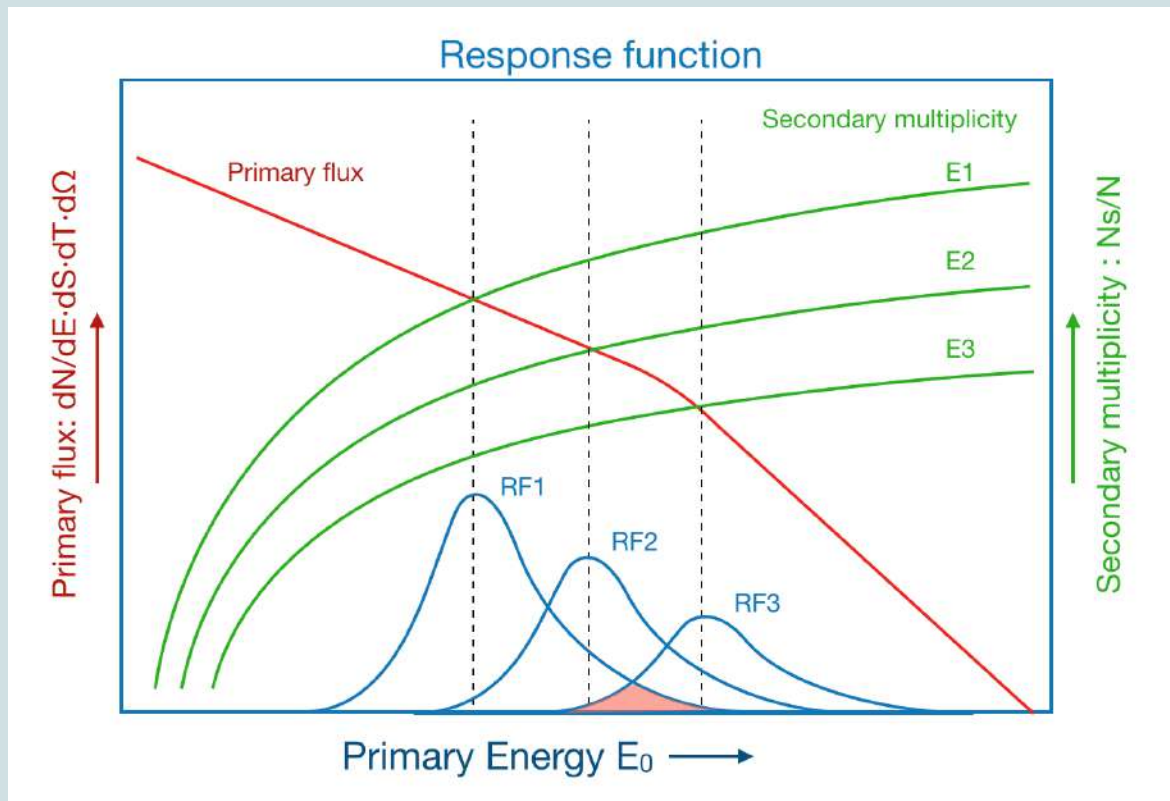
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



Suplemento con Figuras y Resultados

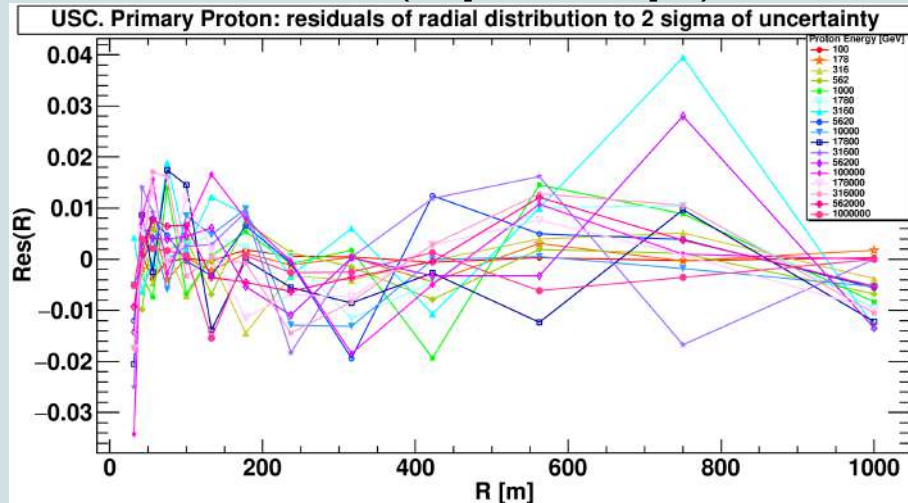
Distribuciones de Multiplicidad, alcance ponderado y chi-cuadrado tanto para electrones como muones a diferentes energías. Resultados para un sistema Tragaldabas a 4 planos RPCs activos.



Suplemento con Figuras y Resultados

Histograma de residuos del estudio de distribución Lateral, donde el residuo es la diferencia entre el valor observado y esperado.

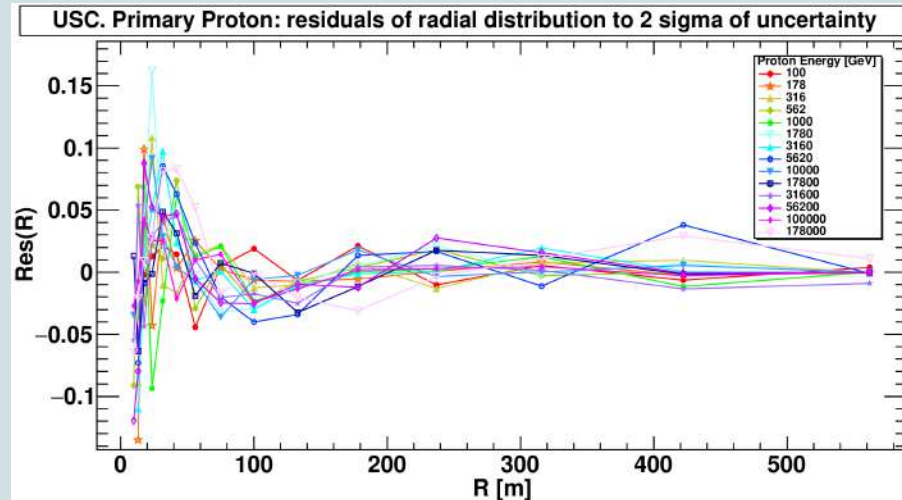
Distribución lateral ($r \in [31.6, 1000]$ m).



Bondad del método de análisis de los resultados:

- Oscilación al alza a alto y bajo R.
- Residuo maximo es de 0.04.

Distribución lateral ($r \in [10, 562]$ m).



Bondad del método de análisis de los resultados:

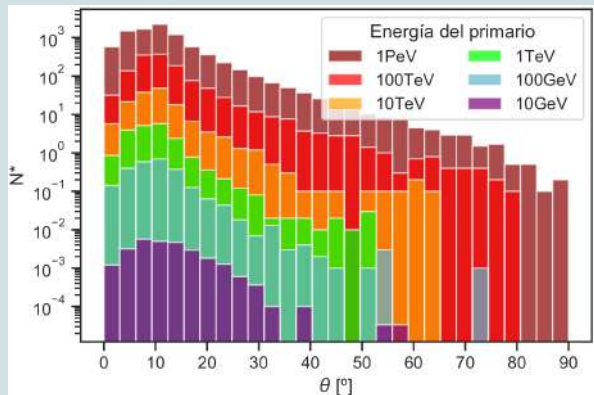
- Oscilación al alza bajo valor de R.
- Oscilacion decrecen a medida que aumenta R.
- Residuo maximo es de 0.15.

A primera vista, comparando ambos histogramas, la bondad de los resultados es mayor en el analisis de distribución laterla a ($r \in [10, 562]$ m).

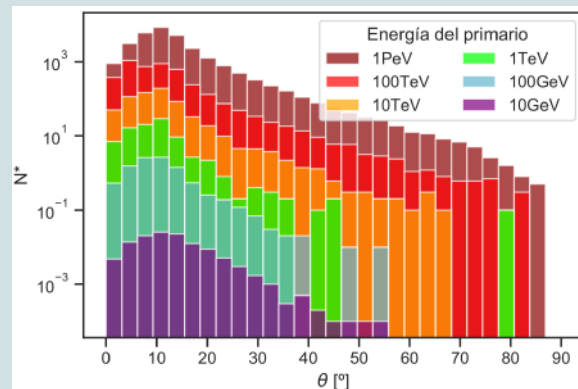
Suplemento con Figuras y Resultados

Distribuciones de angulo zenital de muones a nivel del suelo.

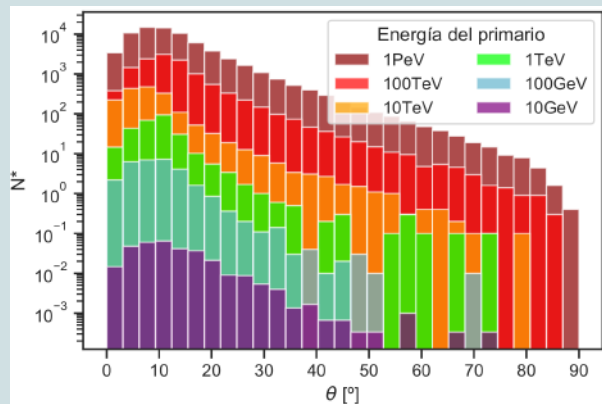
Proton



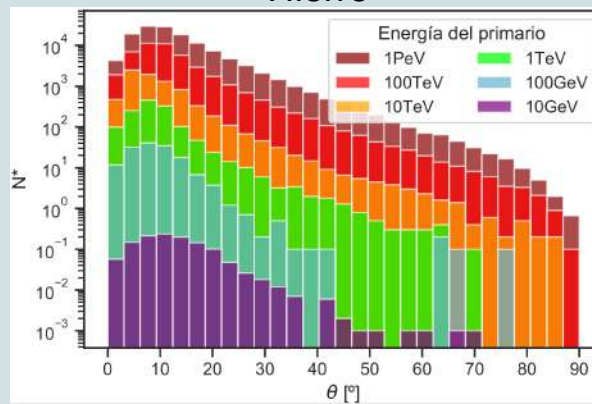
Helio



Carbon



Hierro



Suplemento con Figuras y Resultados

Distribución de clusters. Gráficas 3D de distribución de electrones, radio de clusters frente a la energía de primarios y frente al logaritmo de electrones por clusters.

