

Estudio de la eficiencia de disparo del arreglo de superficie de ALPACA mediante simulaciones de Monte Carlo

Univ. Carla Alejandra Calle García

Universidad Mayor de San Andrés

Facultad de Ciencias Puras y Naturales (La Paz-Bolivia)

Meeting of the Cosmic Rays Section of the Mexican Physical Society

3 - 5 de Octubre de 2018

Motivación

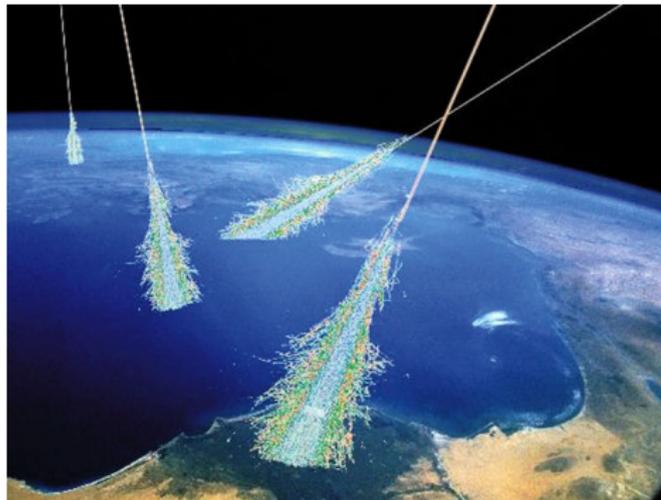
- Aportar con este trabajo a la puesta en marcha del experimento.
- El estudio de la geometría y la eficiencia de disparo permiten determinar a partir de qué energía del rayo cósmico primario el arreglo superficial es 100 % eficiente, en la detección de rayos cósmicos.

En consecuencia el área geométrica coincide con el área efectiva del arreglo superficial de detectores.

LOS RAYOS CÓSMICOS

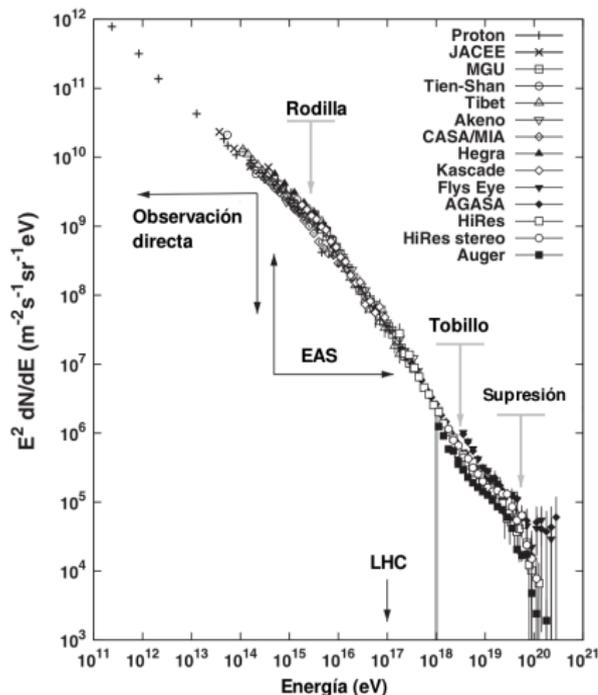
¿Qué son los rayos cósmicos?

Son radiación cósmica (partículas y núcleos) producida en sus fuentes en procesos de alta energía que ocurren en nuestra galaxia o fuera de ella. Se modifica durante su propagación en el espacio galáctico e intergaláctico.



Los rayos cósmicos (RC) primarios son aquellos que llegan sin haber interactuado con la atmósfera terrestre.

Espectro de energía de los rayos cósmicos



El flujo de rayos cósmicos disminuye drásticamente a medida que su energía aumenta

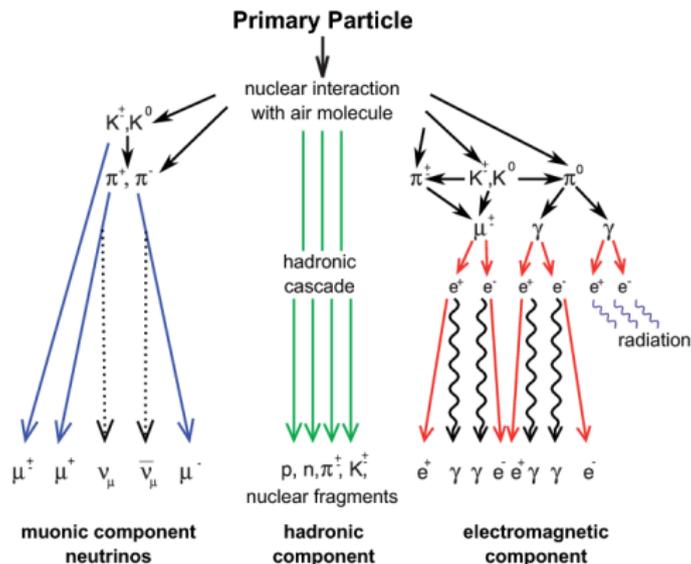
$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\alpha}$$

donde α es aproximadamente 3,0. Podemos dividir el espectro según el origen de los RC:

- solares
- galácticos
- extragalácticos

Chubasco atmosférico (EAS)

Cuando un RC primario interactúa con los núcleos de la atmósfera, se genera una cascada de partículas secundarias y de radiación electromagnética.



EL EXPERIMENTO ALPACA

ALPACA Experiment

Andes Large area PArticle detector for Cosmic ray physics and Astronomy



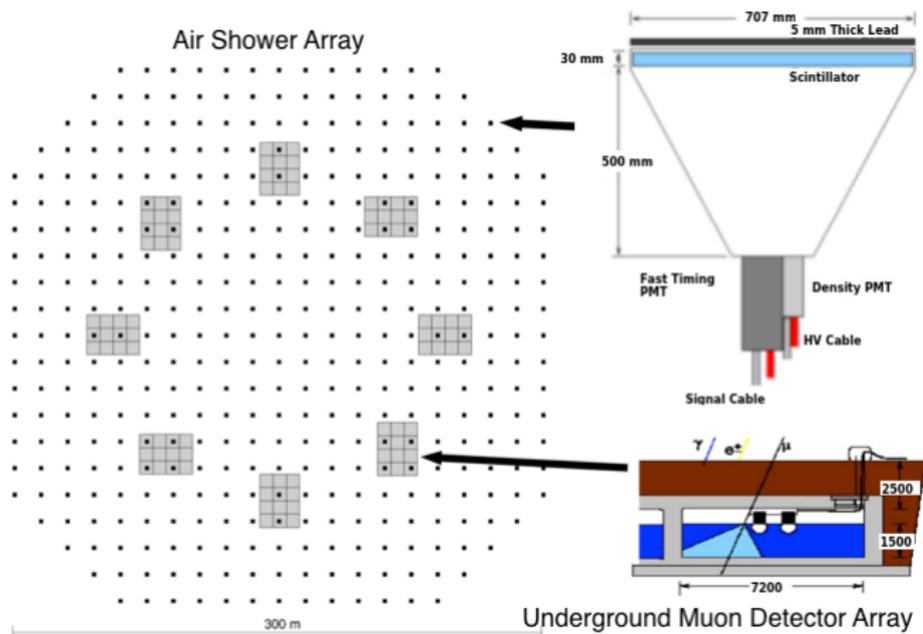
ALPACA

Es un proyecto científico, desarrollado por Bolivia y Japón con un amplio campo de visión y alta sensibilidad para observar RC de alta energía y rayos gamma cósmicos.

Se construirá en **Cerro Estuquería a 4740 m s.n.m.** en las faldas del monte Chacaltaya, Bolivia ($16^{\circ} 23' S$, $68^{\circ} 08' W$).

Arreglo superficial de chubascos atmosféricos (AS) de 83000 m^2 con 401 detectores de centelleo y un detector de muones (DM) de agua tipo Cherenkov de 5400 m^2 .

Arreglo experimental



Objetivos científicos del experimento ALPACA

Sus objetivos son:

- Estudiar el origen de los RC galácticos observando rayos gamma muy energéticos (5 TeV–1 PeV) producidos por interacciones cercanas a las fuentes de RC.
- Medida de la anisotropía de los RC en el hemisferio sur celeste.
- Estudio detallado del campo magnético de la corona solar.
- Medida del espectro de energía de los rayos cósmicos alrededor de la región de la rodilla (100 TeV–100 PeV).

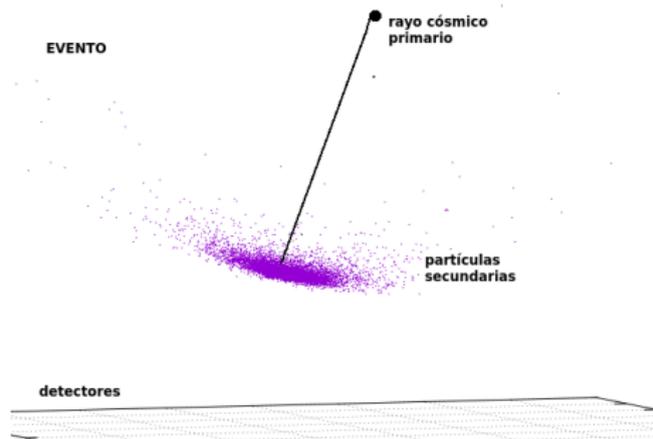
Objetivo

Caracterizar la eficiencia de disparo del detector de superficie de ALPACA a través de simulaciones de Monte Carlo, para tres partículas primarias (protones, núcleos de hierro y rayos gamma) en función de su energía, para ángulos cenitales entre 0 y 47 grados.

Simulaciones en CORSIKA (COsmic Ray SIMulation for KAskade)

CORSIKA es un programa de simulación basado en el método de Monte Carlo para estudiar la evolución y las propiedades de un evento o chubasco de partículas generados por rayos cósmicos altamente energéticos.

Permite simular interacciones y decaimientos de núcleos, hadrones, muones, electrones y fotones en la atmósfera.

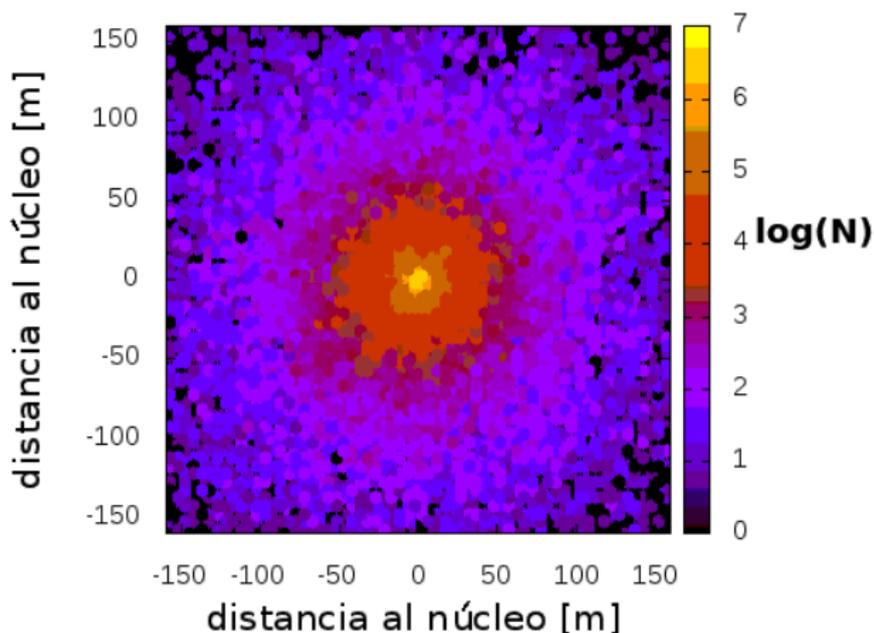


Simulaciones en CORSIKA

- Se usó la versión 75700 de CORSIKA, el modelo QGSJET-II para interacciones hadrónicas de alta energía y el modelo GHEISHA para bajas energías.
- Se tomó en cuenta el nivel de detección de ALPACA (4740 m s.n.m).
- Se realizaron las simulaciones para 3 RC primarios (rayos gamma, protones y núcleos de hierro) con ángulos cenitales entre 0 y 47 grados, en un rango de energías de $10^{12,00} - 10^{15,25}$ eV en pasos de 0,25 en $\log(E)$, con una muestra de 600 EAS para cada paso de energía.

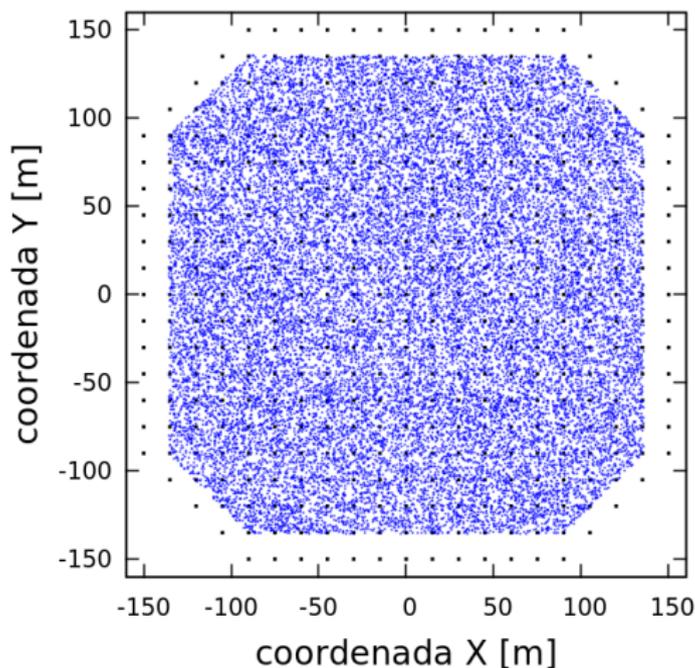
Datos de salida de las simulaciones

Un resultado de la simulación es el tipo, energía, dirección, tiempos de llegada y ubicación en el plano de detección de todas las partículas secundarias que se crearon en el chubasco atmosférico.



Región de confianza

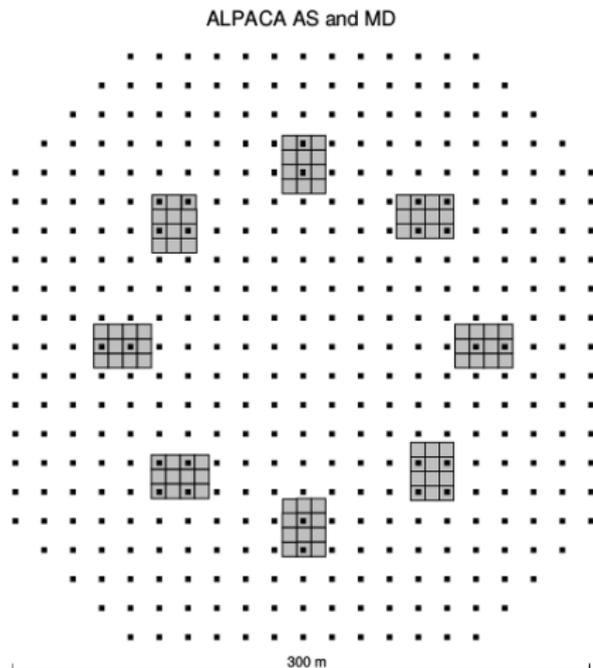
Se generaron nuevas posiciones para el centro de cada EAS, distribuidas uniformemente dentro de la región de confianza.



Eficiencia de disparo

Posteriormente se separan las partículas secundarias que llegan a los detectores de superficie de ALPACA, tomando en cuenta:

- espaciamiento
- tamaño
- ubicación



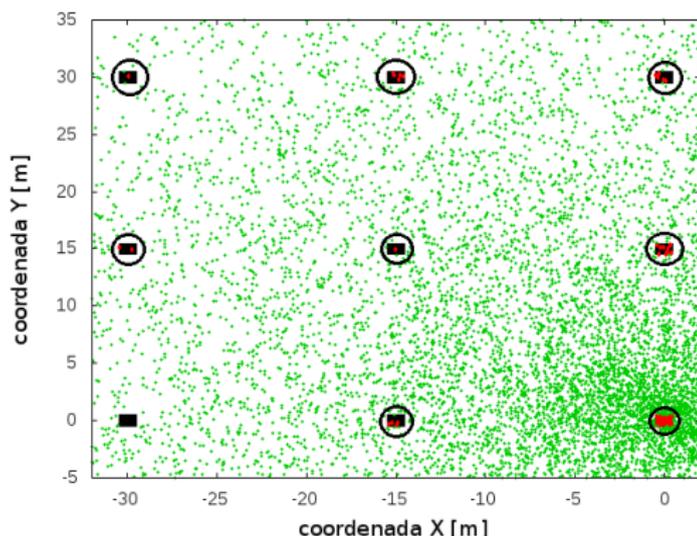
Eficiencia de disparo

Se establece la siguiente condición de disparo para determinar si un evento es detectado o no:

Un detector activado debe estar rodeado por lo menos por otros 4 detectores activados.

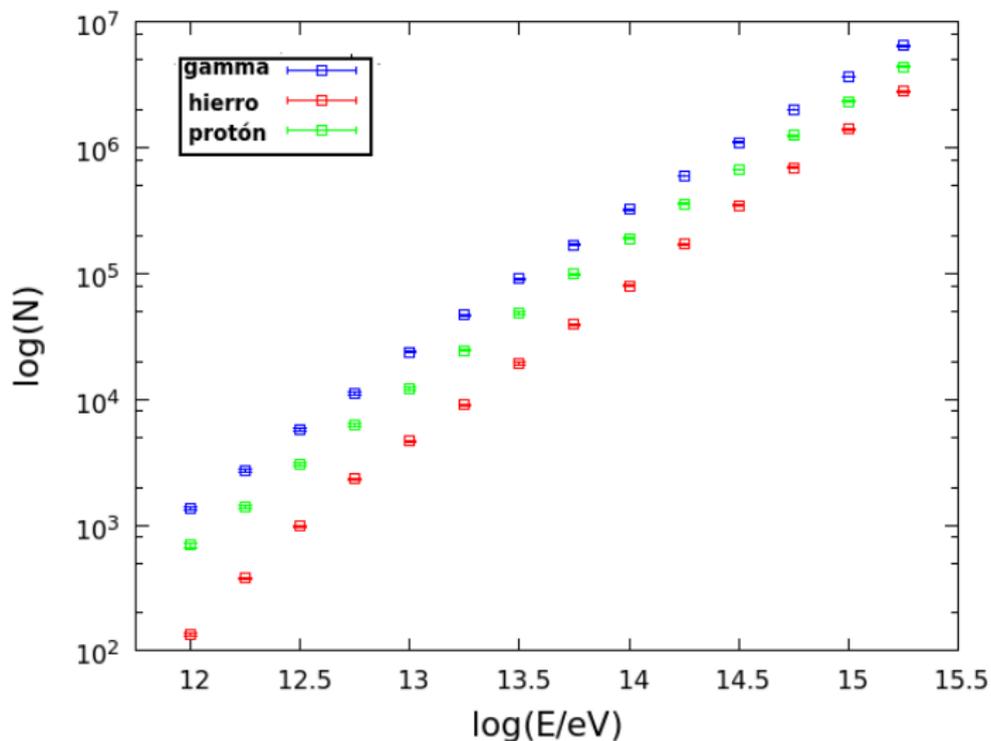
La eficiencia de disparo (ED) será la razón del número de eventos detectados entre el número de eventos totales simulados.

$$ED = \frac{\# \text{eventos detectados}}{\# \text{eventos simulados}}$$



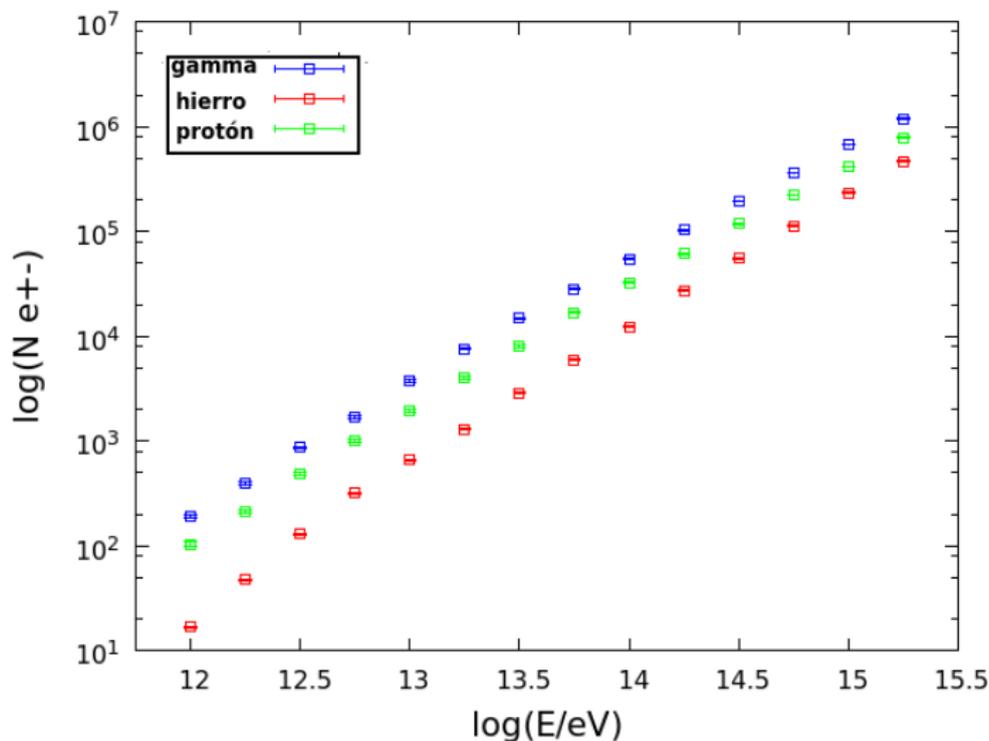
Número de partículas secundarias generadas

Número promedio de partículas totales para cada RC primario



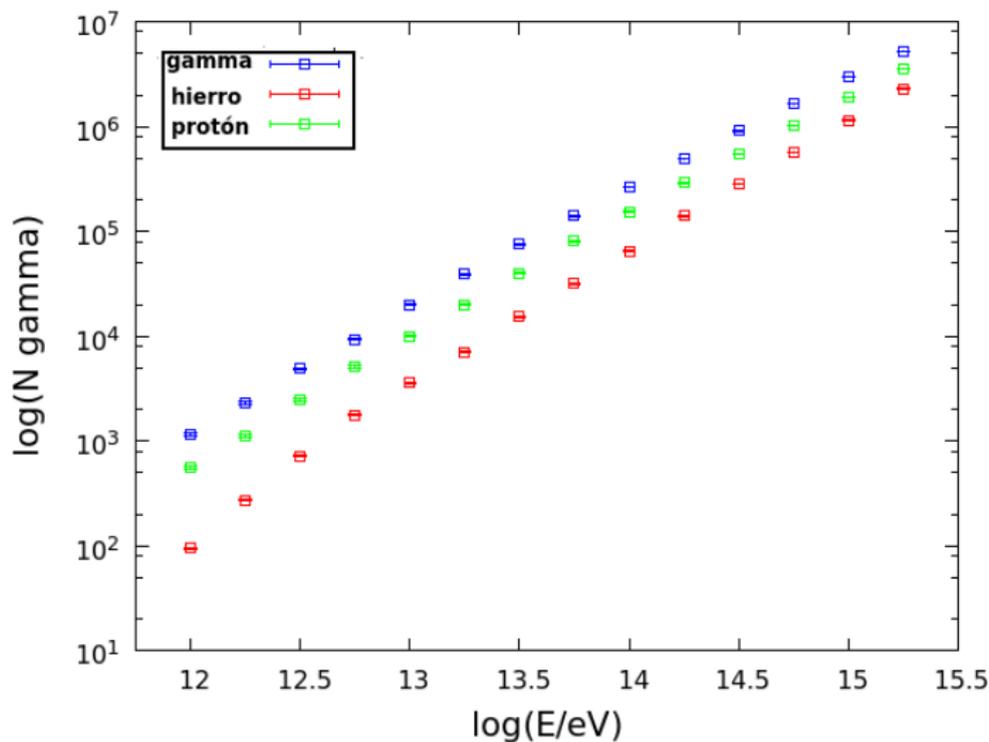
Número de partículas secundarias generadas

Número promedio de electrones y positrones



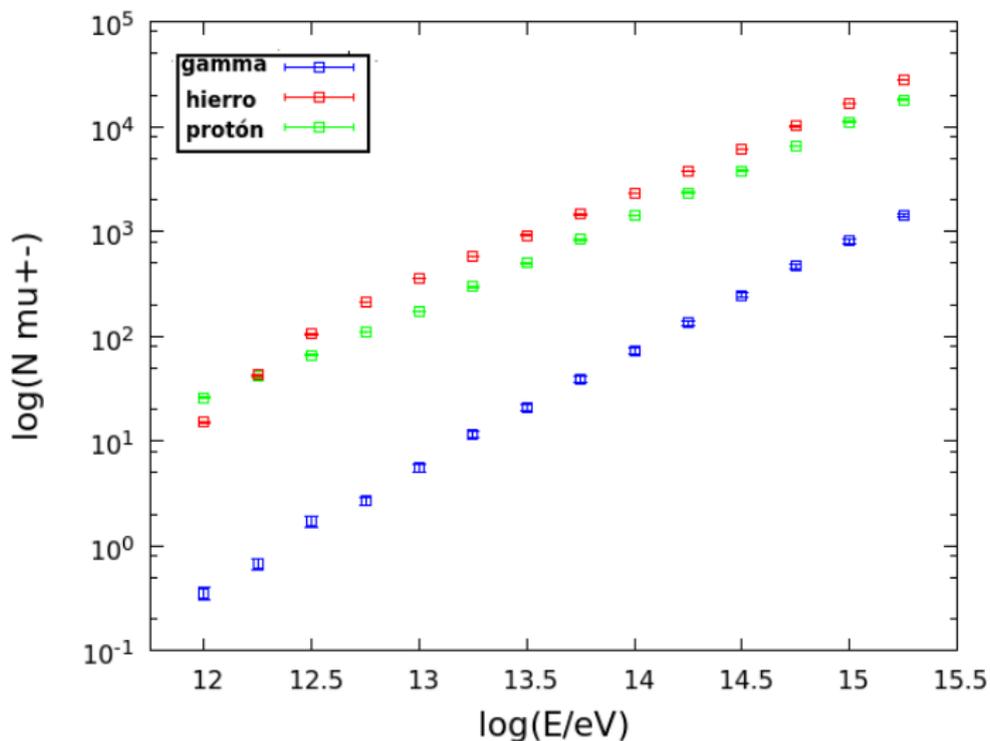
Número de partículas secundarias generadas

Número promedio de rayos gamma

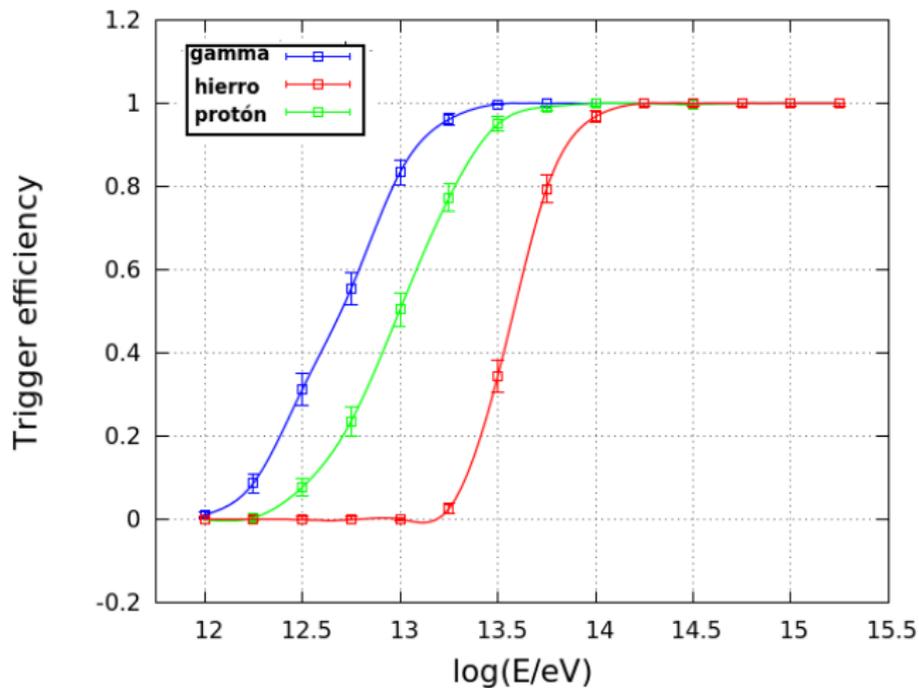


Número de partículas secundarias generadas

Número promedio de muones y antimuones



Eficiencia de disparo de ALPACA



Conclusiones y discusión

- La ED se encuentra directamente relacionada con la geometría del experimento y con la condición de disparo establecida.
- La condición de disparo garantiza que los eventos sean compactos dentro de la región de confianza del arreglo superficial.
- Los resultados obtenidos son independientes de la posición del centro del chubasco sobre el AS de ALPACA.
- La ED es mayor a medida que la energía del RC primario aumenta, debido principalmente a la cantidad de partículas secundarias generadas al nivel de detección.

Conclusiones y discusión

- El número de partículas de la componente electromagnética es mayor para los rayos gamma que para los otros RC primarios.
- La cantidad de muones y antimuones es mayor para las EAS generadas por núcleos de hierro que para las producidas por protones y rayos gamma.
- El arreglo de superficie de ALPACA es 100 % eficiente en la detección de RC primarios con energías mayores a $E_{sat} = 10^{14,25}$ eV, independiente de su dirección de llegada, tipo, energía y posición de impacto en el arreglo.

GRACIAS

Cálculo de los errores de la eficiencia de disparo

Los valores de ED corresponden a una distribución binomial ya que sólo existen 2 posibles resultados para los eventos (detectado o no). Para valores cercanos a $ED = 0,5$ se empleó la aproximación de Wald:

$$\hat{ED} \pm Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{ED}(1 - \hat{ED})}{n}} \quad (1)$$

Para valores en los extremos se empleó la aproximación de Wilson Score, tanto para el límite inferior (LI) si $ED = 1$ y para el superior (LS) si $ED = 0$.

$$LI = \frac{(2n\hat{E}D + Z_{1-\alpha/2}^2 - 1) -}{2(n + Z_{1-\alpha/2}^2)} \quad (2)$$

$$\frac{Z_{1-\alpha/2} \sqrt{Z_{1-\alpha/2}^2 - [2 + (1/n)] + 4\hat{E}D[n(1 - \hat{E}D) + 1]}}{2(n + Z_{1-\alpha/2}^2)} \quad (3)$$

$$LS = \frac{(2n\hat{E}D + Z_{1-\alpha/2}^2 + 1) +}{2(n + Z_{1-\alpha/2}^2)} \quad (4)$$

$$\frac{Z_{1-\alpha/2} \sqrt{Z_{1-\alpha/2}^2 + [2 + (1/n)] + 4\hat{E}D[n(1 - \hat{E}D) - 1]}}{2(n + Z_{1-\alpha/2}^2)} \quad (5)$$