

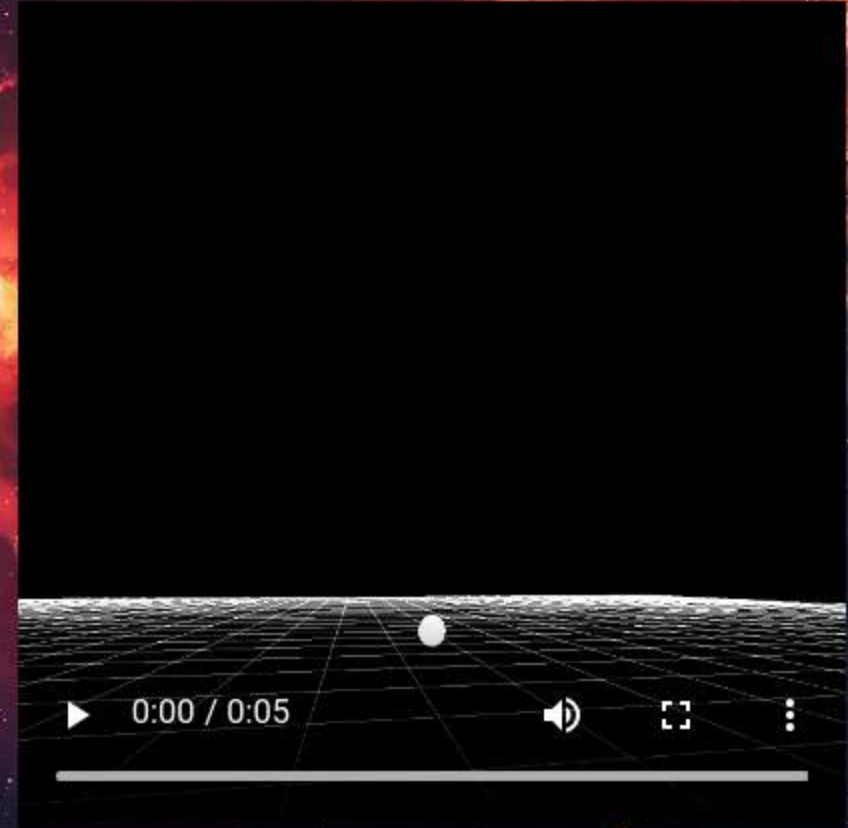
DISTINCIÓN ENTRE CASCADAS ATMOSFÉRICAS INICIADAS POR NÚCLEOS DE HIERRO Y PROTONES UTILIZANDO CORSIKA

Estudiante:

Apaza Ortiz Hector Bryan

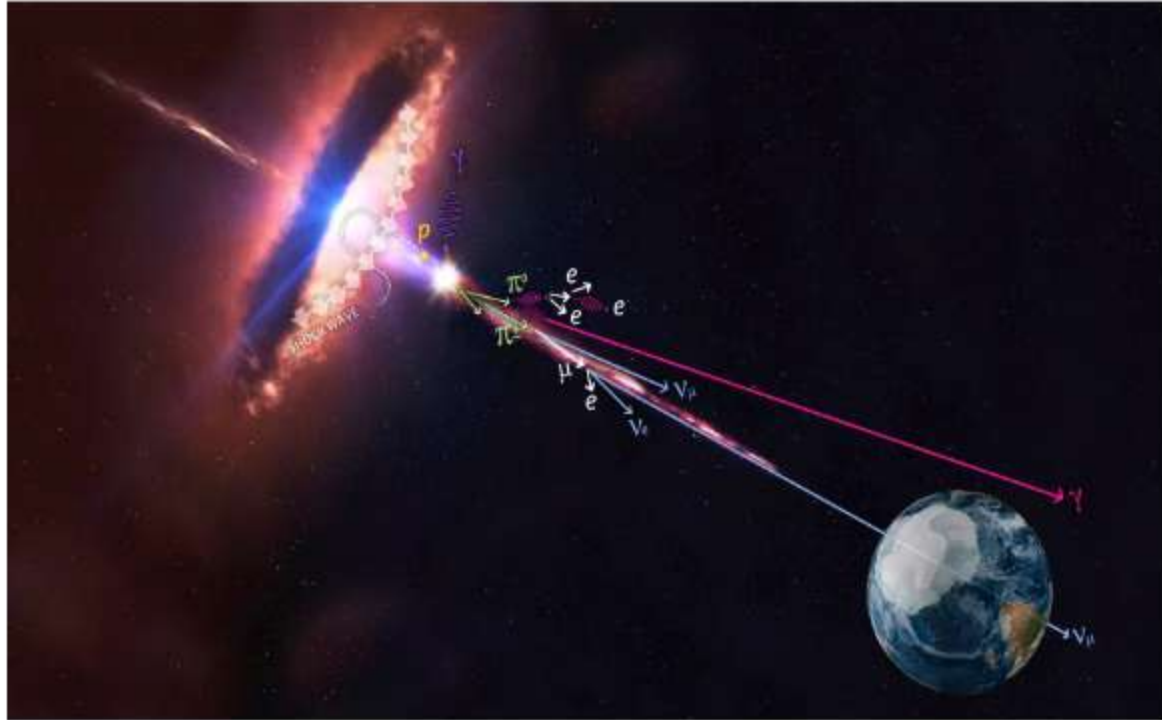
Asesores:

- Rolando Perca Gonzales
- Jose Bellido Caceres
- Ronald Pastor Rodriguez



CONTENIDO

- Marco teórico
- Resultados
- Conclusiones
- Referencias



Blazar acelerador de protones [Tasoff, 2018].

Rayos C3smicos

Los rayos c3smicos (CR) son part3culas provenientes del exterior de la Tierra y representan alrededor del 1 % de la masa total del universo [Di Sciascio, 2022]. La mayor parte de estas part3culas son n3cleos ionizados, alrededor de un 90 % protones, un 9 % part3culas alfa y el resto n3cleos mas pesados, los cuales se distinguen por sus altas energ3as [Gaisser et al., 2016].



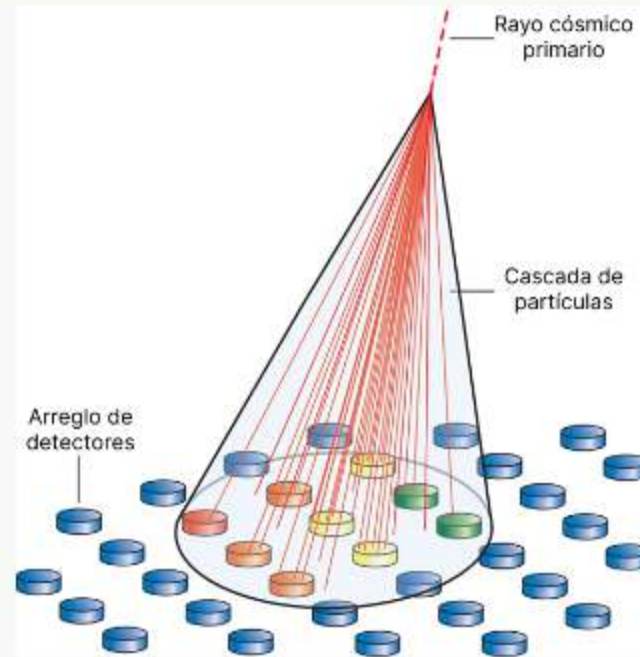
¿De dónde provienen?

Los CRs pueden ser producidas por eventos galácticos de diferente magnitud en el universo, por ejemplo, explosiones de Supernovas o por Núcleos Galácticos Activos (AGN) [Tjus and Merten, 2020]. Sin embargo, el origen exacto de esta radiación cósmica no se ha resultado desde hace mas de un siglo.



Cascadas atmosféricas extensas

Las cascadas atmosféricas extensas se producen a partir de la primera interacción del rayo cósmico primario con la atmósfera terrestre

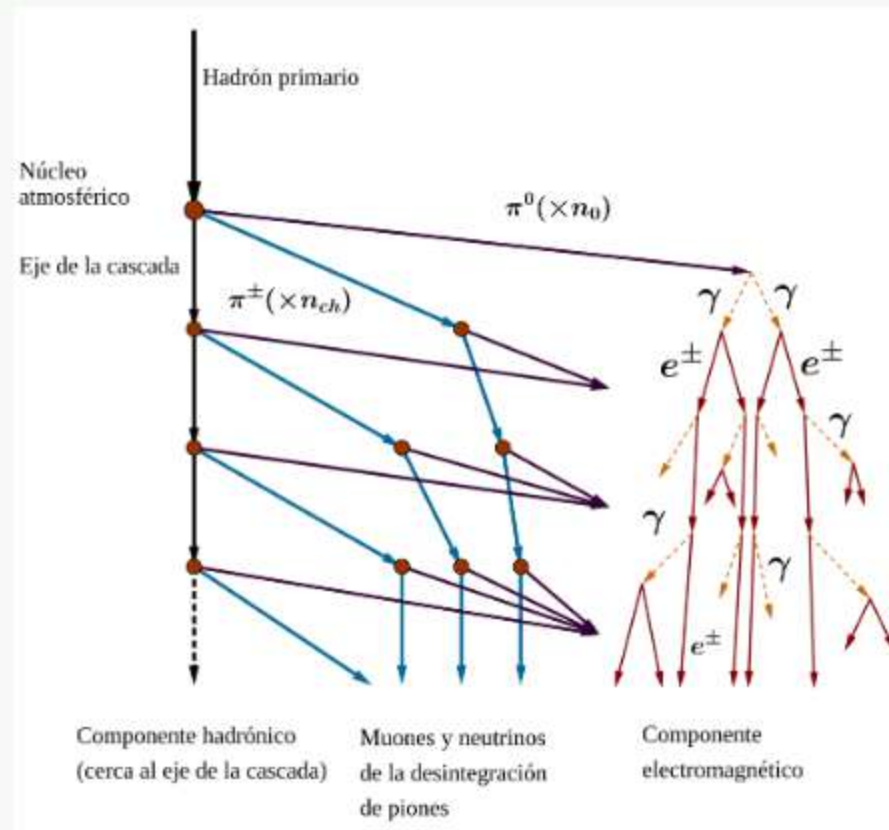


Las cascadas atmosféricas extensas están formadas por una gran variedad de partículas secundarias, de las cuales



Cascadas atmosféricas extensas

Las cascadas atmosféricas extensas están formadas por una gran variedad de partículas secundarias, de las cuales resaltan la componente muónica y la componente electromagnética.

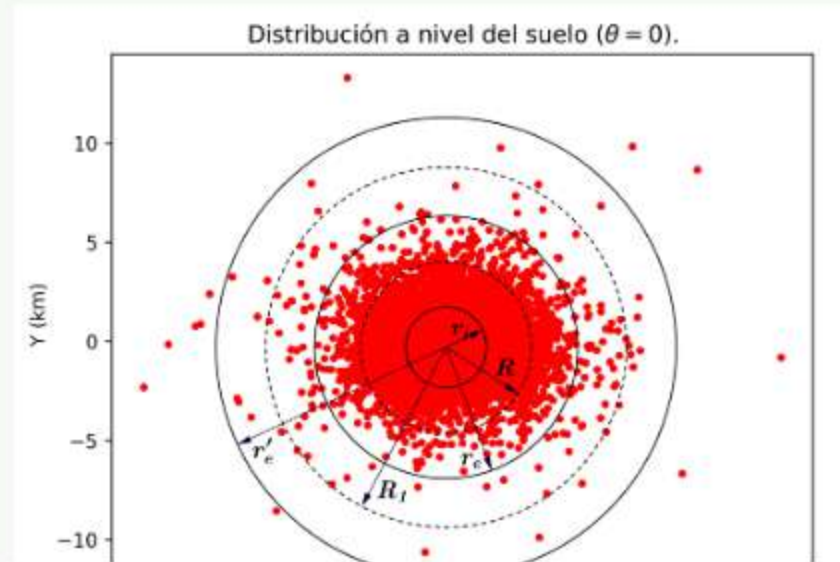


Cascadas atmosféricas extensas

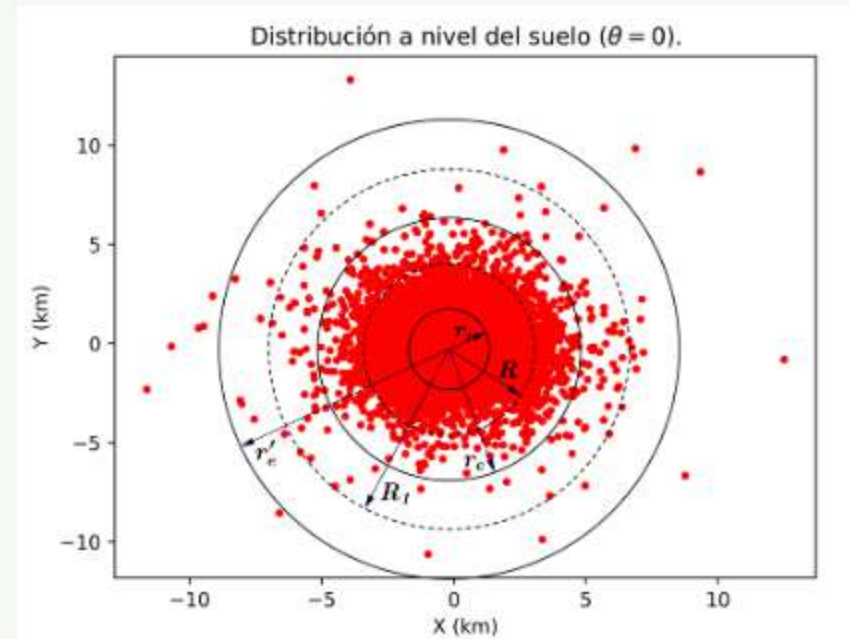
La componente muónica esta conformada por muones y antimuones (μ^- , μ^+), mientras que la componente electromagnética esta formada por electrones, positrones y rayos gamma (e^- , e^+ , γ).

Distribución lateral de las partículas secundarias (LDP)

La distribución lateral de partículas secundarias muestra la distribución de las partículas a nivel del suelo o nivel de detección, como se muestra en la siguiente imagen.



Cascadas atmosféricas extensas



En el caso de una cascada vertical, el análisis es el que se muestra en la imagen anterior y siguiendo con las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{r_i + r_e}{2} \quad (1)$$



Cascadas atmosféricas extensas

$$R = \frac{r_i + r_e}{2} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{\sum_i W_i|_A}{A} \quad (2)$$

Donde R es el radio medio del anillo que encierra el area A , esta ecuación es solo para cascadas perpendiculares, W_i son los pesos de las partículas que llegaron a nivel del suelo dentro del area encerrada por los radios r_i y r_e y ρ la densidad de las partículas que alcanzan el nivel del suelo en el caso de los muones.

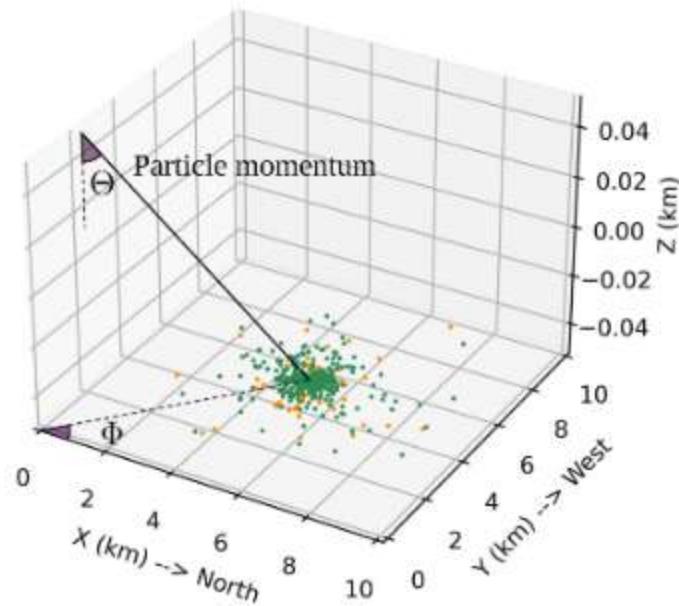
$$\rho_E = \frac{\sum_i W_i E_i|_A}{A} \quad (3)$$

En este caso ρ_E es la densidad de energía perteneciente a la componente electromagnética que llega al nivel de detección, E_i es la energía de las partículas que alcanzan el nivel de detección (Tcaciuc, R. 2006).



CORSIKA (Simulaciones Monte Carlo)

CORSIKA es un programa realizado para la simulación detallada de cascadas atmosféricas iniciadas por rayos cósmicos de diferentes tipos, desde rayos gamma hasta núcleos ligeros y pesados como el Hierro [Johannes Knapp and Dieter Heck, 2021]. A continuación se muestra el sistema de coordenadas de CORSIKA



Sistema de coordenadas de CORSIKA

Identificación de partículas					
Partícula	Símbolo	Id	Partícula	Símbolo	Id
Rayo Gamma	γ	1	Pion negativo	π^-	9
Positrón	e^-	2	Neutrón	n	13
Electrón	e^+	3	Protón	p	14
Antimuón	μ^+	5	Antiprotón	\bar{p}	15
Muón	μ^-	6	Helio	He	402
Pion neutro	π^0	7	Nitrógeno	N	1407
Pion Positivo	π^+	8	Hierro	Fe	5626

Tabla de identificaciones de las partículas que serán tratadas durante la investigación.

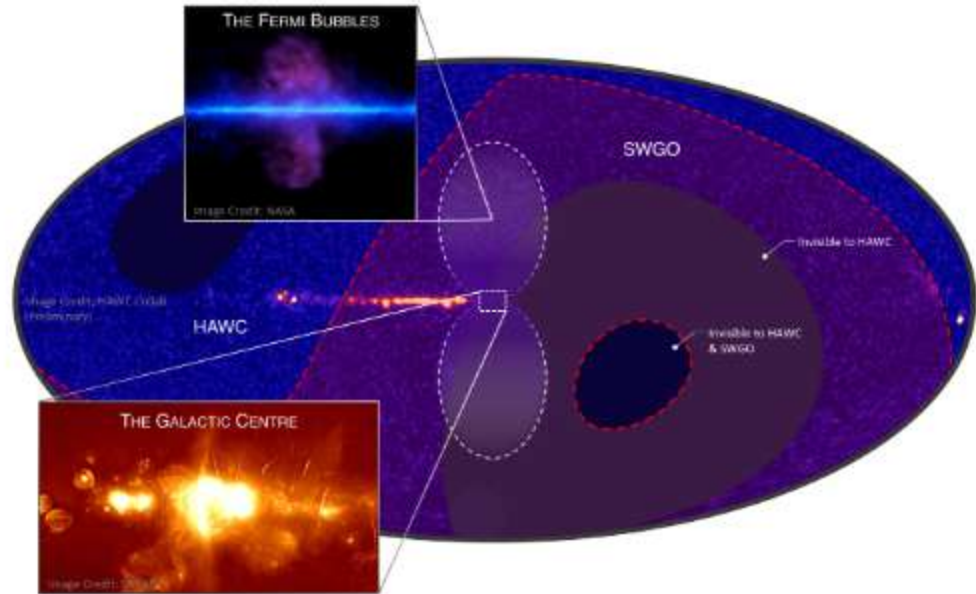
Input file		
RUNNR	10	run number
PRMPAR	5626	particle type of prim. particle
ERANGE	50000 50000	energy range of primary particle
QGSJET	T 0	model for high energy hadronic interaction
THIN	1.E-2 1.E2 0.	thinning definition

Estructura del archivo de entrada de CORSIKA.



Observatorio de Rayos Gamma de Campo Amplio del Sur (SWGGO)

El Observatorio de Rayos Gamma de Campo Amplio del Sur (SWGGO) es un observatorio astronómico de rayos gamma que será construido en Sudamérica. SWGGO será diseñado para detectar las partículas de las lluvias atmosféricas inducidas por principalmente rayos gamma de energías entre 100 GeVs hasta 100 TeVs que entran en la atmósfera terrestre.



Cobertura del cielo del observatorio SWGGO superpuesta a lo cubierto por HAWC en el hemisferio norte

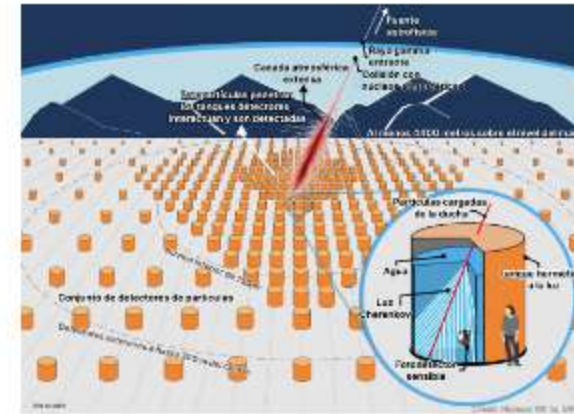


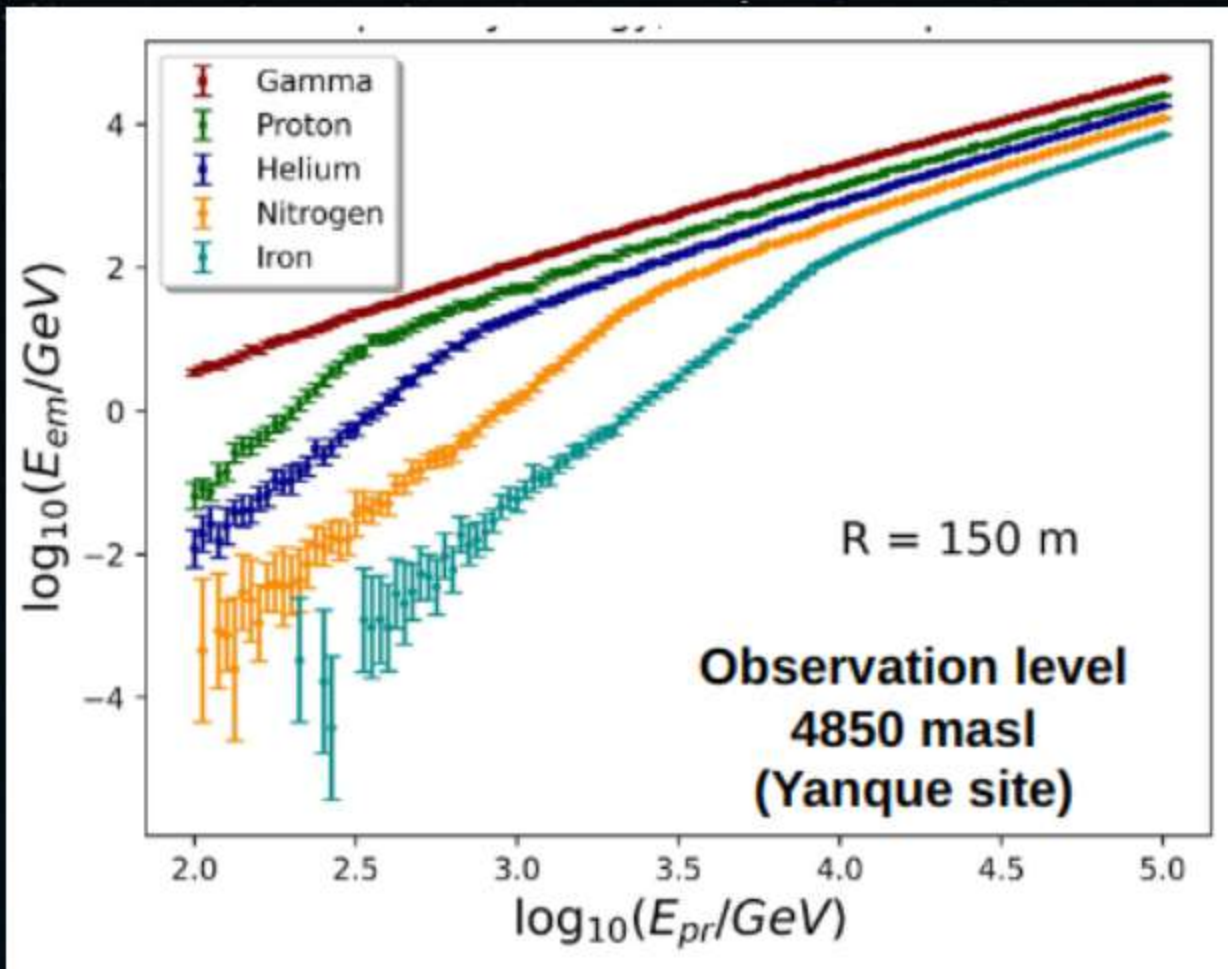
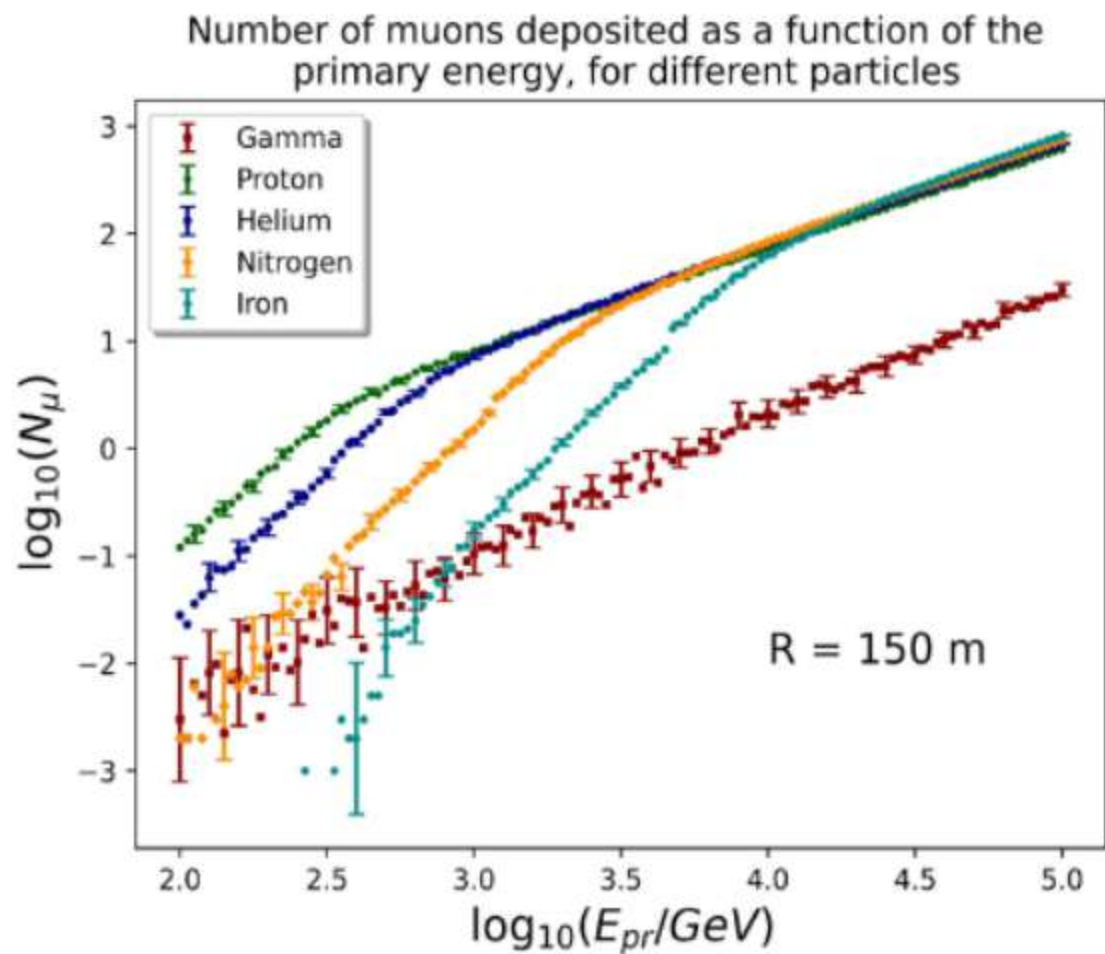
Ilustración de las técnicas a utilizar en el observatorio SWGGO.

País	Nombre del sitio	Latitud	Altitud	Otras instalaciones
Argentina	Alto Tocomar	24.19 S	4430	LLAMA, QUBIC
	Cerro Vecar	24.19 S	4800	
Bolivia	Chacaltaya	16.23 S	4740	ALPACA
Chile	Pajonales	22.57 S	4600	ALMA y otros
	Pampa La Bola	22.56 S	4770	
Perú	Imata	15.50 S	4450	
	Yanque	15.44 S	4800	
	Sibinacocha	13.51 S	4900	

Ubicación de los lugares candidatos para la instalación del observatorio SWGGO.



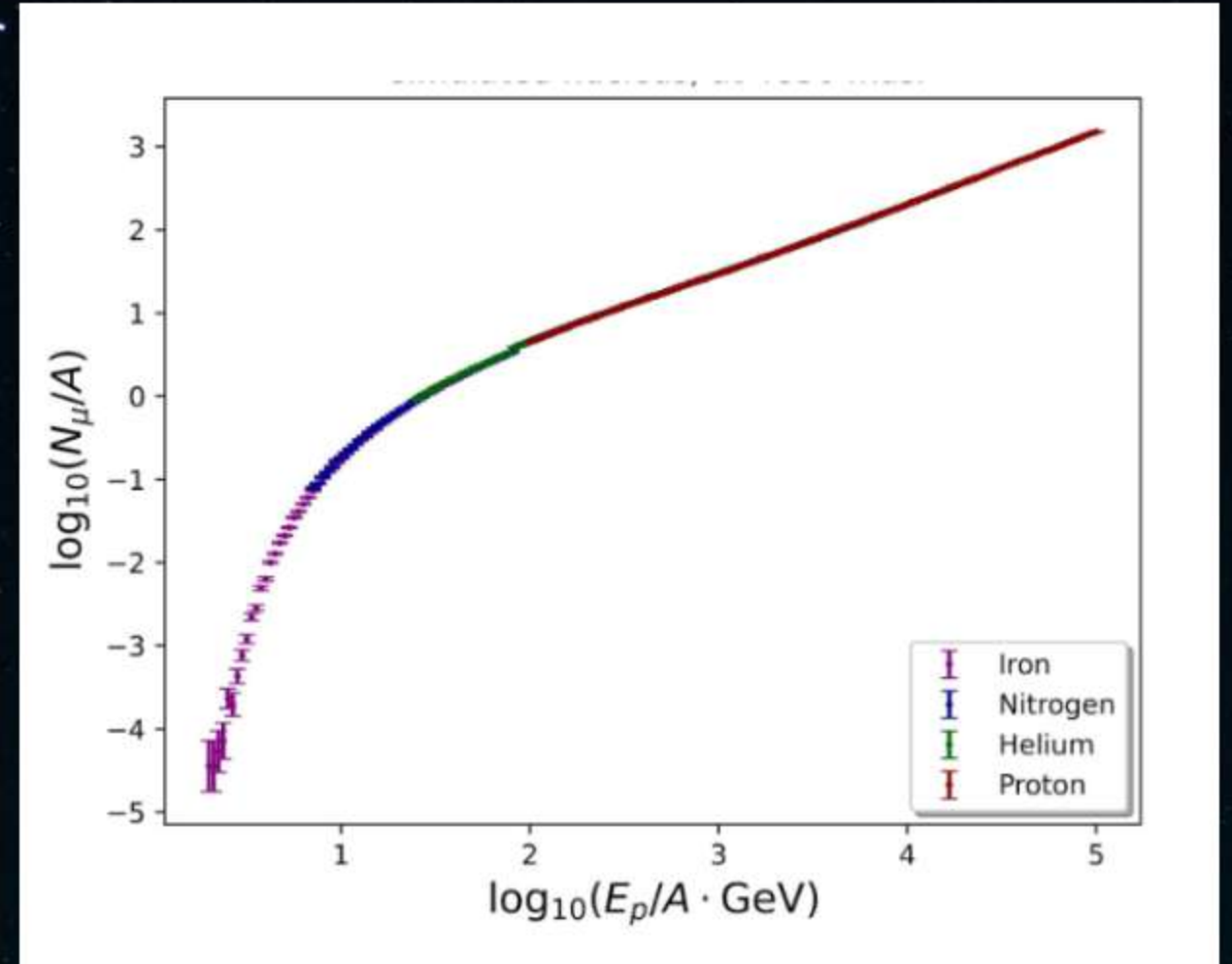
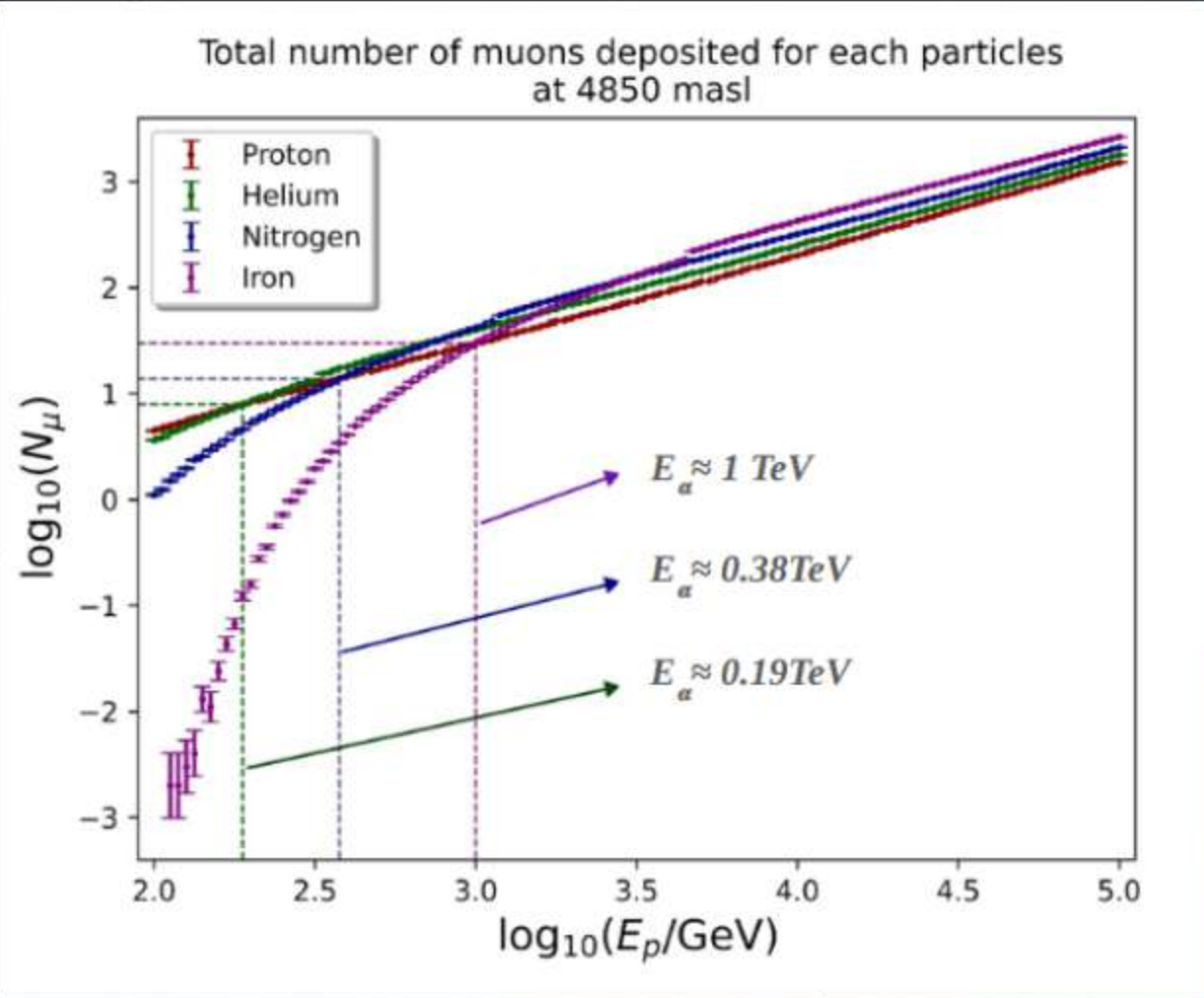
GRAFICOS



Número de muones depositados en función de la energía del primario, para diferentes tipos de partículas

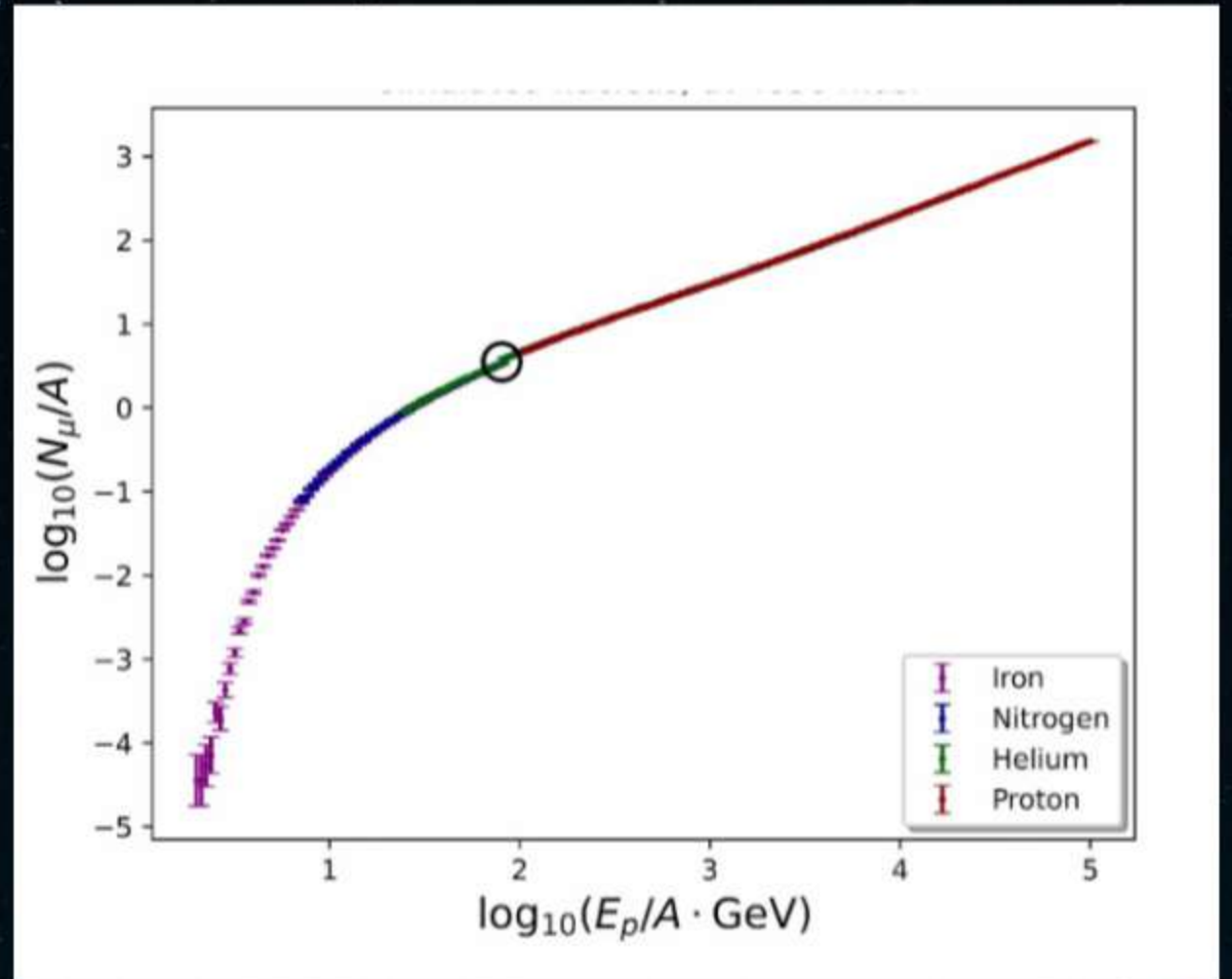
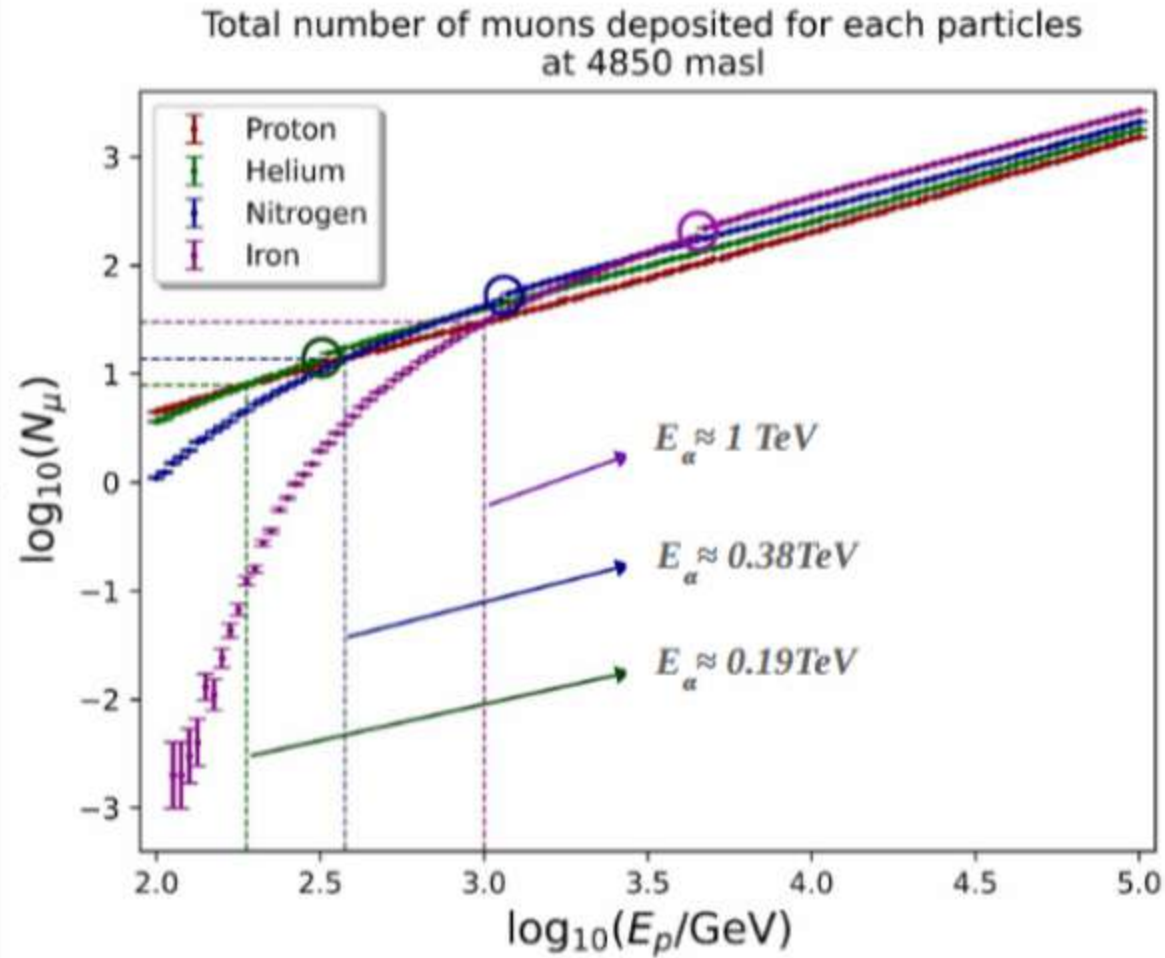


GRAFICOS



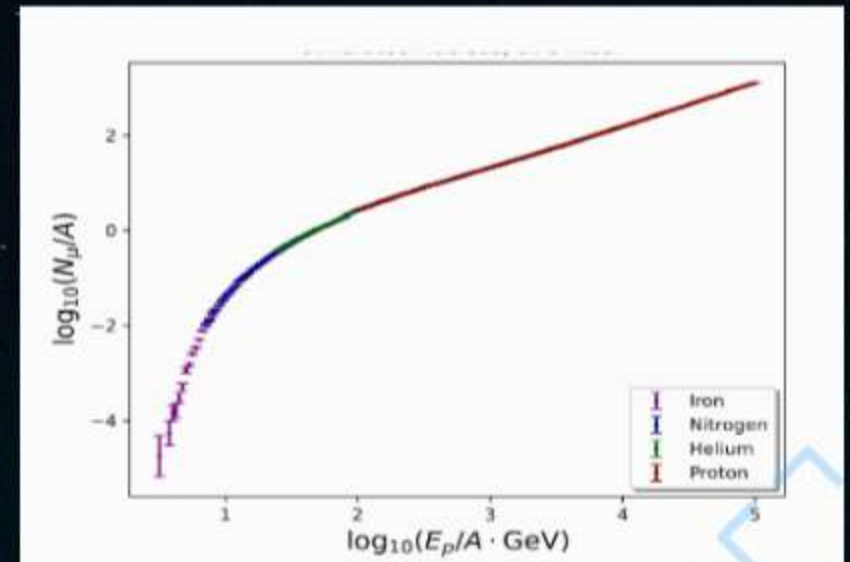
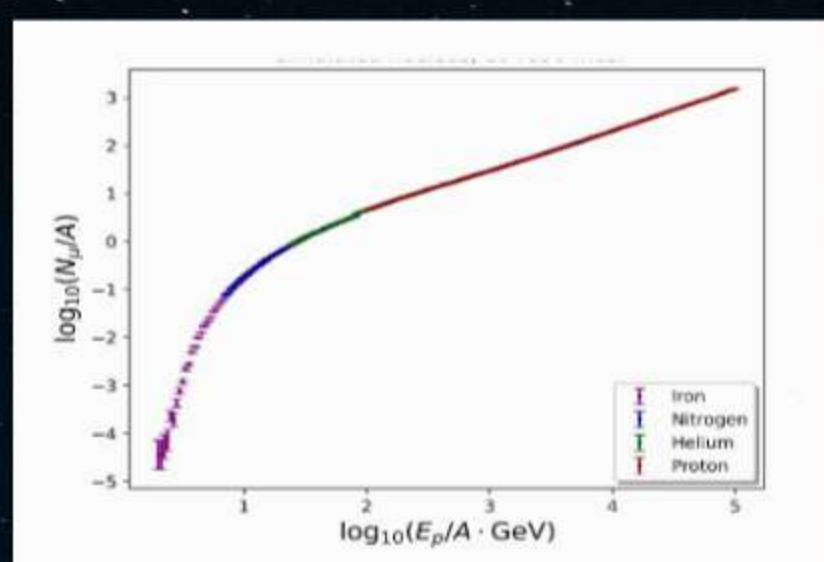
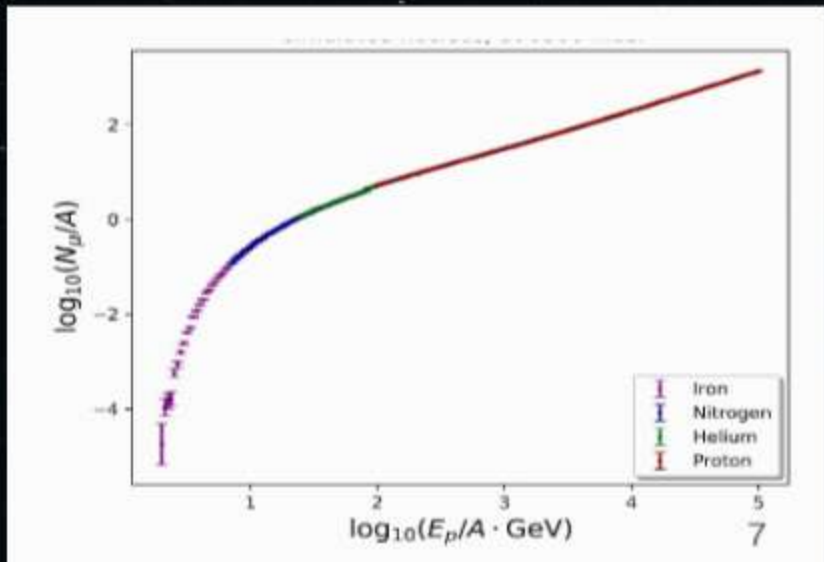
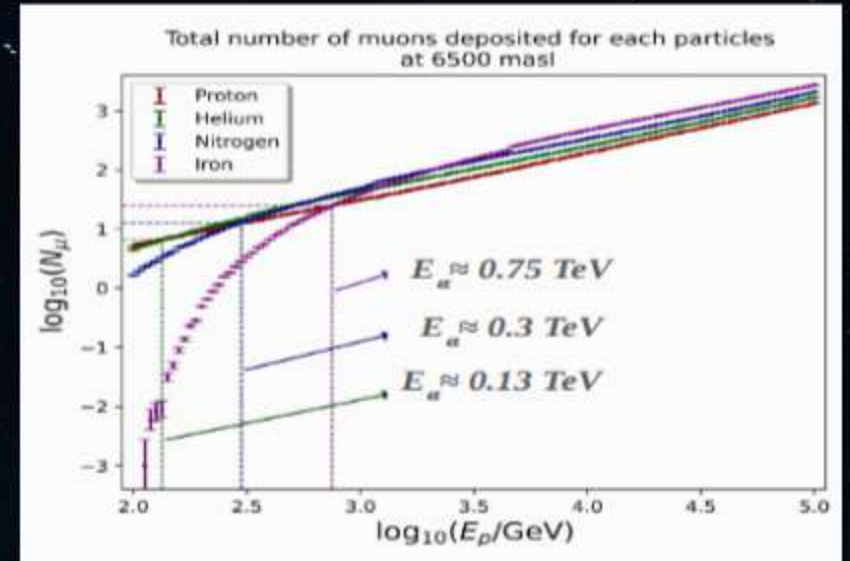
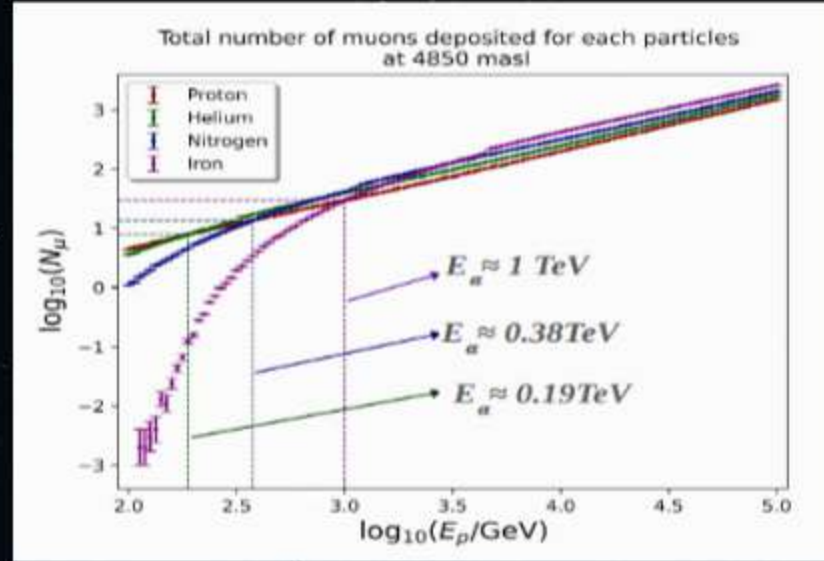
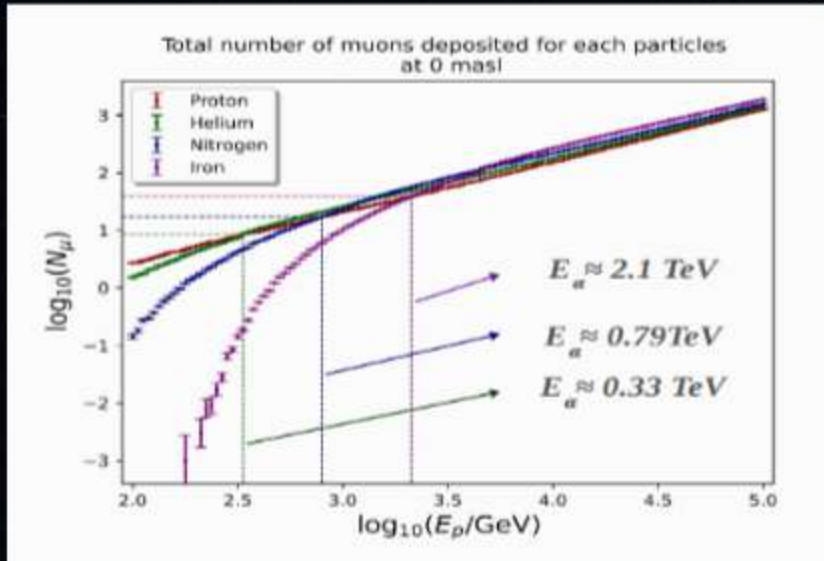
Donde E_{α} es la energía en la que todos los núcleos depositan igual cantidad de muones que el Protón. El modelo de superposición describe perfectamente las simulaciones de duchas de aire.

GRAFICOS



Donde E_α es la energía en la que todos los nucleos depositan igual cantidad de muones que el Protón. El modelo de superposición describe perfectamente las simulaciones de duchas de aire.

GRAFICOS



🎯 CONCLUSIONES

- A bajas energías, ($E_p < 3TeV$, las partículas pesadas producen menos muones)
- El número de muones producidos por nucleón primario (N_μ/A) para una energía de nucleón primario dada (E/A) es universal para todos los primarios (confirmación del modelo de superposición).
- La forma de la distribución lateral de las densidades de muones es bastante diferente para los primarios más ligeros y más pesados.



REFERENCIAS

- Tasoff, H. (2018, 13 julio). Discovery of a Cosmic-Ray Source Is a Triumph of «Multimessenger Astronomy». Space.com. <https://www.space.com/41156-cosmic-ray-source-multimessenger-astronomy.html>
- Bauleo, P. M., & Martino, J. R. (2009). The dawn of the particle astronomy era in ultra-high-energy cosmic rays. *Nature*, 458(7240), 847-851.
- Maurizio Spurio, Spurio, and Bellantone. *Astrophysics*. Springer, 2018. Probes of Multimessenger
- Tcaciuc, R. (2006). Lateral distribution of cosmic ray muons underground. Results from the CosmoALEPH experiment.
- Johannes Knapp and Dieter Heck. *Extensive Air Shower Simulation with CORSIKA: A User's Manual*. Kernforschungszentrum Karlsruhe, 2021.
- Harm Schoorlemmer. A next-generation ground-based wide field-of-view gamma-ray observatory in the southern hemisphere. arXiv preprint arXiv:1908.08858, 2019.
- SWGO. The Southern Wide-field Gamma-ray Observatory (SWGO) [SWGO], 08 2022.

