

Proyecto de trabajo de graduación:

Estudio de la componente muónica en la distribución lateral de cascadas atmosféricas

Presentado por

Cindy Mariella Castellón Salguero

Asesorado por

Ph. D. Hermes León Vargas

M. Sc. Raúl Antonio Henríquez Ortíz

Escuela de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Universidad de El Salvador

- 1 Marco Teórico
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Metodología
- 4 Cronograma de actividades

1 Marco Teórico

2 Planteamiento del problema

3 Metodología

4 Cronograma de actividades

Rayos cósmicos

Descubiertos por Victor Hess en 1912; los rayos cósmicos son partículas cargadas originadas en ambientes extremos del universo, que llegan a la Tierra con altas energías ($> 10^9$ eV).

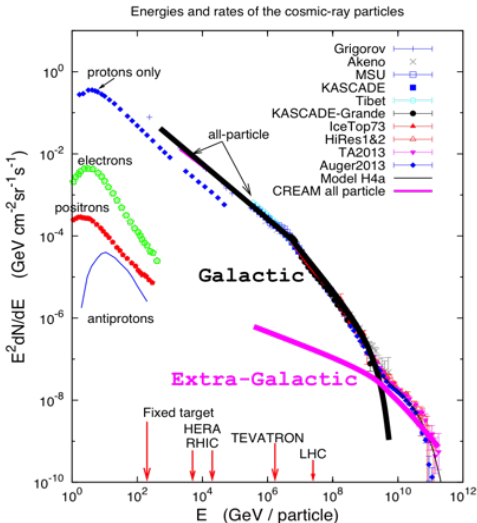


Figura: Espectro de rayos cósmicos (Gaisser, 2013).

Cascadas Atmosféricas

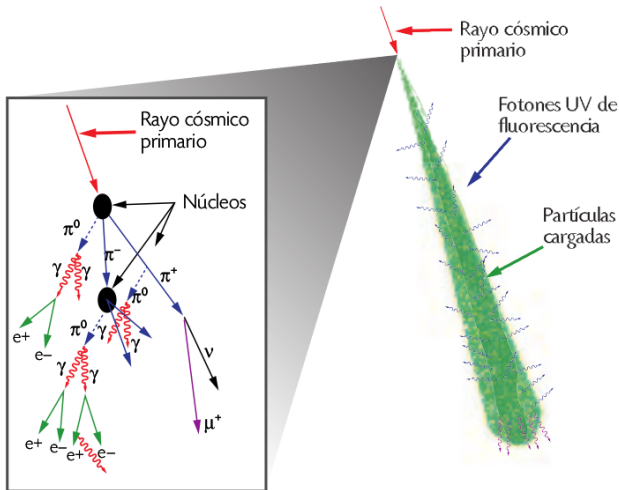


Figura: Esquema de formación y desarrollo de una cascada (Bahena, 2013).

Muones en cascadas

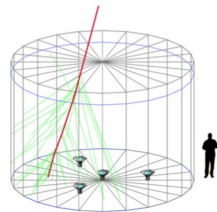
Los muones se producen principalmente en decaimiento de mesones:

$$\pi^{\pm} \longrightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})$$

$$K^{\pm} \longrightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})$$

HAWC

The High-Altitude Water Cherenkov gamma-ray observatory (HAWC), a 4100 m s. n. m detecta partículas producidas en cascadas atmosféricas de energías entre 1 y 100 TeV.



(Figuras de la
colaboración HAWC)

1 Marco Teórico

2 Planteamiento del problema

3 Metodología

4 Cronograma de actividades

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las características de la componente muónica de la distribución lateral de partículas producidas en cascadas?
- ¿Cómo depende dicha componente muónica de la energía y la masa de la partícula primaria?
- ¿Son estas dependencias sensibles al modelo de interacciones hadrónicas?

Objetivos

Objetivo general

Estudiar mediante simulaciones computacionales la distribución lateral de muones en cascadas atmosféricas con energías iniciales en el rango del observatorio HAWC (1-100 TeV).

Objetivos específicos

- 1 Caracterizar la densidad de muones a varias distancias del eje de la cascada atmosférica en función de la energía inicial.
- 2 Comparar las distribuciones de muones en cascadas atmosféricas iniciadas por distintas partículas primarias.
- 3 Evaluar la influencia del modelo de interacciones hadrónicas de altas energías utilizado en las simulaciones sobre la distribución lateral de muones.

- La distribución lateral de muones puede usarse en observatorios como HAWC para determinar aspectos como la energía y la masa del rayo cósmico primario.
- La caracterización de la componente muónica es importante para distinguir cascadas iniciadas por rayos gamma de las iniciadas por rayos cósmicos.
- El comportamiento de la densidad de muones en simulaciones contrastado con su medición experimental ayuda a mejorar los modelos de interacciones hadrónicas.

- El sistema AIRES es de acceso libre y está disponible en línea en el sitio <http://aires.fisica.unlp.edu.ar/> junto con toda su documentación.
- Se han realizado ejecuciones de prueba en una computadora personal, con lo que se estima un máximo de nueve semanas para realizar las simulaciones.
- Para el análisis de datos se utilizarán también herramientas de acceso libre.

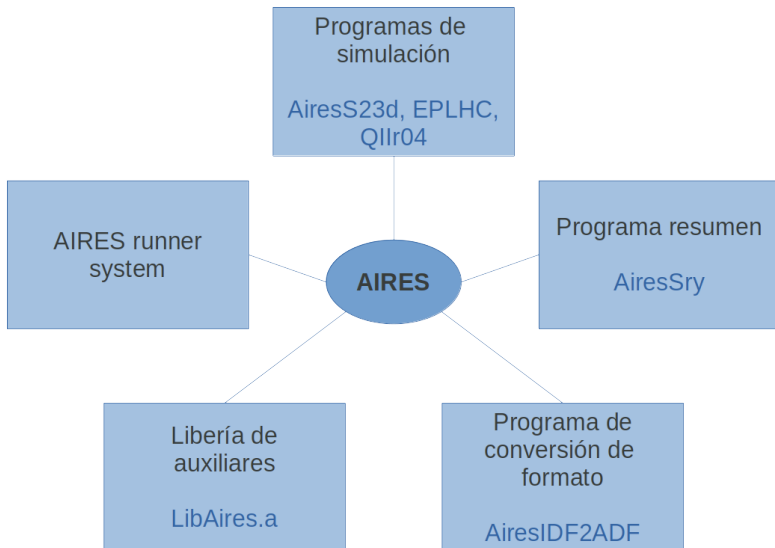
1 Marco Teórico

2 Planteamiento del problema

3 Metodología

4 Cronograma de actividades

Sistema AIRES



En AIREs se toman en cuenta los procesos más relevantes para los rayos cósmicos en la atmósfera:

Electrodinámicos

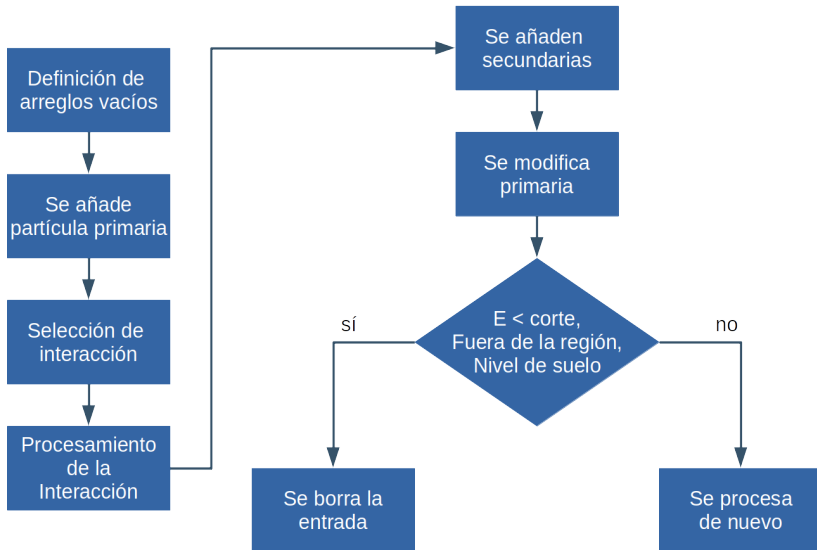
- Producción de pares.
- *Bremsstrahlung*.
- Efecto fotoeléctrico.
- Efecto Compton.

Hadrónicos

- Colisiones hadrón - núcleo.
- Reacciones fotonucleares.
- Fragmentación nuclear.

Además de decaimientos y procesos de propagación como ionización del medio y dispersión de Coulomb.

Programas de simulación



Simulaciones de cascadas

Con cada uno de los tres modelos de interacciones hadrónicas de altas energías (Sibyll 2.3d, EPOS-LHC y QGSJETII-04) se simularán aproximadamente 20,000 eventos.

La ubicación será la del observatorio HAWC en Puebla, México, con latitud de 19° y altura de 4100 m sobre el nivel del mar.

Partícula	p, Fe
E_0	1 – 100 TeV
θ_0	0 – 45°
ϕ_0	0 – 360°

- 1 Marco Teórico
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Metodología
- 4 Cronograma de actividades

Cronograma de actividades

Actividad	Fechas
Revisión de bibliografía	26/09 - 17/12/21 (12 semanas)
Creación de archivos de entrada	26/09 - 01/10/21 (1 semana)
Simulaciones con Sibyll 2.3d	04/10 - 23/10/21 (3 semanas)
Simulaciones con EPOS-LHC	24/10 - 12/11/21 (3 semanas)
Simulaciones con QGSJETII-04	13/11 - 04/12/21 (3 semanas)
Tratamiento y análisis de resultados	25/10 - 17/12/21 (6 semanas)
Comparación entre los modelos	03/01 - 22/01/22 (3 semanas)
Redacción del documento final	03/01 - 25/02/22 (8 semanas)

Apéndice: resultados preliminares

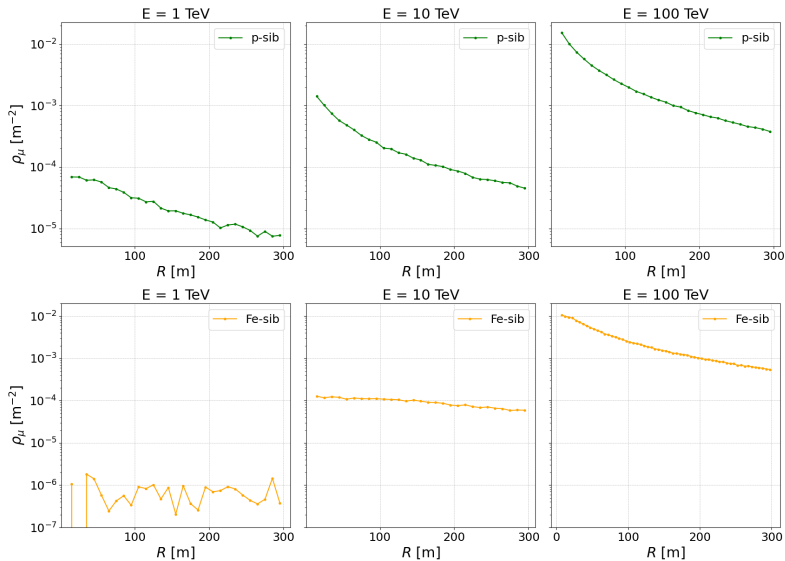


Figura: Resultados preliminares de distribución lateral de muones con el modelo Sibyll 2.3d.

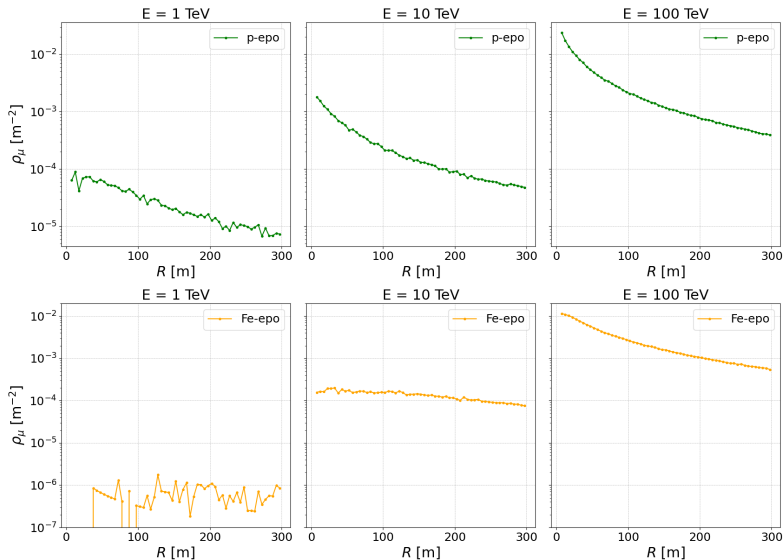


Figura: Resultados preliminares de distribución lateral de muones con el modelo EPOS-LHC.