

# Caracterización de dos nuevos detectores Cherenkov para la colaboración LAGO en Chiapas

Oscar G. Morales, Karen S. Caballero y Hugo de León  
por la colaboración LAGO

Universidad Autónoma de Chiapas

Reunión Anual de la División de Rayos Cósmicos  
Sociedad Mexicana de Física

27 de noviembre de 2019

1. Los rayos cósmicos
2. La colaboración LAGO
3. Caracterización del detector
4. Comentarios finales y trabajo a futuro



# Los rayos cósmicos

- ▶ Son núcleos de átomos completamente ionizados que provienen del espacio exterior y que se caracterizan por ser partículas de muy alta energía.
- ▶ La radiación cósmica esta compuesta principalmente por protones (90%) y helio (9%). El resto son núcleos más pesados; como electrones y positrones.

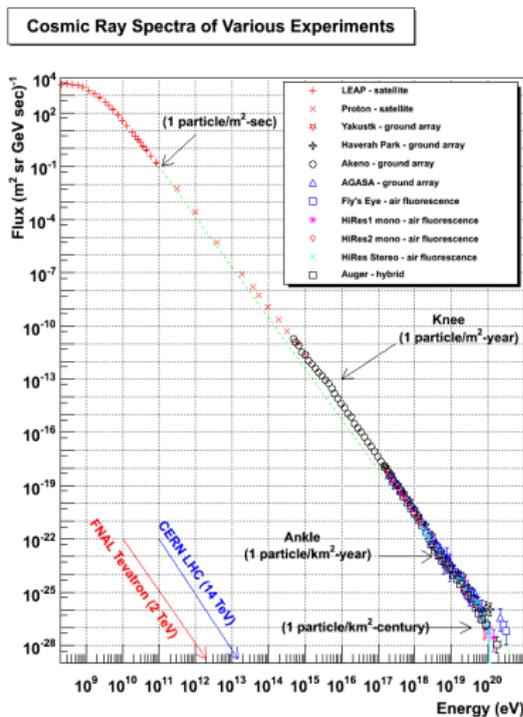


Figura: Espectro de energía



- ▶ LAGO (Latin American Giant Observatory) es una colaboración internacional en la que participan más de 80 investigadores y estudiantes de diferentes instituciones de América Latina.
- ▶ La colaboración cuenta con una red de detectores Cherenkov en agua instalado a diferentes altitudes y latitudes, cubriendo un amplio rango de rigideces de corte geomagnética.

# Objetivos de estudio de la colaboración LAGO

1. Modulación solar de RCG
2. Clima espacial
3. Radiación atmosférica al nivel del suelo
4. Fenómenos transitorios (GRB)

Rango de operación:  
0.5 GeV –  $\sim 10$  TeV

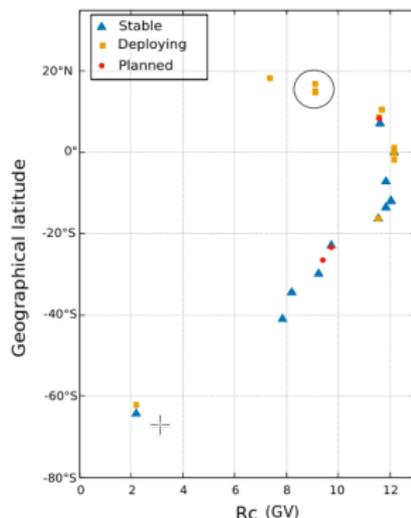
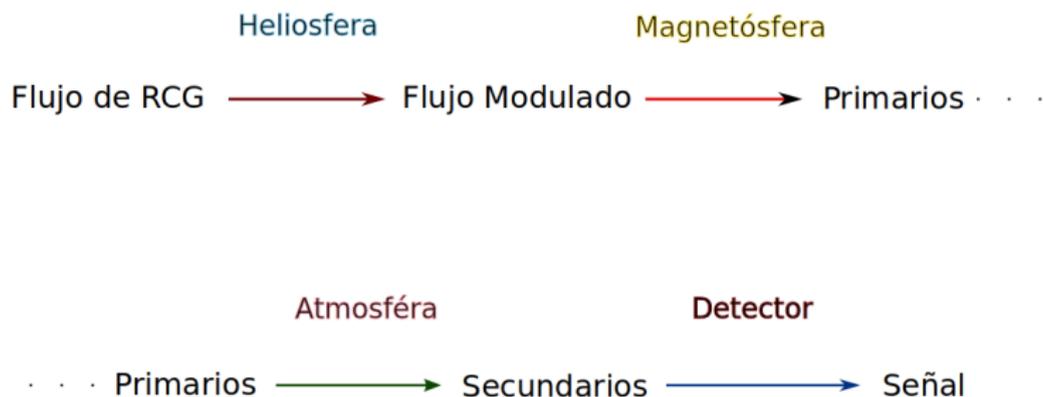
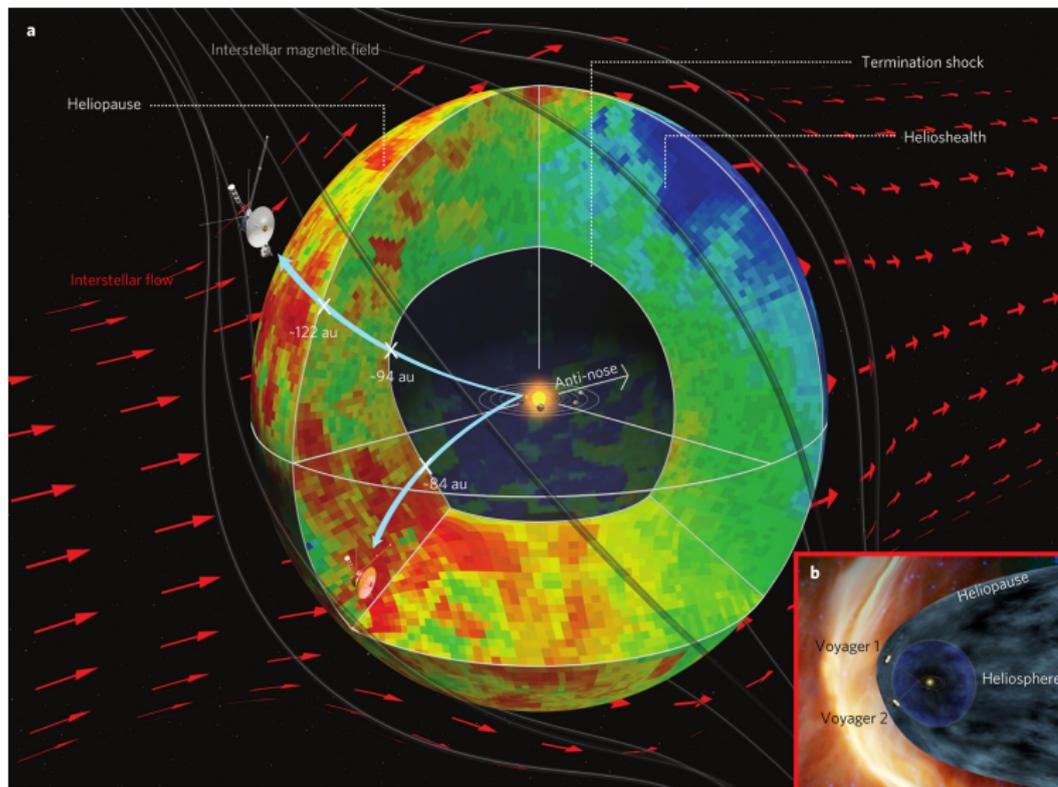


Figura: Estatus de los diferentes sitios de la red de detectores de LAGO

## Cálculo de la fluencia

Cualquier intento de estimar el flujo de partículas secundarias, en cualquier detector de LAGO, debe basarse en una simulación detallada que tome en cuenta todas las posibles fuentes de variaciones del flujo. El proceso es complicado y ocurre a diferentes escalas, tanto espaciales como temporales.







# Simulación de las cascadas con CORSIKA

- ▶ Para calcular el flujo secundario utilizamos CORSIKA v76900 (COsmic Ray Simulations for Kascade). Este programa nos permite hacer simulaciones detalladas de las cascadas producidas por rayos cósmicos de alta energía que interactúan con los átomos de la atmósfera terrestre (Heck, D. y col.; 1998).

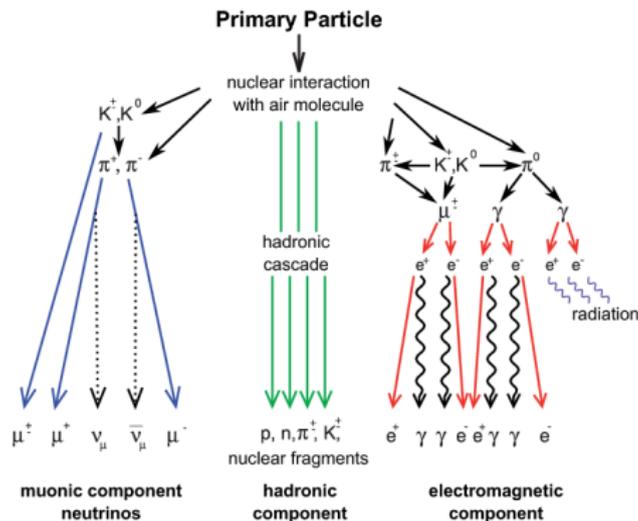


Figura: Producción de una cascada de partículas secundarias.

# Consideraciones en las simulaciones

Simulamos **una hora de flujo** para cada sitio tomando en cuenta lo siguiente:

- ▶ QGSJET-II-04
- ▶ GHEISHA 2002d
- ▶ Atmósfera curva
- ▶ Campo eléctrico atmosférico
- ▶ Rigidez de corte 9.11 GV
- ▶ Ángulo zenital  $0 < \theta < 90^\circ$
- ▶ Ángulo azimutal  $-180 < \phi < 180^\circ$

▶ FCFM:  $B_x = 27.521$ ,  
 $B_z = 27$ .

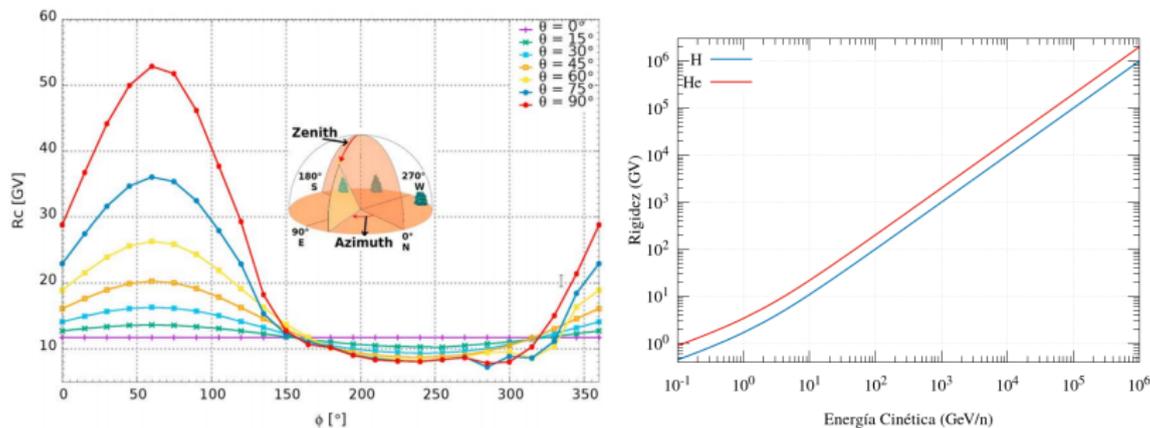
▶ Tacaná:  $B_x = 27.631$ ,  
 $B_z = 25.598$

El flujo primario en el tope de la atmósfera (112 km s.n.m) se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$N(Z) = 3.1416 J_0(Z) \frac{E^{\alpha(Z)}}{\alpha} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$$

donde  $J_0(Z)$  es el espectro medido para los elementos con  $1 < Z < 26$ .

# Corrección por $R_c$



**Figura:** Rigidez de corte ( $R_c$ ) en función del ángulo azimutal  $\phi$  (Asorey y col., 2019) y la energía cinética ( $R = \frac{A}{Z_e} \sqrt{T(T + 2E_0)}$ ).

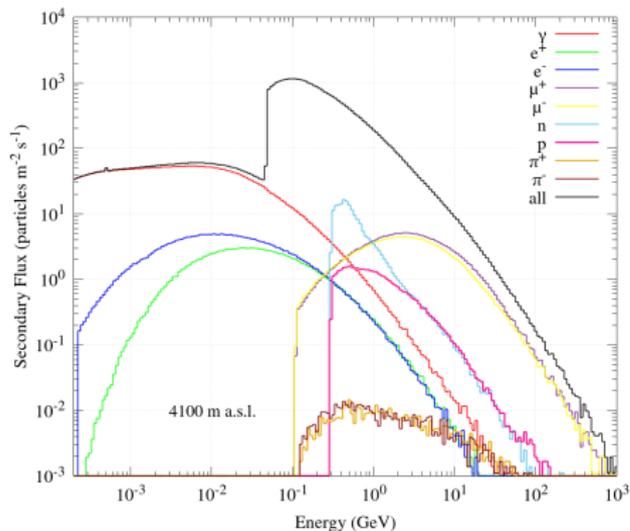


Figura: Sitio: Cima del volcán Tacaná

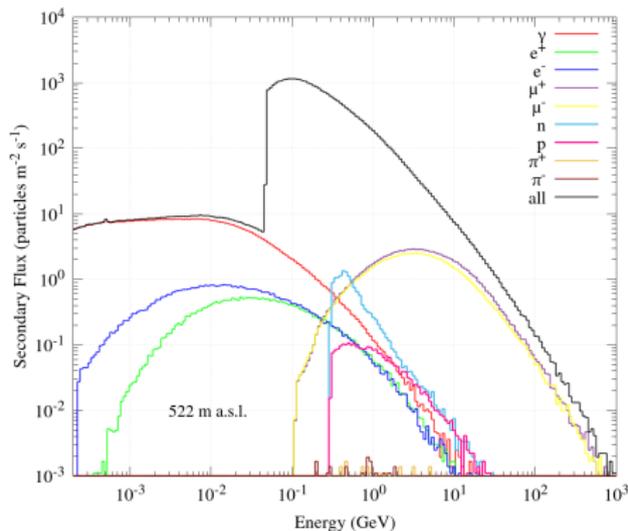


Figura: Sitio: FCFM-UNACH, Tuxtla Gutierrez

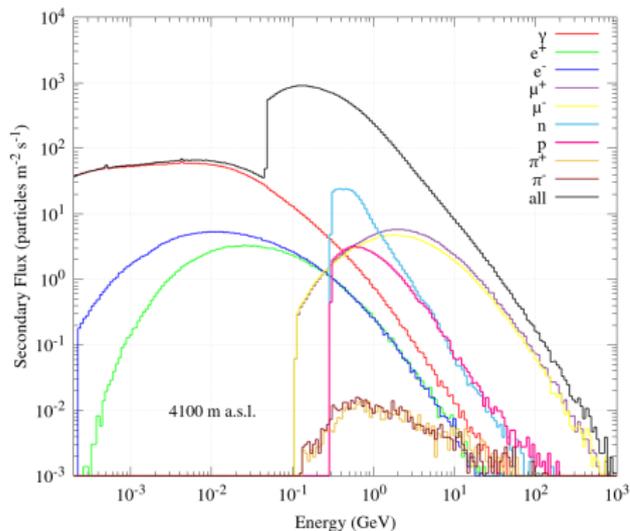


Figura: Sitio: Cima del volcán Tacaná

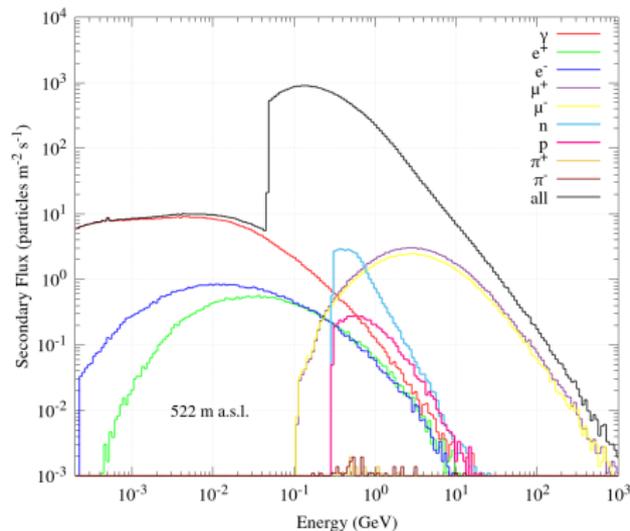
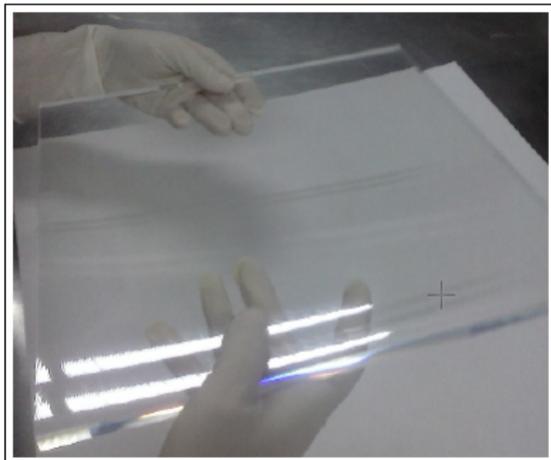


Figura: Sitio: FCFM-UNACH, Tuxtla Gutierrez

# El detector ESCARAMUJO



## Interacción de los secundarios con el detector

La interacción de los secundarios (obtenido anteriormente) con el detector se puede estimar mediante una simulación **GEANT4**. Usando este código es posible estimar la señal que registrará el detector teniendo en cuenta su geometría.

Los detectores de LAGO son contenedores cilíndricos con cubierta interna de Tyvek y con un solo tubo foto multiplicador. Los tanques se llenan con agua pura.

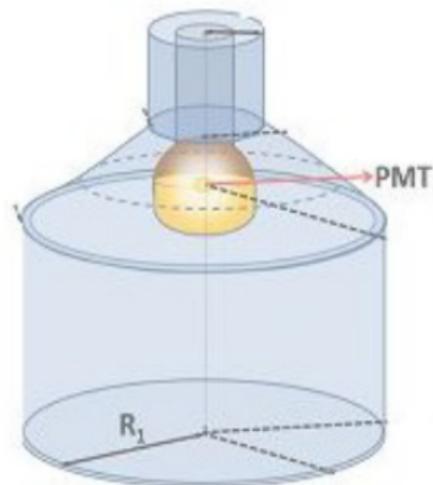


Figura: Geometría del detector.

# Proceso de calibración

La calibración consiste en convertir la señal detectada (número de foto-electrones) en unidades de energía depositada ( $E_d$ ). La unidad de calibración es un VEM, y se define como la carga promedio colectada por el PMT. De la grafica se tiene que  $1 \text{ VEM} \sim 100\text{pe} \approx 180 \text{ MeV}$ .

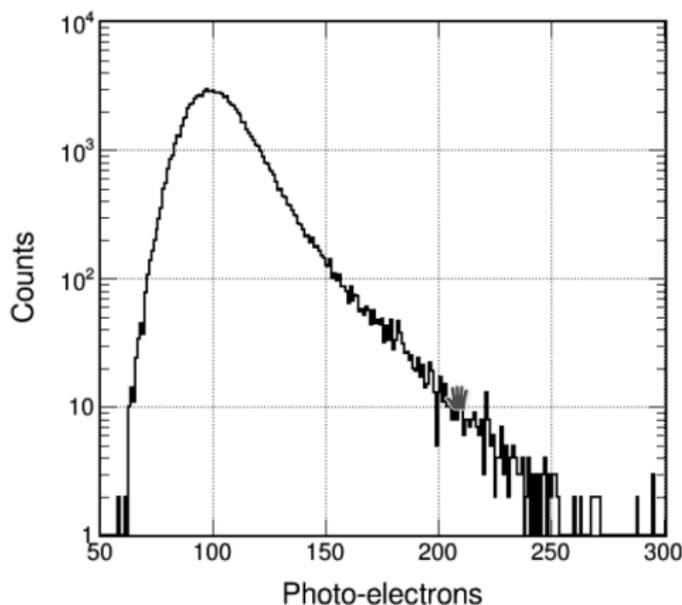


Figura: Distribución de PE.

# Montaje del detector en la FCFM

## Componentes principales:

- ▶ Tanque con capacidad de  $\sim 1000$  lts
- ▶ Tyvek, aluminio y plástico
- ▶ 1 PMT R5912-20 de 14 dinodos
- ▶ 1 Tarjeta FLASH ADC, digitalizadora CAEN de 250 MHz. (VX1720E)
- ▶ 1 Fuente de polarización negativa CAEN (-2000V - 0V) (V6533N)



Tyvek



Aluminio

## Tareas principales:

- ▶ Implementación de Tarjeta divisora de voltaje (resistiva).  
(**CONCLUIDA**)
- ▶ Desarrollo de programa de Control de tarjeta FLASH ADC. (**CONCLUIDA**)
- ▶ Formateo de datos (archivos de salida) para procesamiento en ANNA, LAGO. (**CONCLUIDA**)
- ▶ Adecuación de ANNA, LAGO. (**CONCLUIDA**)
- ▶ Inclusión de Sensores (Presión, Temperatura) y GPS.  
(**FALTA GPS**)
- ▶ Acondicionamiento de tanque: forrado interno y externo; y acondicionamiento de PMT. (**CONCLUIDA**)
- ▶ Caracterización del sistema completo. (**EN PROCESO**)

- ▶ En los últimos años se han hecho grandes avances para poder instalar dos nuevos detectores WC para la colaboración LAGO.
- ▶ La instalación de los detectores en Tuxtla Gutiérrez y el volcán Tacaná impulsará fuertemente la consolidación de la infraestructura para la detección de astropartículas en la UNACH.
- ▶ Como se esperaba, este flujo fue mucho mayor en el Tacaná debido a que está a una mayor altura.
- ▶ Ahora se cuenta con la información básica para estimar la respuesta del detector.
- ▶ ...

*Muchas*  
GRACIAS

La ecuación de transporte de los RC:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla f - \nabla \cdot (\mathbf{K} \cdot \nabla f) - \frac{1}{3}(\nabla \cdot \mathbf{V}) \frac{\partial f}{\partial \ln p} = Q$$

$$R_m = \frac{A}{Z_e} \sqrt{T(T + 2E_0)} = \frac{pc}{Z_e}$$

Asorey y col. (2019) encuentran que  $R_c$  en función de la dirección de arribo puede ser expresada como:

$$R_c = R_c(Lat, Lon, Alt, \theta, P(R_m(\theta)))$$

donde

$$R_m = R_m(Lat, Long, Alt, t)$$

$P(R_m(\theta))$  es una función de probabilidad definida como:

$$P(R_m(\theta)) = \frac{No.R_m(allowed)(\theta)}{No.R_m(Tot-allowed)(\theta)}$$

Metodología:

1. Encontrar la función de rigidez magnética en una posición geográfica en particular:  $R_m(Lat, Long, Alt, t, \theta, \phi)$
2. Calcular el flujo de primarios en el tope de la atmósfera (112 km) filtrado por  $R_m$ .
3. Estimar el flujo de secundarios en superficie producidos por la interacción de RCG con la atmósfera.