

Estudio del Espectro de Energía de Rayos Cósmicos y Machine Learning

Proyecto de Prácticas Finales

Supervisado por Dr. Rodrigo Sacahuí y Dr. Tomás Capistrán

Agradecimientos especiales al Dr. Ibrahim Torres

Alexander Alvarado

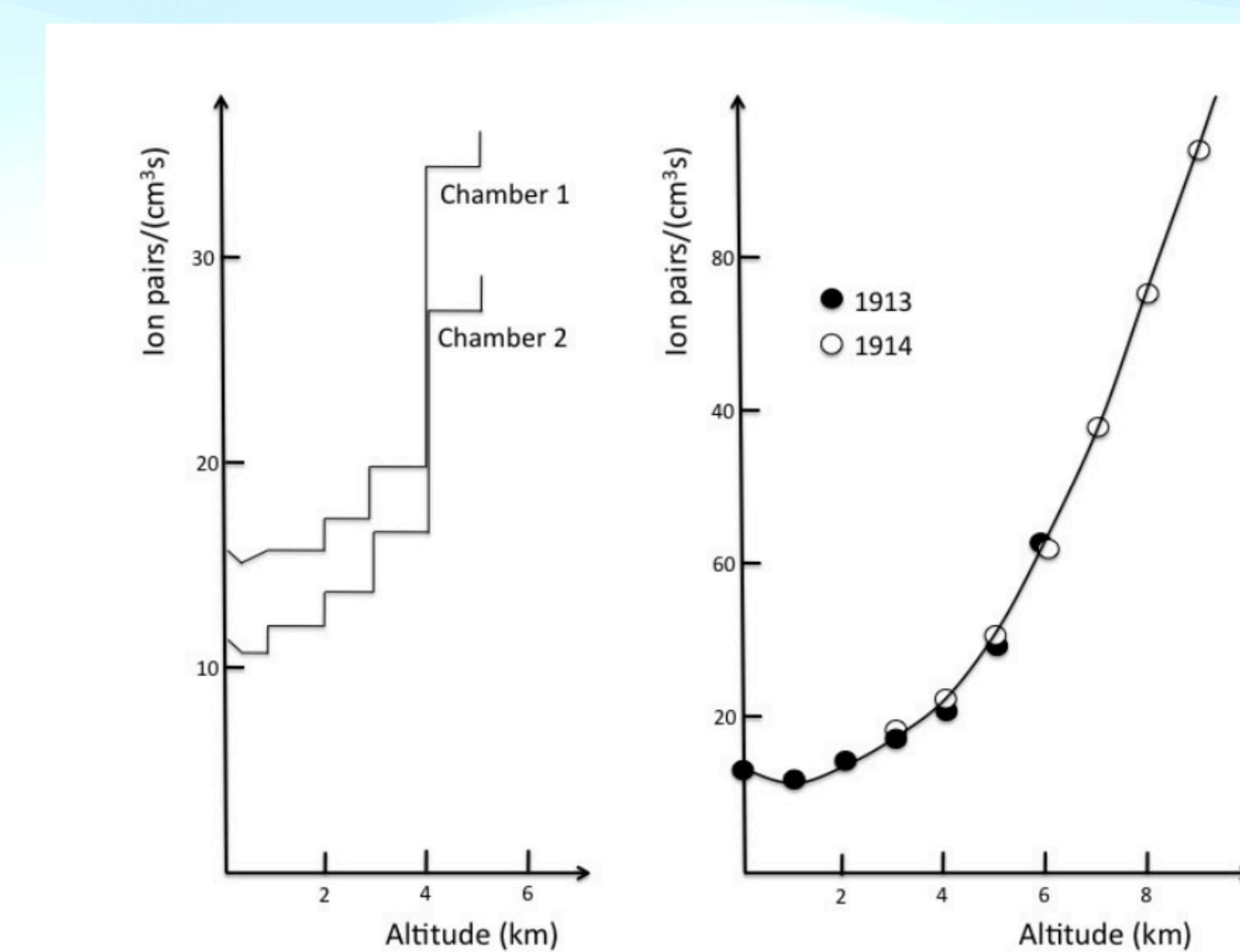
Esquema

1. Marco teórico
2. HAWC
3. Descripción del Proyecto de Prácticas
4. Por venir

Rayos Cósmicos

¿Cómo se descubrieron?

- Tras el descubrimiento de la radiactividad, se registraron descargas en electroskopios.
- Entre 1911-1912 Victor Hess hace siete viajes en globo para medir la tasa de ionización a diferentes alturas



Tasas de ionización medidas por Victor Hess en 1911 (izquierda) y por Kolhorster en 1913 y 1914 (derecha).

Fuente:

Rayos Cósmicos

Entonces... ¿qué rayos son?

- Provienen de fuera de nuestro planeta, a velocidades relativistas
- Tienen carga eléctrica
- Son mayoritariamente protones (núcleos de hidrógeno), un 10% núcleos de helio y un 1% núcleos pesados
- Se desconoce su origen preciso, se espera que su llegada a la tierra sea isotrópica
- Se han detectado anisotropías
- ¿Qué mecanismos los aceleran? ¿Qué ambientes atraviesan en su viaje?

Rayos Cósmicos

Cascadas hadrónicas

Componente hadrónica

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

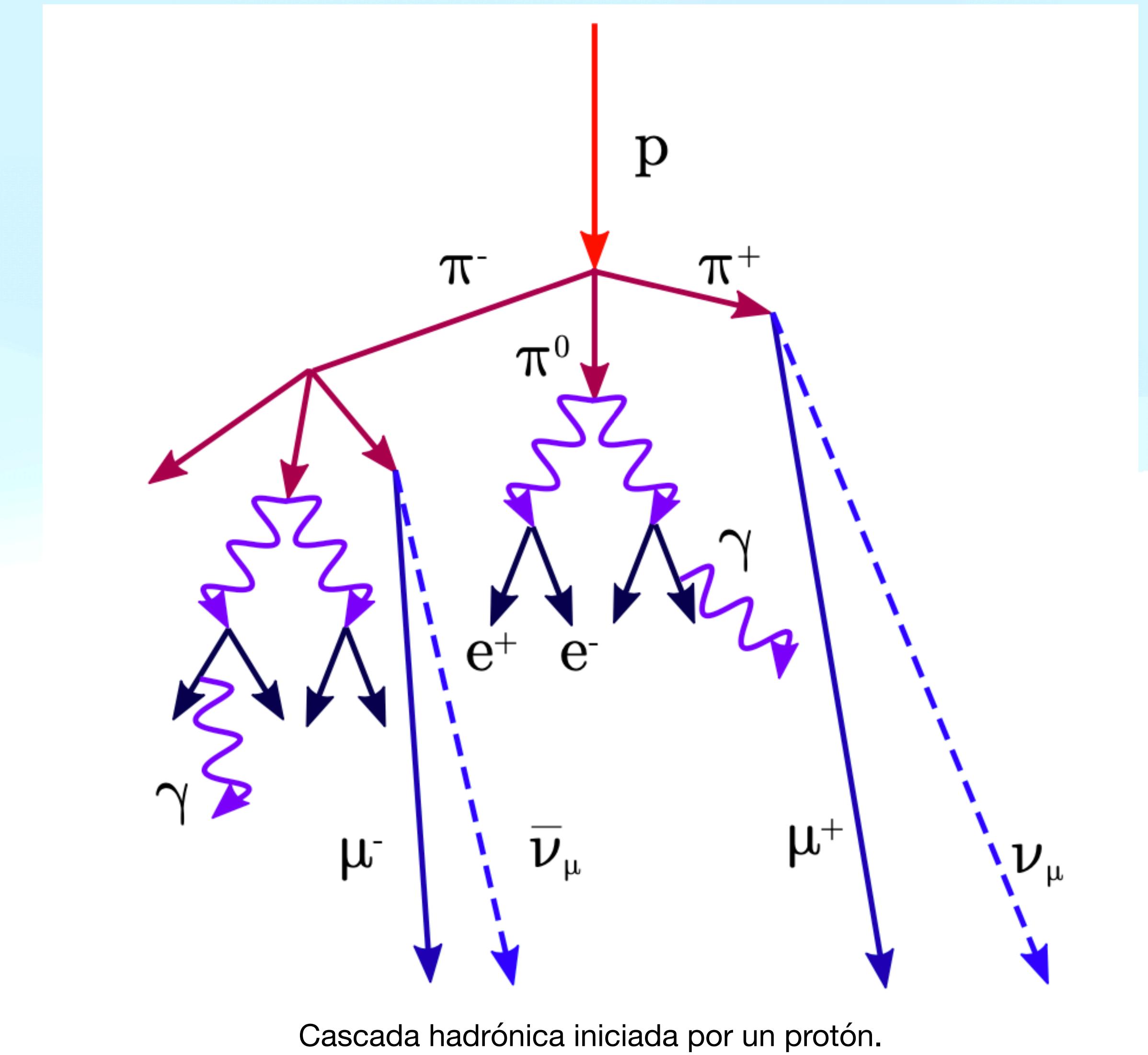
$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

Componente electromagnética

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

Prod. de pares $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$

Bremsstrahlung $e^\pm + A \rightarrow e^\pm + \gamma + A$

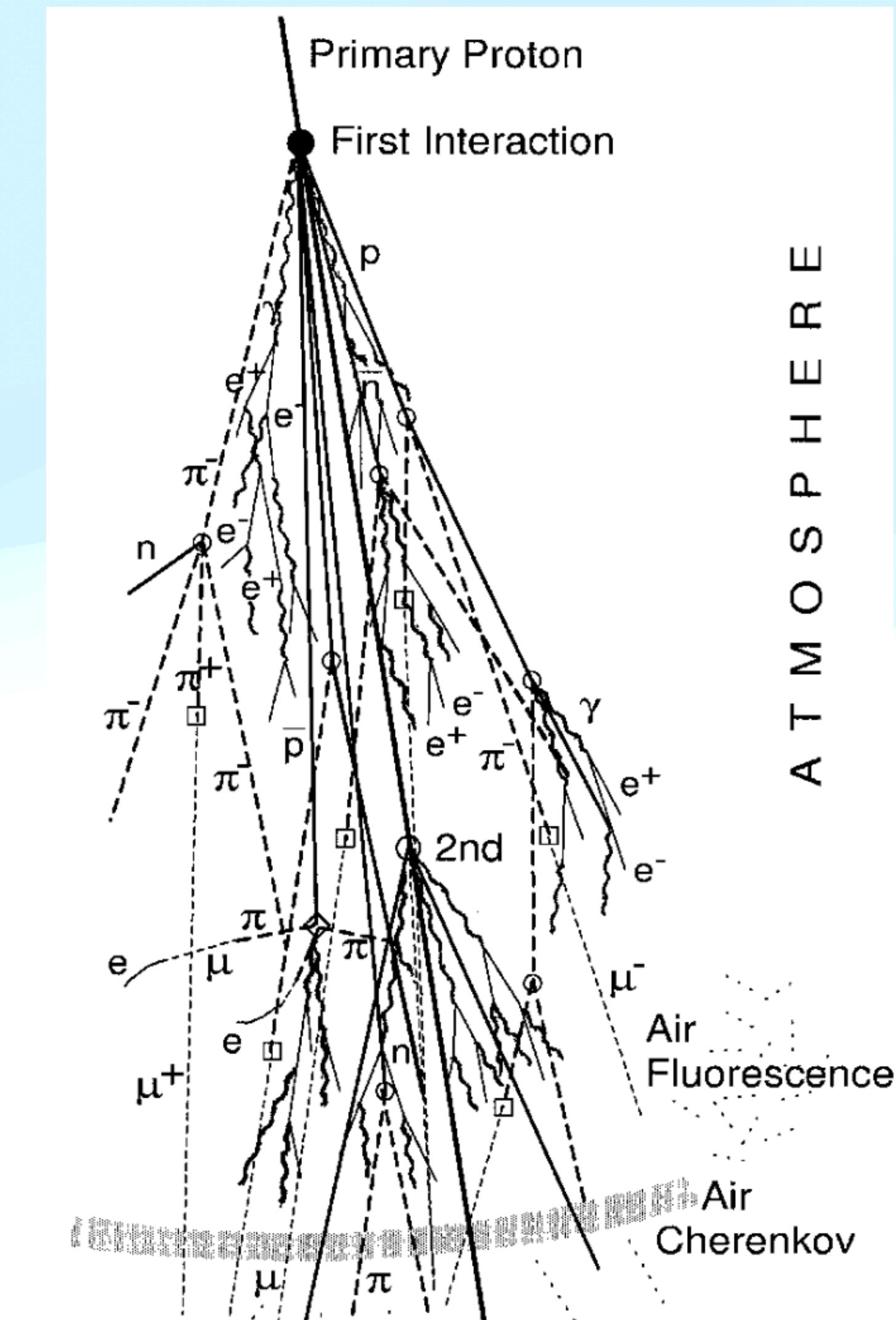


Cascada hadrónica iniciada por un protón.
Fuente: Hampel-Arias, 2017

Rayos cósmicos

Cascadas hadrónicas

- Componente hadrónica
 - Colisiones que generan cascadas hadrónicas
- Componente electromagnética
 - Producción de pares
 - Bremsstrahlung
- El tamaño de la cascada depende principalmente:
 - Energía del primario
 - Ángulo de incidencia (ángulo zenital)
 - Profundidad de la primera interacción



Desarrollo longitudinal y lateral de una cascada hadrónica.

Fuente: Grieder, 2009

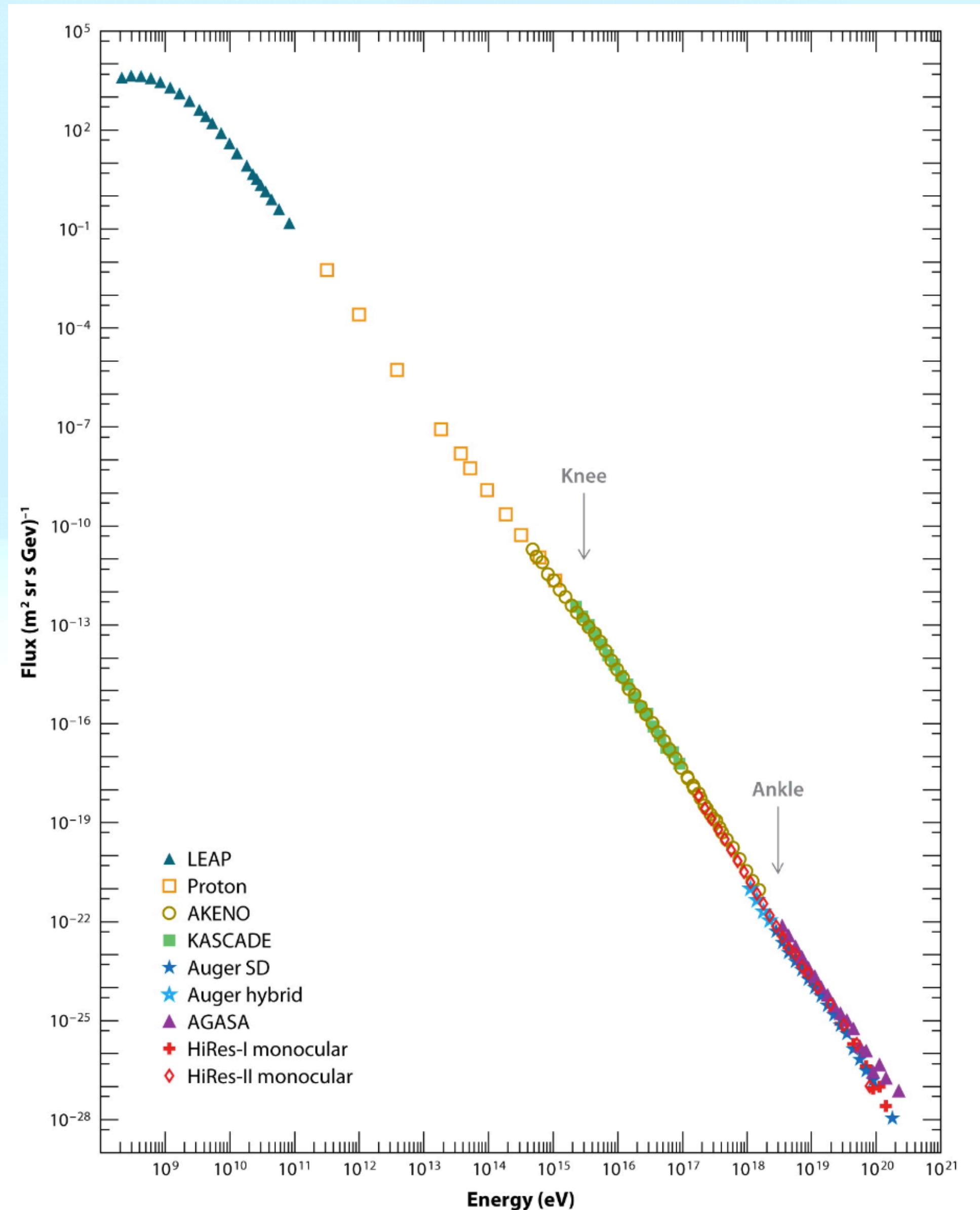
Rayos Cósmicos

Espectro de Energía

- Se expresa en términos del flujo:

$$F(E) = \frac{d^4N(E)}{dAd\Omega dt dE}$$

- Está bien definido por una power law de $\gamma \approx 2.7$ i.e. $\propto E^{-\gamma}$
- Tiene quiebres en 3×10^{15} eV y 4×10^{18} eV
- El estudio de anisotropías pueden darnos pistas sobre estos quiebres
- Su naturaleza no térmica nos brinda información sobre la dinámica de los ambientes que atraviesa



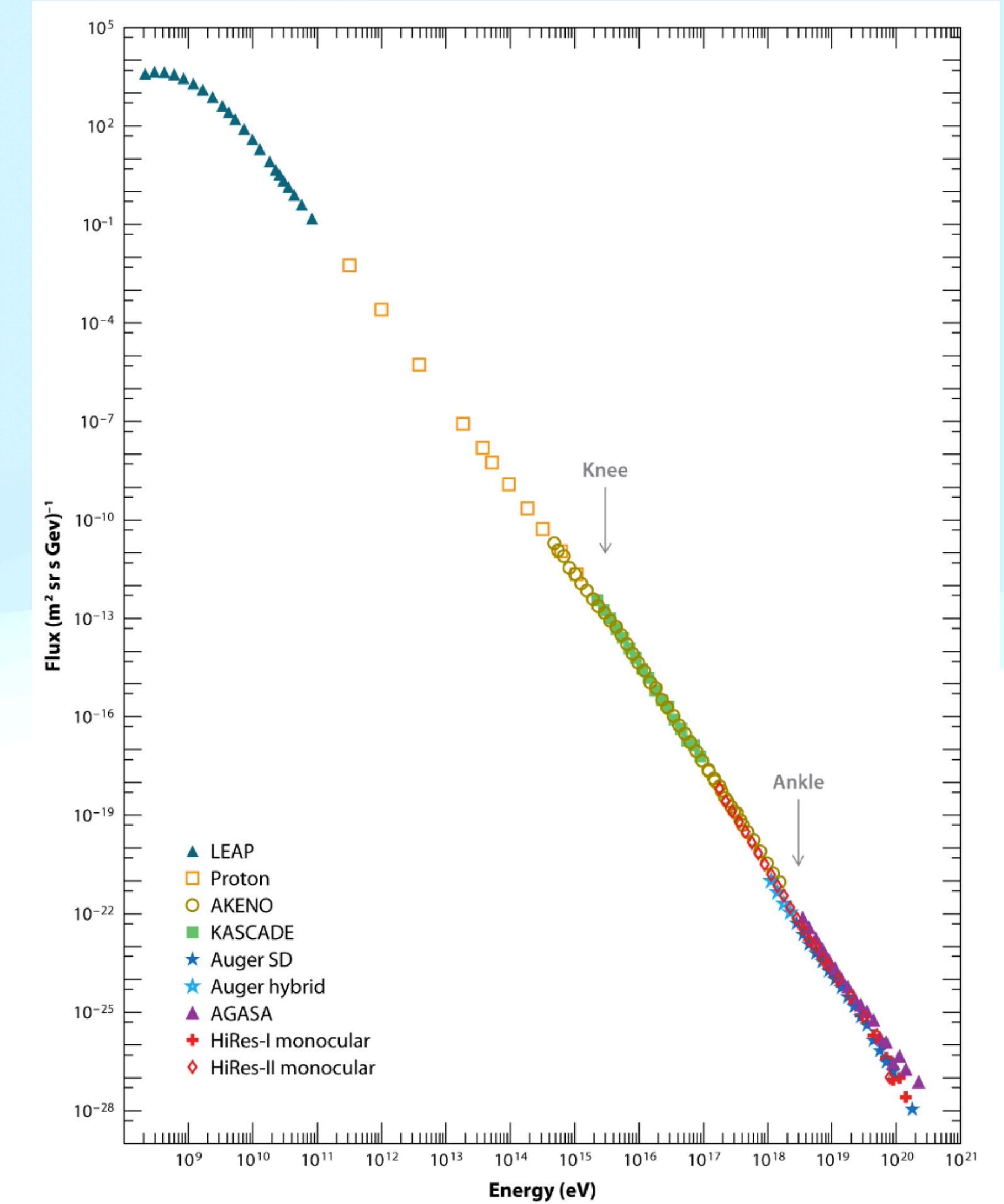
Espectro de energía de todas las partículas por diferentes experimentos.

Fuente: Hampel-Arias, 2017

Rayos Cósmicos

Detectores

- Detección directa
 - Satélites
 - Globos
 - Operan hasta 100TeV
- Detección indirecta
 - Detectores terrestres
 - Operan desde TeV hasta las energías más altas



Espectro de energía de todas las partículas por diferentes experimentos.

Fuente: Hampel-Arias, 2017

High Altitude Water Cherenkov Observatory (HAWC)

Colaboración y Observatorio



Sitio del observatorio HAWC en faldas del volcán Sierra Negra, Puebla.

Fuente: Sitio oficial de HAWC

HAWC

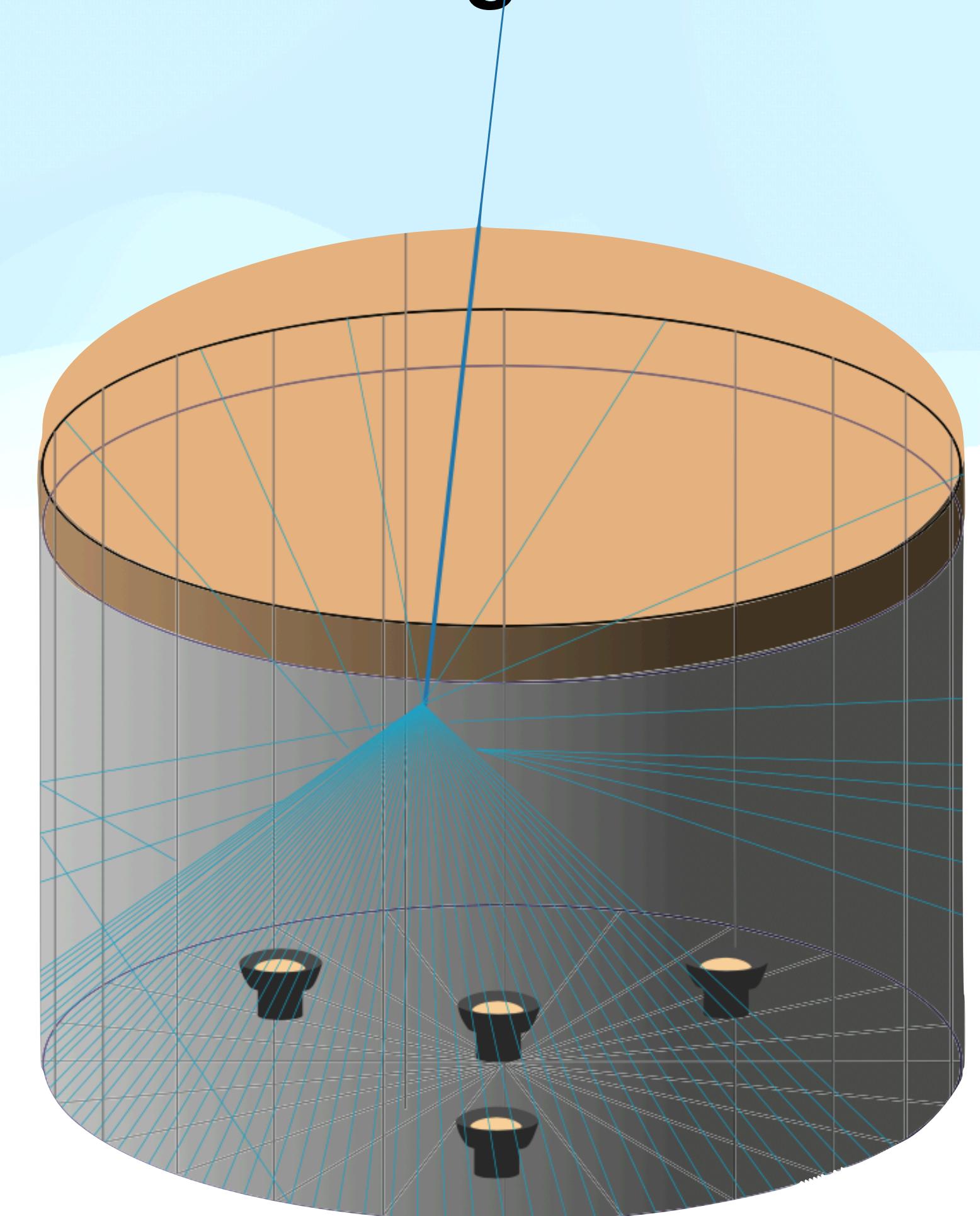
Colaboración y Experimento

- Localizado a 4100m sobre el nivel del mar, Volcán Sierra Negra, Puebla
- Arreglo de 300 detectores en 22mil metros cuadrados
- Diseñado para detectar Rayos Gamma en 100GeV-100TeV
 - Rayos cósmicos de hasta PeV
- Colaboradores mayoritariamente de Estados Unidos y México
- 50% son hispanohablantes

HAWC

Anatomía del observatorio: detectores Cherenkov en agua

- Tanque metálico (5m de alto, 7.3m de diámetro)
- Agua purificada (188 mil litros)
- 4 tubos fotomultiplicadores que capturan **radiación Cherenkov**

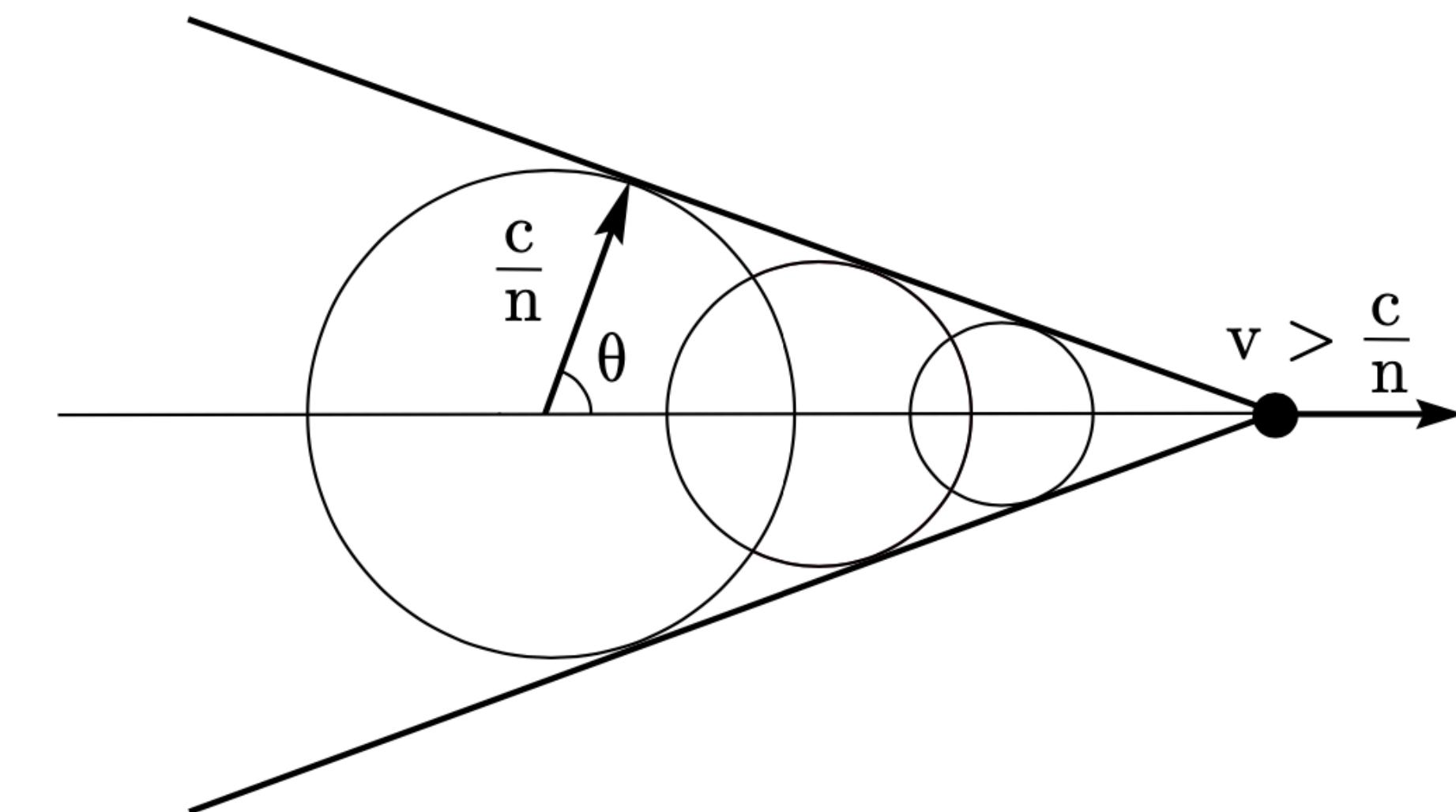


Detector Cherenkov en agua.
Fuente: Hampel-Arias, 2017

HAWC

Efecto Cherenkov

- Respuesta del medio ante el paso de partículas cargadas con $v > c/n$
- Se crea una onda cónica detrás de la partícula
- Se propaga a un ángulo tal que $\cos\theta = 1/n$
- $n_{agua} = 1.33, \theta \approx 41.2$

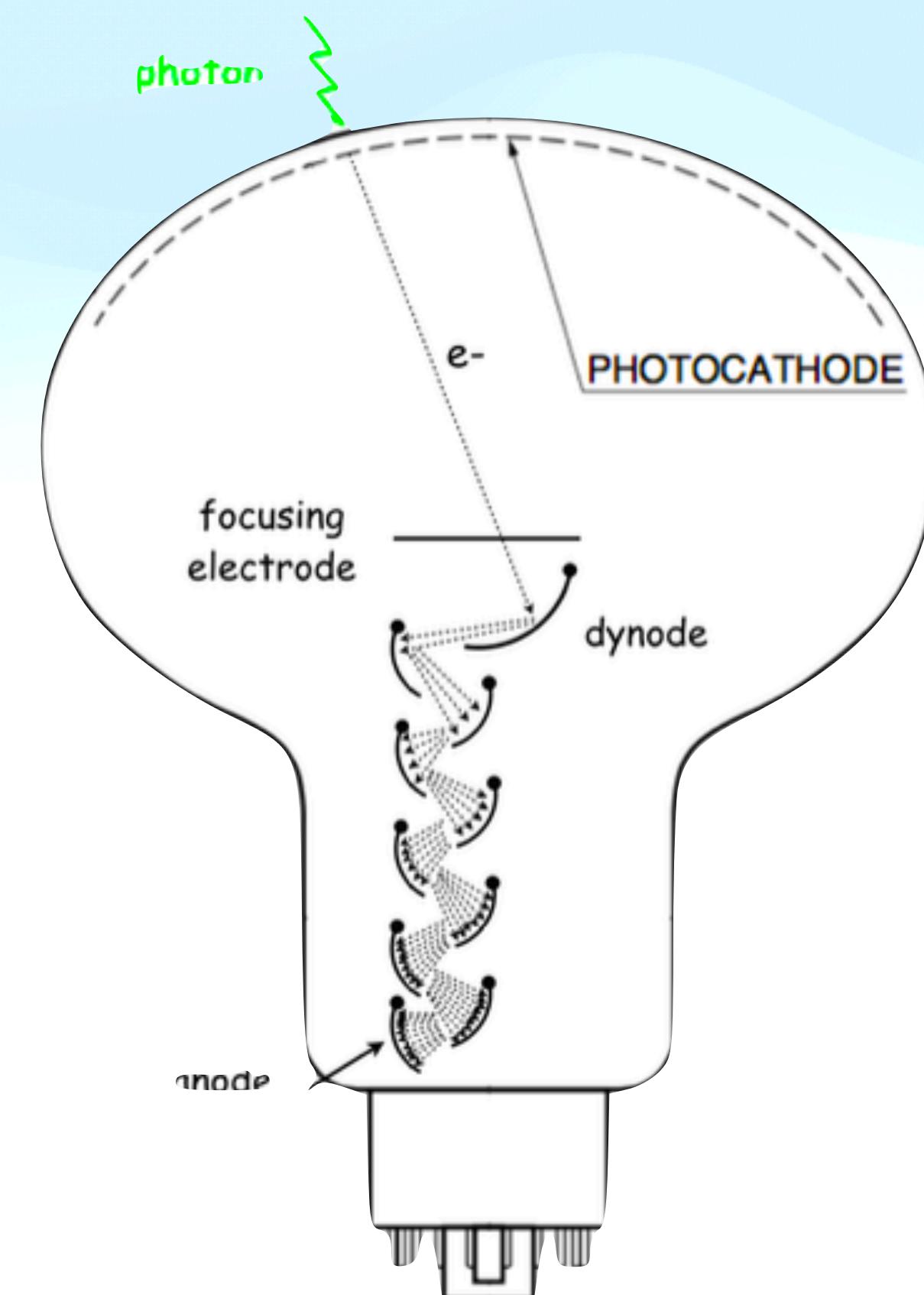


Propagación de la radiación Cherenkov.
Fuente: Hampel-Arias, 2017

HAWC

Anatomía del observatorio: tubos fotomultiplicadores (PMT)

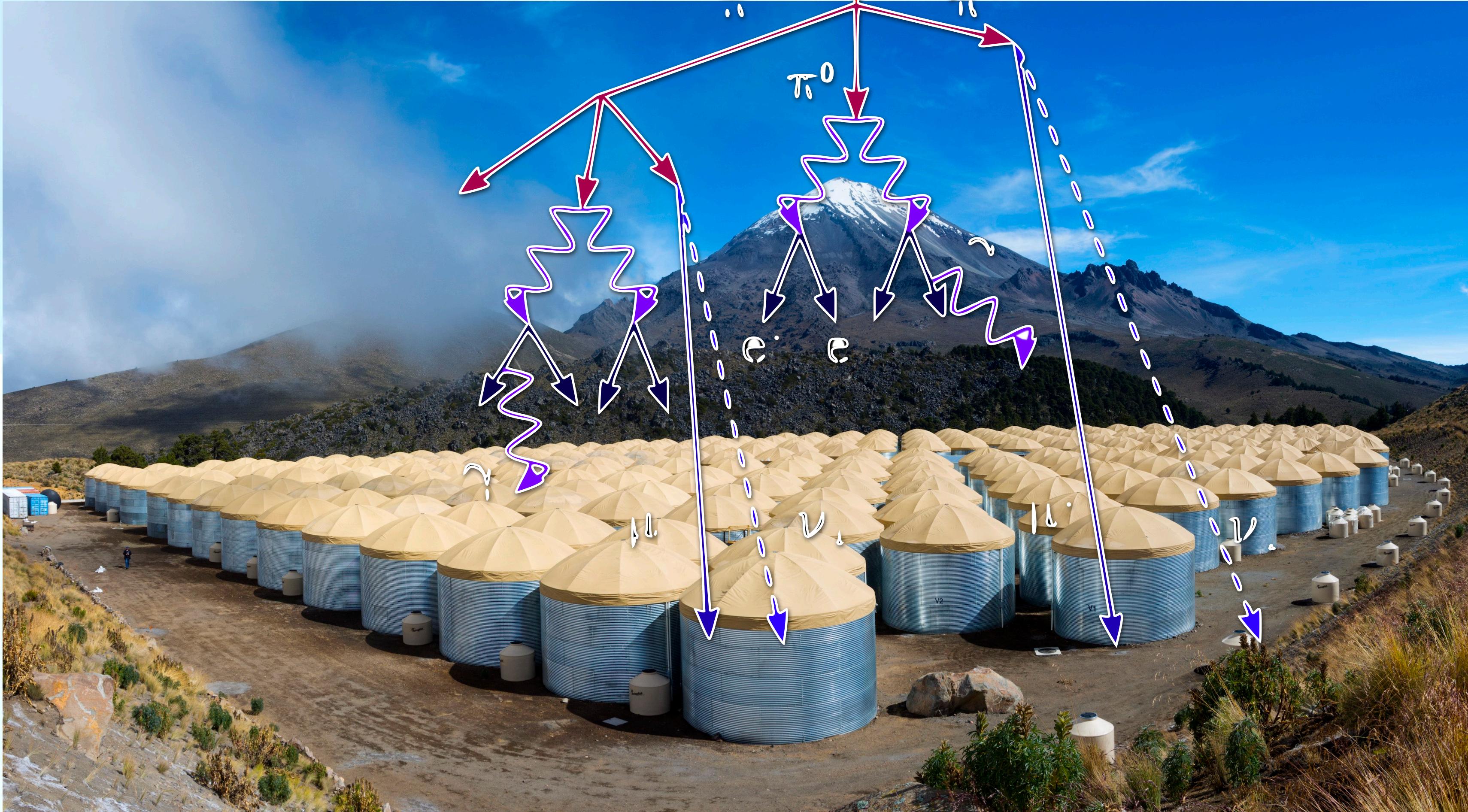
- Su función es contar fotones
- Funciona por efecto fotoeléctrico
- La respuesta se almacena o se desecha según varios factores



Tubo fotomultiplicador.
Fuente: Hampel-Arias, 2017

HAWC

¿Cómo opera?



Representación del funcionamiento de los detectores de HAWC

HAWC

Datos del detector

- Raw data
- Trig files
- Reco files
- Algunas variables:
 - nHit
 - nTankHitTot

Proyecto de Prácticas Finales

¿Qué se está haciendo?

- Revisión bibliográfica sobre rayos cósmicos
- Proceso de entrenamiento para el uso de datos del observatorio HAWC
 - Introducción a HAWCs
 - Adquirir herramientas procedimentales y de análisis para desarrollar un proyecto
- Revisión bibliográfica sobre machine learning

Proyecto de Prácticas Finales

¿Qué se está haciendo?

- Entrenamiento de algoritmos de aprendizaje
- Redacción de un manual introductorio al entorno de HAWC y a los talleres de análisis

Proyecto de Prácticas Finales

¿Bajo qué objetivos?

- **Objetivo general:** obtener el conocimiento necesario sobre rayos cósmicos y aprendizaje automático para eventualmente desarrollar un estimador de energías.
- **Objetivos específicos**
 - Redactar un nuevo manual de usuario del software de HAWC y talleres de análisis, para miembros hispanohablantes.
 - Adquirir conocimiento para comprender la física de un estimador de energía.
 - Entrenar un algoritmo de aprendizaje automático orientado a la reconstrucción de energías de rayos cósmicos y cuantificar su rendimiento.

Por venir

Tesis: estimador de energías para rayos cósmicos utilizando técnicas de aprendizaje automático

- Seleccionar potenciales variables que ayuden a reconstruir energía de los primarios
- Desarrollar y entrenar un algoritmo que reconstruya energía de primarios
- Presentar la propuesta ante el grupo de Cosmic Rays el 22 de noviembre



The background of the slide features a subtle, abstract design composed of wavy, horizontal lines in shades of blue and green. These lines create a sense of depth and motion across the entire frame.

Fin