

# El Observatorio Pierre Auger:

Su infraestructura y los resultados más relevantes obtenidos



*Daniel Supanitsky*  
ITeDA

- Los rayos cósmicos son partículas, provenientes del espacio, que bombardean la Tierra constantemente y en todas direcciones.
- Aproximadamente  $10^4$  rayos cósmicos llegan a la Tierra por metro cuadrado y por segundo.
- Fueron descubiertos en 1912 por Victor Hess, quien recibió el premio Nobel de Física por ese descubrimiento.



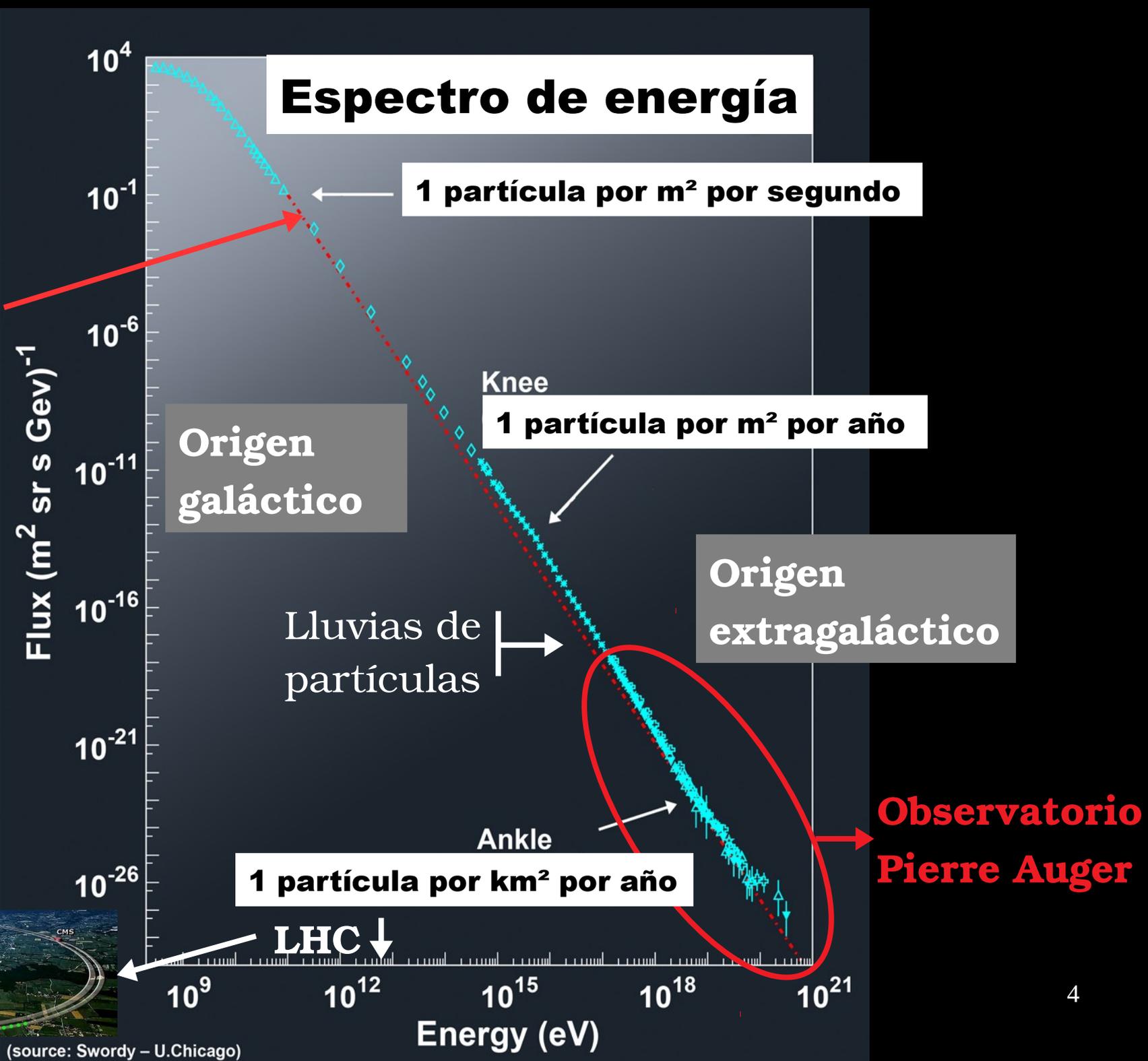
- Los rayos cósmicos generan lluvias de partículas secundarias al interactuar con las moléculas de la atmósfera
- A las energías más altas se los estudia por medio de la detección de estas lluvias

### **Preguntas fundamentales:**

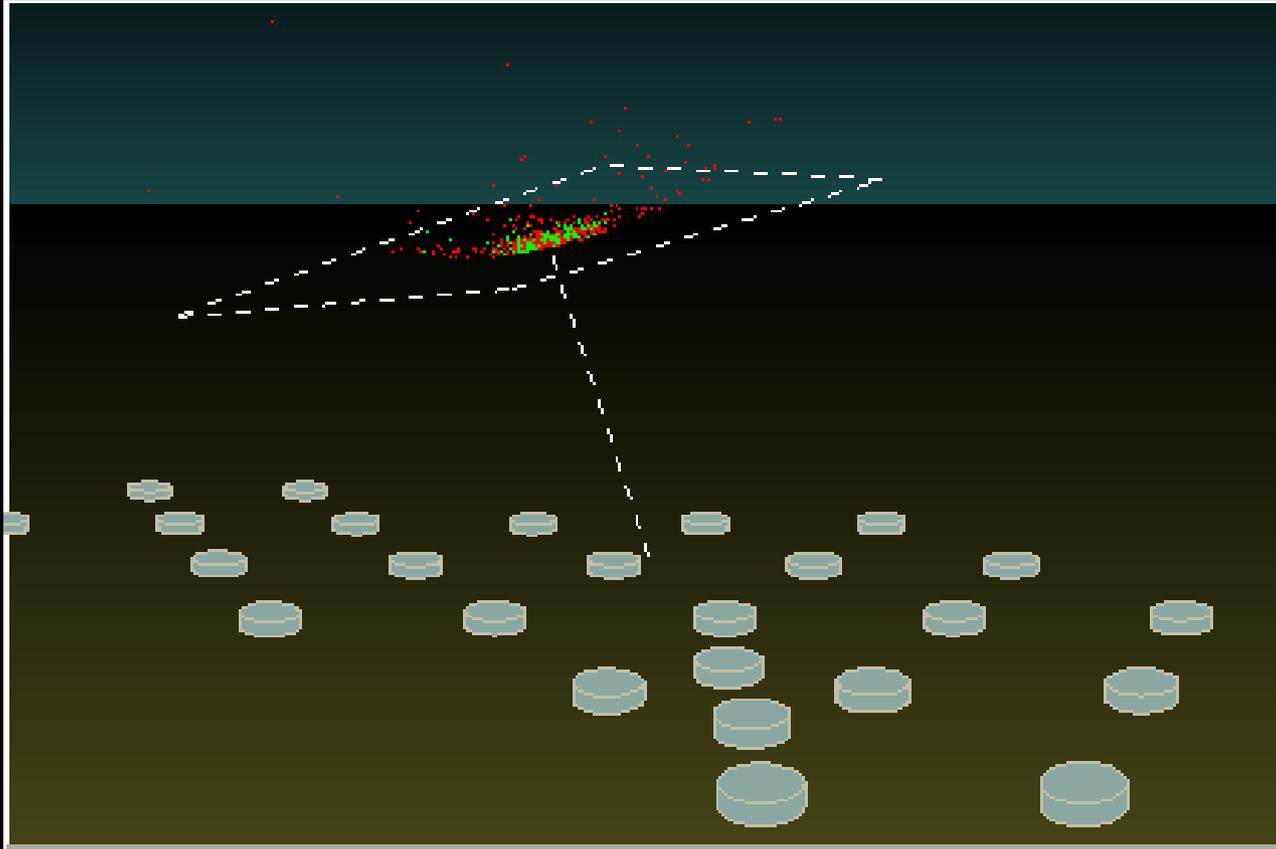
1. ¿Qué son?
2. ¿Cuáles son sus fuentes?
3. ¿Cómo son acelerados?



El espectro se puede aproximar por una ley de potencias:  
 $J(E) = A E^{-3}$



- Las partículas secundarias de las lluvias se propagan a través de la atmósfera a velocidades cercanas a la de la luz.



- Las lluvias atmosféricas están compuestas principalmente por muones ( $\mu^-$  y  $\mu^+$ ) y por la componente electromagnética ( $e^-$ ,  $e^+$ , y  $\gamma$ ).
- Hay también hadrones pero son una componente minoritaria que es importante cerca del eje de la lluvia.

# La colaboración Pierre Auger



Formada por más de **490** científicos de **18** países: Alemania, Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, Croacia, Eslovenia, España, Estados Unidos, Francia, Italia, México, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, y Vietnam.



# El Observatorio Pierre Auger



Está ubicado  
en Malargüe,  
provincia de  
Mendoza

Está entre  $35^{\circ}$   
y  $35.3^{\circ}$  de  
latitud Sur y  
entre  $69^{\circ}$  y  $69.4^{\circ}$   
de longitud  
Oeste

# El Observatorio Pierre Auger

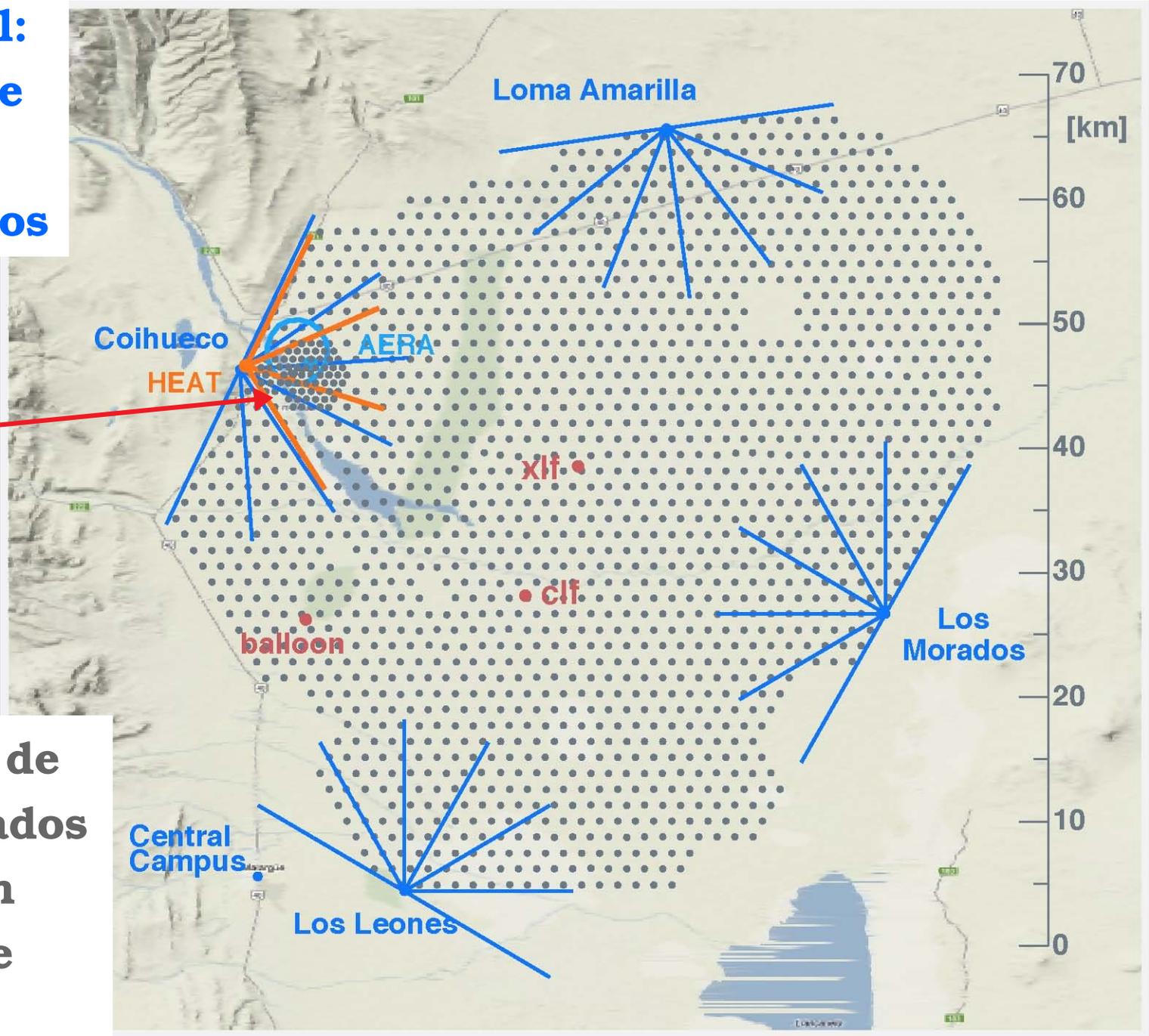
- La construcción comenzó en 2002 y terminó en 2008.
- La toma de datos comenzó en enero del año 2004 con 154 estaciones activas.
- Los primeros resultados se presentaron en la ICRC del año 2005.
- El Observatorio posee un **sistema de detección híbrido** formado por detectores de superficie y telescopios de fluorescencia.
- Los detectores de superficie detectan las partículas de las lluvias que llegan al nivel del suelo.
- Los telescopios de fluorescencia detectan la luz emitida por las moléculas de nitrógeno de la atmósfera que fueron excitadas por las partículas cargadas de las lluvias.

# El Observatorio Pierre Auger

Arreglo principal:  
24 telescopios de  
fluorescencia  
ubicados en 4 ojos

Extensiones a  
bajas energías

1660 detectores de  
superficie separados  
a 1.5 km. Cubren  
una superficie de  
3000 km<sup>2</sup>



# El Observatorio Pierre Auger



**Edificio de oficinas en Malargüe**

# El Observatorio Pierre Auger

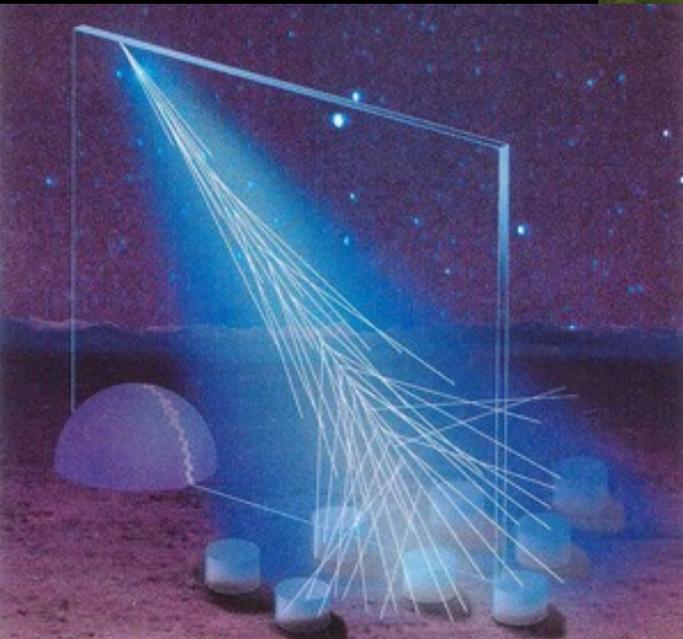


**Edificio de  
ensamblaje en  
Malargüe**



# Sistema de detección híbrido

**Ojo de fluorescencia**



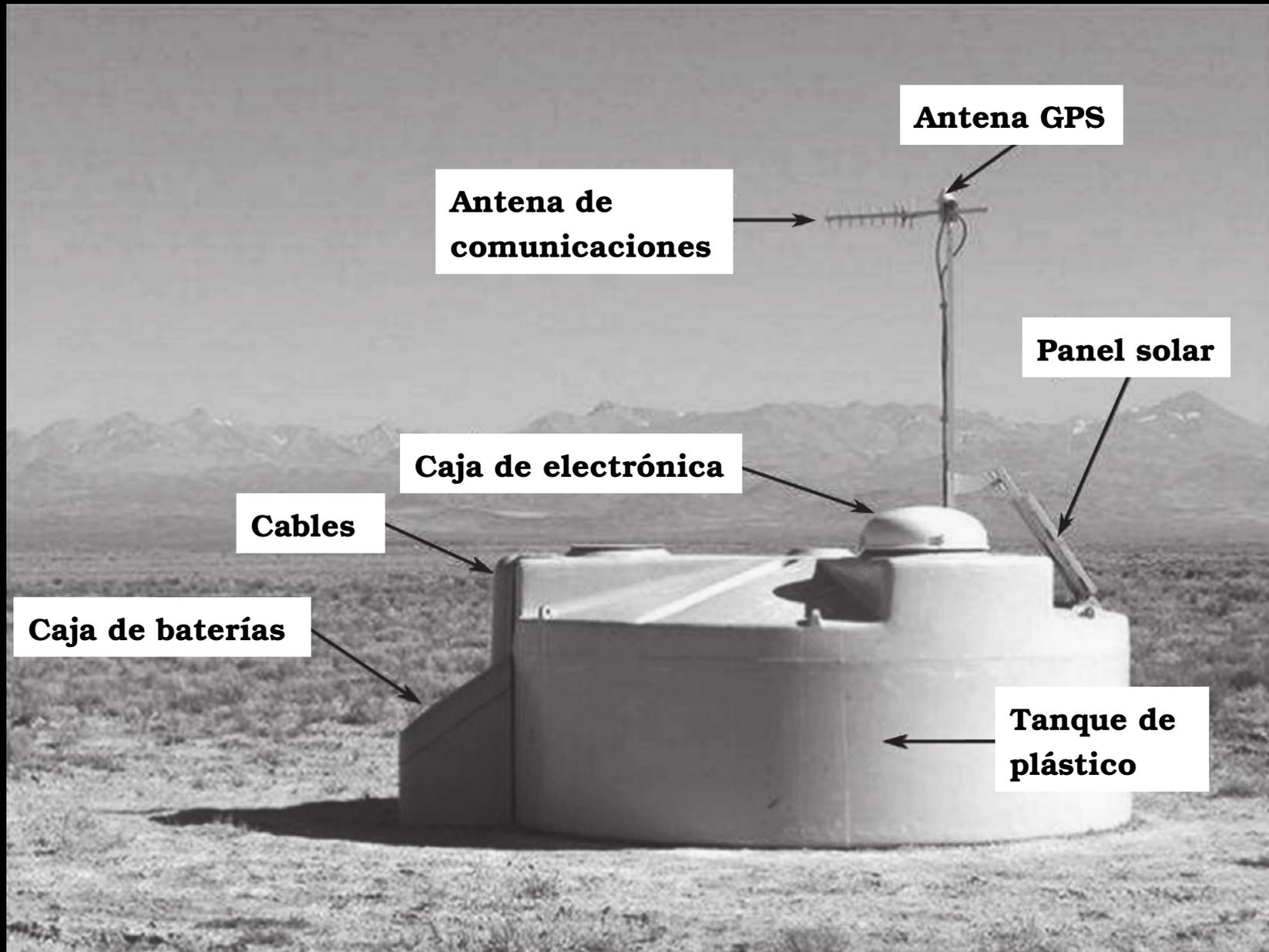
**Detector de superficie**

# Detectores de superficie

- Tanques de polietileno de 3.6 m de diámetro por 1.6 m de alto.
- Son unidades autónomas.
- Consumen 10 W de potencia.
- Cada estación posee dos paneles solares que cargan dos baterías de 12 V.
- Los 12000 lts de agua ultra pura están contenidos en un liner cuya capa interior está hecha de Tyvek.
- La altura del agua es de 1.2 m.
- Equipados con 3 PMTs de 9”.



# Detectores de superficie en detalle



**Antena GPS**

**Antena de comunicaciones**

**Panel solar**

**Caja de electrónica**

**Cables**

**Caja de baterías**

**Tanque de plástico**

# Telescopios de fluorescencia



- Hay 6 telescopios en cada edificio.
- Toman datos en noches claras y sin luna.
- Los eventos híbridos son solo el  $\sim 15\%$  del total.

# Telescopios de fluorescencia

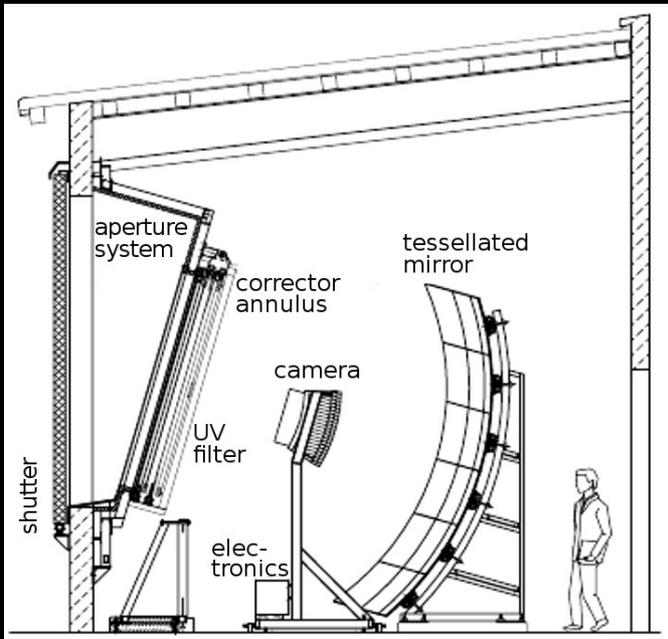
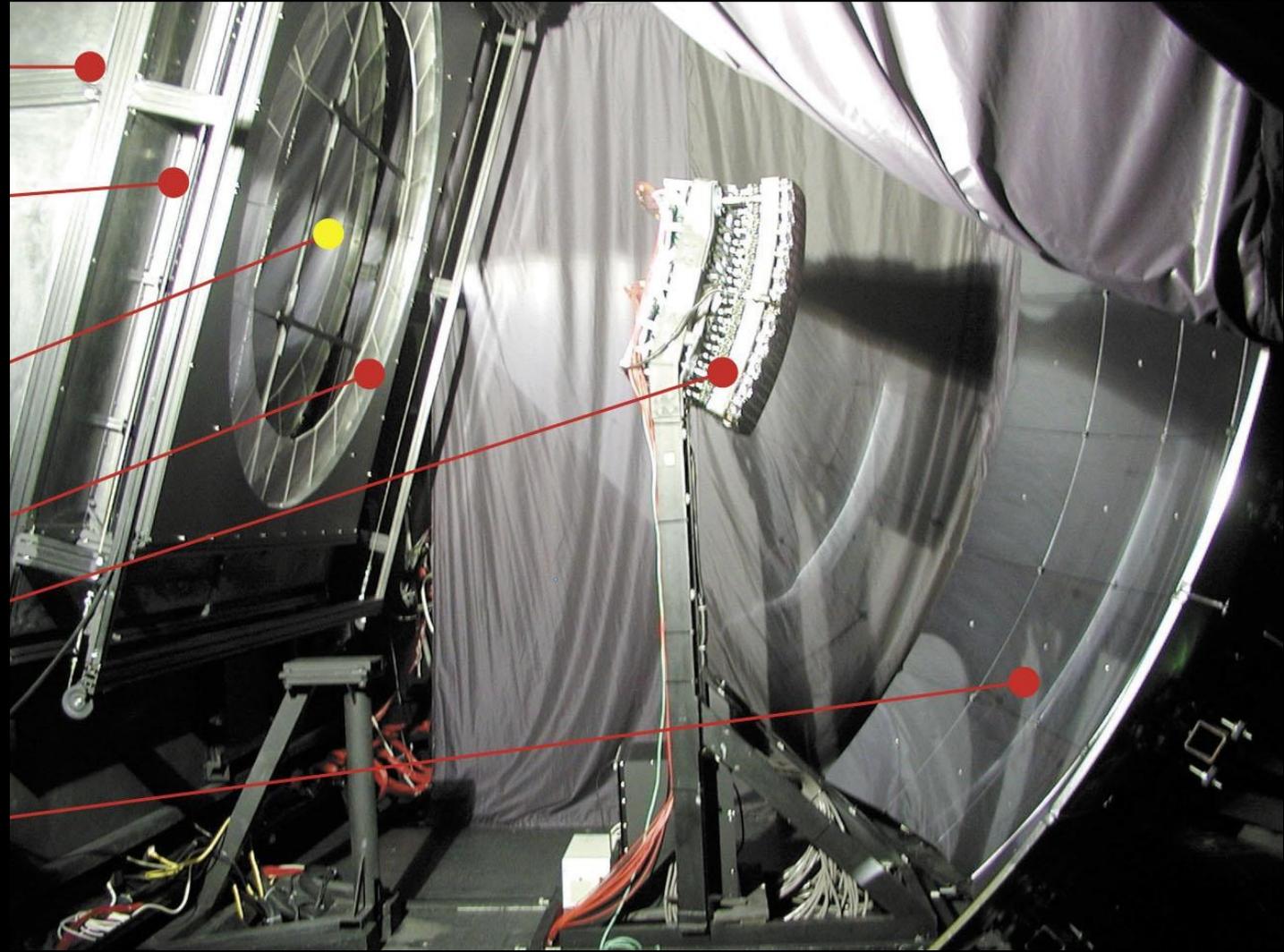
Cortina

Filtro

Punto de  
referencia

Anillo corrector

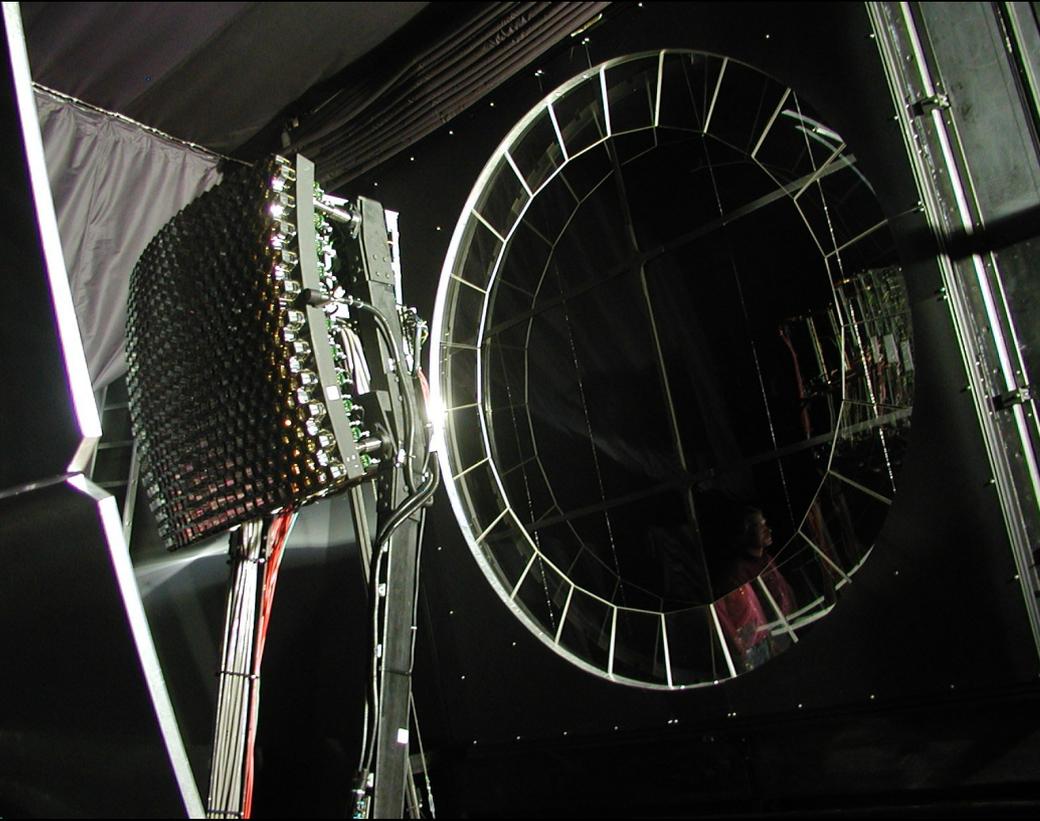
Cámara



- Campo visual de  $28.5^\circ \times 30^\circ$ , la elevación mínima es de  $1.5^\circ$ .
- Espejo esférico segmentado de 1.7 m de radio de curvatura.

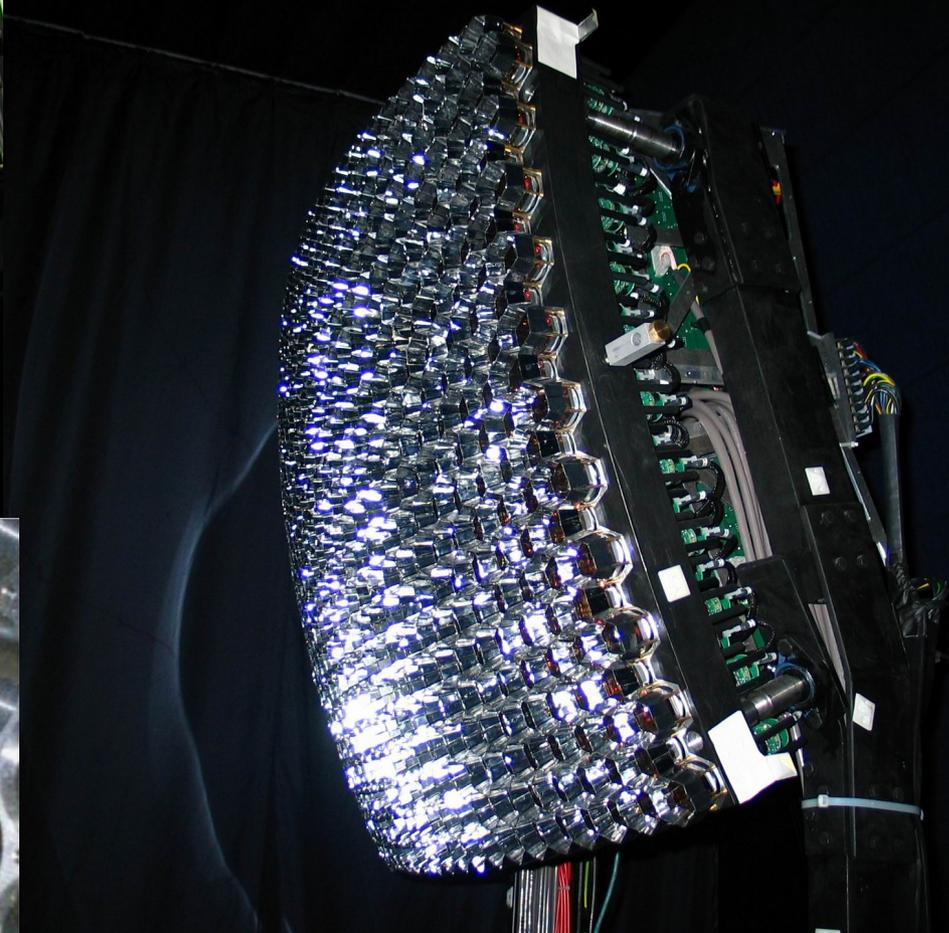
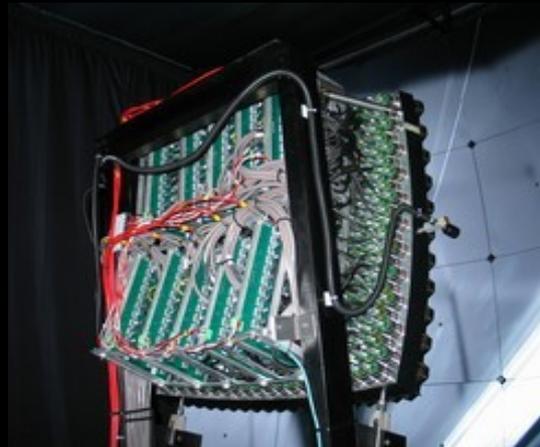
# Telescopios de fluorescencia

La cámara está formada por 440 PMTs hexagonales de 4 cm de distancia lado a lado.



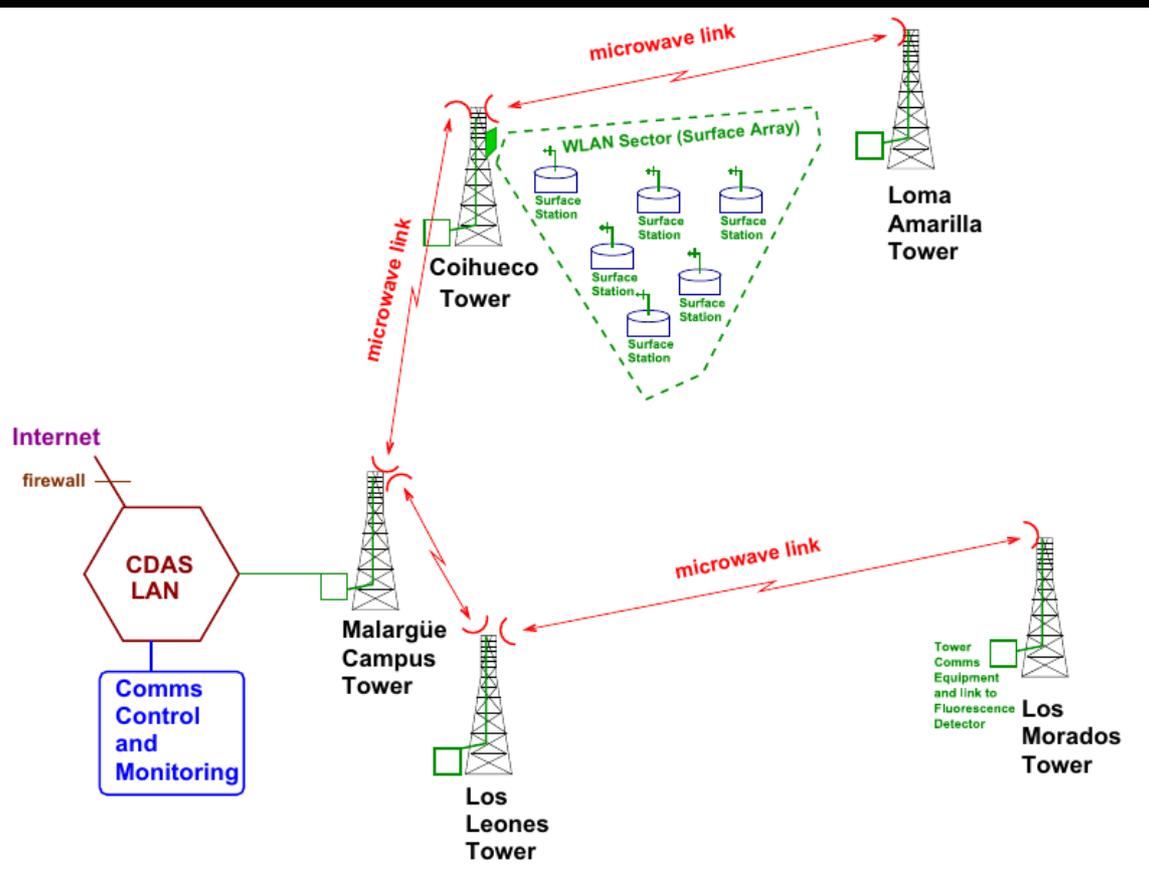
Parte trasera de la cámara

Colector de luz



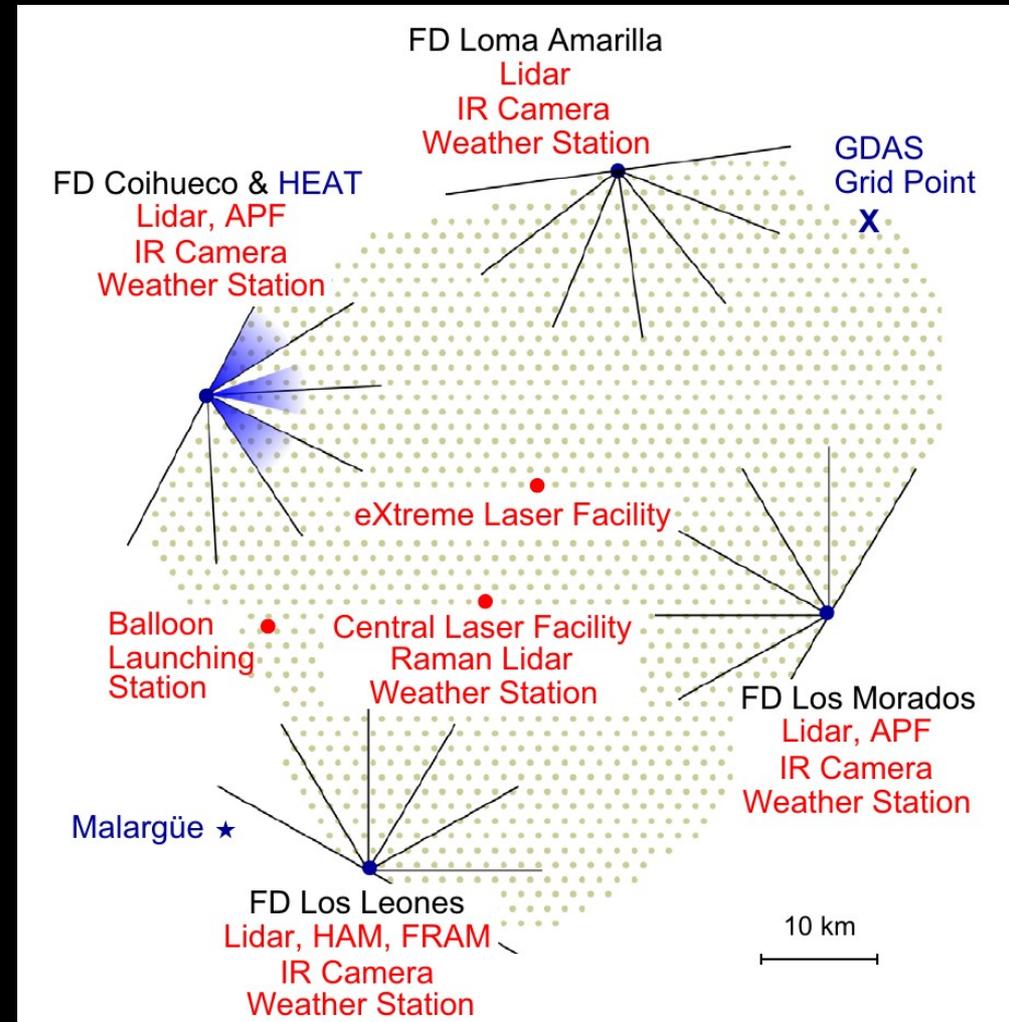
# Telecomunicaciones

- WLAN: son 4. Operan en la banda de radio (902-928 MHz). El arreglo de superficie está dividido en 28 sectores los cuales contienen hasta 68 detectores cada uno.
- Hay 5 torres con antenas comerciales, una en cada edificio de FD y otra en el campus central. Operan a 7 GHz (microondas).



# Monitoreo Atmosférico

- La atmósfera es el calorímetro del Observatorio.
- Es necesario una descripción detallada de la atmósfera para poder reconstruir las lluvias.
- Es necesario conocer los perfiles de temperatura, presión y humedad.
- Es necesario conocer también la concentración de aerosoles y la distribución de nubes.
- Se cuenta con:



**Estaciones meteorológicas, BLS, CLF y XLF, Lidars, Cámaras IR, HAM y FRAM**

# Monitoreo Atmosférico

- **Estaciones Meteorológicas**

- Hay una en cada edificio de FD y también en el CLF.
- Son usadas para el control operacional de estos instrumentos y para la medición de las variables atmosféricas.
- Son comerciales y graban T, P y humedad cada 5 min.
- Las estaciones en Los Leones Coihueco y en el CLF miden también la dirección del viento.
- Los datos son transferidos al campus central para ser almacenados en una base de datos.



# Monitoreo Atmosférico

- **Estación de lanzamiento de globos**
  - Medición de las variables atmosféricas hasta una altitud de 20-25 km.
  - El programa comenzó en 2002, se lanzaron 331 globos y finalizó en 2011.
  - Se reemplazó por datos de GDAS (Global Data Assimilation System) validados por los datos de los globos.

## BLF: Balloon Launching Station



- Desde 2009 hasta 2011 formaron parte del sistema de monitoreo rápido.

# Monitoreo Atmosférico

- Equipados con lasers de 355 nm.
- Se realizan 50 disparos verticales cada 15 min. Son observados por todos los FD.
- Son usados para medir la profundidad óptica debida a aerosoles.

**CLF: Central Laser Facility**



- Proveen una medición de la altura de las nubes arriba de ellos.
- Medición del tiempo entre el FD y el SD.



**XLF: eXtreme Laser Facility**

# Monitoreo Atmosférico

## • Identificación de nubes

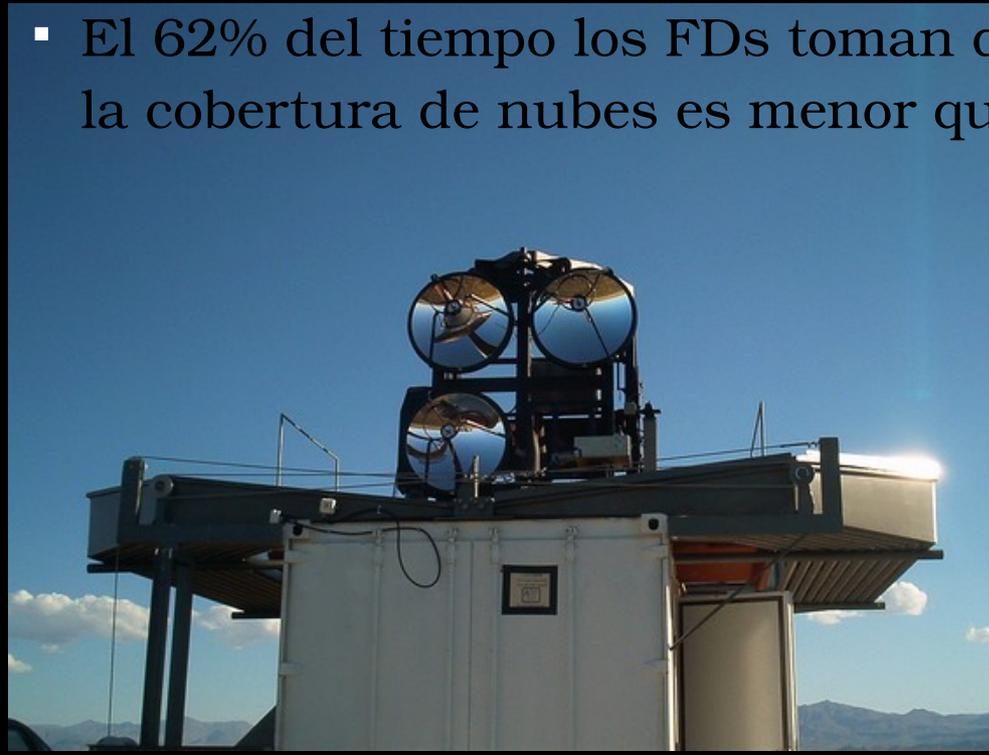
- Las nubes pueden atenuar o directamente bloquear la luz proveniente de las lluvias.
- Se usan cámaras infrarrojas, lidares y mediciones de FD correspondientes a disparos del CLF y XLF.
- Hay una cámara infrarroja en cada edificio de fluorescencia, son sensibles en el rango  $7-13 \mu\text{m}$  (apropiado para detectar el pico del espectro de cuerpo negro correspondiente a nubes gruesas).
- Cada cámara toma datos del campo de visión de los telescopios cada 5 min y de todo el cielo cada 15 min.



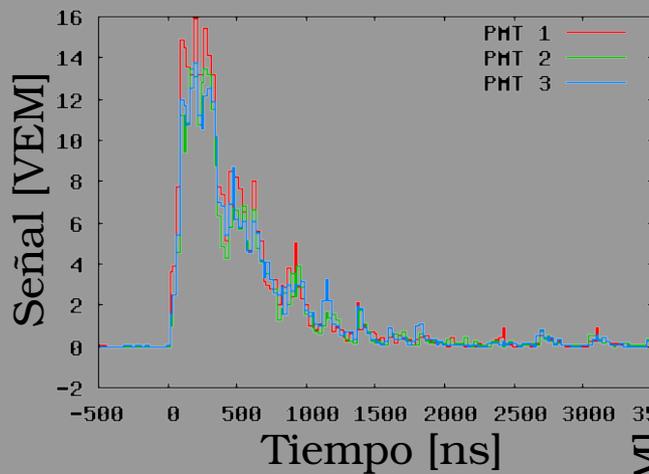
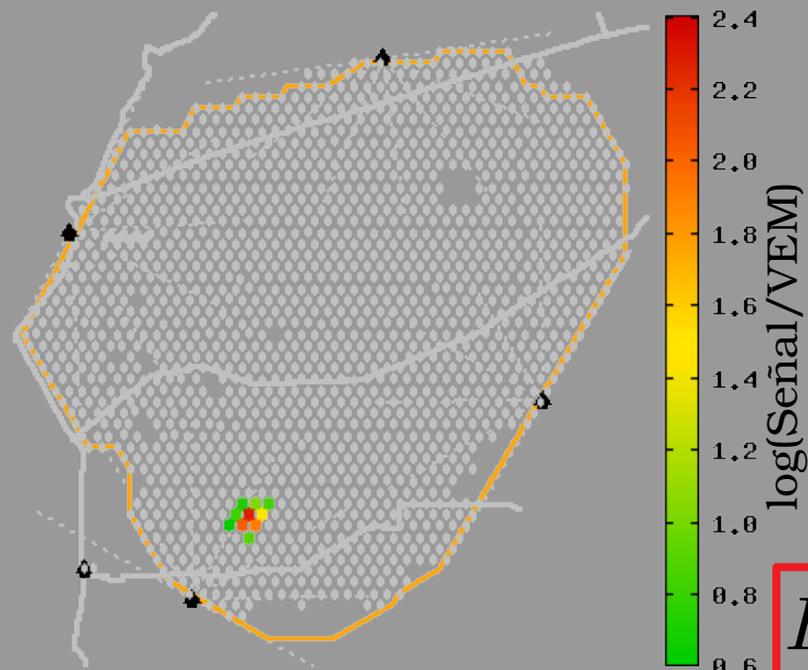
# Monitoreo Atmosférico

## Lidars

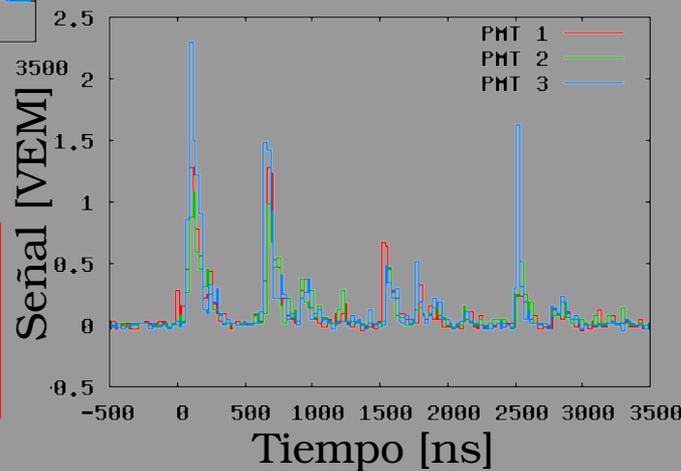
- Hay 5, cada uno cerca de un edificio de FD. Se usan para medir cobertura de nubes, altura de nubes y aerosoles. Se operan en forma remota.
- Están formados por un laser de 351 nm, 3 espejos de 80 cm de diámetro. La luz retrodispersada es colectada por un PMT Hamamatsu de 80 mm de diámetro en cada espejo.
- La mayor parte de los disparos se hacen fuera del campo de visión de los FDs. Hay dos excepciones: Se dispara hacia el CLF para medir la longitud de atenuación horizontal y como parte del sistema de monitoreo rápido.
- El 62% del tiempo los FDs toman datos en condiciones de atmósfera clara y la cobertura de nubes es menor que el 20%.



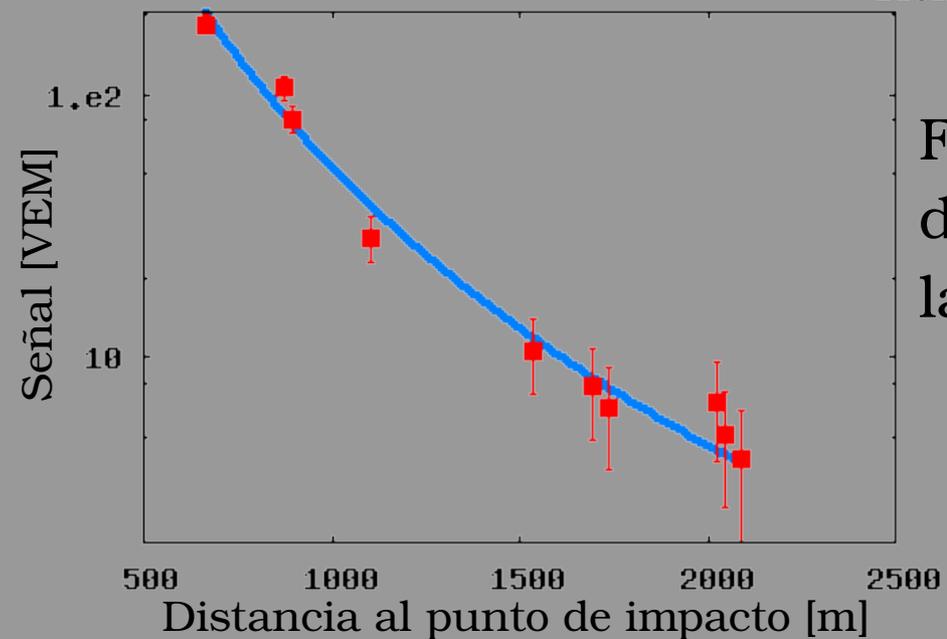
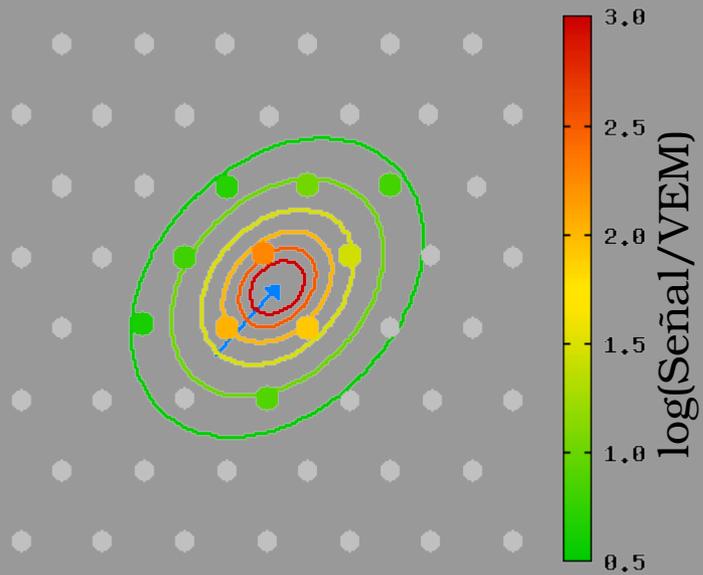
# Evento detectado por el arreglo de superficie



Señales en dos tanques diferentes



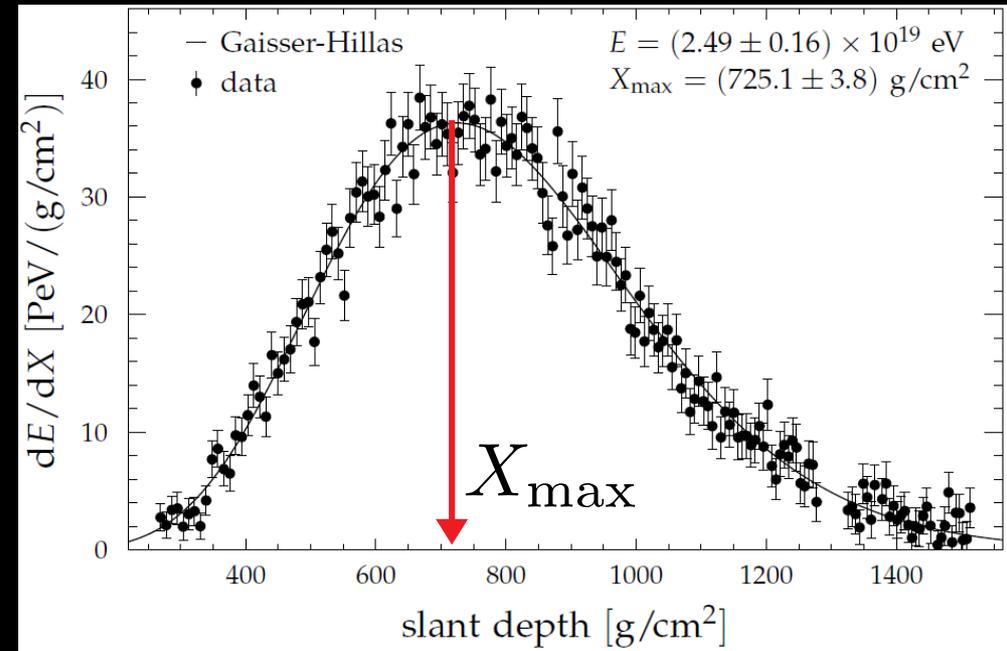
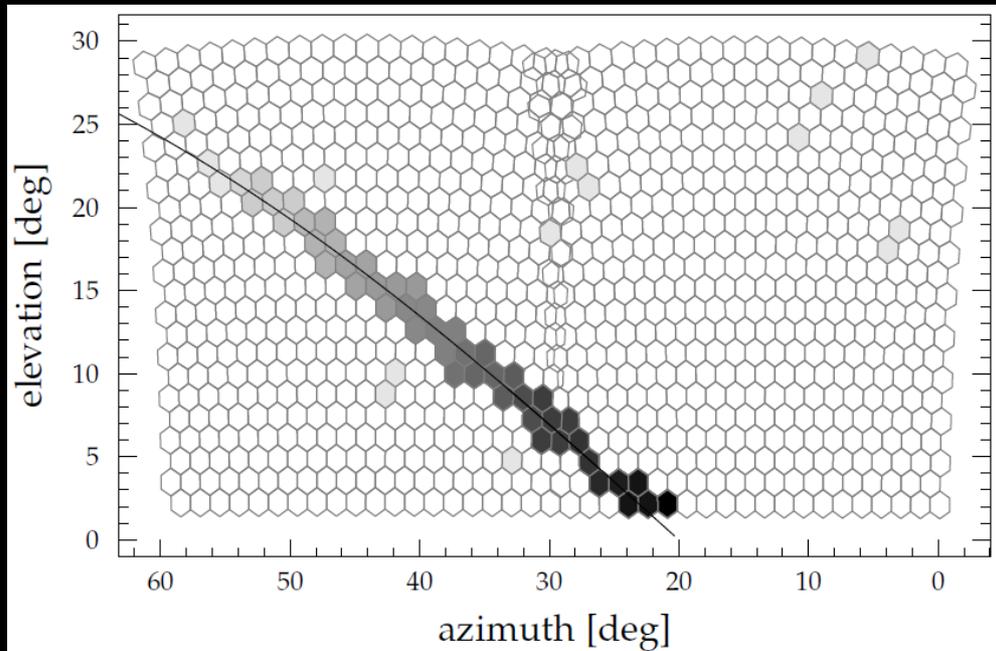
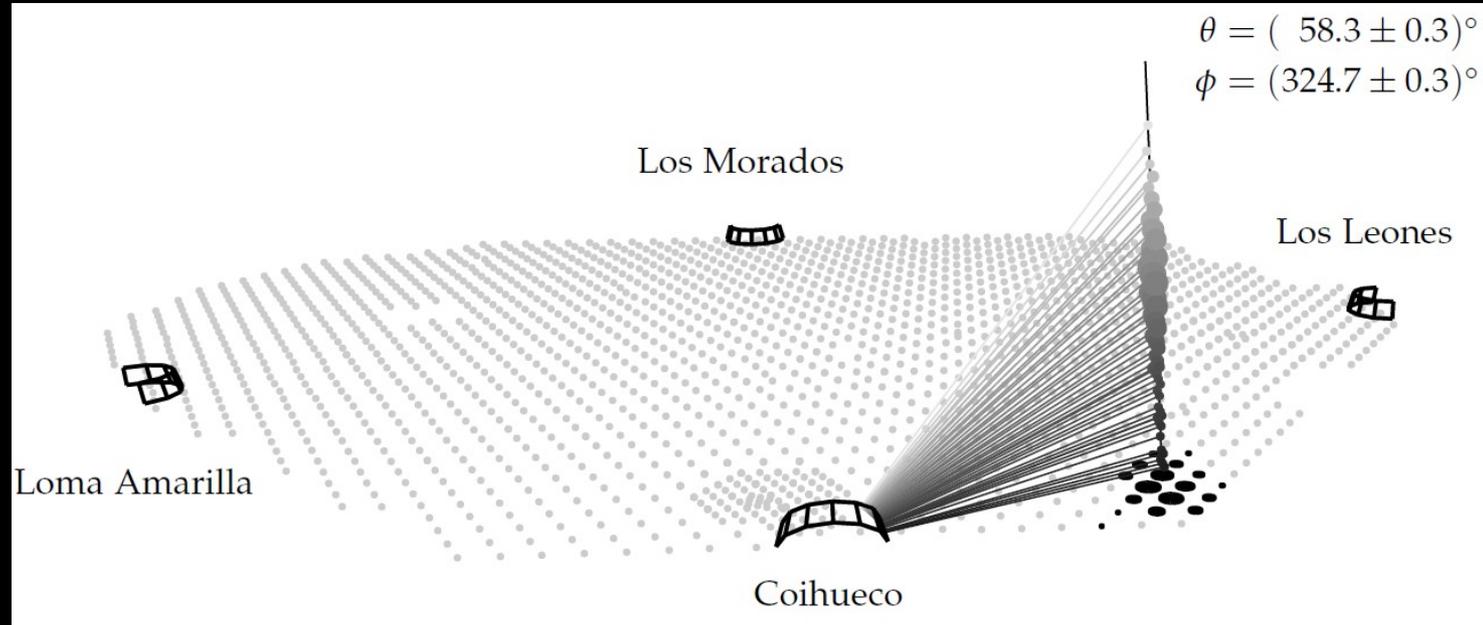
$$E \cong 1,24 \times 10^{19} \text{ eV}$$
$$\theta \cong 44^\circ$$



Función de distribución lateral

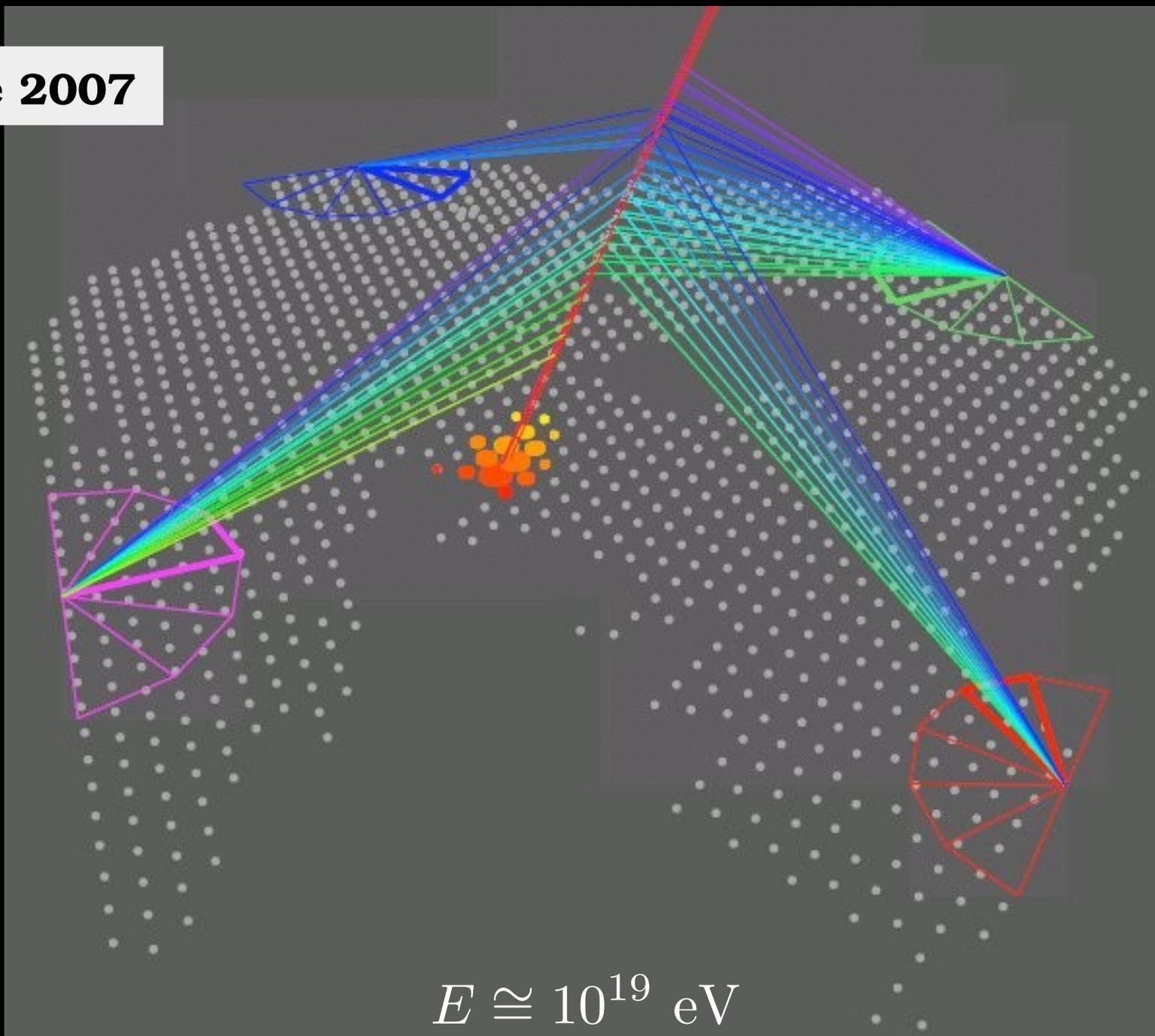
# Evento híbrido observado en Auger

$X_{\max}$  parámetro sensible a la composición química del rayo cósmico primario

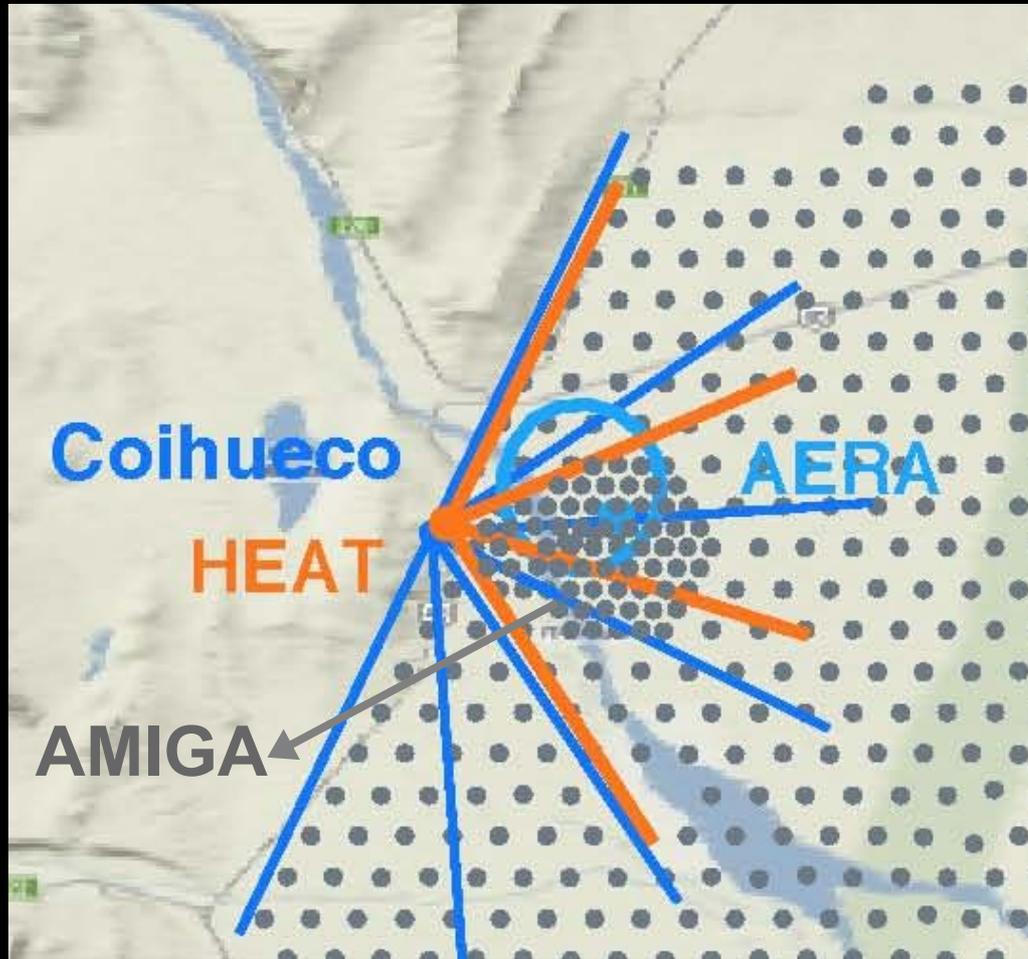


# Primer evento visto por los cuatro ojos

Mayo de 2007



# Extensiones a bajas energías



- Investigar la transición de los rayos cósmicos galácticos a extragalácticos.
- Bajar el umbral de energía de Auger hasta  $10^{17}$  eV.
- Hacer estudios detallados de composición a bajas energías.

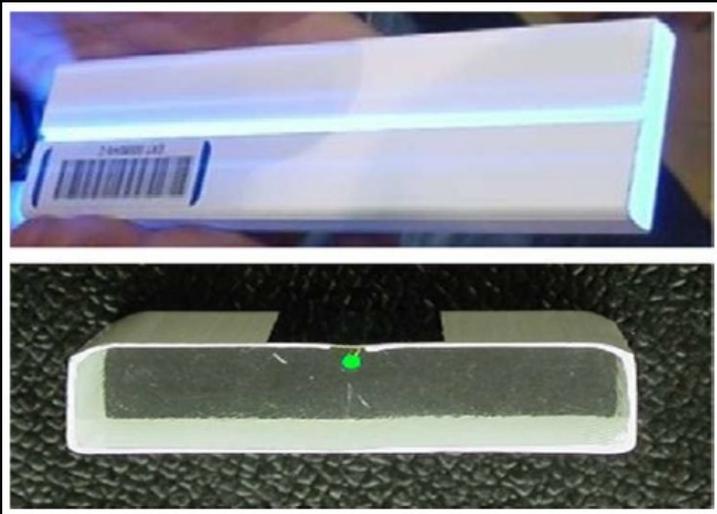
1. Arreglo de 750 m de espacio entre tanques de  $23.5 \text{ km}^2$  de superficie.

2. Detectores de muones.

3. Telescopios con mayor elevación.

**El contenido muónico de las lluvias es muy sensible a la composición**

# AMIGA: Auger Muons and Infiled for the Ground Array

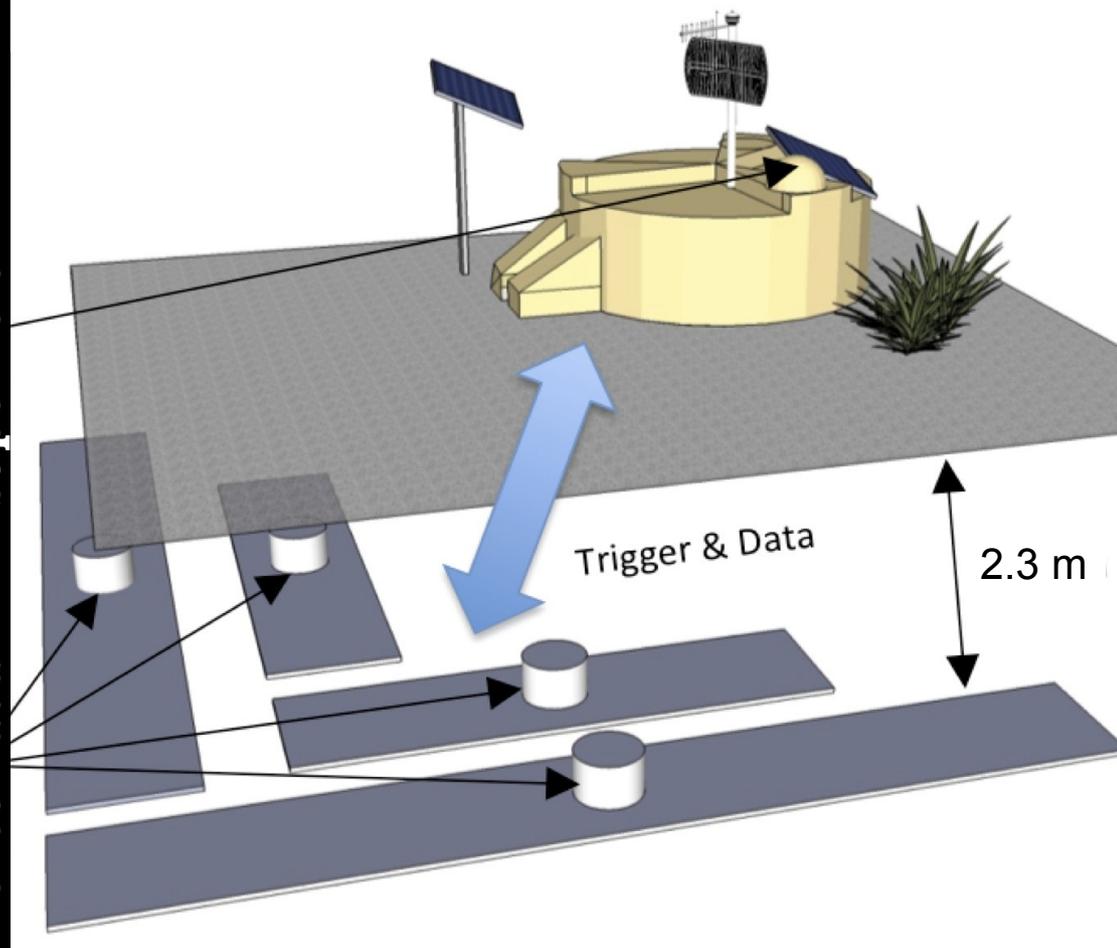


**Barras centelladoras con fibras ópticas pegadas**



**Detectores enterrados a 2.3 m, segmentados en 192 partes con área total de 30 m<sup>2</sup>**

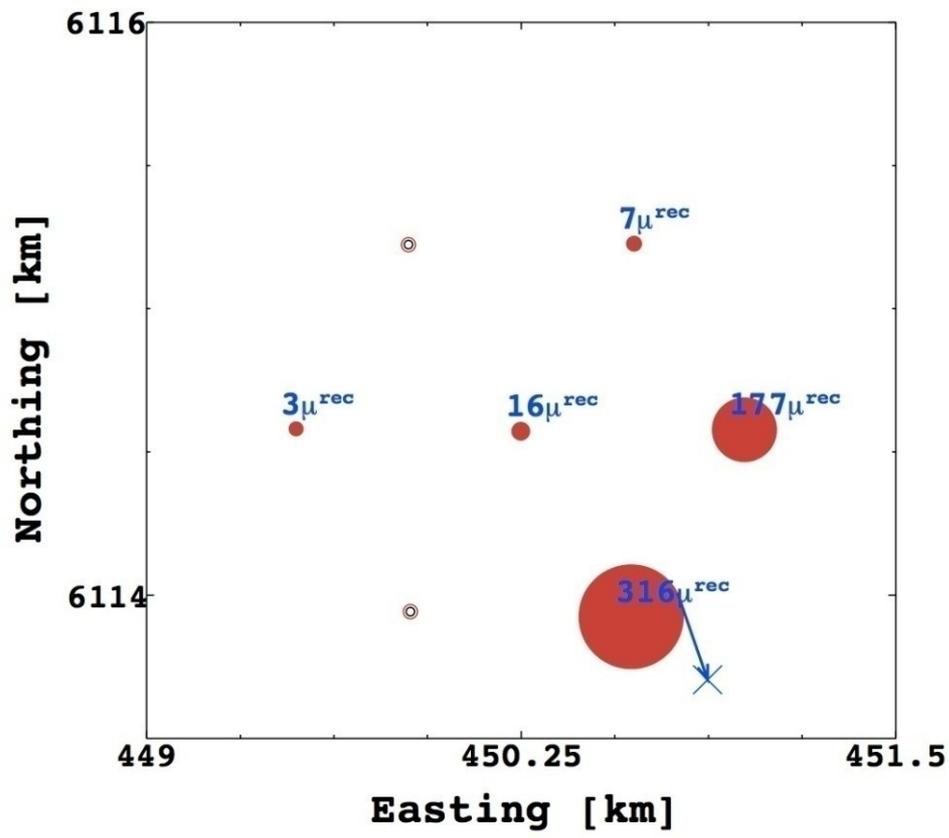
**Electrónica enterrada**  
**Electrónica de superficie**





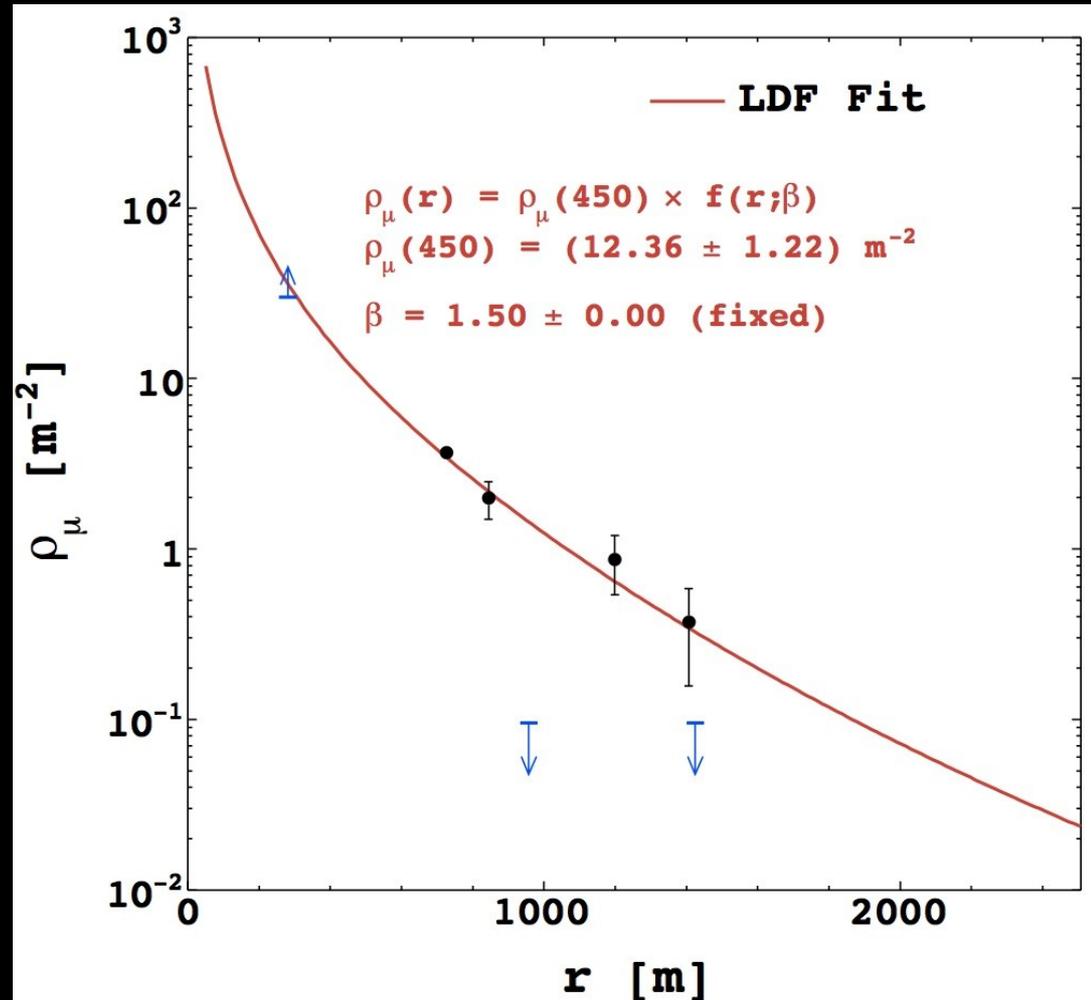
- Se hacen los pozos de 2,3 m de profundidad.
- Se colocan los detectores en los mismos.
- Se tapan los pozos con la tierra antes removida.

# Evento observado por los contadores de muones de AMIGA



$$E \cong 3 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$\theta \cong 40^\circ$$

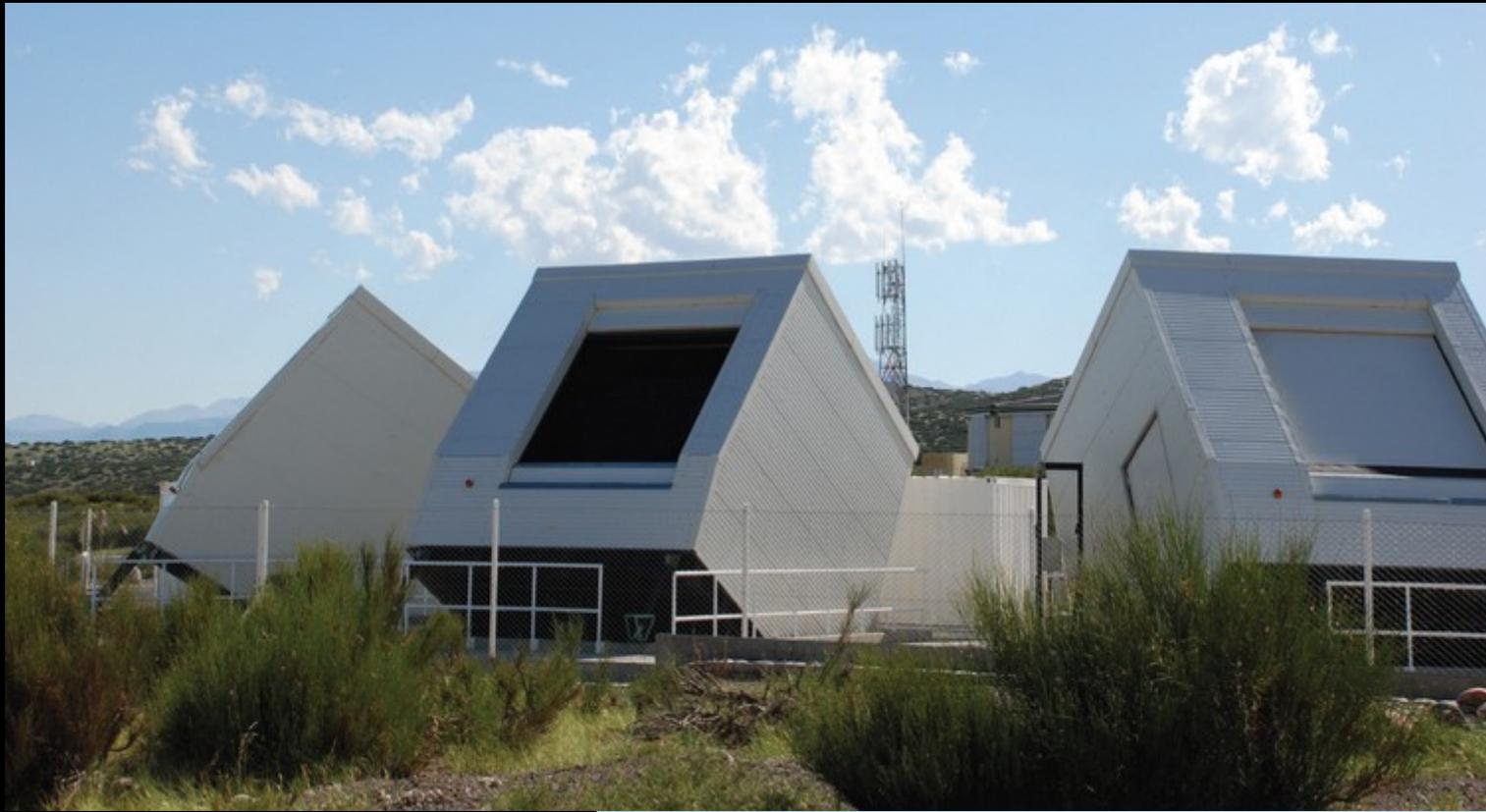


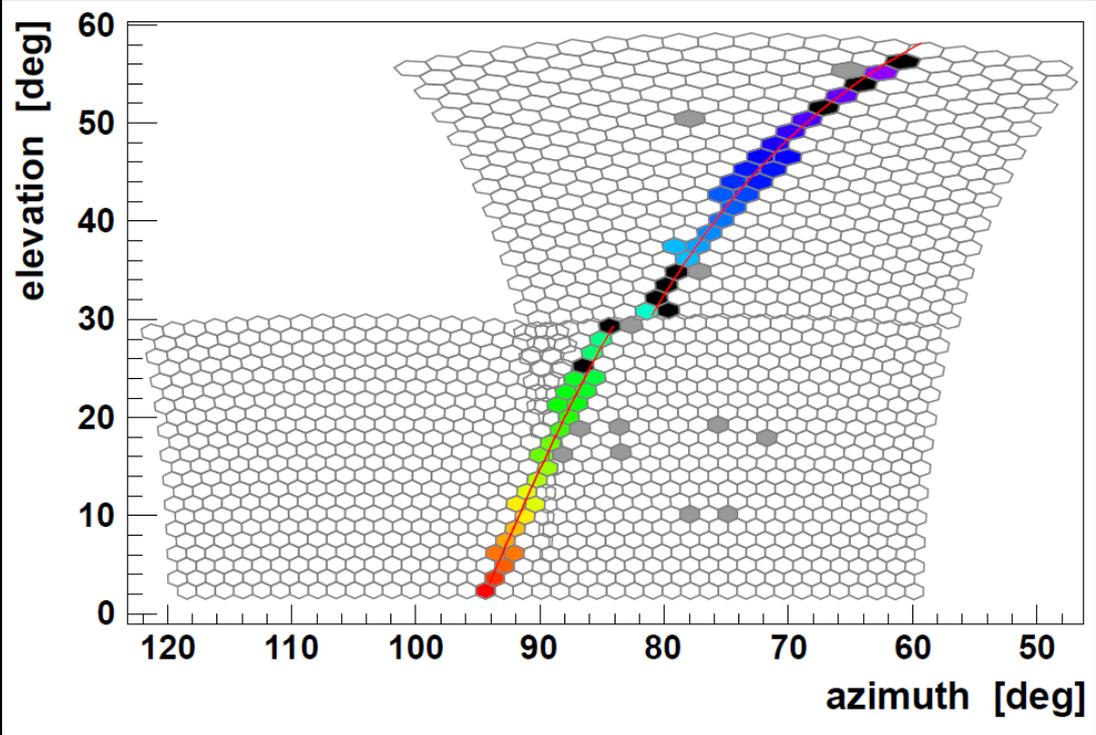
# HEAT: High-Elevation Auger Telescopes

Tres  
telescopios  
adicionales a  
180 m del FD  
de Coihueco

## Elevación:

- Diseño base, entre  $1.5^\circ$  y  $30^\circ$
- HEAT, entre  $30^\circ$  y  $58.5^\circ$

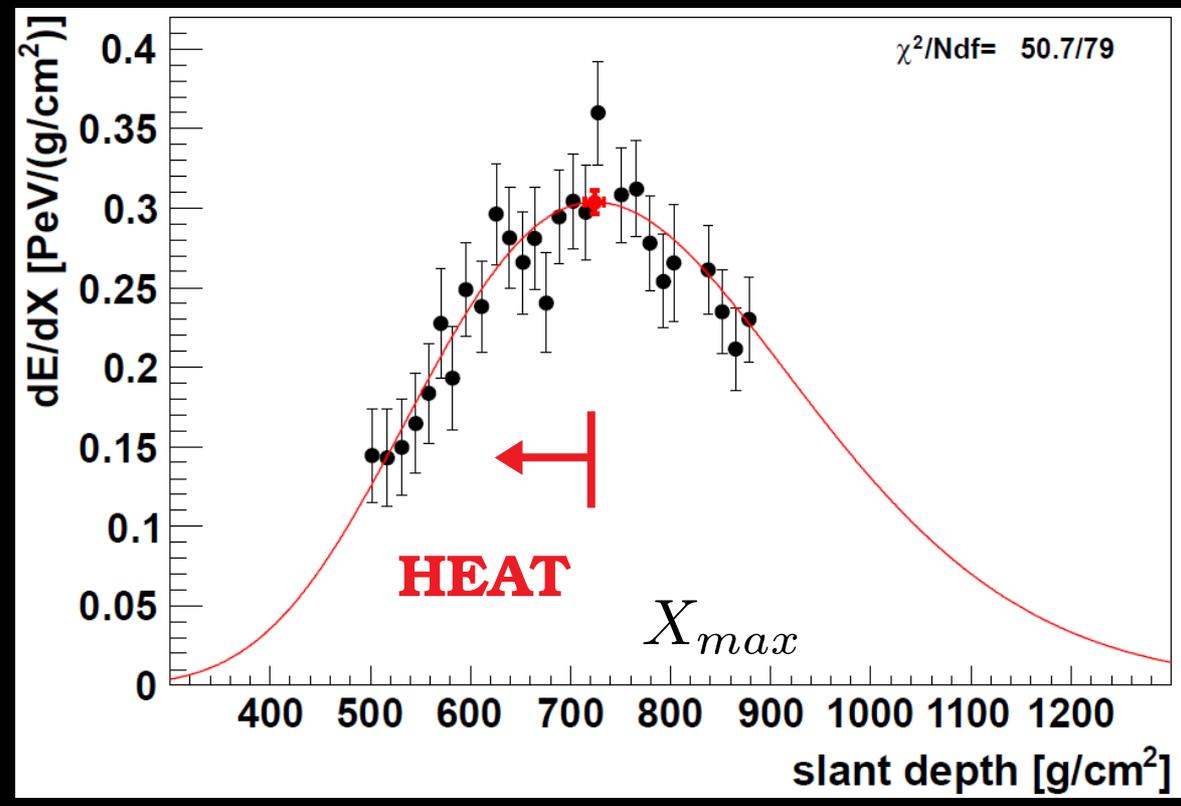




**Evento observado por los telescopios de fluorescencia en Coihueco y HEAT**

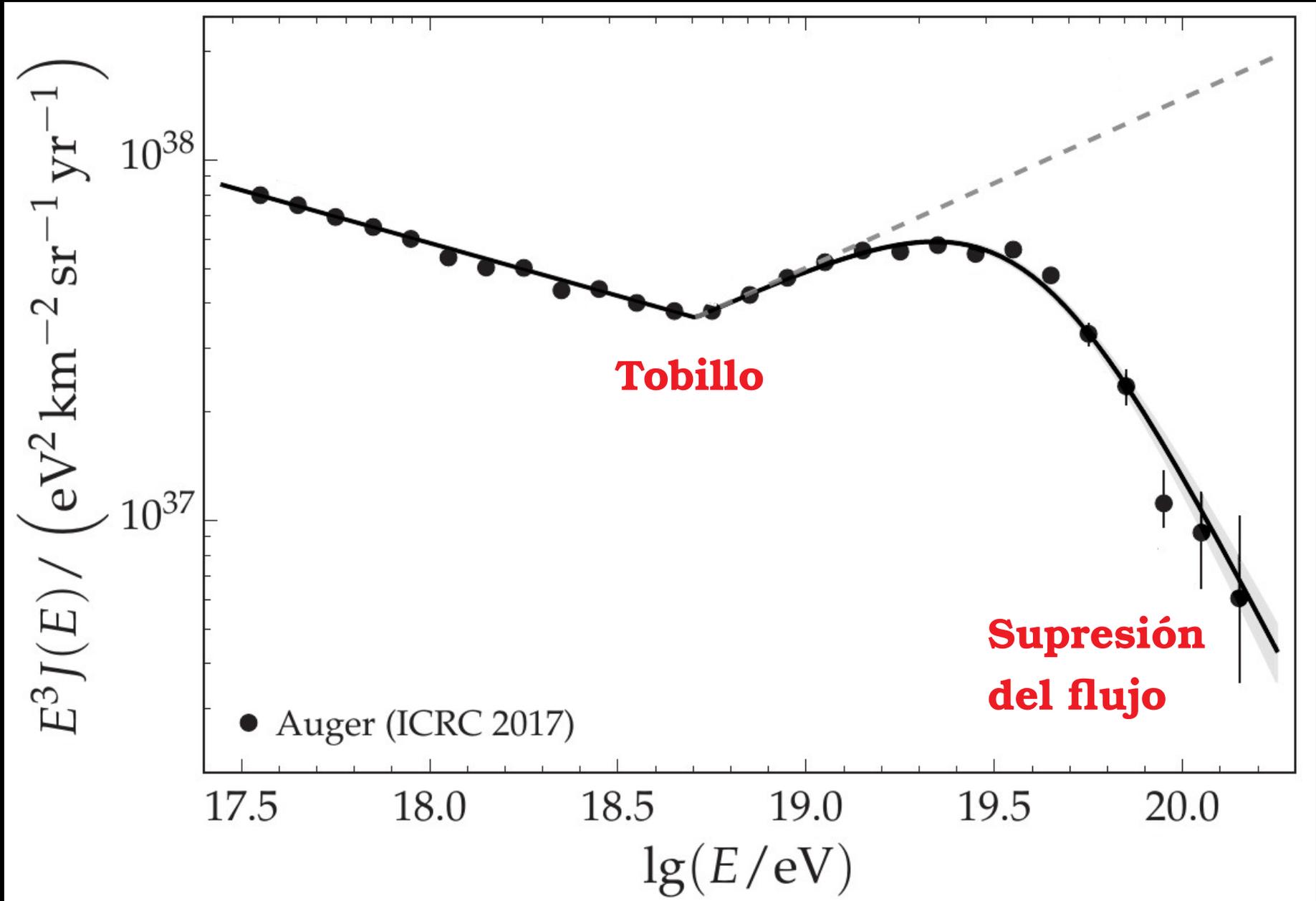
$$E \cong 1,7 \times 10^{17} \text{ eV}$$

$$\theta \cong 19^\circ$$

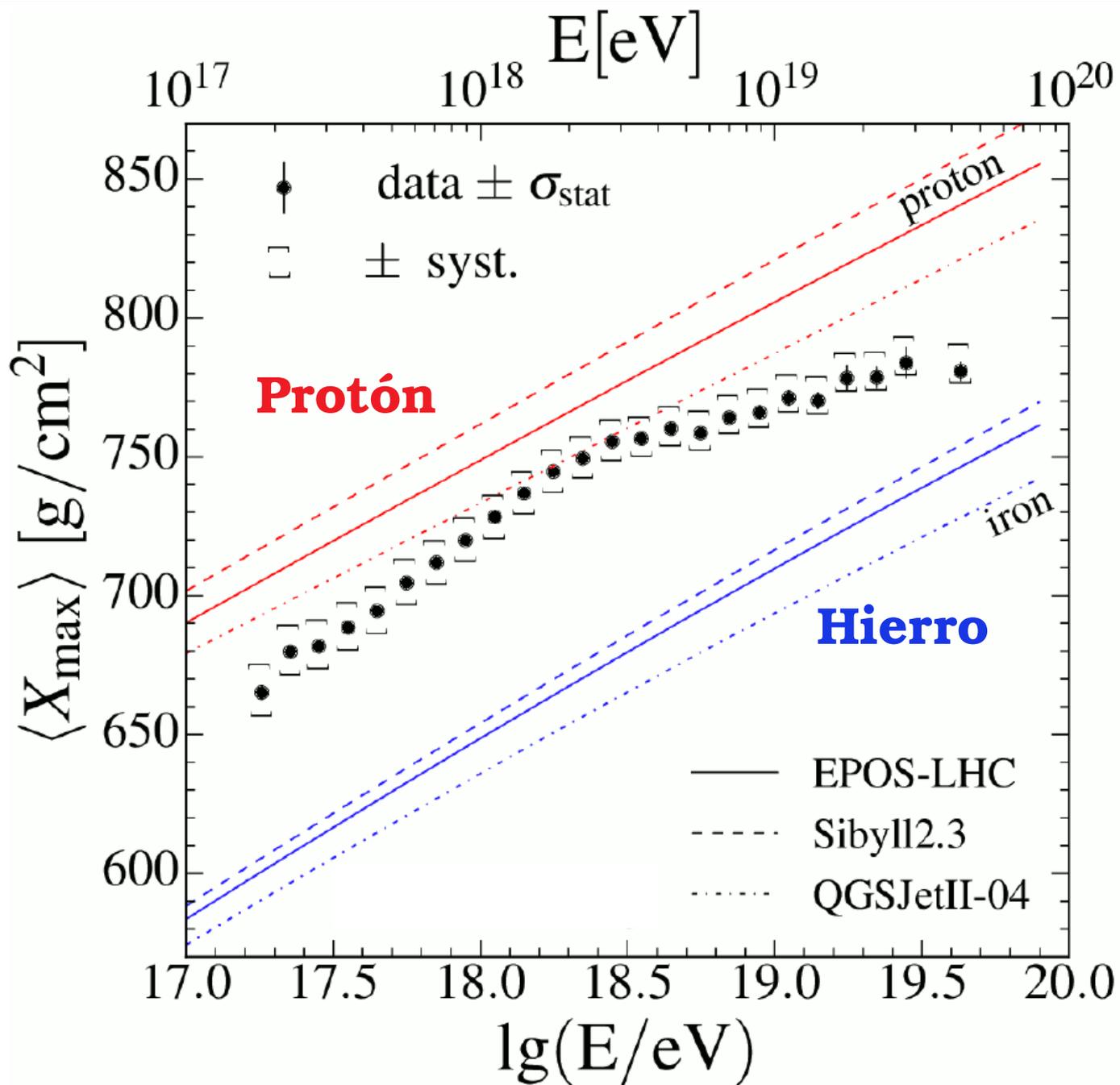


# **Principales resultados obtenidos por el Observatorio Pierre Auger**

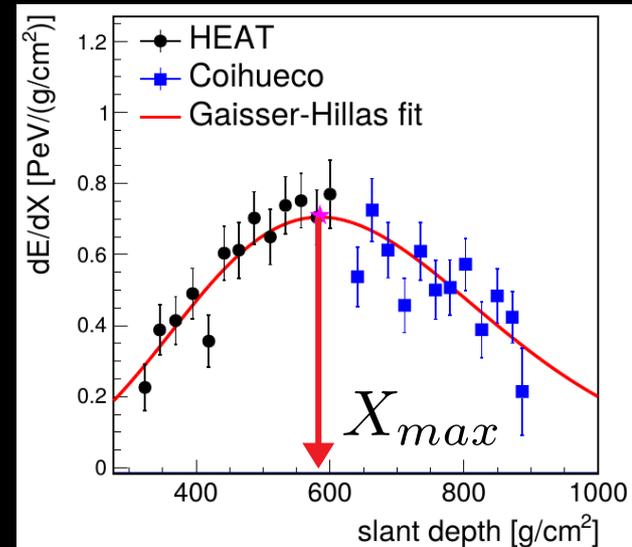
# Espectro de energía



# Composición

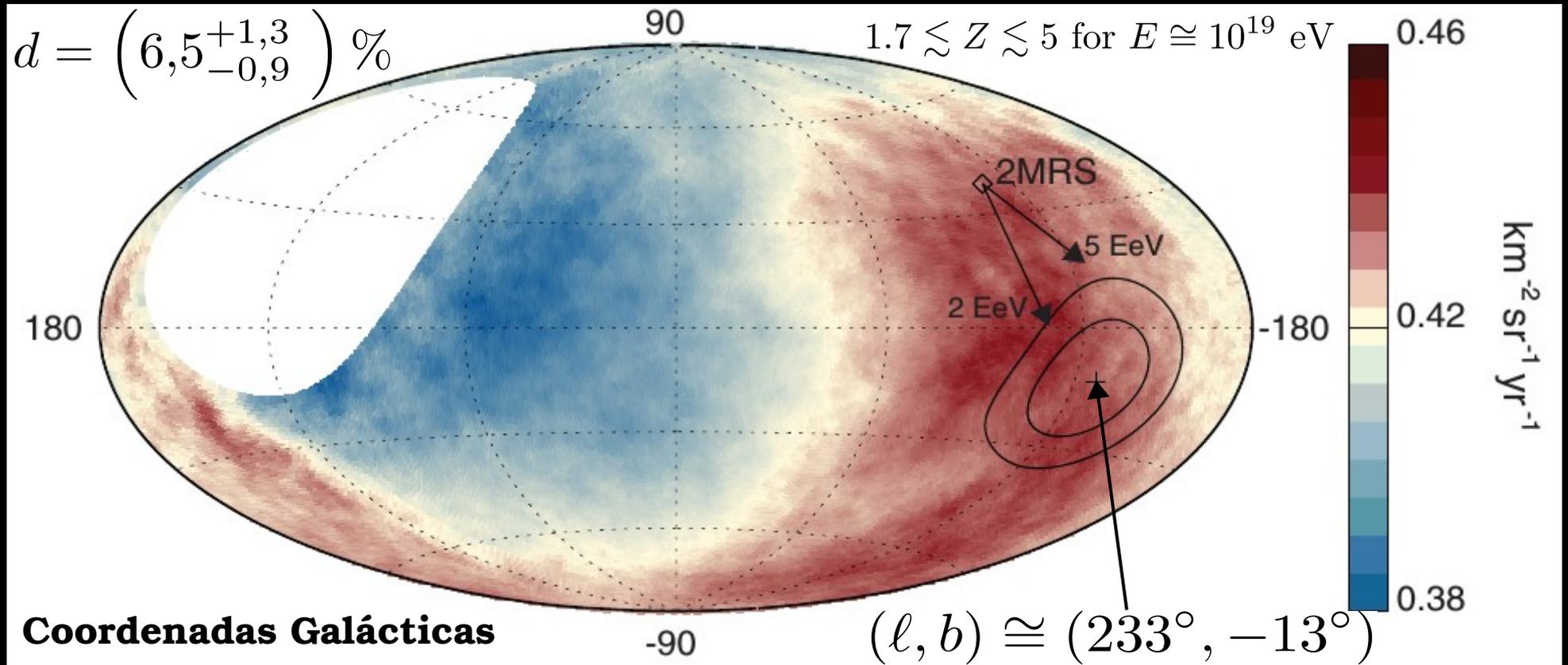


**Indicios de  
núcleos  
pesados a altas  
energías**



# Anisotropía a gran escala

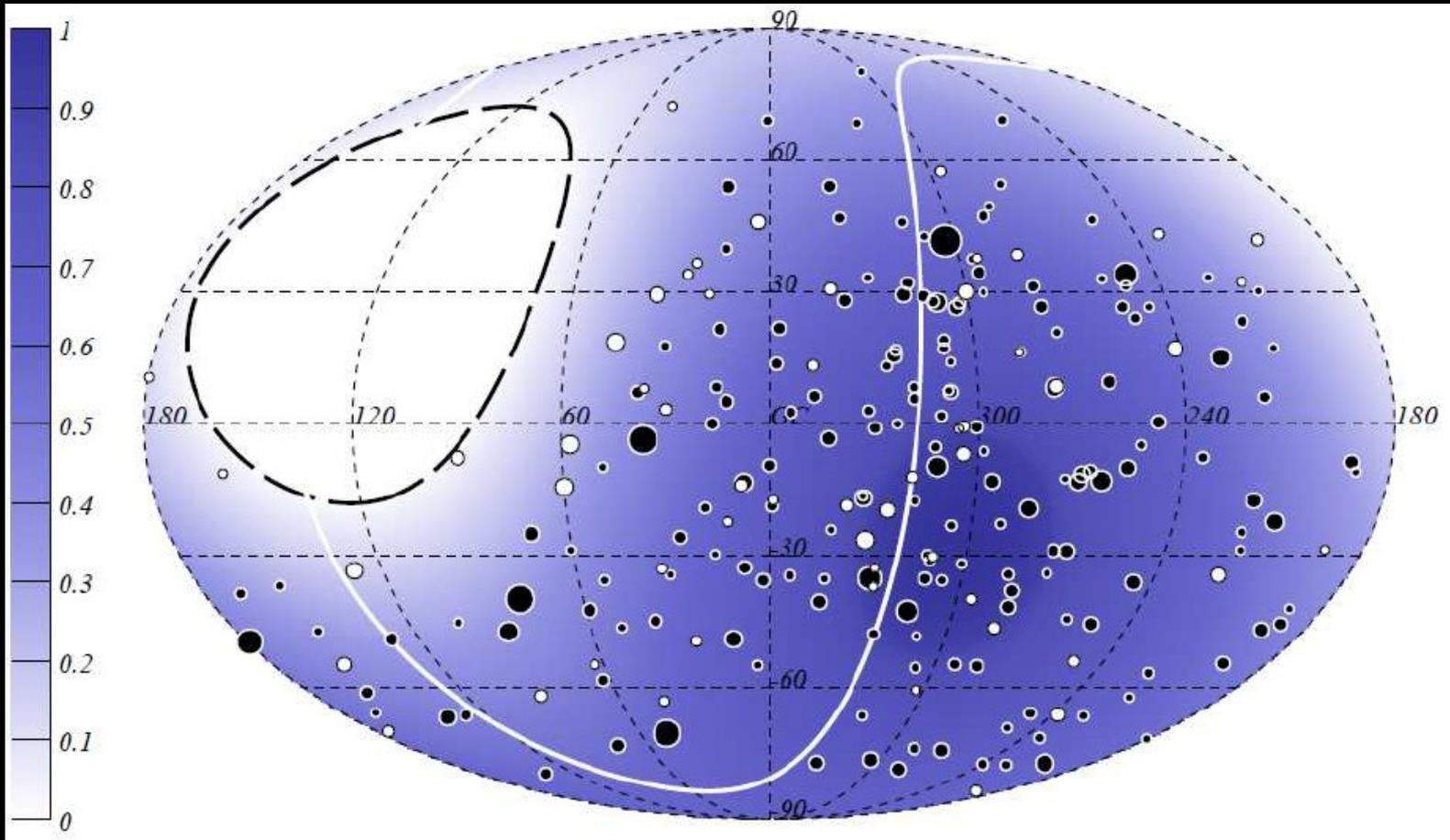
- Se utilizaron 30.000 eventos de energías mayores que  $8 \times 10^{18}$  eV
- Se encontró anisotropía dipolar con una significancia estadística de mas de 5,2 sigmas ( $p = 2,6 \times 10^{-8}$ )



**Evidencia observacional fuerte de que los rayos cósmicos de energías mayores que  $8 \times 10^{18}$  eV son de origen extragaláctico.**

# Direcciones de arribo

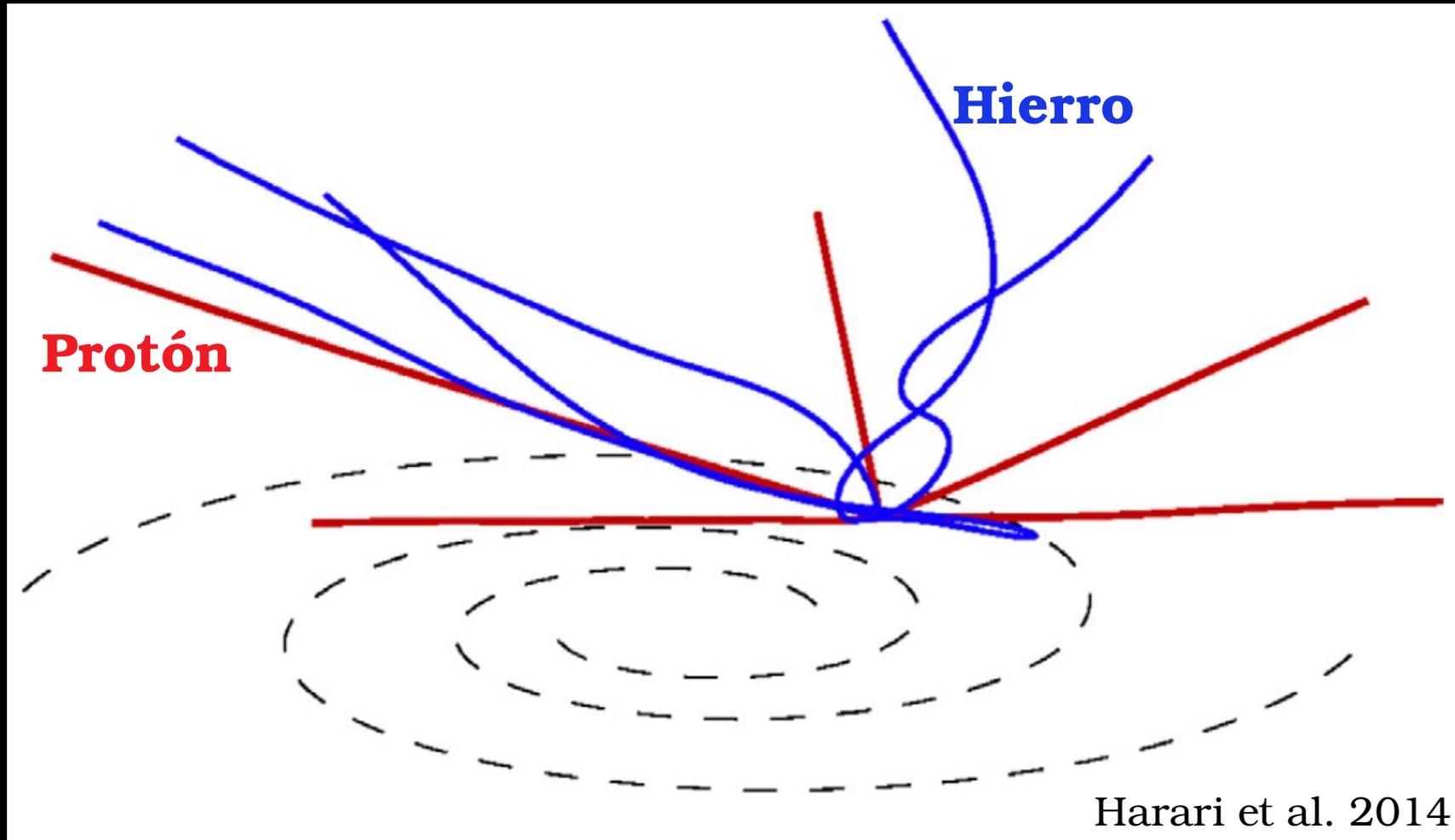
Energías mayores que  $5,8 \times 10^{19}$  eV (no hay información de la composición, hay muy pocos eventos híbridos)



**La distribución de direcciones de arribo es compatible con una distribución isotrópica**

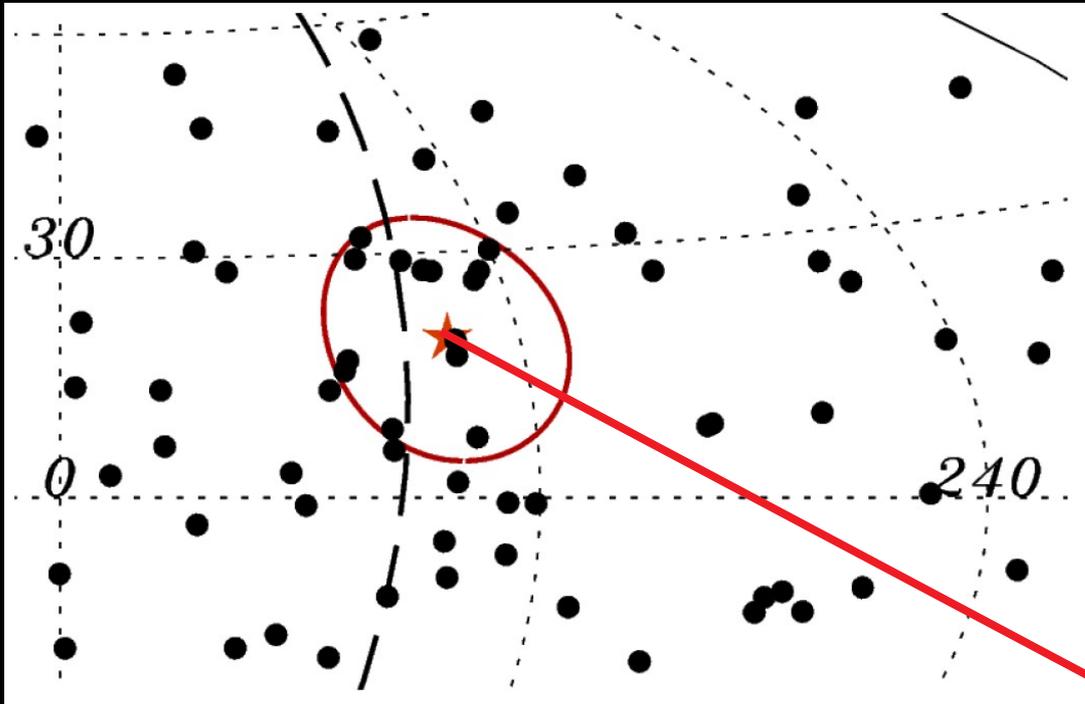
# Influencia de los campos magnéticos

$$E \cong 6 \times 10^{19} \text{ eV}$$



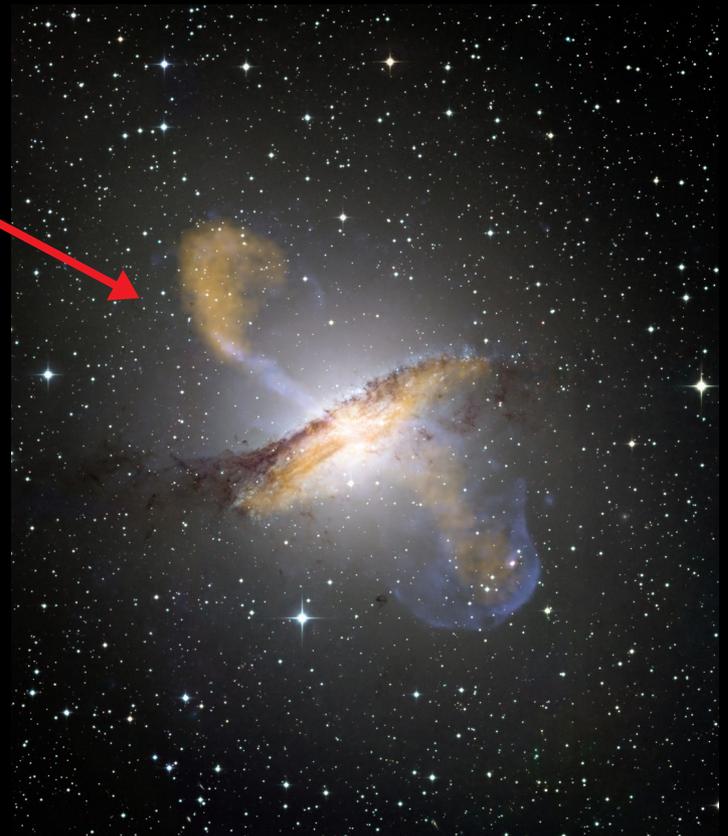
**Los rayos cósmicos se desvían en los campos magnéticos galácticos y extragalácticos lo cual dificulta la identificación de las fuentes**

# Centaurus A



**Galaxia activa situada  
a una distancia entre  
3 y 5 Mpc**

- **Exceso de eventos con respecto a lo esperado para un flujo isotrópico para una ventana angular de  $15^\circ$  y para energías mayores que  $5,8 \times 10^{19}$  eV**
- **¿Evidencia de protones a las energías más altas?**



# AugerPrime

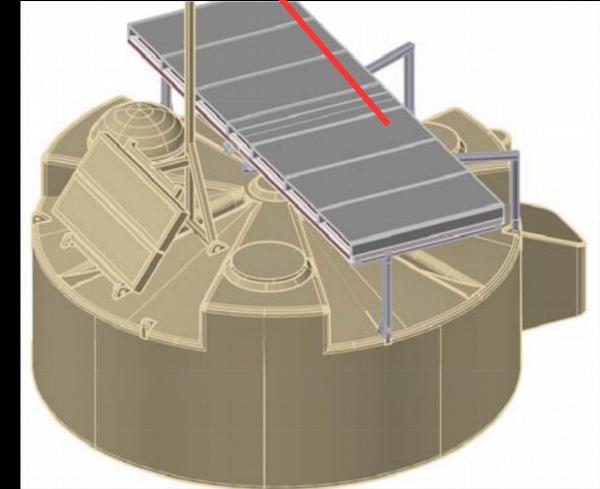
**El objetivo principal es aumentar la sensibilidad en composición a las energías más altas con detectores de superficie (poca estadística de los FD):**

- AMIGA.
- SSD (Surface Scintillator Detector), instalación en la parte superior de cada tanque de un detector de centelleo para poder medir la componente muónica de las lluvias. Los centelladores son más sensibles a la componente electromagnética que los tanques.
- Nueva electrónica en los tanques con mayor velocidad de muestreo.
- Instalación en cada tanque de un PMT adicional de 1" para aumentar el rango dinámico.
- Se tomarán datos con los FDs cuando gran parte de la luna esté iluminada. En este caso se disminuirá el alto voltaje de los PMTs de la cámara para no dañarlos.

# AugerPrime



Centelladores de  
 $3.8 \text{ m}^2$



- Contienen dos módulos de 24 barras centelladoras cada uno de  $1.6 \text{ m} \times 5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . La luz es colectada por fibras ópticas que atraviesan las barras y que están conectadas por ambos extremos a un PMT de 1.5”.
- **Decidir entre los dos escenarios astrofísicos posibles acerca del origen de la supresión compatibles con los datos.**
- **Se espera identificar protones para hacer astronomía de partículas cargadas.**

# Eventos públicos

- El 10% de los datos de SD están liberados, se pueden obtener en:  
<http://labdpr.cab.cnea.gov.ar/ED2/>

**Pierre Auger Observatory Public Event Browser**

Welcome to the public event display of the Pierre Auger Observatory.

The Pierre Auger Collaboration agreed on making 10% of its data available to the public for outreach use. This web site allows browsing over the events collected since 2004, and is updated daily.

You can enter an event Id in the search window, or search and display specific events with the event selection menu. You can also [download specific raw data files](#).

### Event Selection

	Min	Max
Nb. of stations	5	
Zenith Angle	0	90
Energy (EeV)	60	

Order: Id / Date (reverse)   
 Show 20 Events   
 Search

Go to event Id: 18057840260

### Size of the Pierre Auger Observatory

### Space Weather page

Page hosted by LabDPR  
Go to [www.auger.org](http://www.auger.org)  
[www.auger.org.ar](http://www.auger.org.ar)

FAQ | About

By browsing this website you acknowledge and agree on the use of cookies for language selection and analytics

**Event 160210414600**

event data | Individual station data | CR Incoming direction

### Generic Information

Id / RawId	160210414600 / 36416980
Date	2016-01-21 13:09:21
Nb. of stations	13
Energy	124.8 ± 3.7 EeV
Theta	13.8 ± 0.2 deg
Phi	-179.9 ± 0.7 deg
Curvature	10.6 ± 0.5 km
Reduced Chi <sup>2</sup>	2.32
Core Easting	454870 ± 13 m
Core Northing	6105215 ± 12 m
Galactic longitude	-24.0 ± 0.2 deg
Galactic latitude	18.7 ± 0.2 deg

### Event Selection

	Min	Max
Nb. of stations	5	
Zenith Angle	0	60
Energy (EeV)	50	

Order: Id / Date (reverse)   
 Show 20 Events   
 Search

Go to event Id: 16021041460

### Size of the Pierre Auger Observatory

### Space Weather page

Page hosted by LabDPR  
Go to [www.auger.org](http://www.auger.org)  
[www.auger.org.ar](http://www.auger.org.ar)

FAQ | About

### Figure 1: Southern array global view

Figure 1: Southern array global view

### Figure 2: Southern array zoomed view

Figure 2: Southern array zoomed view

### Figure 3: Lateral Distribution Function (LDF) fit

Figure 3: Lateral Distribution Function (LDF) fit

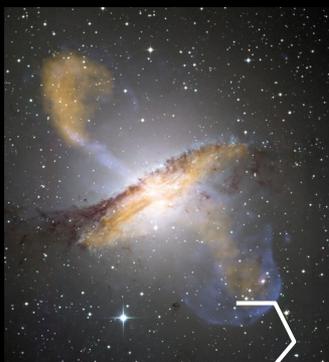
[Download ASCII data for event]

By browsing this website you acknowledge and agree on the use of cookies for language selection and analytics



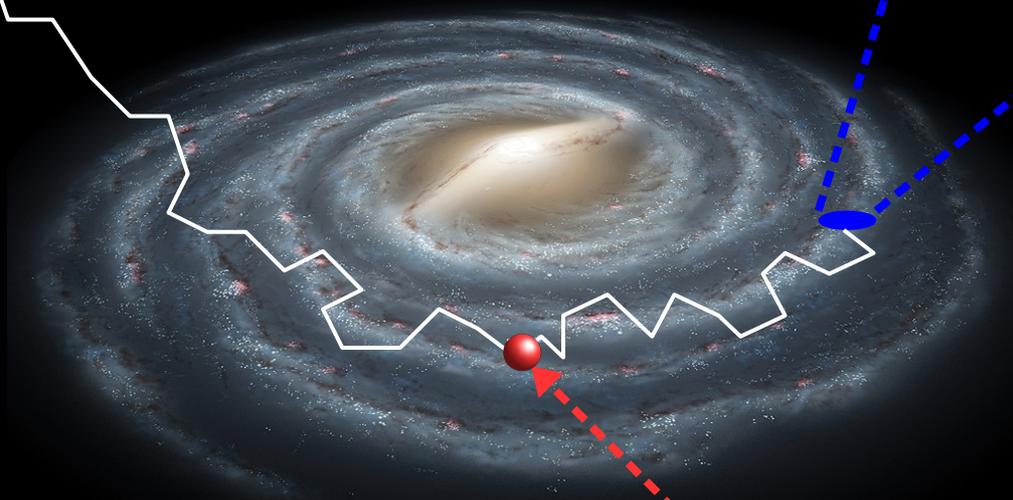
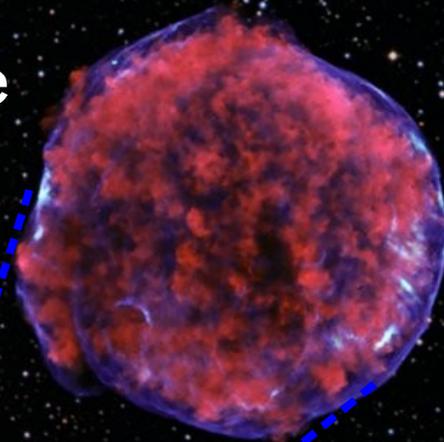
**Muchas Gracias**

# **Backup slides**



**Fuente  
extragaláctica**

**Remanente de  
supernova**



**Via Lactea**

**Sistema solar**

**Transición galácticos extragalácticos entre  $10^{16}$  eV y  $10^{18.5}$  eV**

# Monitoreo Atmosférico

- **Monitoreo de la función de fase de aerosoles**

- Distribución angular de la luz de fluorescencia o Cherenkov dispersada debida a los aerosoles.
- Se utiliza una lámpara de Xenón, la cual genera luz entre 350 y 390 nm.
- La luz colimada se propaga en forma horizontal a través del campo de visión de Coihueco y Los Morados.
- Los FDs miden la intensidad de la luz como función del ángulo de dispersión.

- **Monitoreo de la atenuación horizontal como función de  $\lambda$**

- La atenuación por aerosoles va como  $\lambda^{-\gamma}$  (aire limpio  $\gamma = 4$ ).
- $\gamma$  es medido con el HAM: Horizontal Attenuation Monitor.
- Lámpara de descarga instalada cerca de Coihueco. La luz emitida es medida en Los Leones (45 km) con un CCD.
- La atenuación horizontal es medida para 5  $\lambda$ s entre 350 y 550 nm.

# Monitoreo Atmosférico

- **Ph(F)otometric Robotic Atmospheric Monitor (FRAM)**

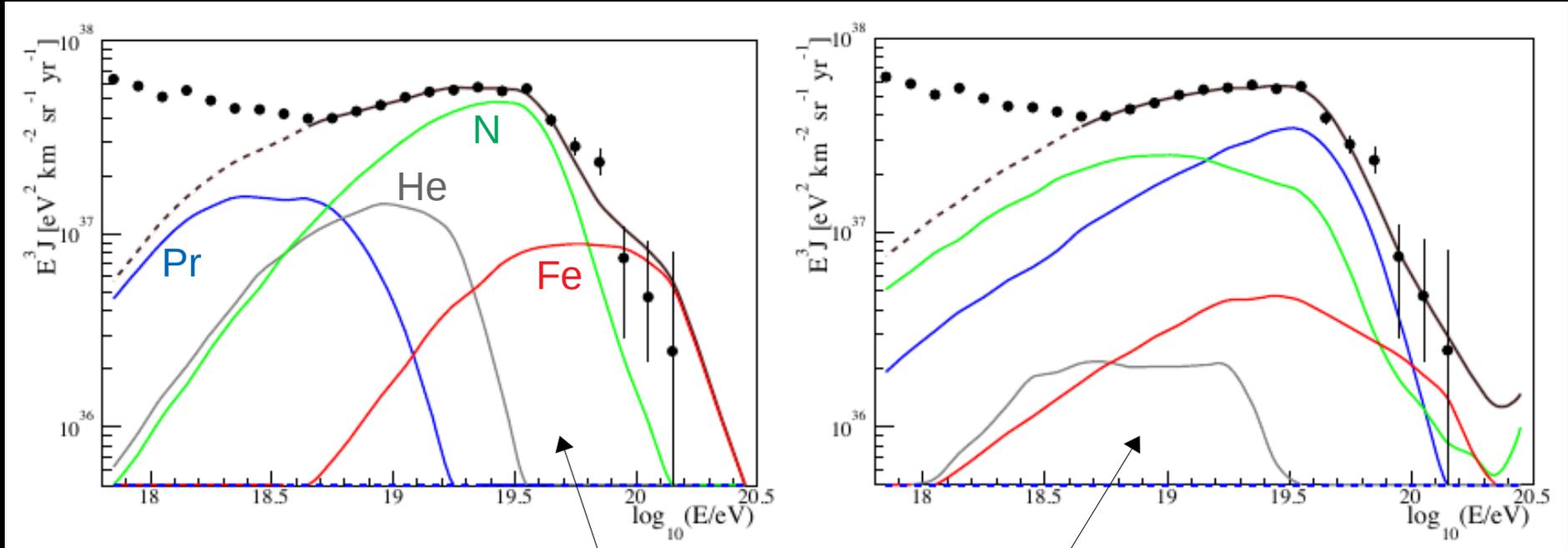
- Telescopio óptico de 0.3 m de diámetro el cual mide la luz de estrellas conocidas para determinar la dependencia con  $\lambda$  de la dispersión Rayleigh y Mie.
- Está en Los Leones y el campo de visión es de  $4^\circ$  en azimut y  $2.67^\circ$  en elevación. Está equipado con 2 cámaras CCD y opera remotamente.
- A partir de 2009 forma parte del sistema de monitoreo rápido.



- **Sistema de monitoreo rápido**

- Desarrollado para medir atenuación atmosférica en el SDP. Se usan los lidares y el FRAM para medir atenuación minutos después de que un evento muy energético o atípico ha sido detectado. Entre 48 2009 y 2011 se lanzaron también globos meteorológicos.

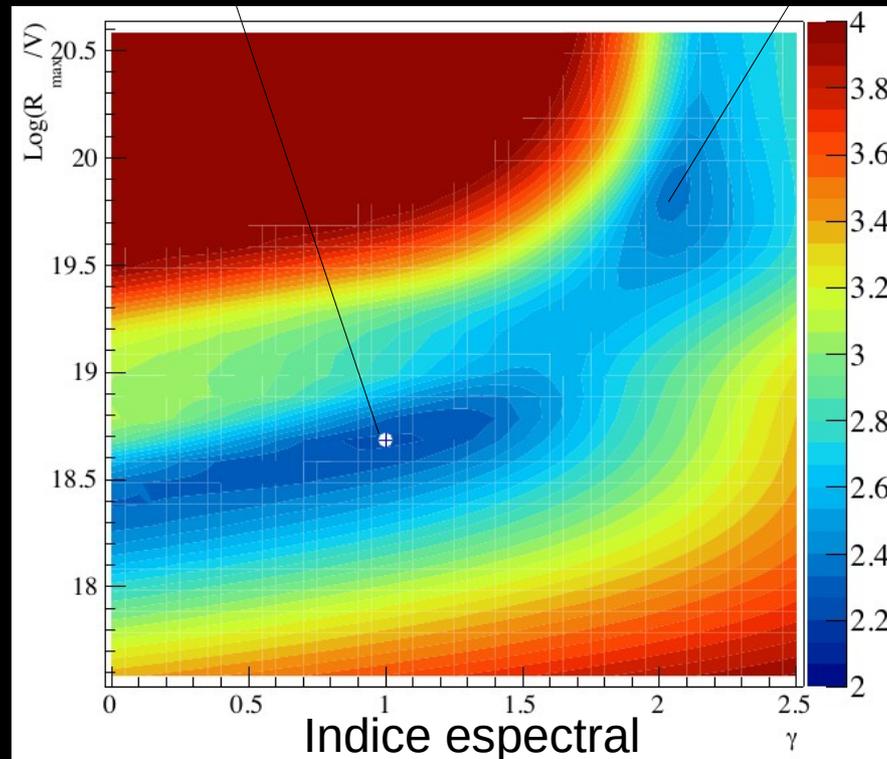
# Interpretación de los resultados



La supresión se debe al cutoff de las fuentes.

La supresión se debe a la fotodesintegración de los núcleos

- Ajuste del flujo y de los datos de  $X_{\max}$



- Hay dos mínimos.

# Espectro de la luz de fluorescencia

