

# El Observatorio Pierre Auger

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid





# El Observatorio Pierre Auger

Una colaboración internacional constituida por 16 países está finalizando la construcción del Observatorio de rayos cósmicos de ultra-alta energía más grande del mundo. Entre los países participantes se encuentra **España**. Un grupo de investigación de rayos cósmicos del **Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear** de la **Universidad Complutense** es miembro de pleno derecho de la Colaboración AUGER.

La presentación que a continuación se mostrará ha sido realizada por el Grupo de Difusión y Educación del Observatorio Pierre Auger

# Proyecto Pierre Auger

El objetivo del Observatorio Auger es el estudio de rayos cósmicos con  $E > 10^{18}$  eV, con buena resolución geométrica.

Dicho estudio, abarca conceptos tales como:

**Composición:** que son?

**Dirección:** de dónde viene?

**Estadística de los eventos ultraenergéticos:** quién los origina?

El detector se denomina Híbrido porque emplea dos tipos de detectores que trabajan complementariamente y abarca una superficie de 3.000 km<sup>2</sup>

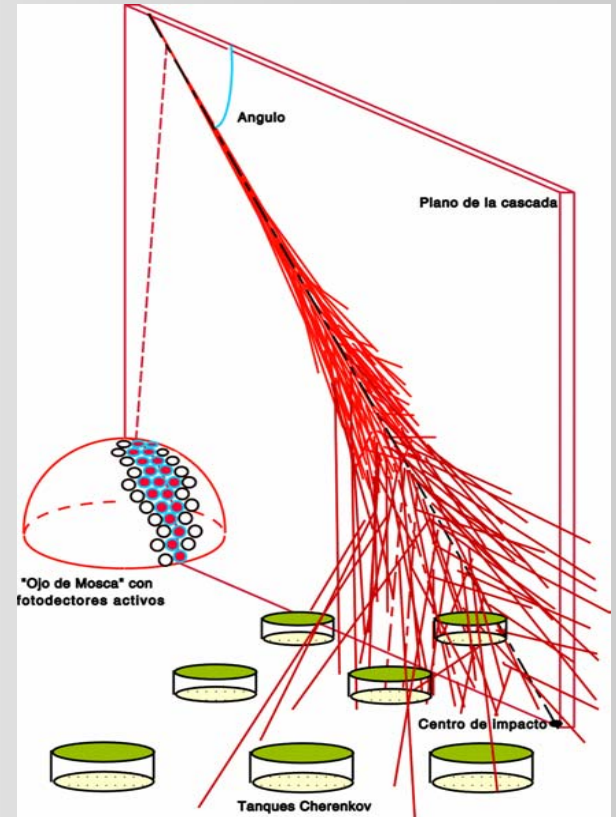
*Los países que integran la Colaboración Internacional en el proyecto son:*

*Argentina, Australia, Bolivia, Brasil,  
República Checa, Alemania,  
Francia, Italia, Mexico, Polonia,  
Eslovenia, **España**, UK, USA y Vietnam.*

**MAS DETALLES**

[www.auger.org.ar](http://www.auger.org.ar)

[www.auger.org](http://www.auger.org)

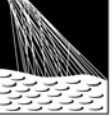


# ¿Qué son los rayos cósmicos?

Nuestro planeta recibe constantemente una lluvia de partículas cargadas.

Cada segundo 1000 partículas por metro cuadrado golpean las capas más exteriores de la atmósfera terrestre.

Este flujo de partículas (llamado rayos cósmicos), proveniente en su mayoría de nuestra Galaxia, consisten en un 90% de protones, 9% partículas alfa (núcleos de helio) y el resto son núcleos más pesados que el hidrógeno.



PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

## Sabemos que existen!

Se han observado rayos cósmicos con energías entre  $10^9$  eV y  $10^{20}$  eV.

En este rango, el "*flujo*" de rayos cósmicos parece seguir una simple ley de potencia  $\sim E^{-3}$ . La variación del flujo con la energía se conoce como "*Espectro de Energía*".

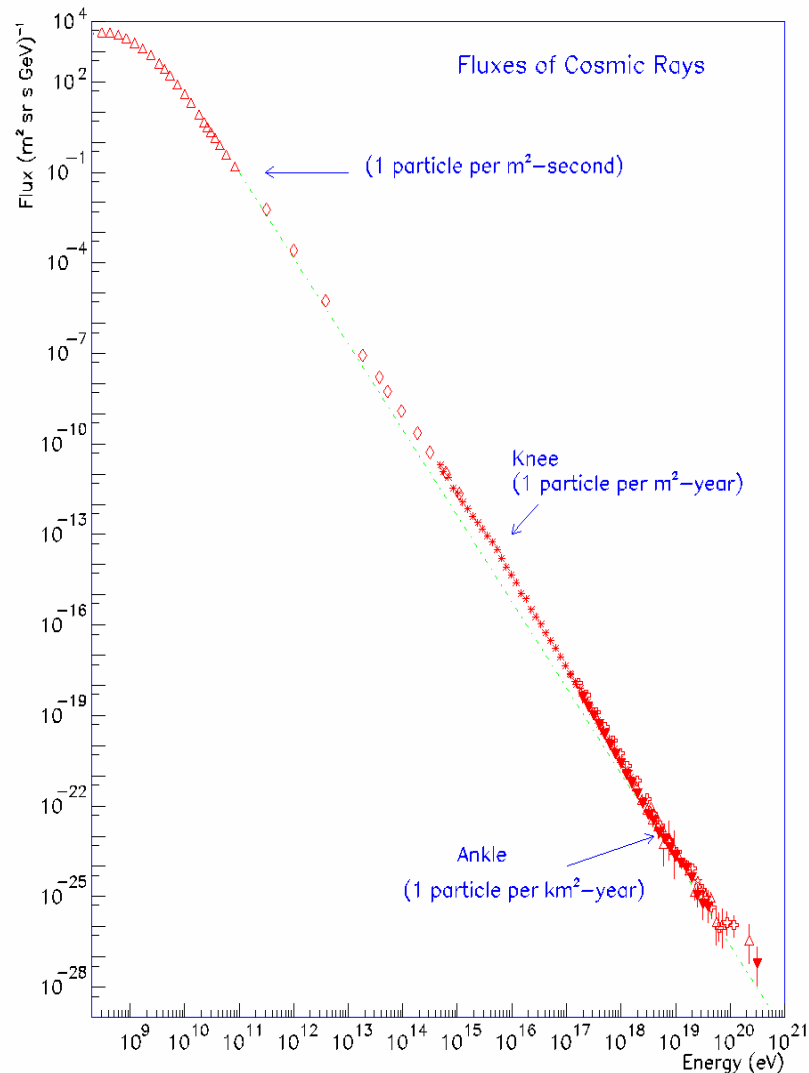


Figure 1: Compilation of measurements of the differential energy spectrum of cosmic rays. The dotted line shows an  $E^{-3}$  power-law for comparison. Approximate integral fluxes per steradian are indicated.

El termino “Rayos Cósmicos” se refiere a partículas elementales, núcleos, y radiación electromagnética de origen extra terrestre. Estas pueden incluir partículas exóticas, como muones, mesones pi o baryones lambda.

En el rango de energía de  $10^{12}$ - $10^{15}$  eV (electron-voltios\*), los rayos cósmicos que llegan al límite de la atmósfera de la Tierra consisten en:

~50% protones

~25% partículas alpha

~13% núcleos de C/N/O

<1% electrones

<0.1% gammas

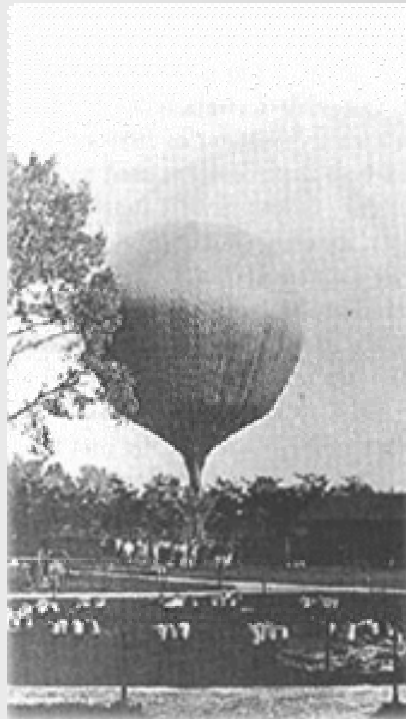
\* Un electron-voltio es una unidad microscópica que corresponde a la energía ganada/perdida por un electrón en traspasar un salto de potencial de 1 V(voltio). Una batería común (AA usada en un control remoto de TV) tiene una diferencia de voltaje de 1.5 V. Una luz de 40 W(watt) usa unos  $10^{24}$  eV de energía en una hora.

El físico austríaco Victor. F. Hess realizó mediciones de niveles de radiación a diferentes alturas con electros copios a borde de globos.

Sorprendentemente, encontró que los niveles de radiación se incrementaban con la altura. Hess interpretó estos resultados admitiendo que la radiación llegaba a la tierra del espacio exterior. Le dio a este fenómeno el nombre de “**Radiación Cósmica**”, denominación que luego evolucionó a “**Rayos Cósmicos**”, gracias a la intervención de Robert Milikan.

Hess obtuvo el Premio Nobel en 1936 por este descurimiento.

Victor Hess y colaboradores

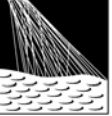


# ¿Lluvias de rayos cósmicos?

Los rayos cósmicos primarios que golpean las capas más externas de la atmósfera, sufren colisiones con los núcleos que allí se encuentran.

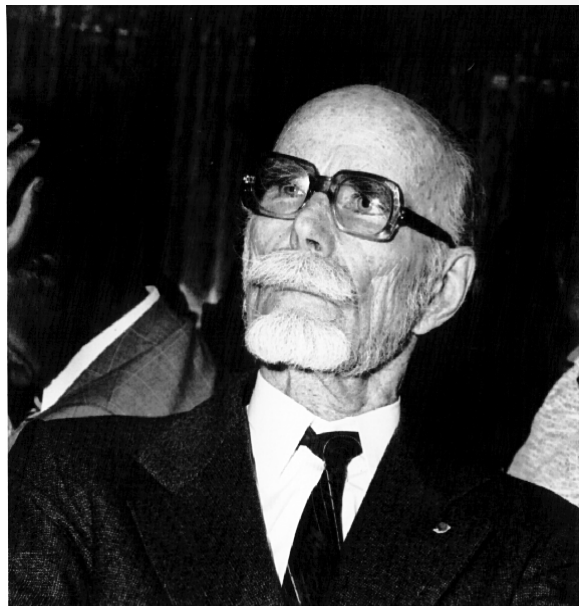
De estas colisiones resultan lluvias de nuevas partículas elementales de todo tipo (como electrones, positrones, mesones pi, muones, etc) que eventualmente llegan a la superficie.

Estos chubascos de rayos cósmicos secundarios pueden alcanzar una extensión de varios kilómetros cuadrados.

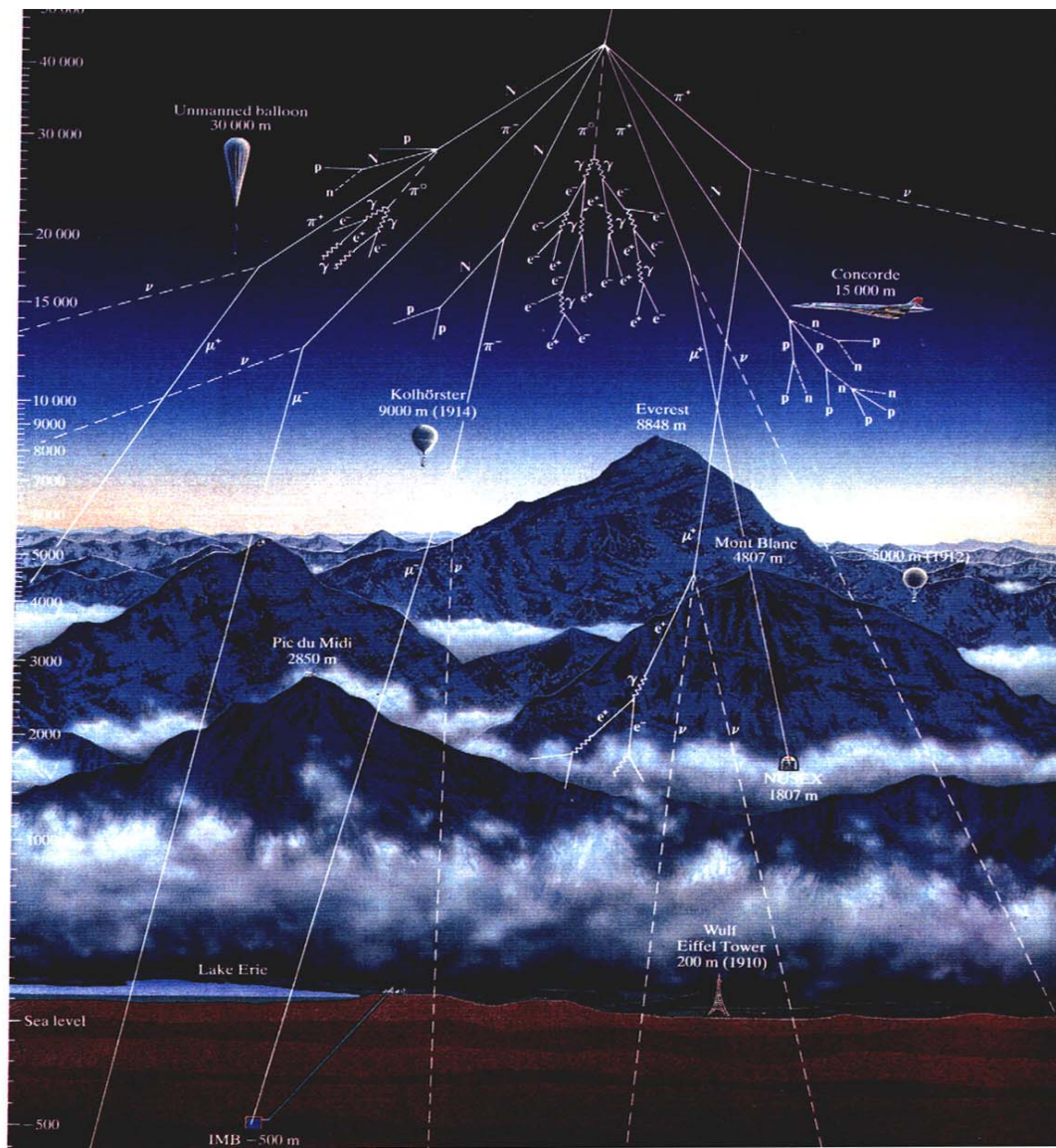


PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

# Bosquejo del desarrollo de una lluvia de partículas en la atmósfera



Pierre Auger  
descubrió los  
chubascos cósmicos  
en 1936



# Simulación realista de una cascada iniciada por un protón $2 \times 10^{12}$ eV dirigida hacia un observador en el suelo

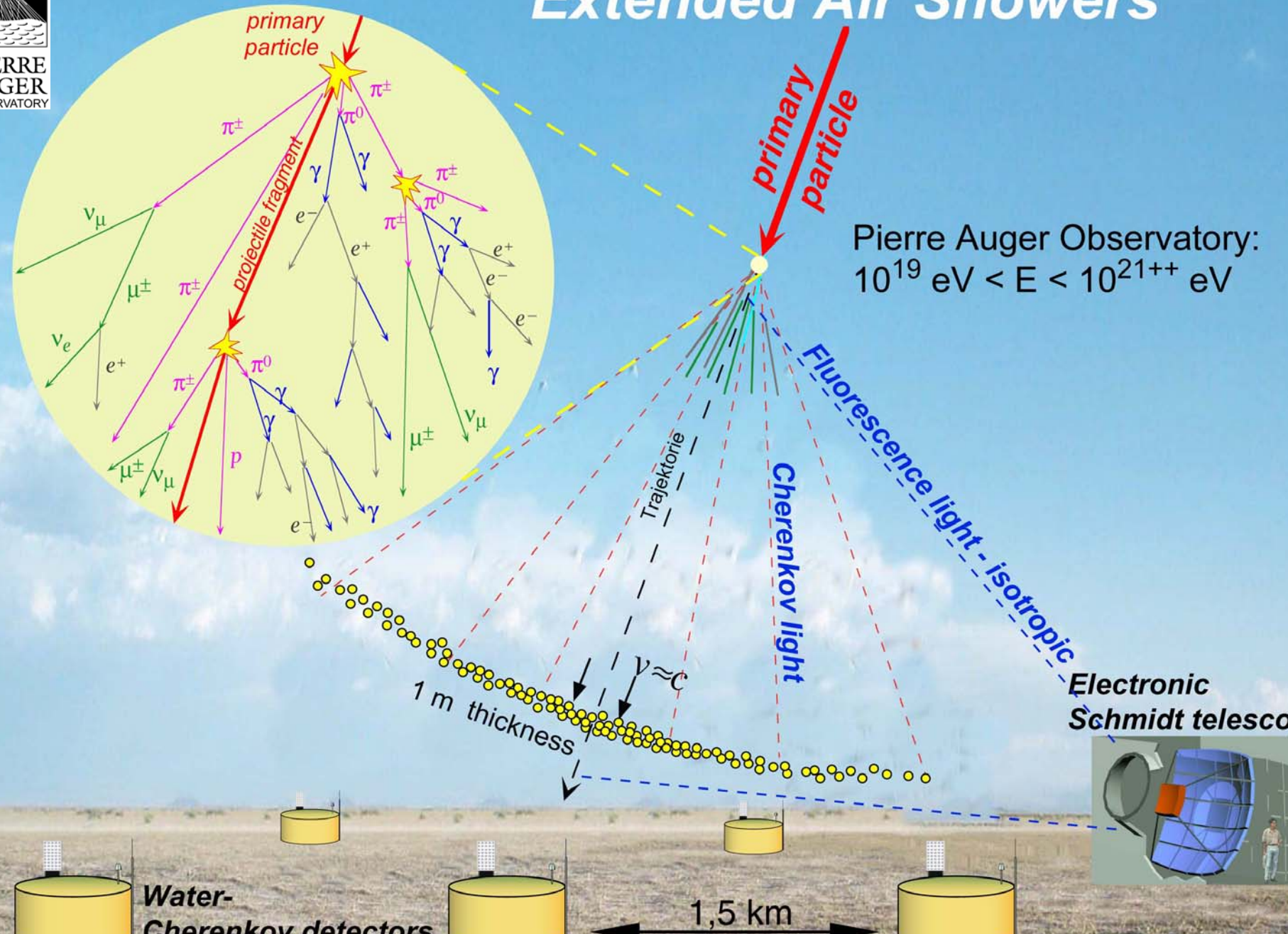
- Azul- electrones y fotones
- Amarillo- muones
- Verde- piones y kaones
- Púrpura- protones y neutrones
- Rojo- fragmentos nucleares

**SIMULACIÓN PROPORCIONADA POR LA COLABORACION INTERNACIONAL *MILAGRO***



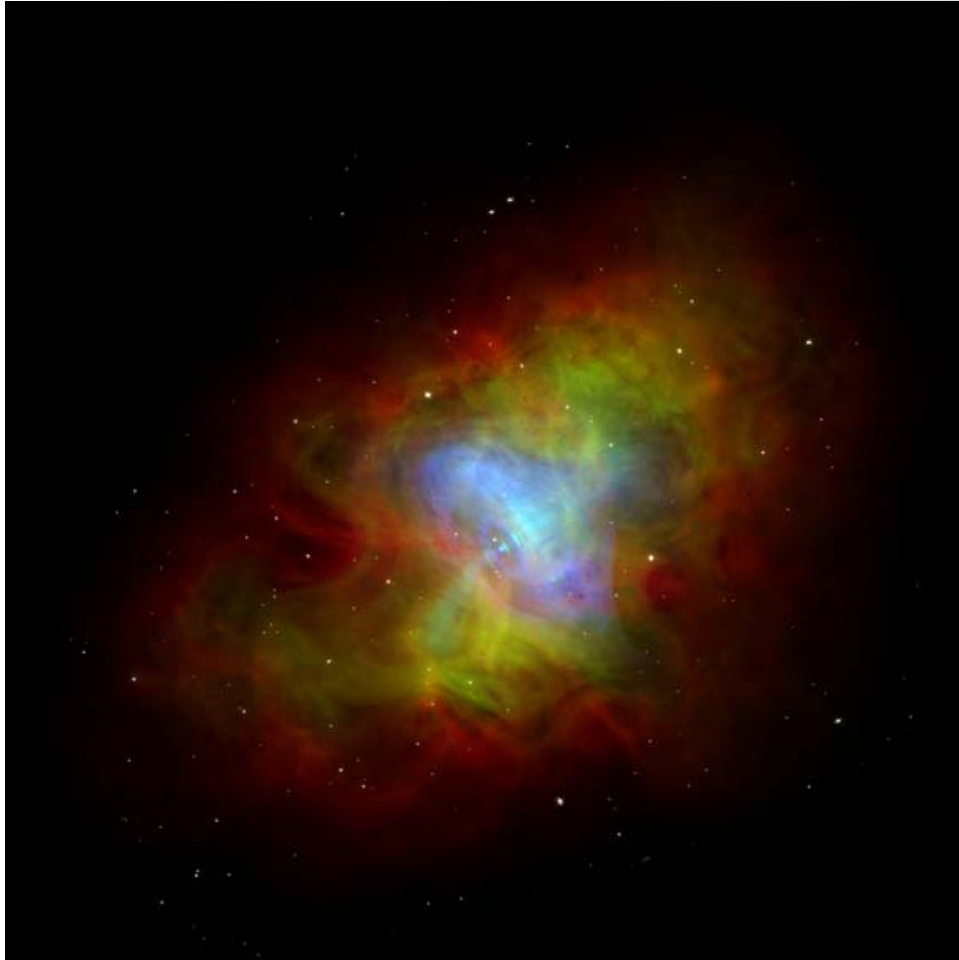
PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

# Extended Air Showers



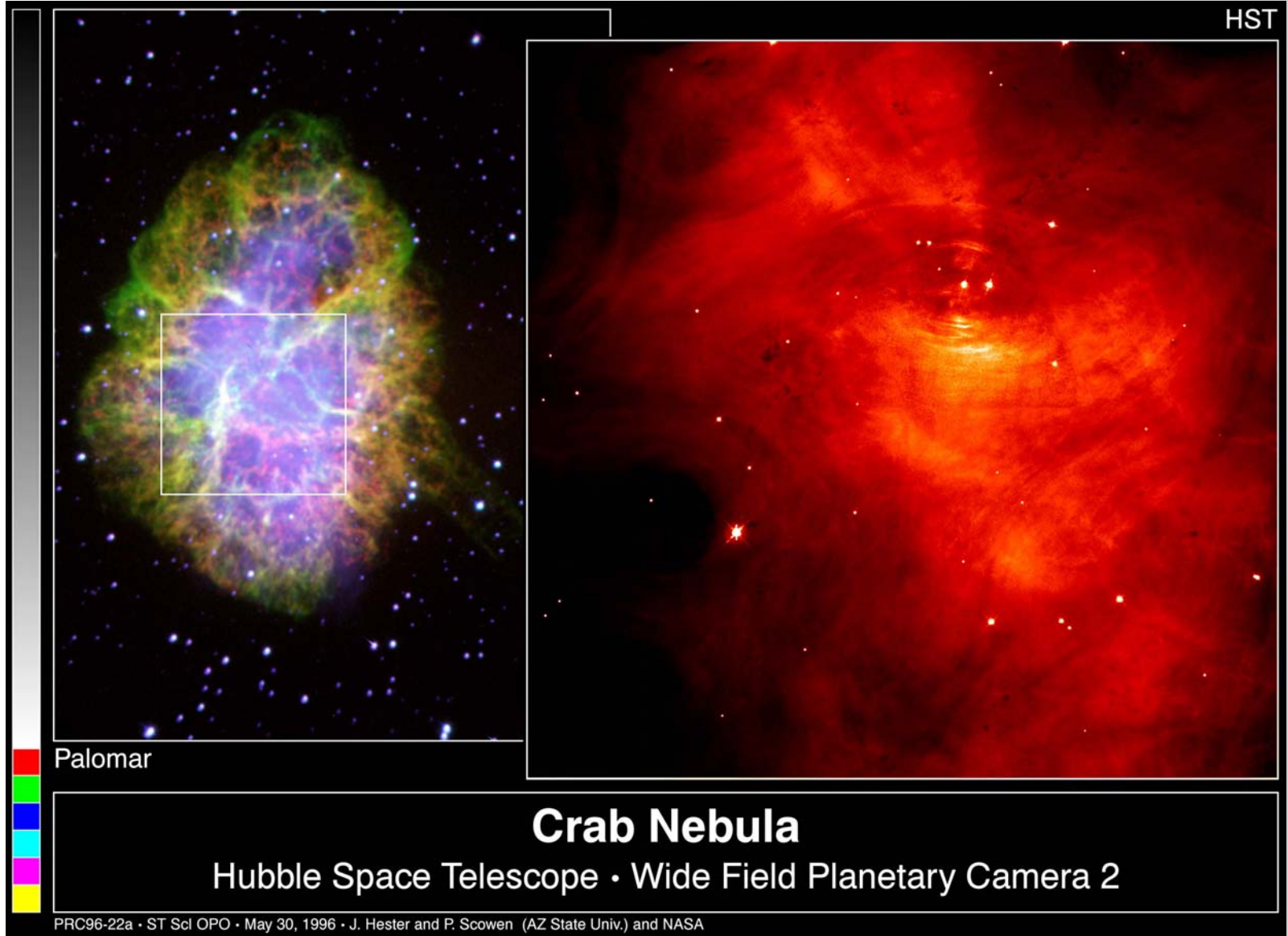
# ¿Dónde se originan los rayos cósmicos?

La fuente más importante de rayos cósmicos son las supernovas en nuestra galaxia.

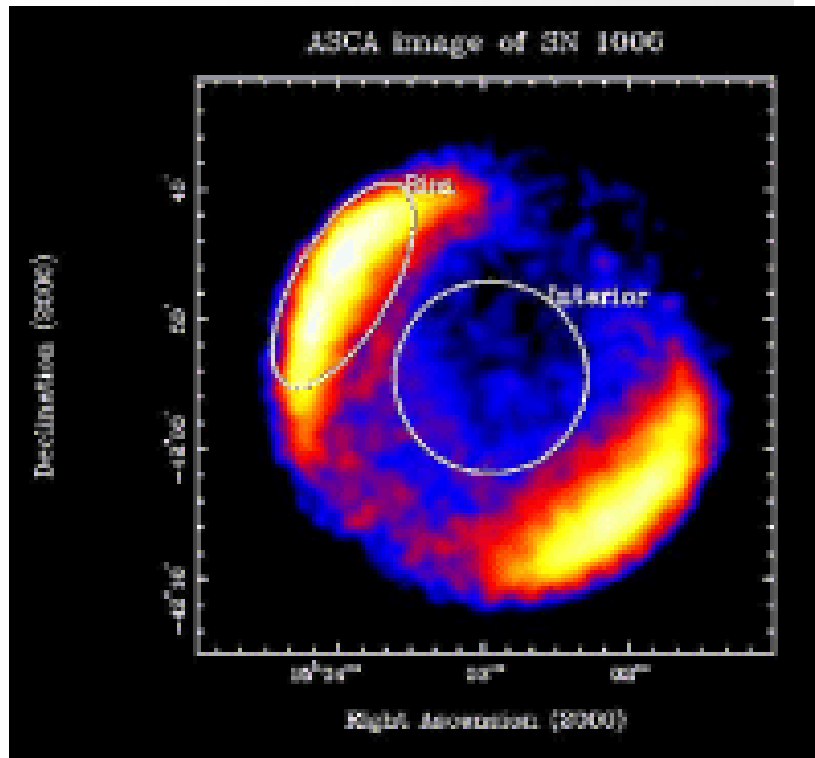
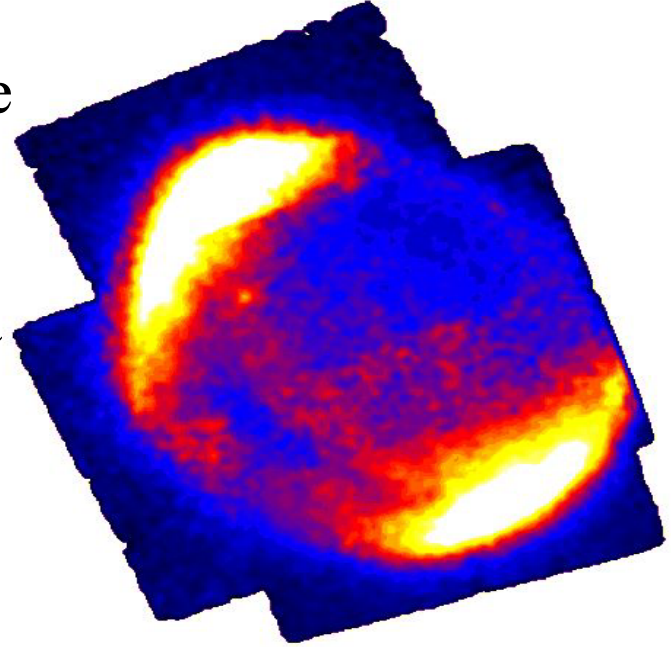


Nebulosa del Cangrejo- Chandra (SNR)

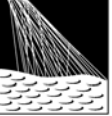
# SUPERNOVAS EN NUESTRA GALAXIA



En 1995, El satélite japonés de Rayos X [ASCA](#) , reportó una observación positiva de non-emisión en rayos X no térmica proveniente del remanente de Supernova SN1006.

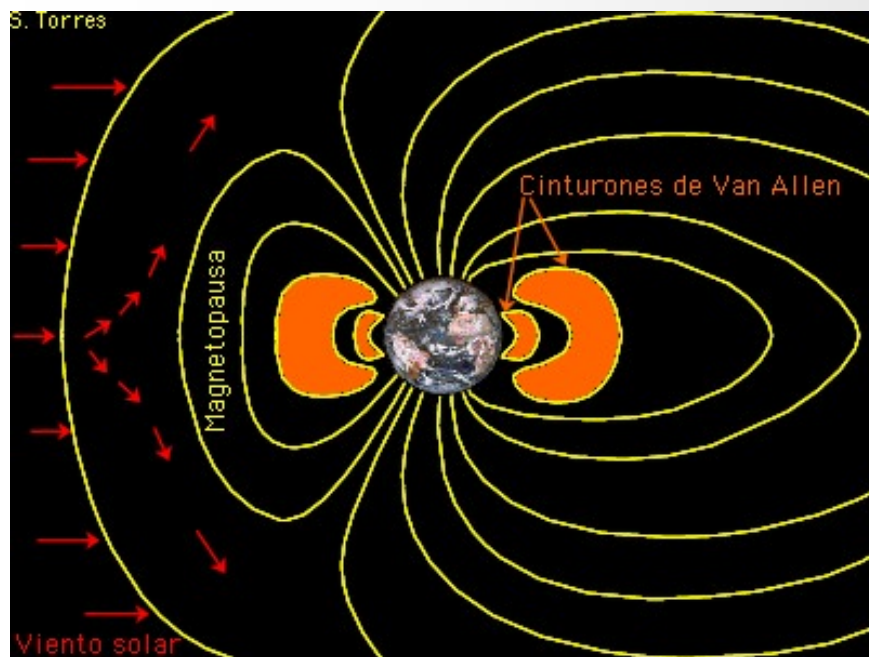
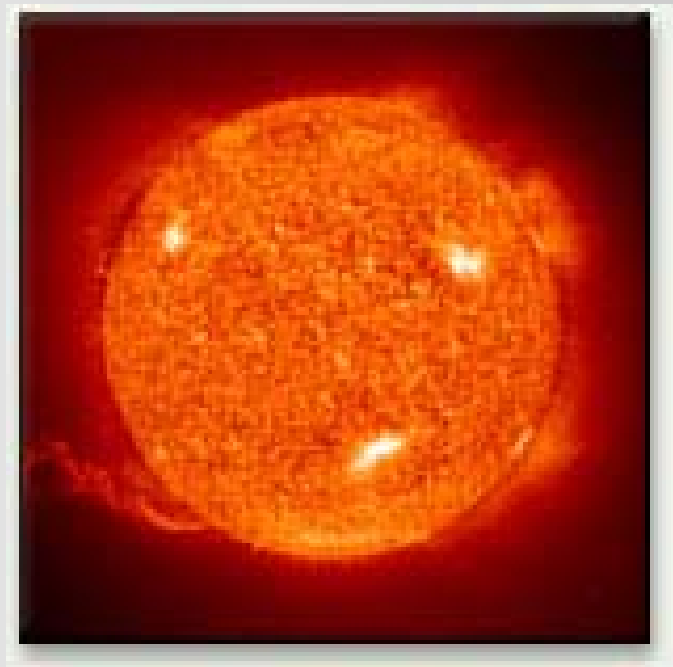


La emisión observada proveniente de SN1006, puede explicar la existencia de rayos cósmicos de más de  $\sim 10^{15}$  eV. Sin embargo, es difícil explicar la existencia de esta radiación por sobre  $10^{18}$  eV, debido a que el evento de supernovae no es lo suficientemente prolongado para mantener la aceleración de estas partículas ultra energéticas



PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

El viento solar también contribuye al flujo de partículas que llegan a la Tierra. Cada segundo, el Sol emite un promedio de 300 mil toneladas de materia en forma de gas ionizado que sopla como un viento en una región que cubre todo el sistema solar



Lineas del campo magnético terrestre deformadas por la acción del viento solar. En las regiones indicadas como los anillos de Van Allen existen millones de partículas cargadas atrapadas por el campo magnético.

## Vistas de las Auroras



**Desde la  
superficie de  
la Tierra**

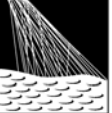


**desde el espacio**

Aurora austral.

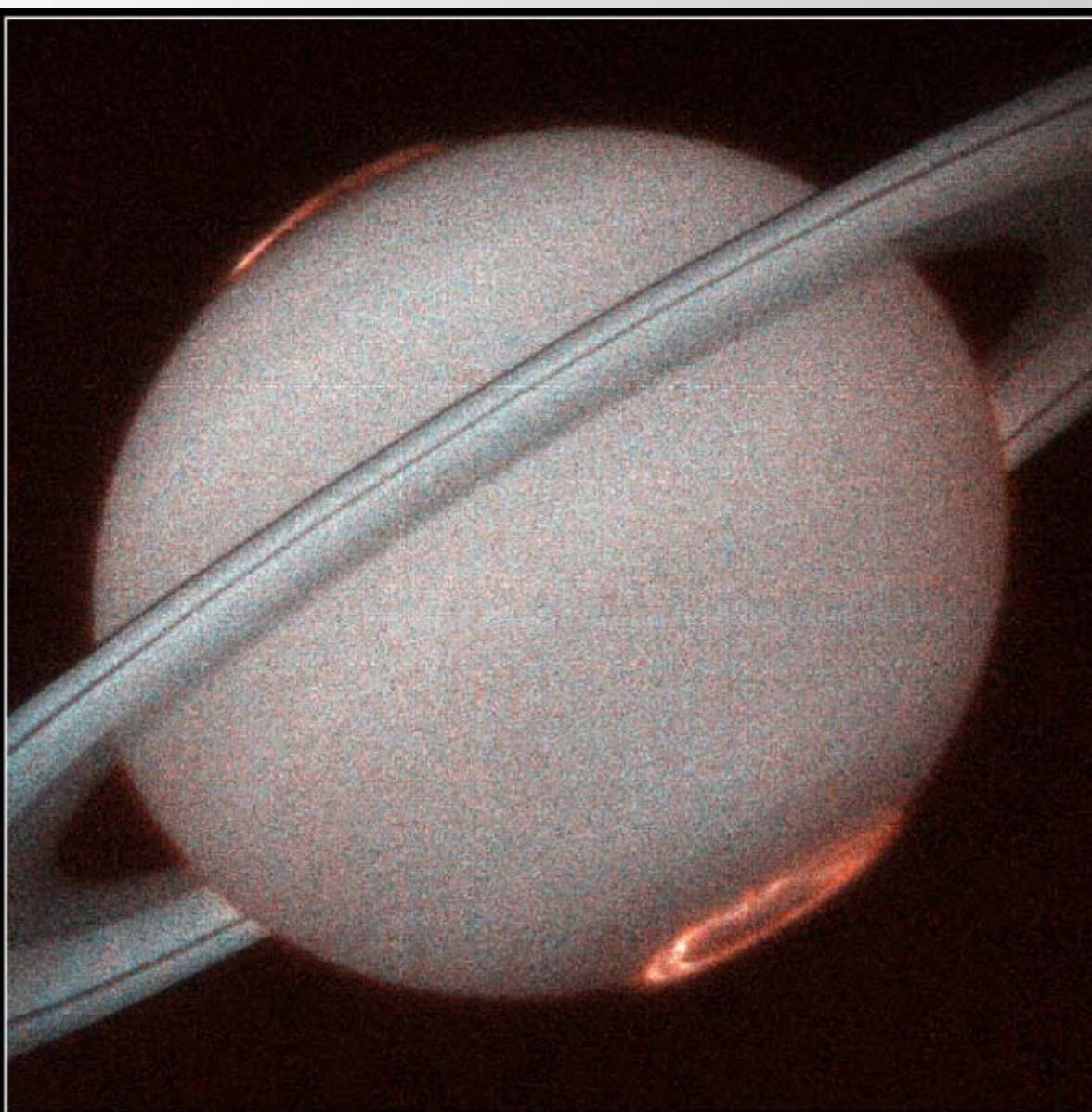
(80 - 120 km sobre  
la superficie de la  
Tierra)





PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

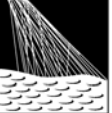
# AURORAS EN SATURNO



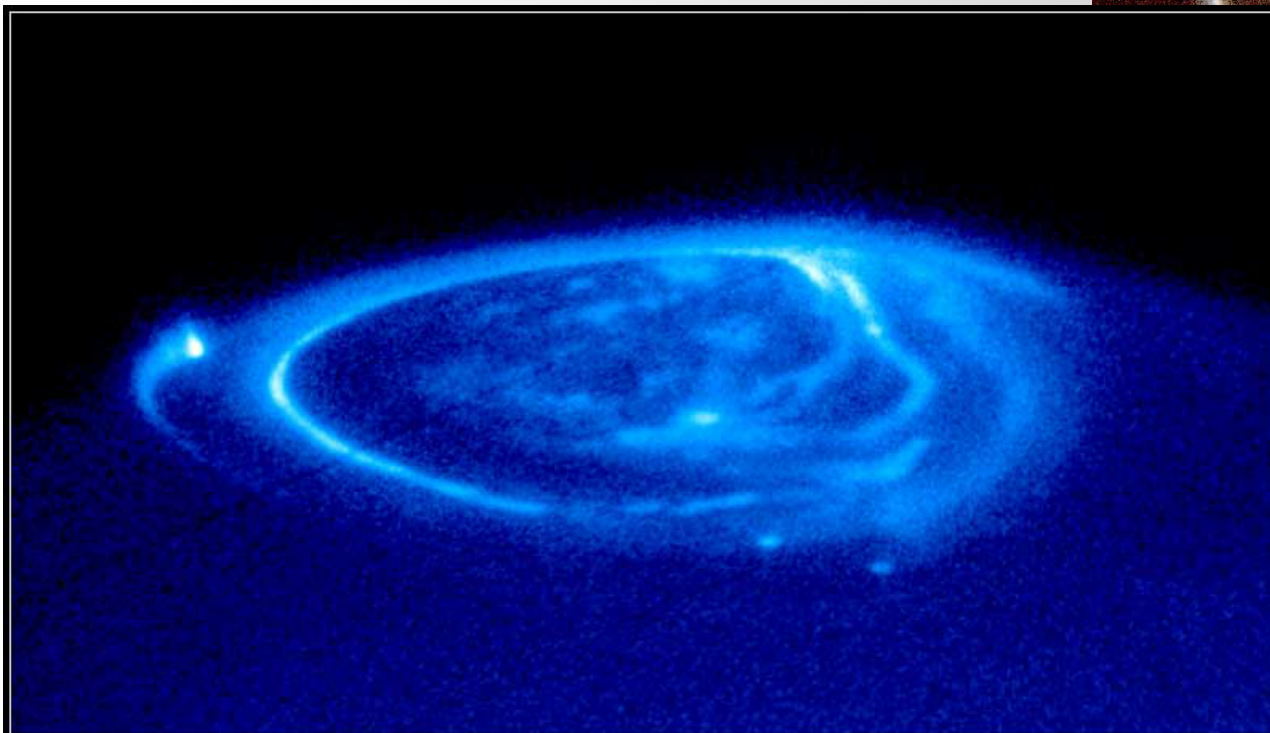
**Saturn Aurora**

**HST • STIS**

PRC98-05 • ST Sci OPO • January 7, 1998 • J. Trauger (JPL) and NASA



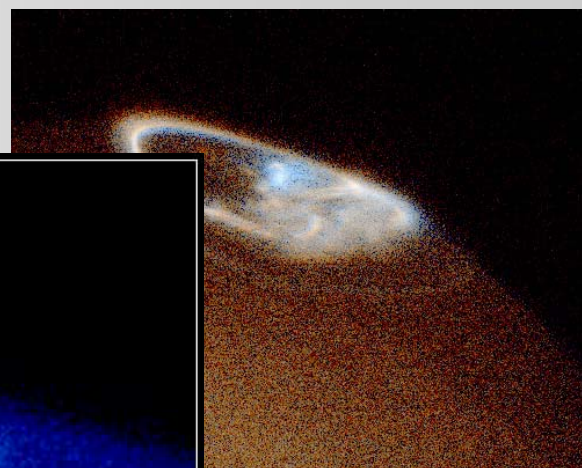
PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY



**Jupiter Aurora**

HST • STIS

NASA and J. Clarke (University of Michigan) • STScI-PRC00-38



AURORA EN JUPITER

# El Misterio de los Rayos Cósmicos de Ultra Elevada Energía

Los Rayos Cósmicos con energías por mayores que  $\sim 10^{18}$  eV se denominan “***Rayos Cósmicos de Utra Alta Energía***” (UHECR). Estos son partículas microscópicas con cantidades de energía macroscópicas del orden de los ***joules*** (un electron-volt equivale aproximadamente a  $1.6 \times 10^{-19}$  joules) o más.

Las tres preguntas fundamentales relacionadas con estas partículas son:

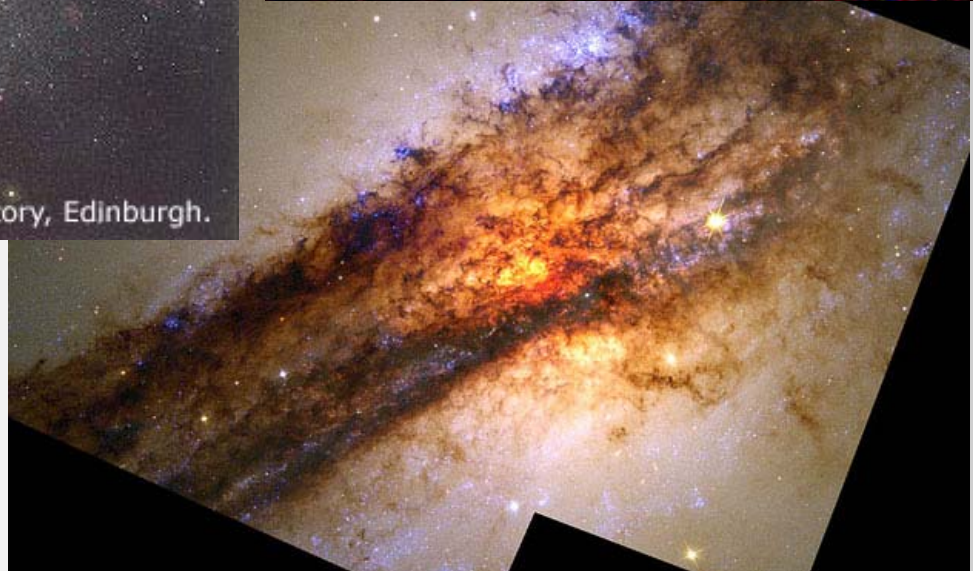
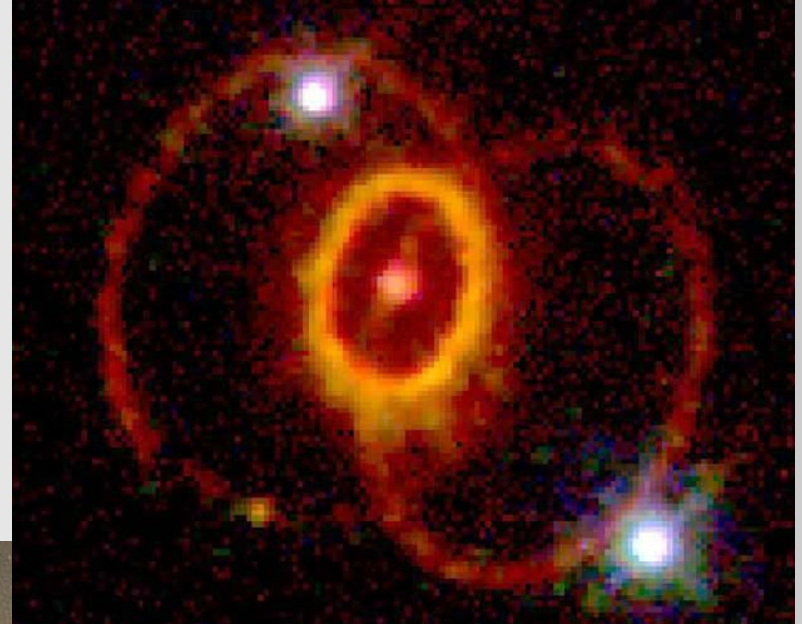
1. Cómo son aceleradas hasta alcanzar estas energías extremas?
2. De dónde proceden estos Rayos Cósmicos?
- 3.Cuál es su composición?

Para estudiar los **mecanismos de aceleración**, se deben realizar mediciones cuidadosas del espectro de energía de los rayos Cósmicos Ultra Energéticos para poder compara con las predicciones de los diferentes modelos de aceleración

Para entender **de dónde provienen**, se necesita concretar un survey detallado de las direcciones de arribo y buscar anisotropías en su distribución, tanto en pequeña como en gran escala.

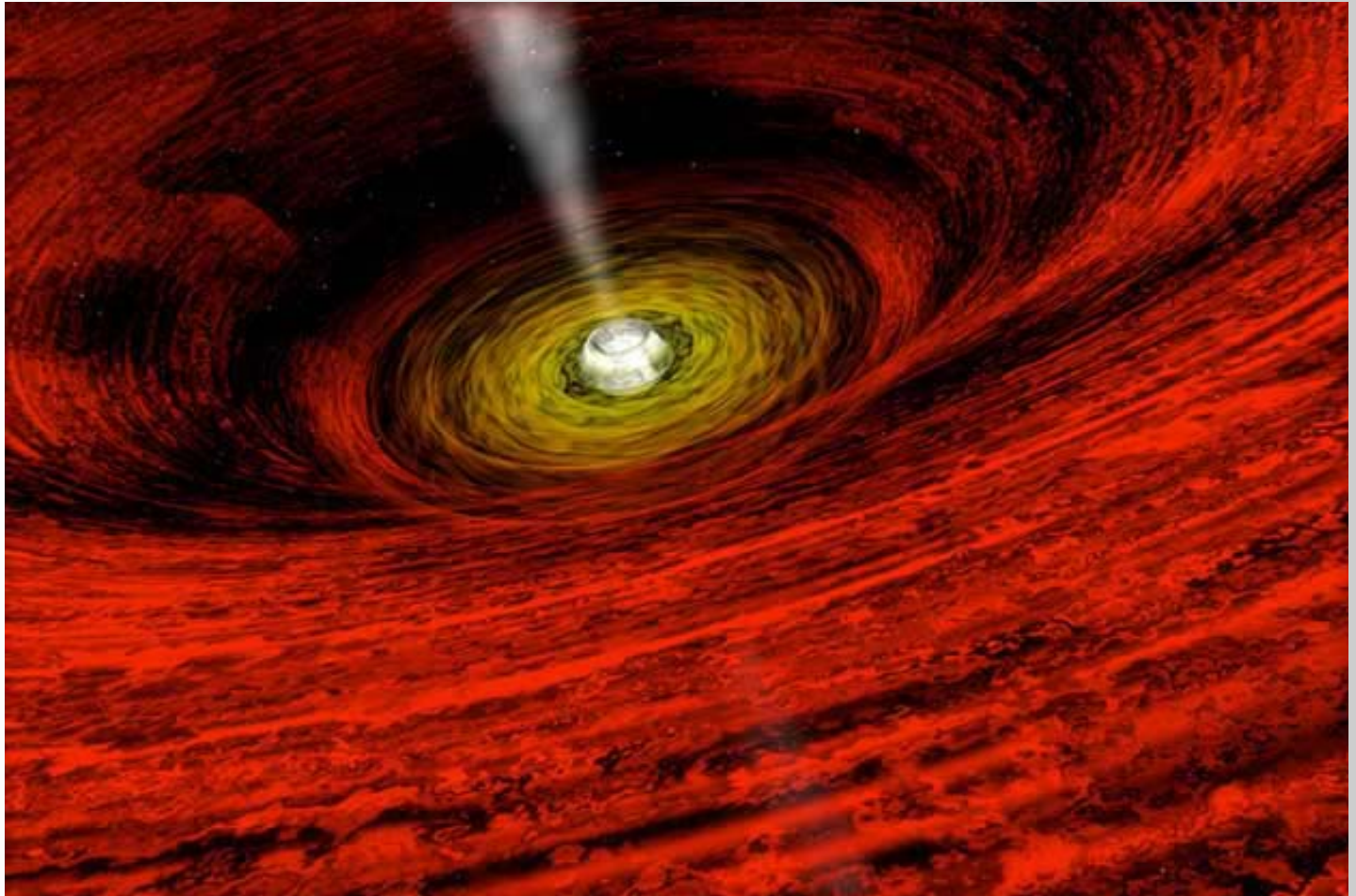
La **composición** es una de las mediciones más complicadas, pues los Rayos Cósmicos de ultra elevada energía no pueden ser detectados directamente utilizando detectores de partículas tradicionales. Por ello, la composición sólo puede ser inferida a partir de mediciones auxiliares.

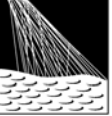
Las partículas de mayor energía en los rayos cósmicos se originan en otras galaxias.



Además de las supernovas, en una galaxia existen otras fuentes de partículas energéticas, tales como:

- los agujeros negros



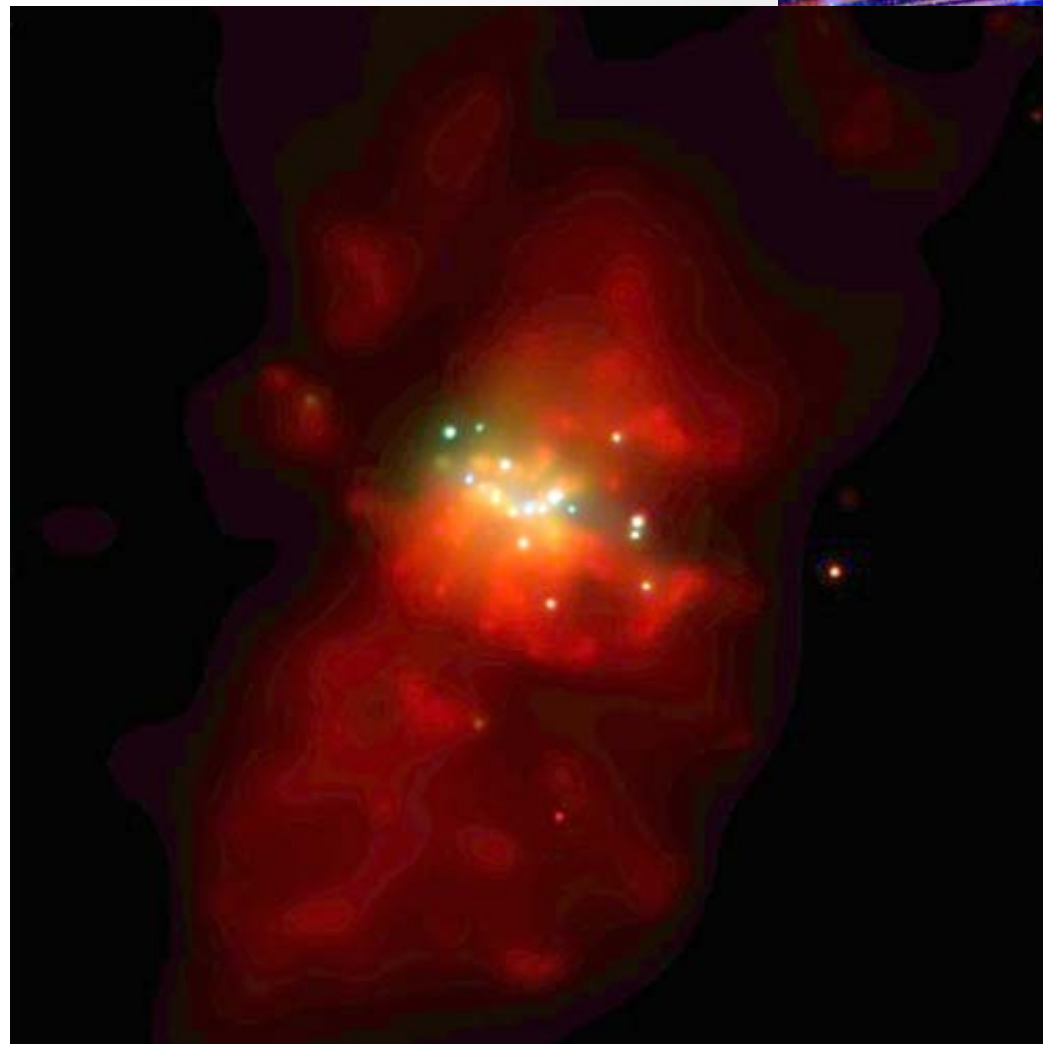


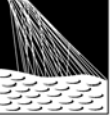
PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

## M82-Chandra



Modelo de Agujero Negro  
supermasivo en el núcleo de  
una Galaxia





PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

- las estrellas de neutrones o pulsares (el núcleo desnudo de una estrella que explotó como supernova)
- La colisión entre dos estrellas de neutrones .

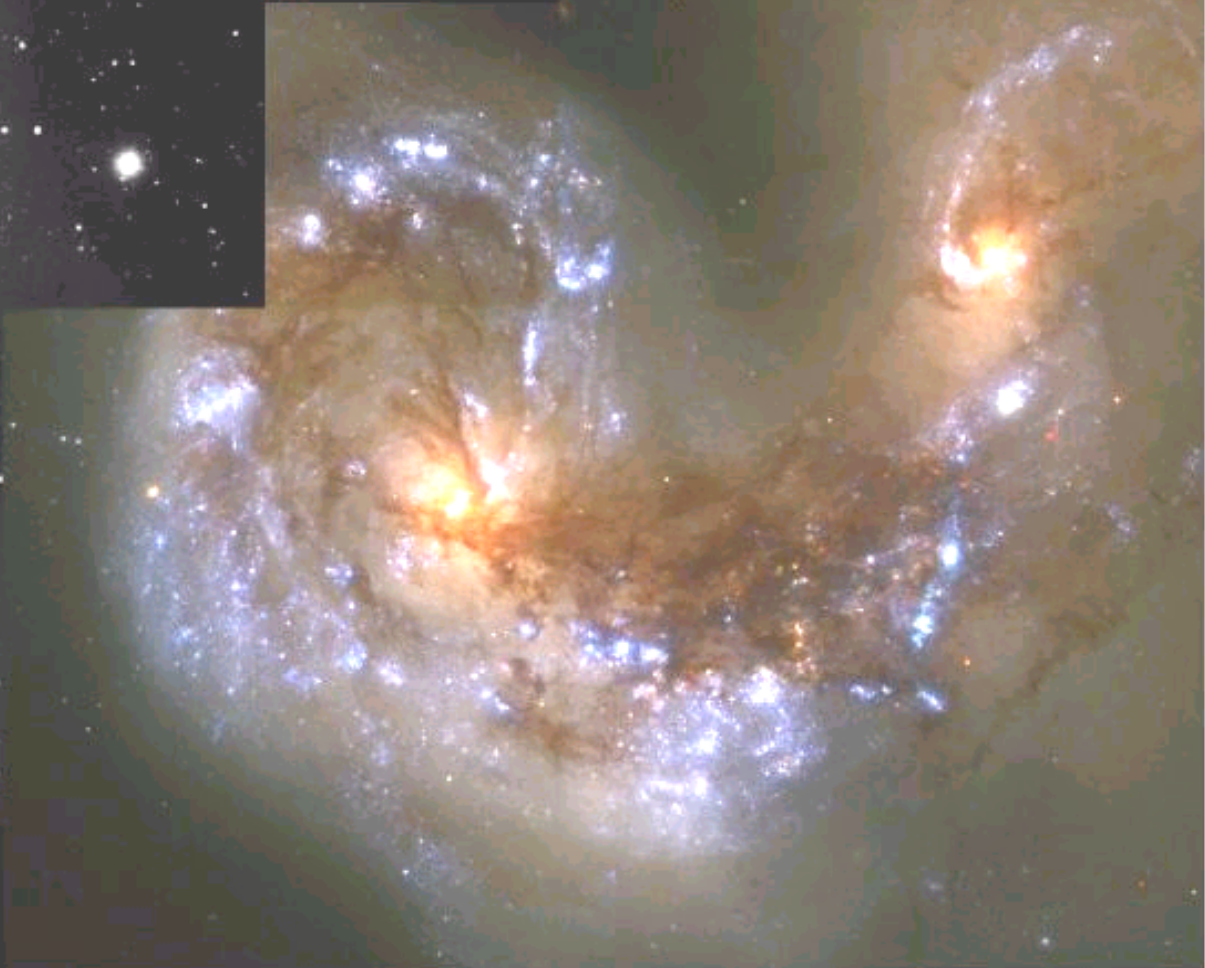
Pulsar en  
Cangrejo



Existen varios objetos en el cielo de donde se esperarían fuertes emisiones de Rayos Cósmicos.

Por ejemplo, estas emisiones son posibles en torno de galaxias que se encuentran en colisión, tales como [NGC 4038/9](#).

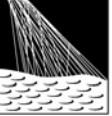
# POSIBLES FUENTES DE RAYOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGÍA



**Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039**

HST • WFPC2

PRC97-34a • ST ScI OPO • October 21, 1997 • B. Whitmore (ST ScI) and NASA



PIERRE  
AUGER  
OBSERVATORY

Sin embargo, no existe aún evidencia que indique que estos objetos son fuentes de Rayos Cósmicos de ultra elevada energía!.

Otra clase de objetos que son candidatos a fuentes de Rayos Cósmicos Ultra Energéticos son la Galaxias de Núcleos Activos (AGN).

Estas galaxias presentan chorros de material que pueden extenderse entre 50 y 100 mil años luz de distancia.

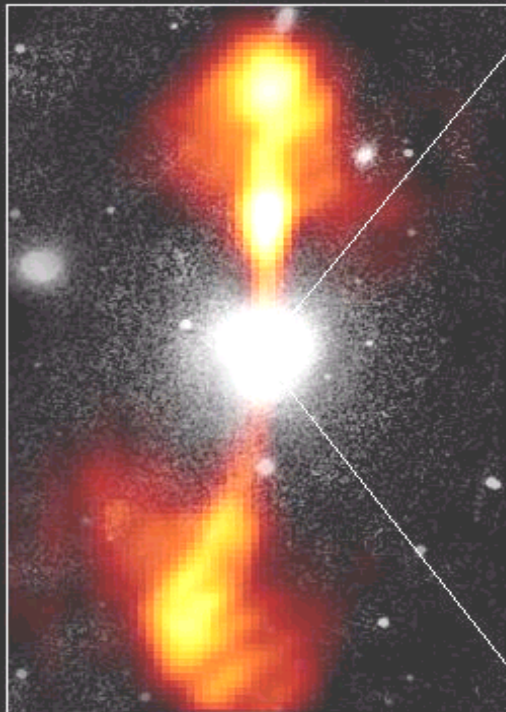
Es siempre posible encontrar una AGN en la dirección de los rayos cósmicos ultra energéticos, dentro de error de las observaciones.

# Posible fuente de rayos cósmicos de alta energía

## Core of Galaxy NGC 4261

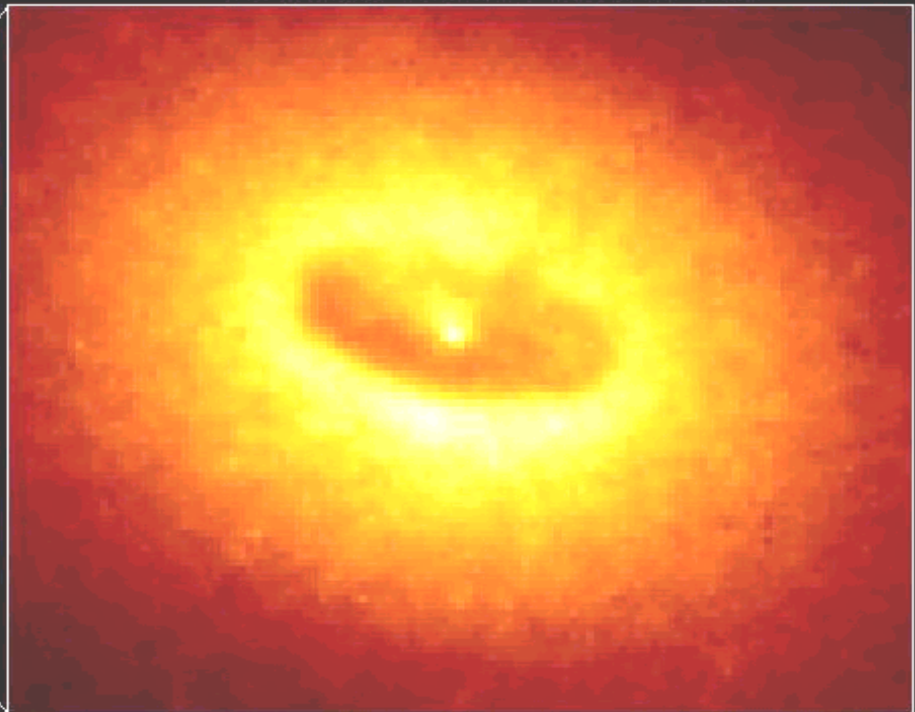
Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



1.7 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS

A pesar de esto, aún no existe evidencia que indique que estas galaxias producen realmente los rayos cósmicos que constituyen el objeto de estudio del Observatorio Auger.

# Mecanismos de Aceleración

Otras ideas para explicar la existencia de Rayos Cósmicos Utra Energéticos incluyen:

- Modelos “bottom-up”

Ej. ondas de choque, mecanismo de Fermi

- Modelos “top-down”:

Decaimiento de partículas exóticas supermasivas o reliquias cosmológicas

Ej. Defectos topológicos, monopolos magnéticos.

- Aceleración en eventos catastróficos

- Nueva Física?

# Proyecto Pierre Auger

El objetivo del Observatorio Auger es el estudio de rayos cósmicos con  $E > 10^{18}$  eV, con buena resolución geométrica.

Dicho estudio, abarca conceptos tales como:

**Composición:** que son?

**Dirección:** de dónde viene?

**Estadística de los eventos ultraenergéticos:** quién los origina?

El detector se denomina Híbrido porque emplea dos tipos de detectores que trabajan complementariamente y abarca una superficie de 3.000 km<sup>2</sup>

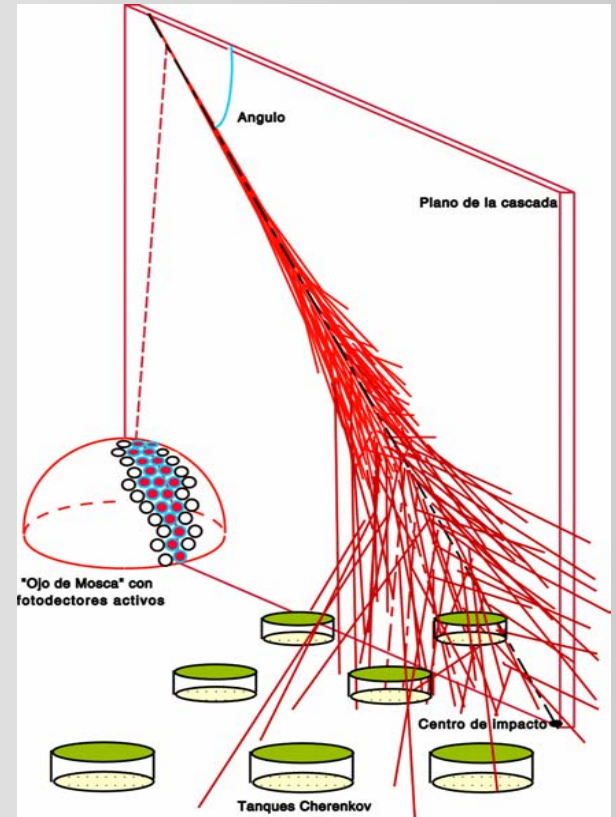
*Los países que integran la Colaboración Internacional en el proyecto son:*

*Argentina, Australia, Bolivia, Brasil,  
República Checa, Alemania,  
Francia, Italia, Mexico, Polonia,  
Eslovenia, **España**, UK, USA y Vietnam.*

**MAS DETALLES**

[www.auger.org.ar](http://www.auger.org.ar)

[www.auger.org](http://www.auger.org)



# Ubicación del Observatorio en Argentina

Mendoza  
Pampa Amarilla  
San Rafael  
Malargüe

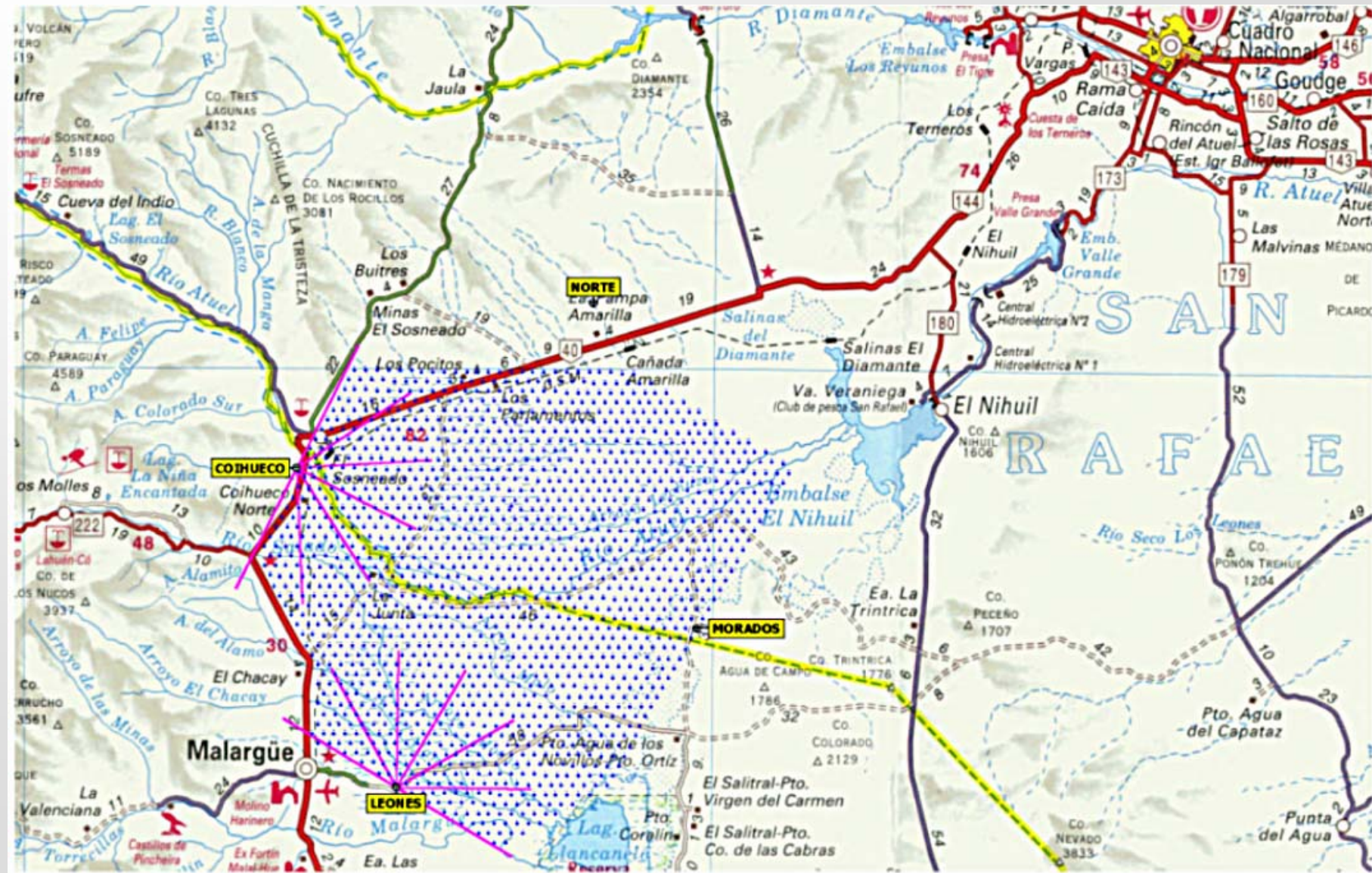
Características:

3000 km<sup>2</sup> planos, tierra sin  
habitantes ni producción

Cielo claro, noches oscuras  
Apoyo económico de Argentina  
Infraestructura cercana

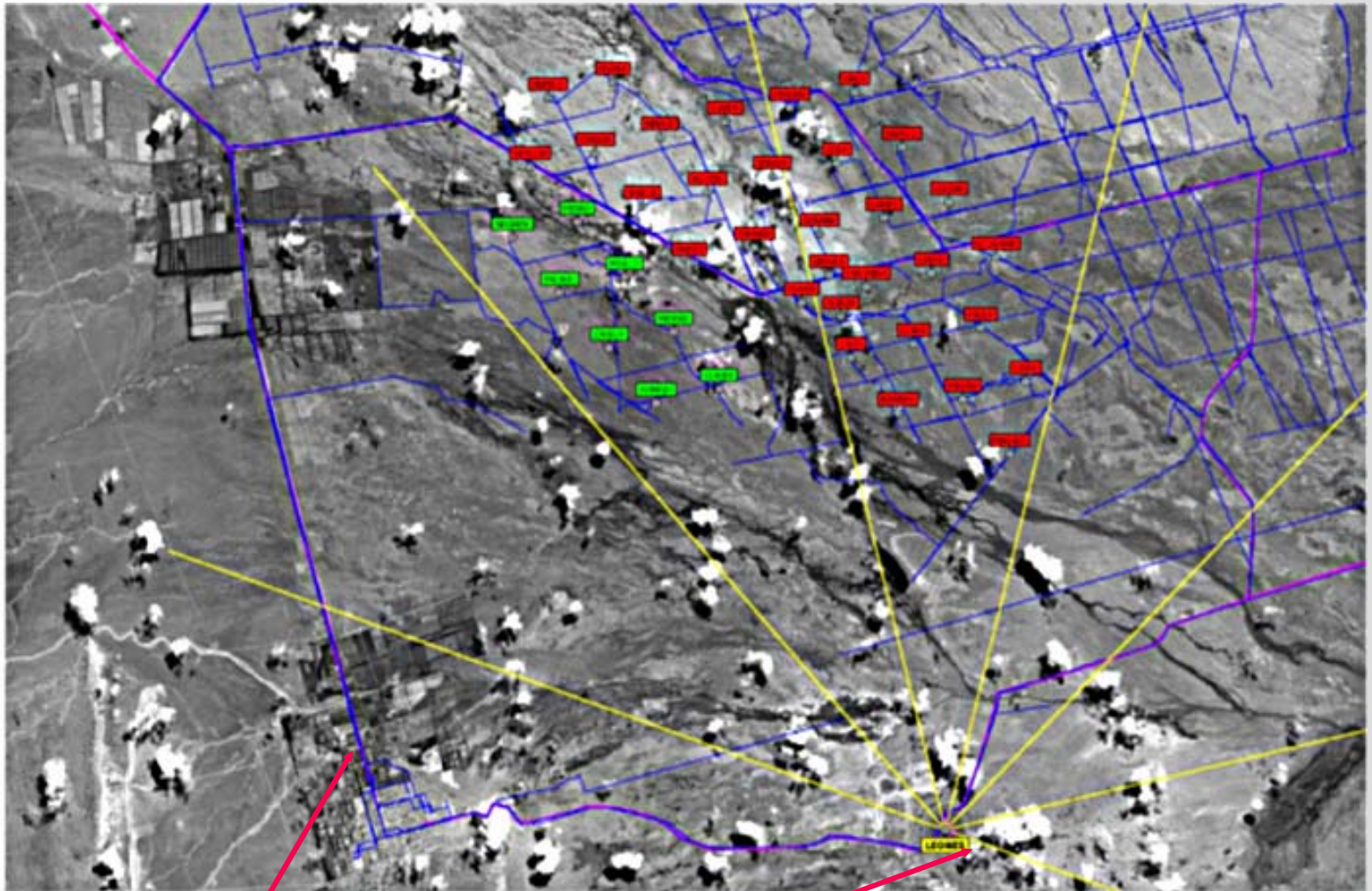


# Observatorio “Pampa Amarilla”



# Arreglo de Ingeniería

Vista Satelital (CONAE) y ubicación de los primeros tanques



Malargüe

Los Leones

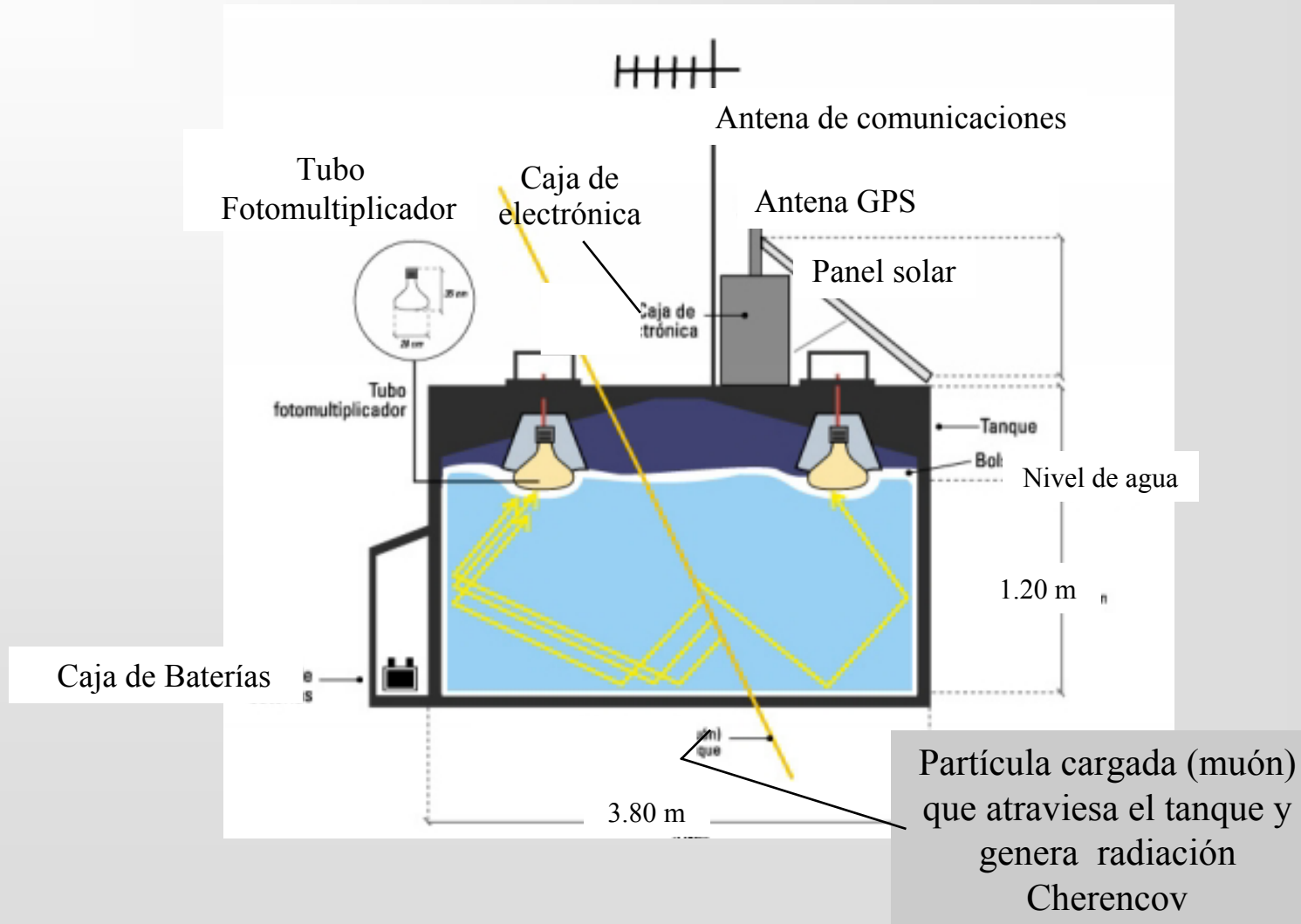
# Detector de Superficie Auger



Tanques (y cajas de baterías) de polietileno de  $10\text{m}^2$  de base  $\times$  1.2 m de altura, que contienen  $12\text{ m}^3$  de agua hiperpura dentro de bolsas de laminado con Tyvek y plástico negro. La antena de telecomunicación y GPS, los paneles solares, baterías y electrónica completan el diseño. Tres PMTs (tubos fotomultiplicadores) se encuentran ubicados a  $120^\circ$  uno de otro.

Los tanques son negros en la parte interna y beige en la exterior para protección ambiental. La resina de los tanques posee pigmentos para protección UV.

# Esquema del Detector de Superficie



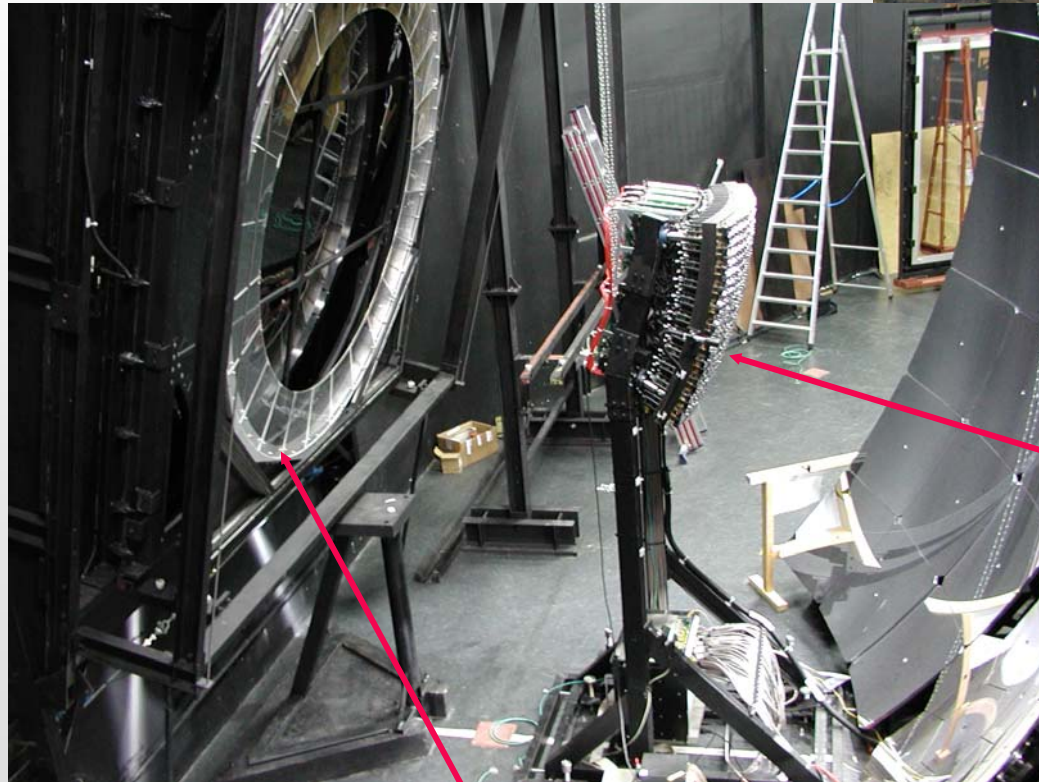
Cascada ATMOSFERICA iniciada por un protón  $2 \times 10^{12}$  eV  
Observe la generación de luz Cherenkov en el agua del detector debida a  
un muón (izda) y un electrón de la cascada

- Rojo- electrones y positrones
- Verde- Fotones
- Amarillo- muones
- Azul- Fotones Cherenkov

# Detector de Fluorescencia en Los Leones



Vista externa del edificio



La cámara incrementa la colección de luz en un factor dos; posee 440 tubos fotomultiplicadores.

Anillo Corrector y filtro UV en el diafragma..

# Estación Central



Edificio de oficinas,  
Centro de Datos y  
Centro de Visitantes

Edificio de Ensamblado





# El Observatorio Pierre Auger

Una colaboración internacional constituida por 16 países está finalizando la construcción del Observatorio de rayos cósmicos de ultra-alta energía más grande del mundo. Entre los países participantes se encuentra **España**. Un grupo de investigación de rayos cósmicos del **Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear** de la **Universidad Complutense** es miembro de pleno derecho de la Colaboración AUGER.

La presentación mostrada ha sido realizada por el **Grupo de Difusión y Educación** del Observatorio Pierre Auger

# El Observatorio Pierre Auger

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear  
Facultad de Ciencias Físicas  
Universidad Complutense de Madrid

