

# Explorando el Universo con Astropartículas

## Curso Explorando el Universo con IA

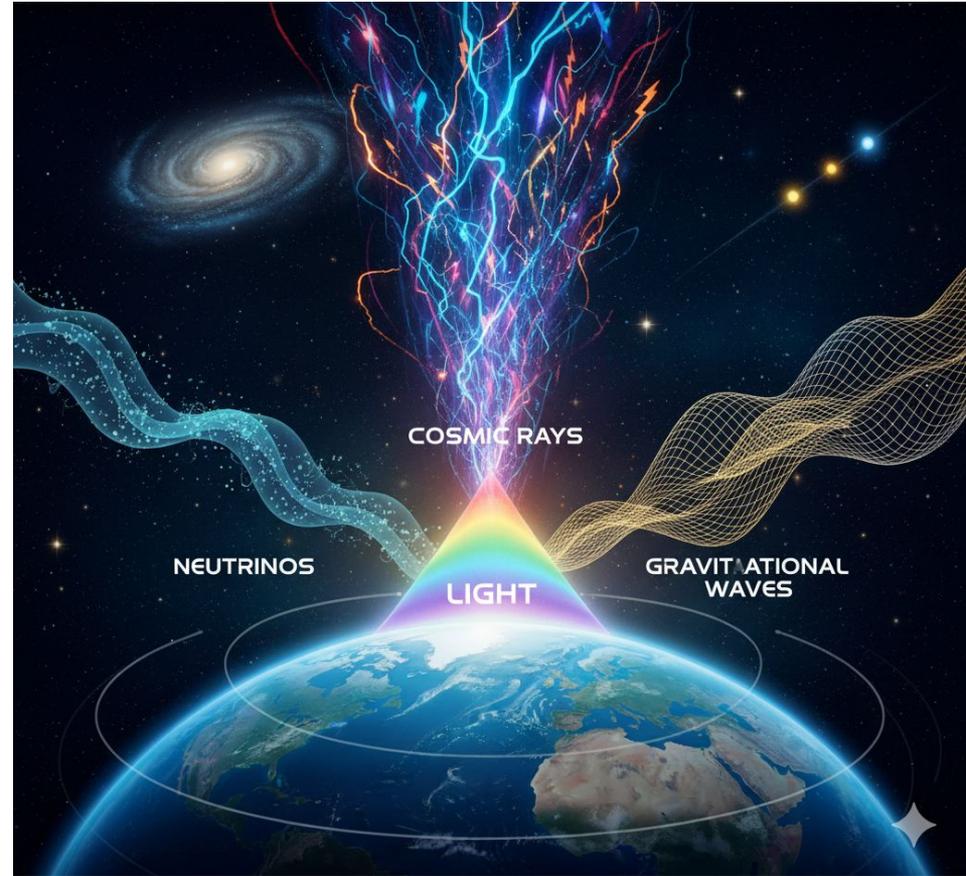
Edgar F. Carrera  
Universidad San Francisco de Quito, Ecuador



Septiembre 24, 2025

# Mensajeros cósmicos

- El Universo nos envía “mensajeros cósmicos”
- Astropartículas: ventanas a fenómenos extremos
- ¿Qué son?
- ¿De dónde vienen?
- Cómo las detectamos, desde la Tierra y con satélites



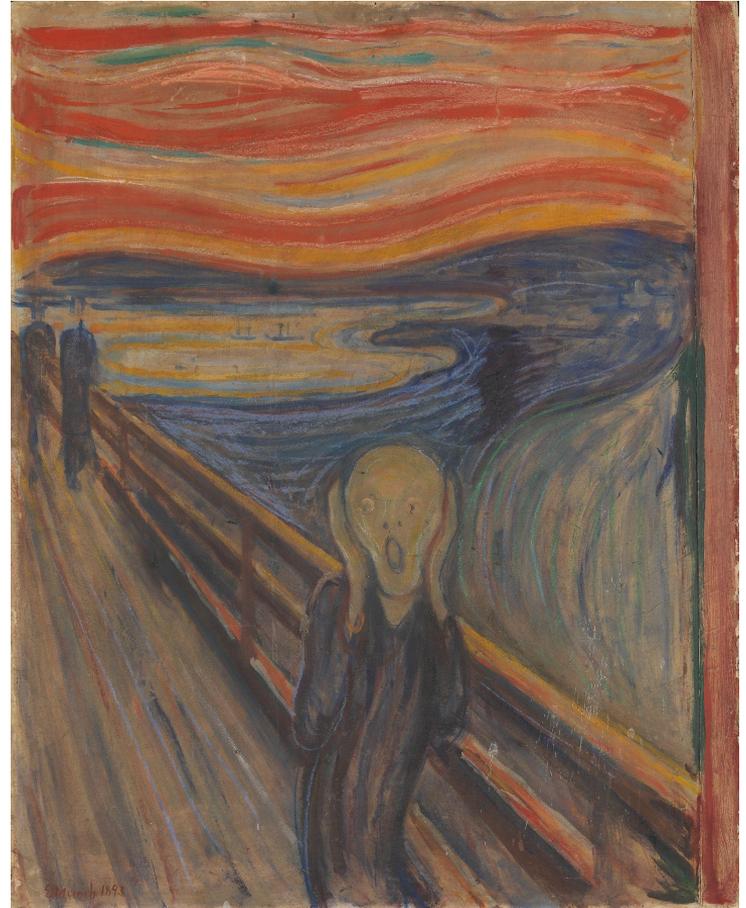
# Mensajeros cósmicos

- El Universo nos envía “mensajeros cósmicos”
- Astropartículas: ventanas a fenómenos extremos
- ¿Qué son?
- ¿De dónde vienen?
- Cómo las detectamos, desde la Tierra y con satélites



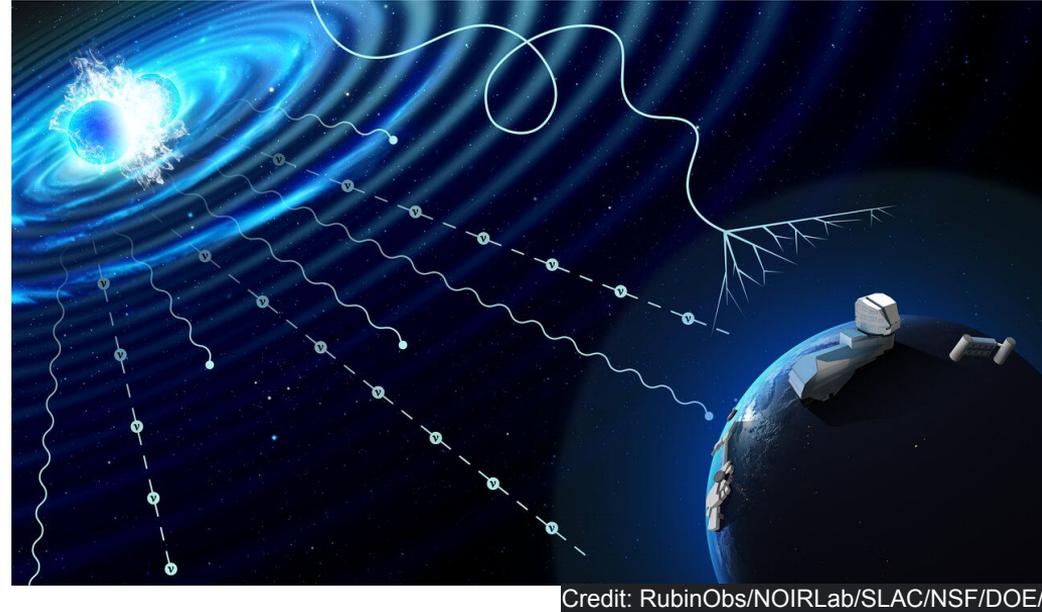
# Mensajeros cósmicos

- El Universo nos envía “mensajeros cósmicos”
- Astropartículas: ventanas a fenómenos extremos
- ¿Qué son?
- ¿De dónde vienen?
- Cómo las detectamos, desde la Tierra y con satélites



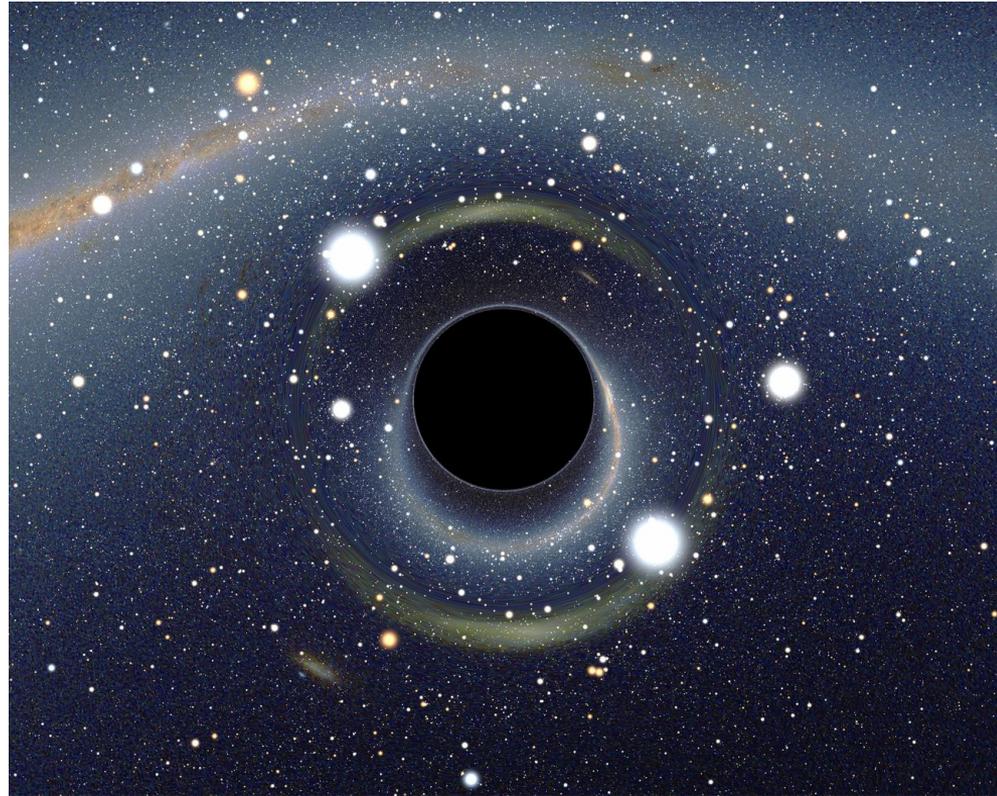
# ¿Qué son las astropartículas?

- Son partículas o señales que viajan desde objetos astrofísicos extremos
- Principales mensajeros: rayos cósmicos, neutrinos, fotones, ondas gravitacionales
- Complementan la astronomía tradicional basada en luz



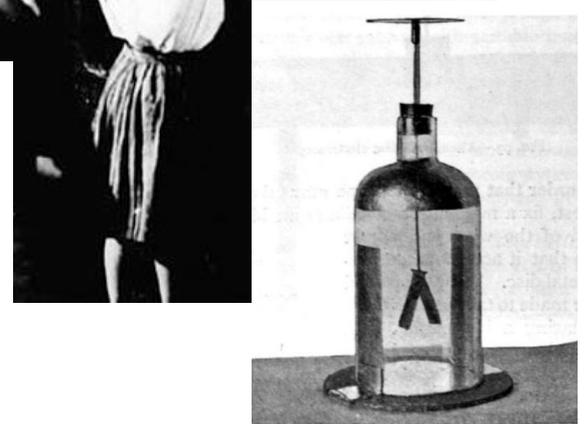
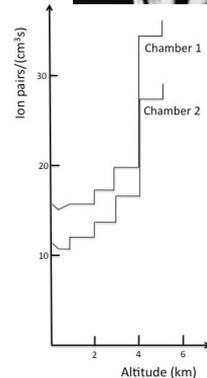
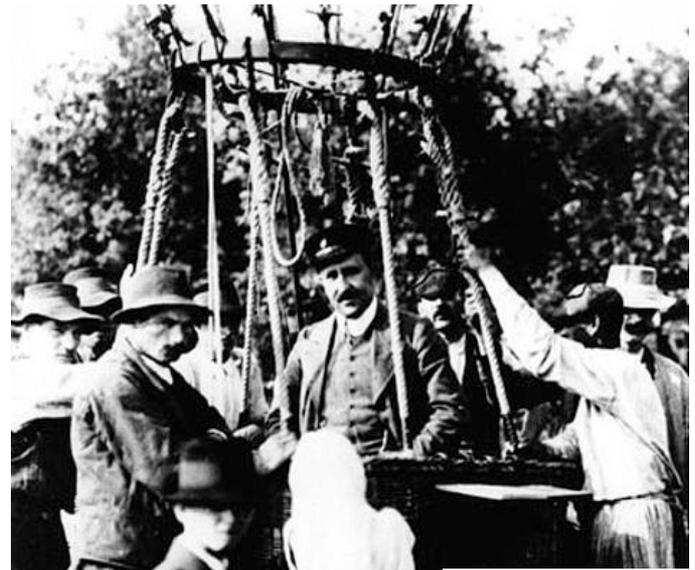
# Fuentes Astro-Mensajeras

- Proviene de algunos de los entornos más extremos y energéticos del Universo.
- Restos de Supernovas
- Núcleos Galácticos Activos (AGN) y Blázares
- Fusión de Agujeros Negros y Estrellas de Neutrones
- Estrellas y Nebulosas de Púlsar
- El Sol



# Una Perspectiva Histórica

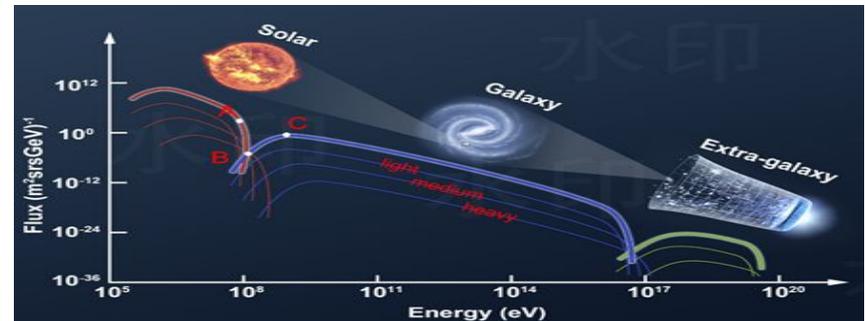
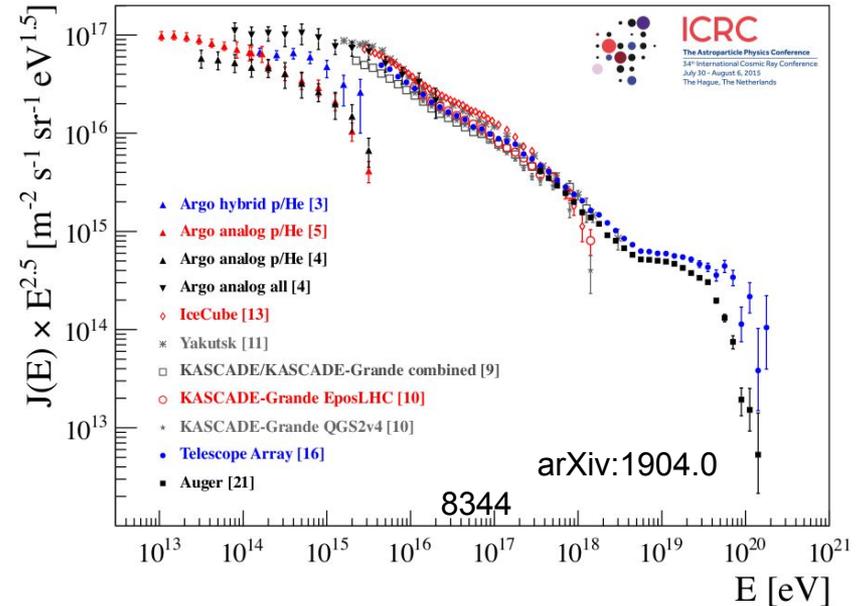
- 1912: Victor Hess descubrió los rayos cósmicos con vuelos en globo
- Se confirma que el espacio está lleno de partículas energéticas
- Primer paso hacia la astrofísica de partículas



Carlson, A. De Angelis, Eur. Phys. J. H 35, 309 (2011).

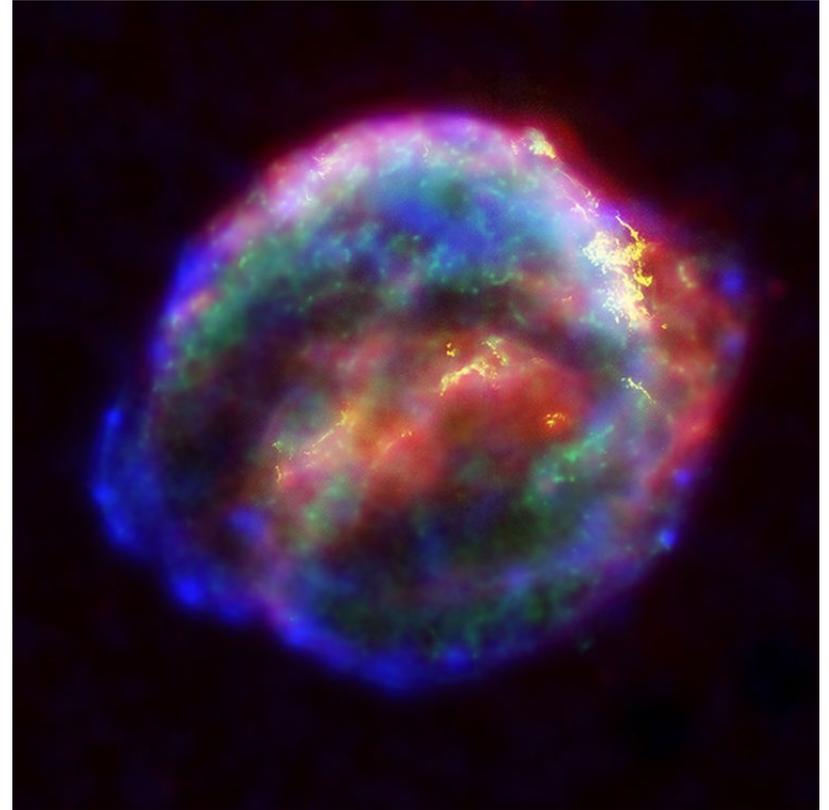
# El Espectro de Rayos C3smicos

- Se extiende desde GeV hasta m3s de  $10^{20}$  eV
- Rasgos caracter3sticos: rodilla, segunda rodilla, tobillo, corte GZK
- Energ3as mucho mayores que en el LHC



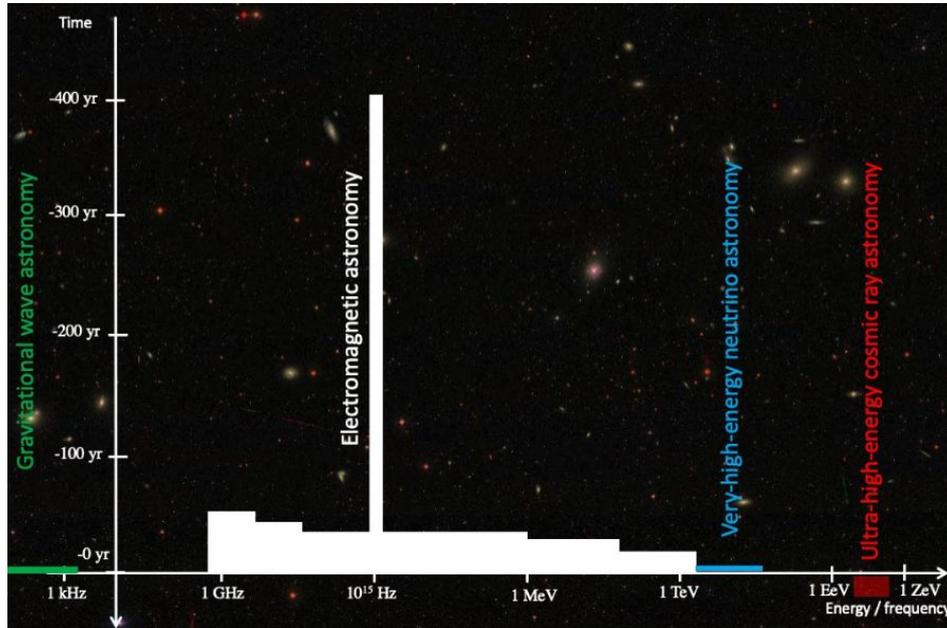
# El Paradigma de las Supernovas

- Restos de supernovas:  
principales aceleradores  
galácticos
- Mecanismo de aceleración:  
choques de plasma (DSA)  
(aceleración de Fermi)
- Pregunta abierta: ¿pueden  
llegar a energías de PeV?  
(enigma de los Pevatrones)



Remanente de la supernova de  
Kepler, SN 1604.

# Astronomía Multi-Mensajero

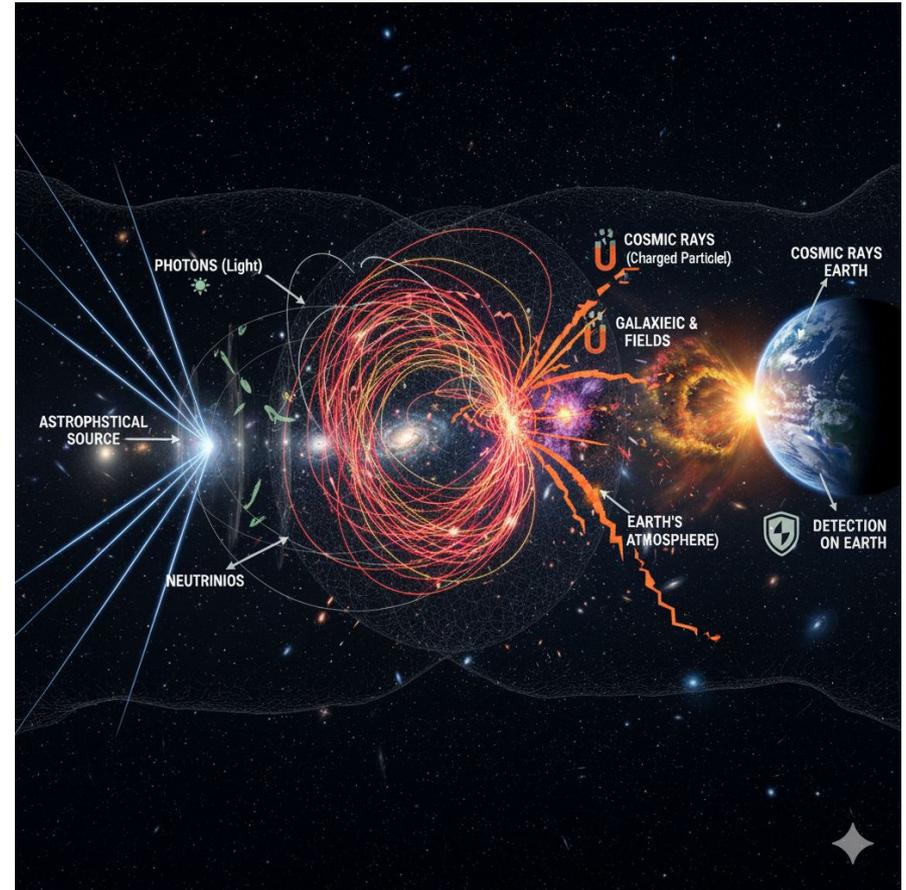


arXiv:1907.07392

- Cada mensajero ofrece una pieza del rompecabezas
- Fotones: información directa de fuentes
- Neutrinos y rayos cósmicos: trazadores de aceleradores hadrónicos
- Ondas gravitacionales: eventos cataclísmicos

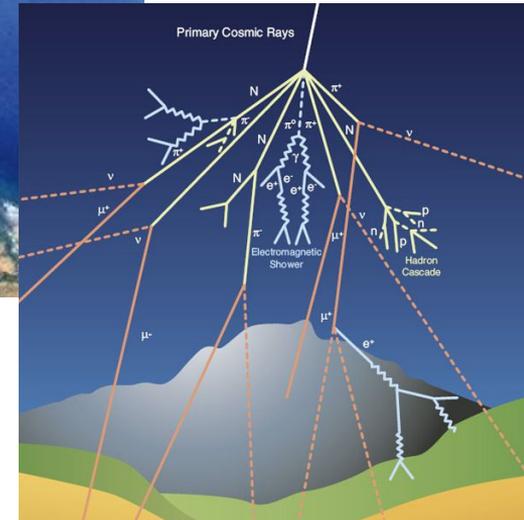
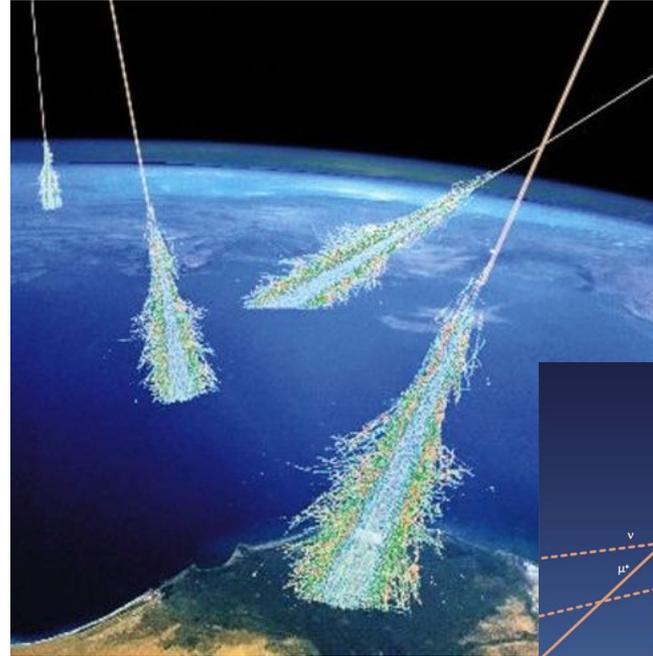
# El Desafío de Estudiar Rayos Cósmicos

- En su mayoría partículas cargadas, desviadas por campos magnéticos galácticos
- No podemos “apuntar” su origen directamente
- Necesitamos métodos indirectos de detección



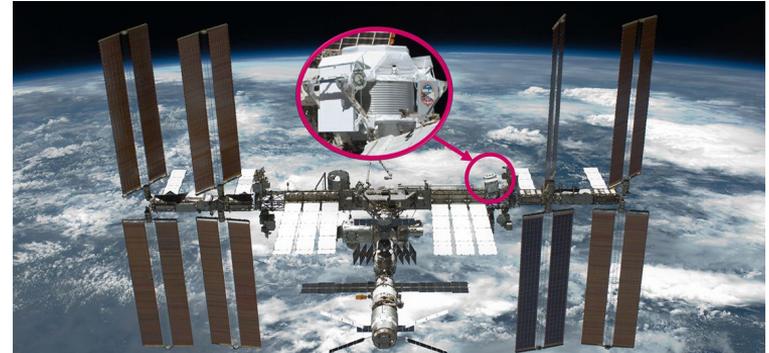
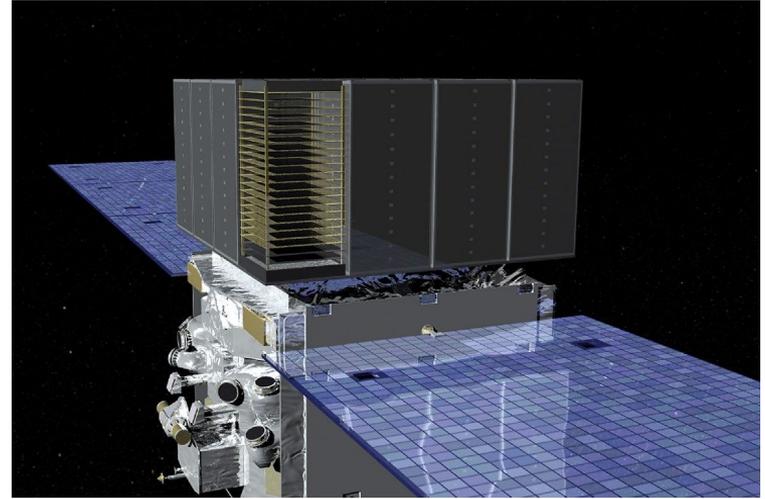
# Lluvias Atmosféricas Extensas (EAS)

- Cuando un rayo cósmico entra a la atmósfera produce una cascada de partículas
- Millones de electrones, fotones y muones alcanzan la superficie
- La atmósfera funciona como un gigantesco detector

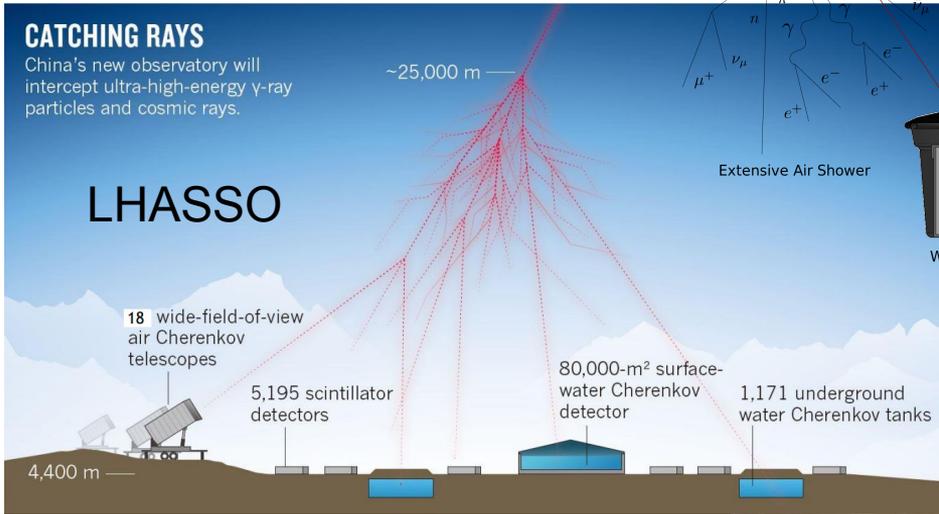
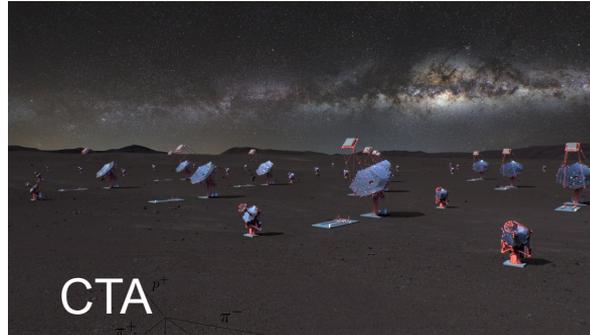


# Detección desde el Espacio

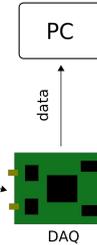
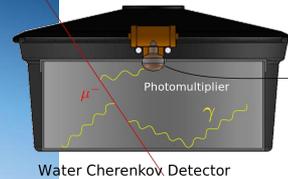
- Satélites y globos permiten medir rayos cósmicos y fotones de alta energía directamente
- Ejemplos:
  - AMS-02 en la Estación Espacial Internacional (protones, núcleos, antimateria)
  - Fermi-LAT (rayos gamma hasta cientos de GeV)
  - Experimentos de globos (CREAM, ATIC)
- Limitación: área de detección pequeña → se alcanza hasta cientos de TeV, no más



# Técnicas de Detección en Tierra



WCD LAGO



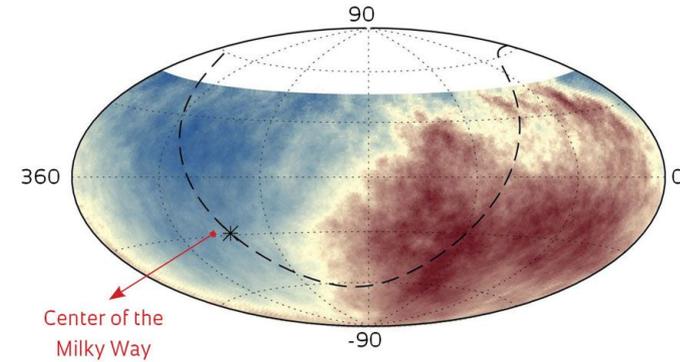
- Arreglos de detectores de partículas:  
KASCADE, ARGO-YBJ
- Cherenkov atmosférico:  
CTA (telescopios)
- Cherenkov en agua:  
HAWC
- Híbridos: Observatorio Pierre Auger
- Nueva generación:  
LHAASO

# Lo que Aprendemos

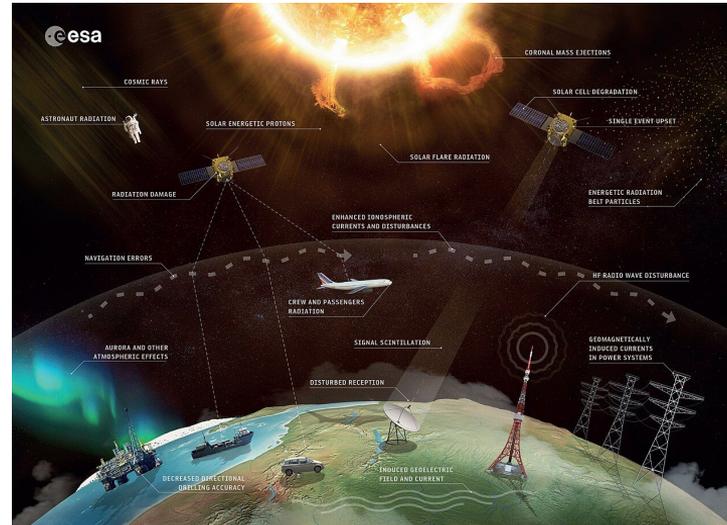
- Espectro de energías: transición de rayos cósmicos galácticos a extragalácticos
- Composición: protones, helio, núcleos pesados
- Anisotropía: pequeñas desviaciones que apuntan hacia posibles fuentes
- Clima espacial:
  - El Sol también acelera partículas cargadas
  - Estas partículas afectan satélites, comunicaciones, auroras
  - Es un laboratorio natural para entender rayos cósmicos

# The concentration of particles in the sky

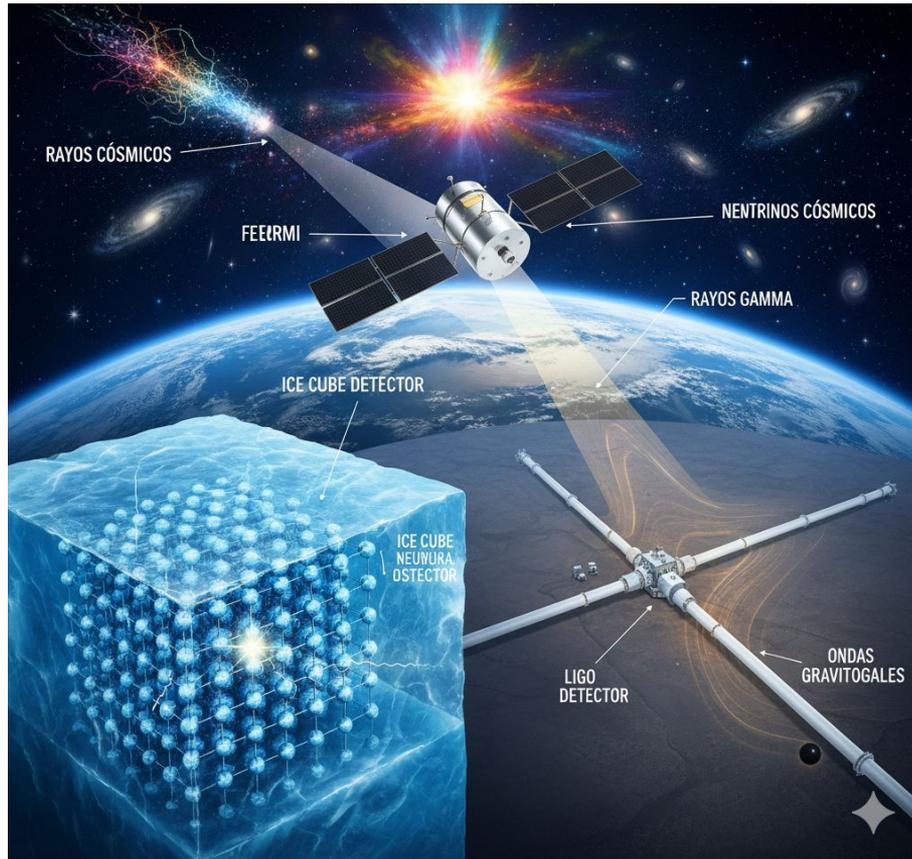
Researchers at the Pierre Auger Observatory measured how the incidence of cosmic rays varies in different directions in space and found that the phenomenon is most likely to occur in a region far from the Milky Way (area shown in red)



SOURCE PIERRE AUGER OBSERVATORY  
MAP PIERRE AUGER/SCIENCE



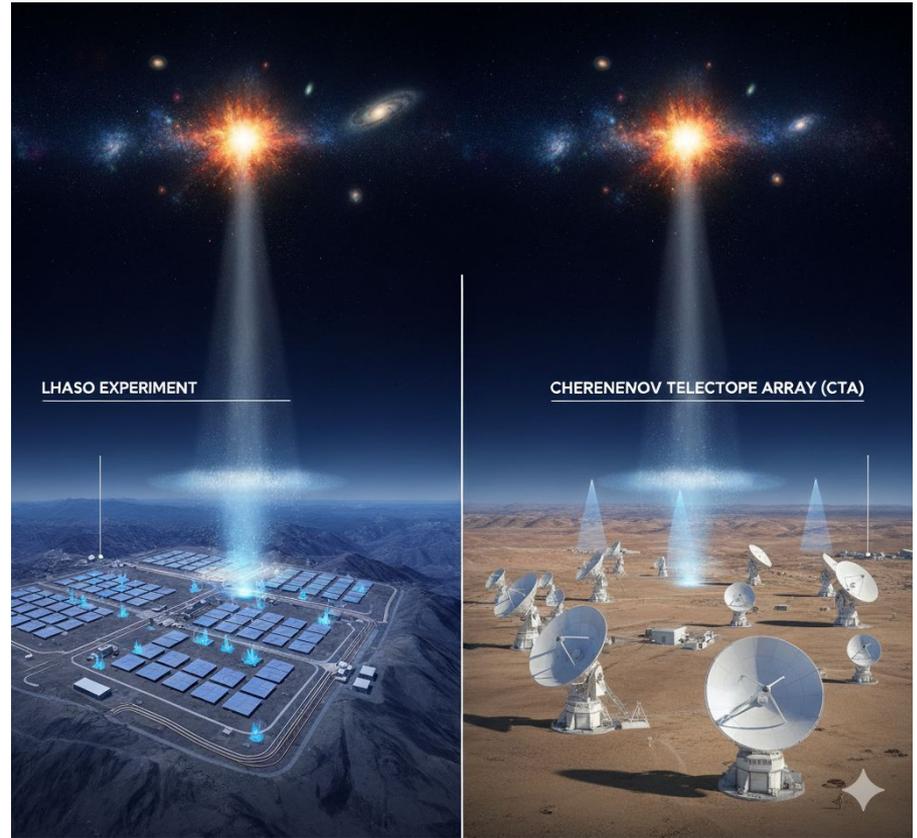
# Rayos C3smicos en Contexto Multi-Mensajero



- Comparaci3n con neutrinos (IceCube), ondas gravitacionales (LIGO), rayos gamma (Fermi, HAWC)
- La combinaci3n permite identificar aceleradores extremos
- Ejemplo: correlaciones neutrinos + rayos gamma

# El Futuro de las Astropartículas

- Próximos proyectos: CTA, LHAASO, IceCube-Gen2
- Preguntas abiertas: origen de los rayos cósmicos más energéticos
- Explosiones extremas: GRBs
- Oportunidad para descubrir nueva física



# Conclusiones

- Las astropartículas son claves para explorar fenómenos extremos
- Los detectores en Tierra nos abren una ventana al cielo invisible
- El futuro es de la astronomía multi-mensajero

