

**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY

¿DE DONDE VIENEN LOS RAYOS COSMICOS DE MAYOR ENERGIA?

Diego Harari

Centro Atómico Bariloche – Instituto Balseiro
Imágenes del Universo – Strings@ar
Buenos Aires - 21 de diciembre 2007

www.auger.org.ar



Llegan a la Tierra partículas
con energías fabulosas
¡¡pero apenas 1/km²/siglo !!

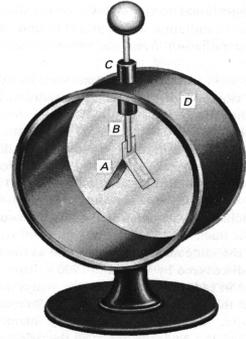
ORIGEN Y NATURALEZA:

**UN ENIGMA QUE COMIENZA A
SER REVELADO POR EL
OBSERVATORIO AUGER**

DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS COSMICOS



VICTOR HESS - 1912
vuela electros copios a 5000
metros de altura. Detecta
“fuente extraterrestre de
radiación penetrante”



Primer enigma:
¿Rayos o Partículas?

Los rayos cósmicos son partículas:
mayoritariamente protones y otros núcleos atómicos
que llegan a la Tierra desde el espacio

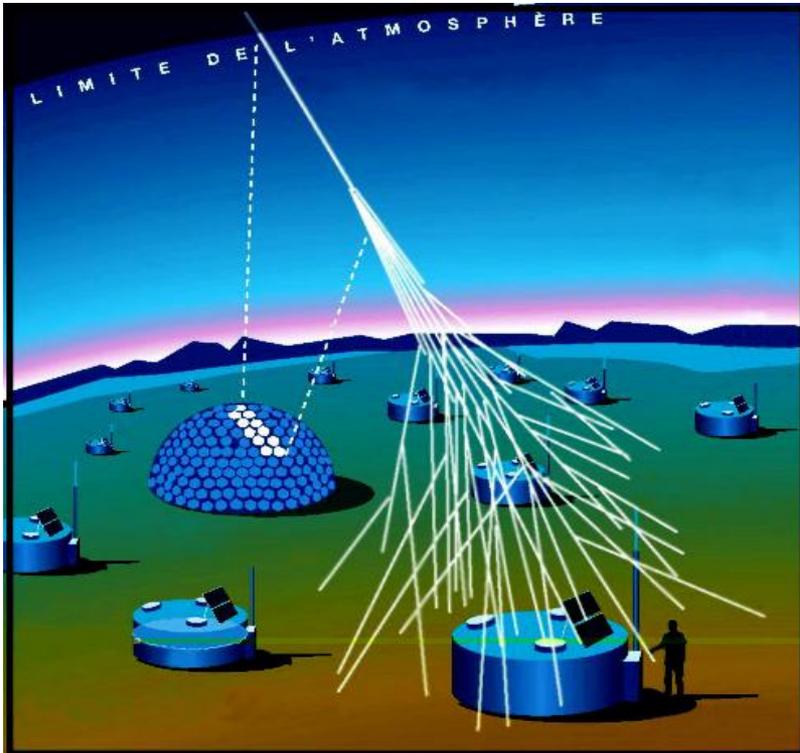
Lluvias atmosféricas extendidas:

Al chocar con la atmósfera
el rayo cósmico primario
produce una cascada de partículas secundarias

millones de partículas llegan al suelo
esparcidas sobre varios km²

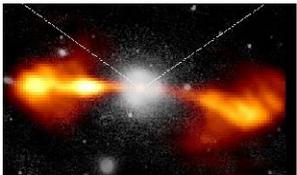
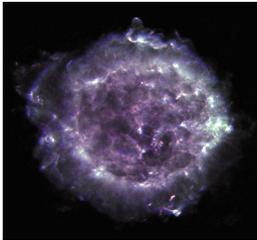
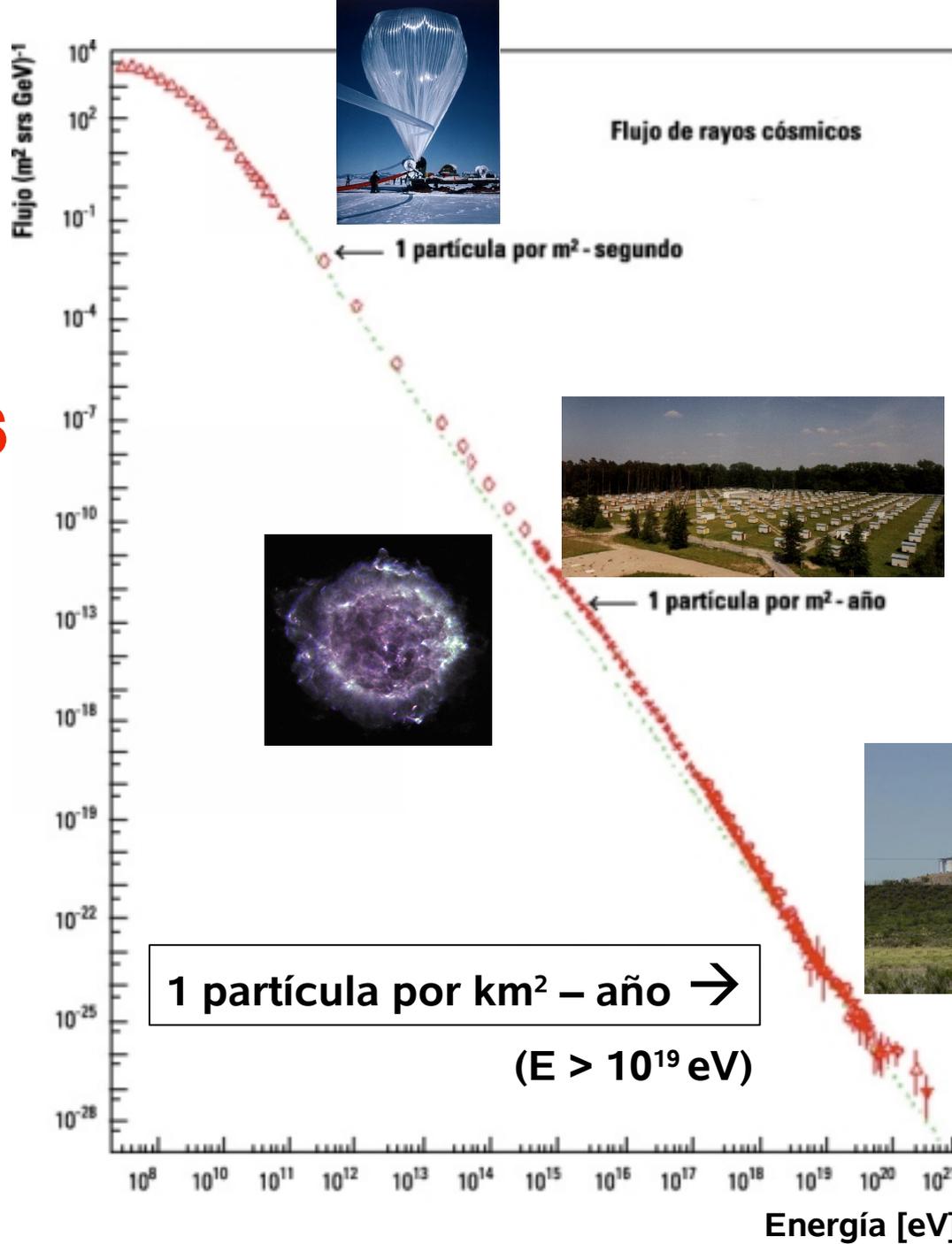
**Descubiertas por
Pierre Auger
(1936)**

a altas energías
se registran con
detectores
de superficie y
observando
la fluorescencia
en el aire





FLUJO DE RAYOS COSMICOS



Energías medidas en electron-Voltios [eV]

1 eV: energía que adquiere un electrón acelerado por un potencial de un Voltio (las pilas comunes tienen 1.5 Voltios)

13.6 eV ligadura del electrón en el Hidrógeno

10^4 eV energía de un electrón en pantalla de TV

10^6 eV ligadura de un protón en un núcleo

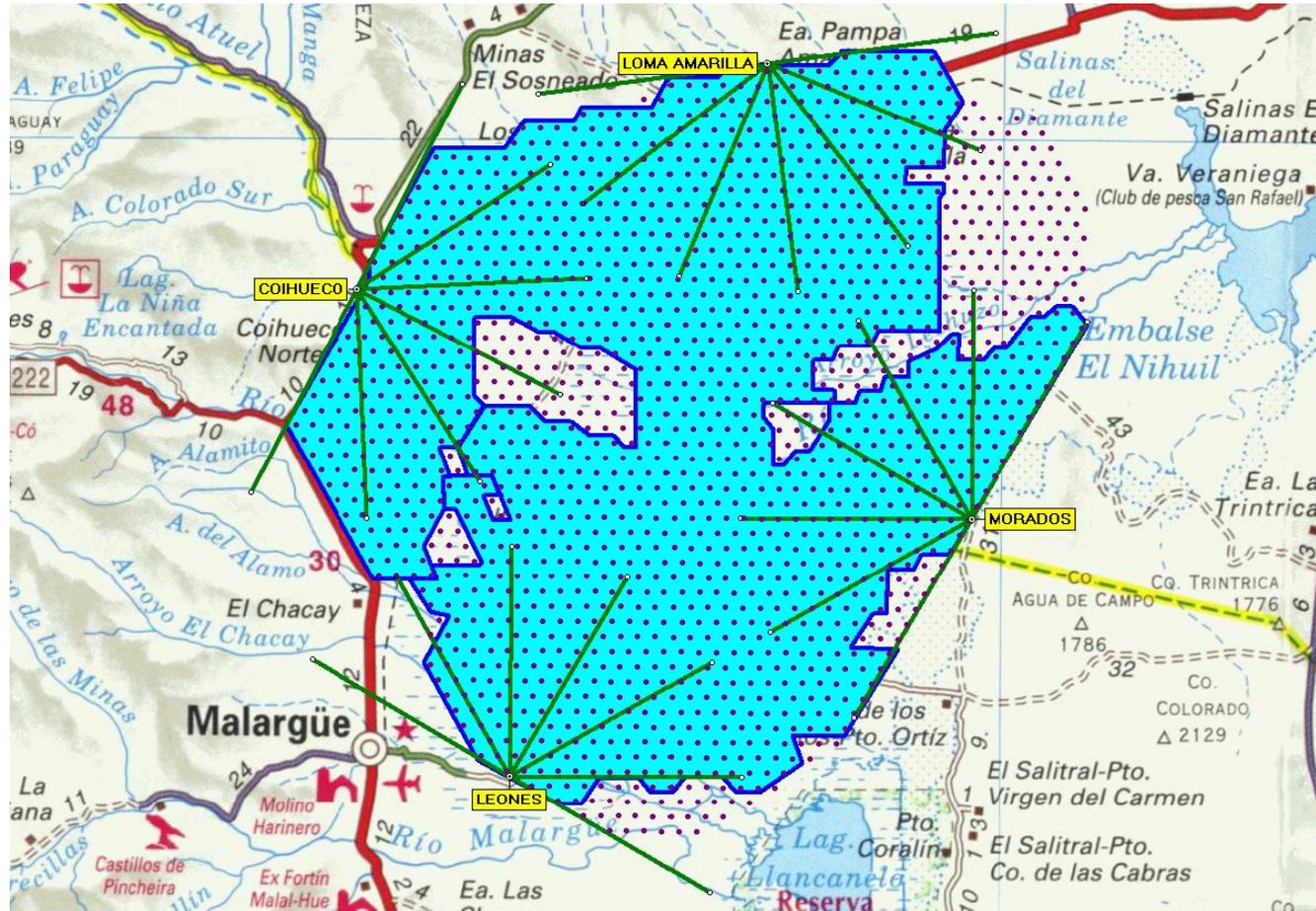
10^{12} eV máxima energía en aceleradores

10^{20} eV máxima energía observada de un RC

El Observatorio Pierre Auger:

Llegan tan sólo unos pocos rayos cósmicos con muy alta energía por cada km^2 durante un siglo

¡Hace falta un detector gigante!



1600 detectores de superficie espaciados 1,5 km ocupando 3000 km^2

y 24 telescopios de fluorescencia en 4 “ojos”

OBSERVATORIO PIERRE AUGER

DISEÑO UNICO



Operacion Híbrida:

precisión de la calibración angular y de energía,
tests de consistencia, etc.

COLABORACION AUGER

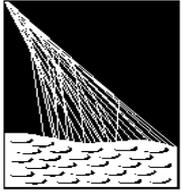
~ 400 participantes

80 instituciones de 17 países

Alemania, Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, República Checa,
Eslovenia, España, Estados Unidos, Francia, Holanda,
Inglaterra, Italia, Mexico, Polonia, Portugal, Vietnam

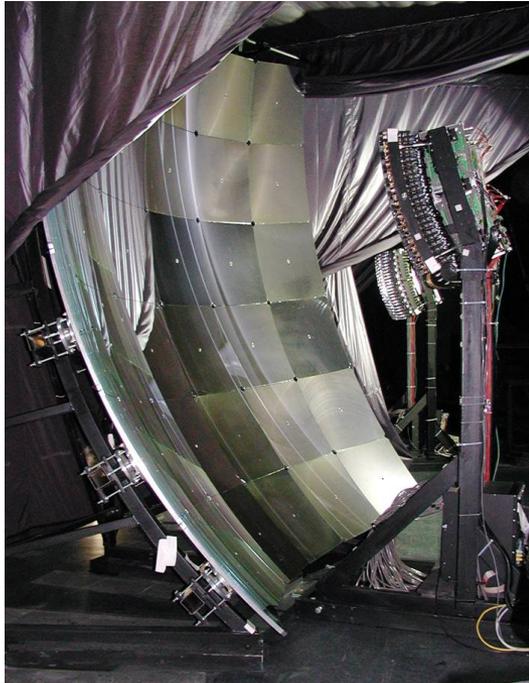


Argentina: TANDAR & CAB (CNEA), UNLP, UTN, IAFE, UBA, CEILAP



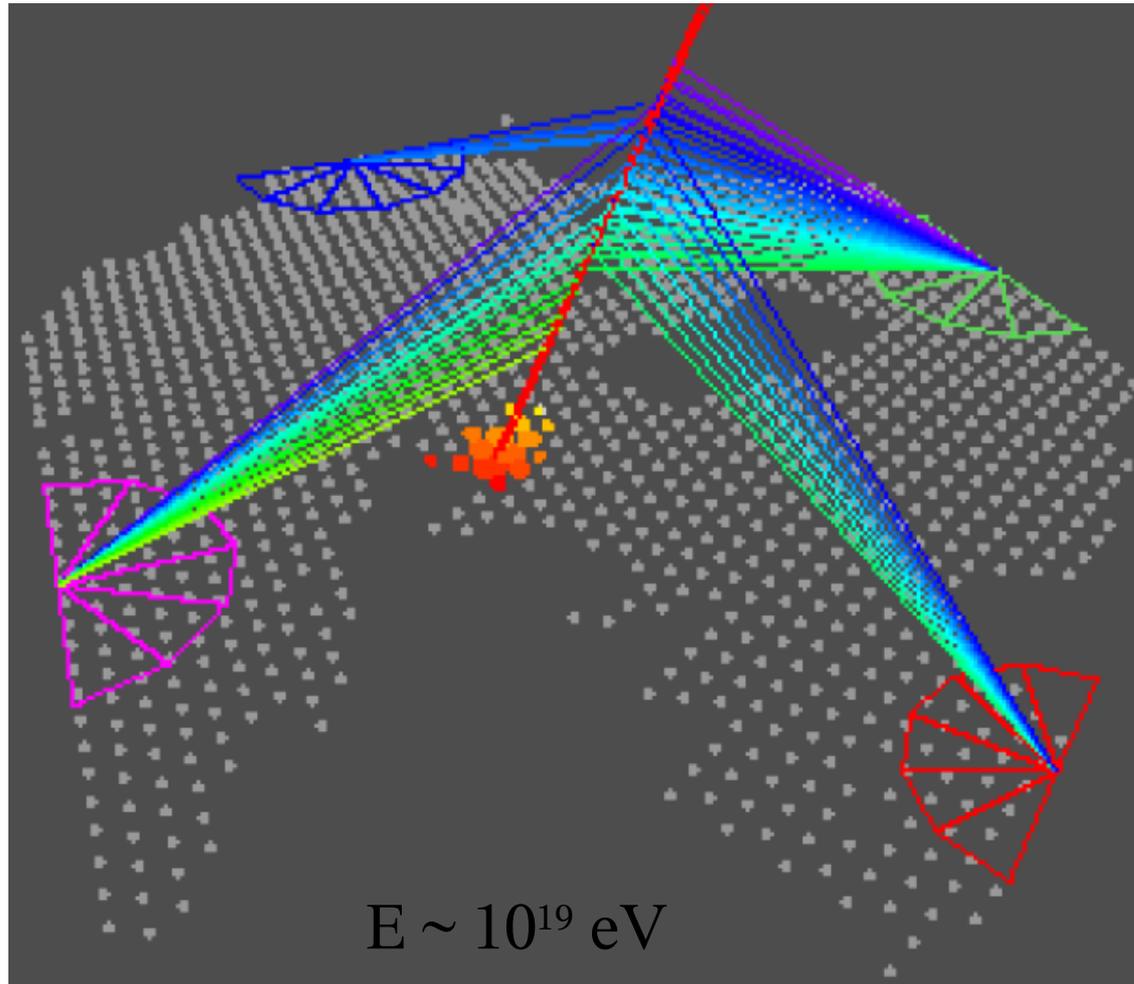
**PIERRE
AUGER**
OBSERVATORY

Detectores de Fluorescencia

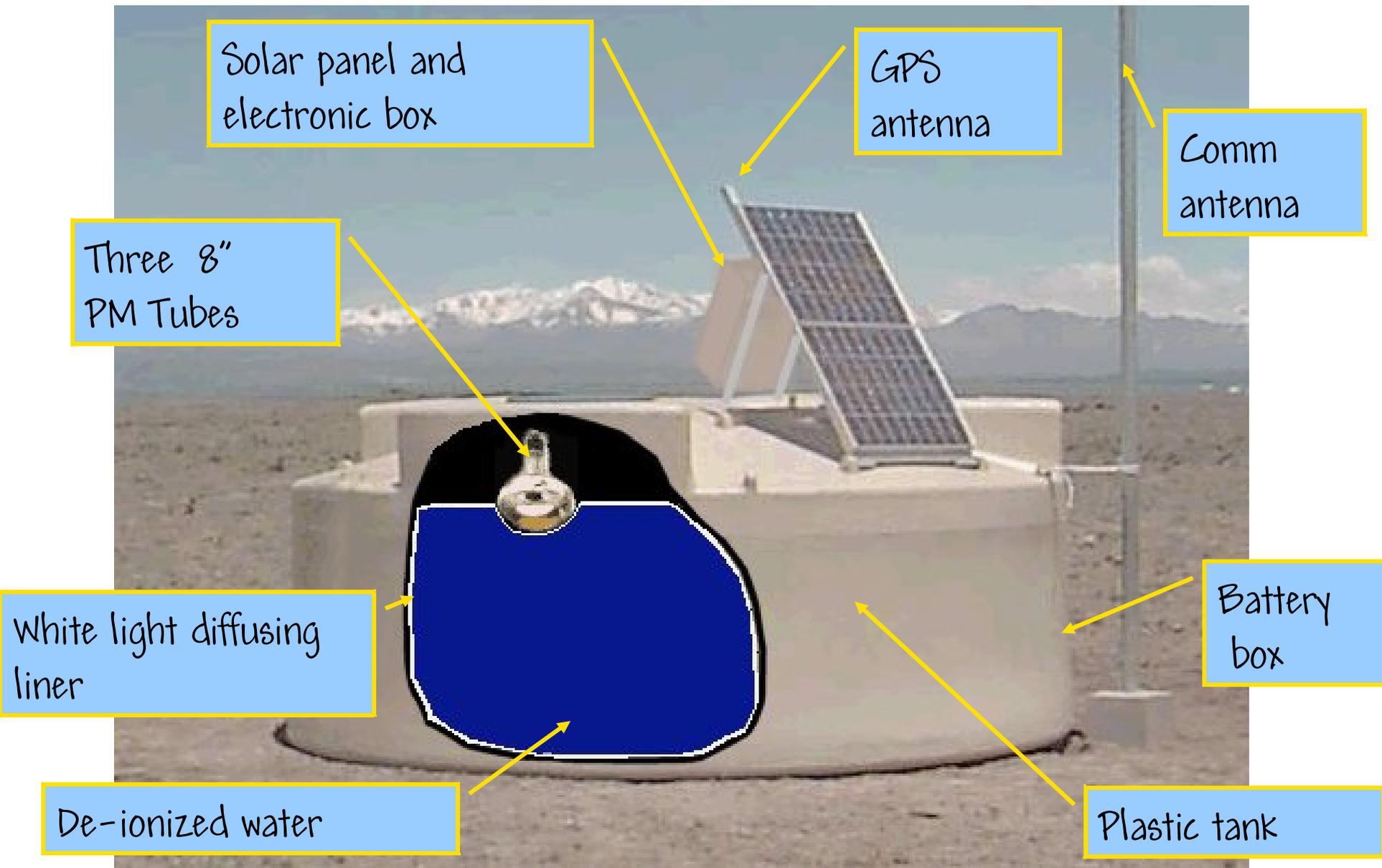


Detectores de Superficie

Mayo 2007: Primer evento “cuádruple” por fluorescencia

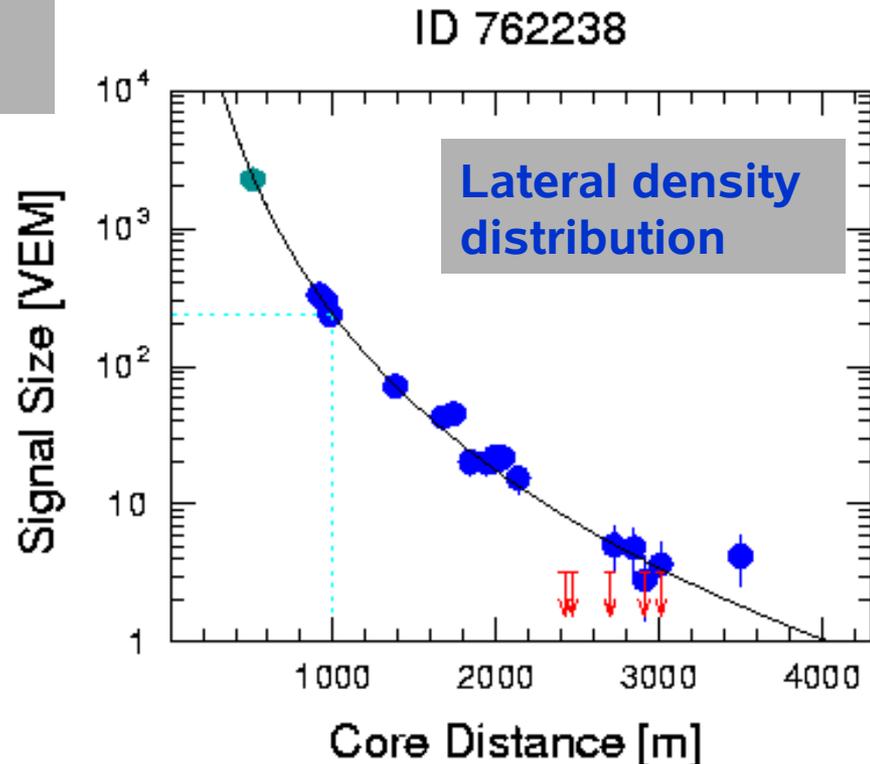
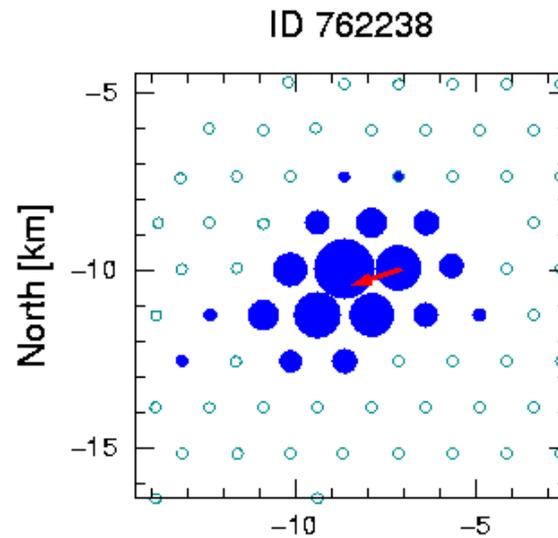
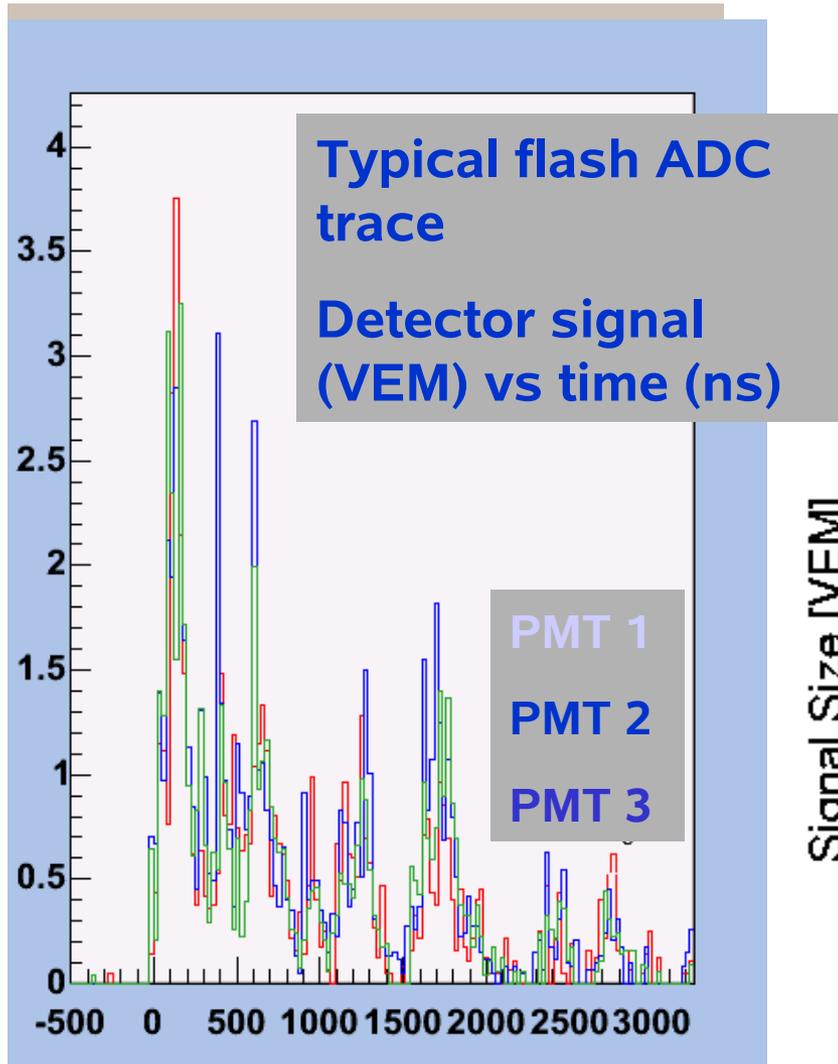


DETECTOR DE SUPERFICIE



Ejemplo de Evento

$\Theta \sim 48^\circ$, $\sim 7 \times 10^{19}$ eV



EL ENIGMA DE LOS RAYOS COSMICOS CON MAYOR ENERGIA (CERCANA A 10^{20} eV)

¿Qué son?

protones o núcleos pesados o?

¿De dónde vienen?

galácticos o extragalácticos?,
explosiones estelares, galaxias activas, ...?

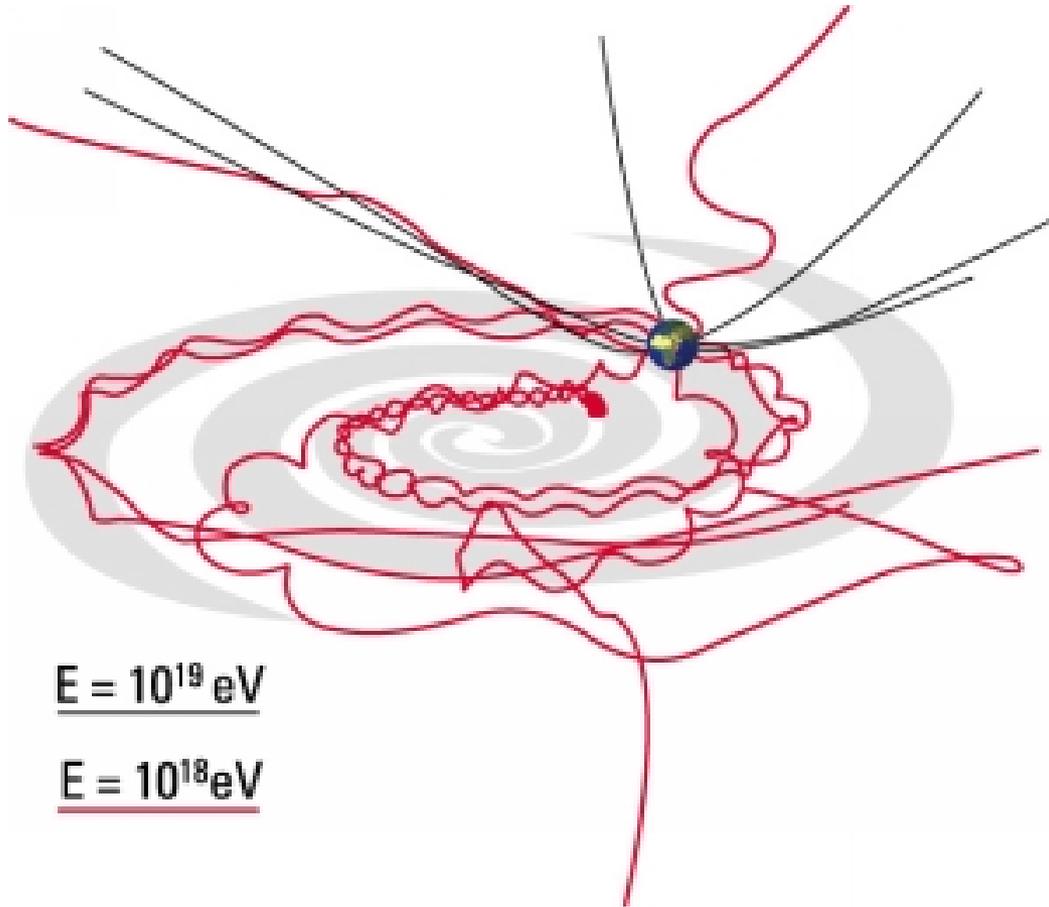
¿Los desvían los campos magnéticos (extra)galácticos?

¿Cómo se aceleran a energías millones de veces más grandes que las máximas alcanzadas en aceleradores?

¿Existe una energía límite?

¿Pierden energía en su viaje hasta nosotros?

ALGUNAS CLAVES PARA RESOLVER EL ENIGMA



La galaxia actúa como un gigantesco imán que desvía a las partículas cargadas

Cuanto mayor es la energía, menor es la desviación

Desviación pequeña para protones con $E \sim 10^{20} \text{ eV}$

**ASTRONOMIA DE RAYOS COSMICOS
REQUIERE MUY ALTAS ENERGIAS
(EL PROBLEMA ES QUE LLEGAN MUY POCOS)**

OTRA CLAVE:

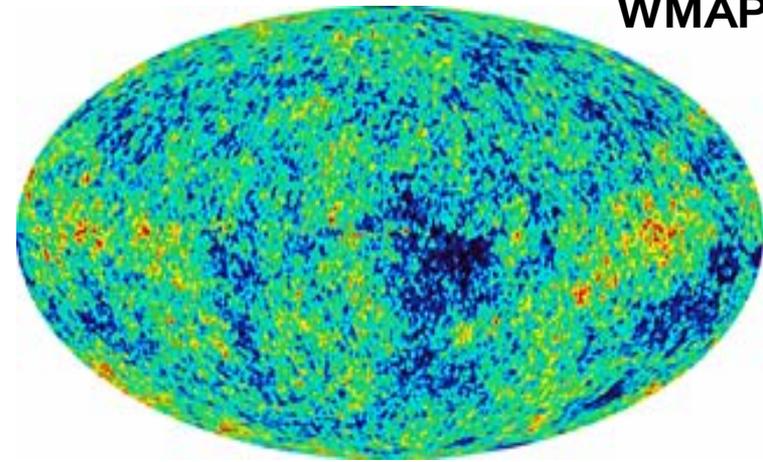
**una reliquia del Big-Bang
impide que lleguen desde muy lejos
con mucha energía**

**el Universo está lleno de un
fondo cósmico de radiación
que frena a los rayos cósmicos
de muy alta energía**

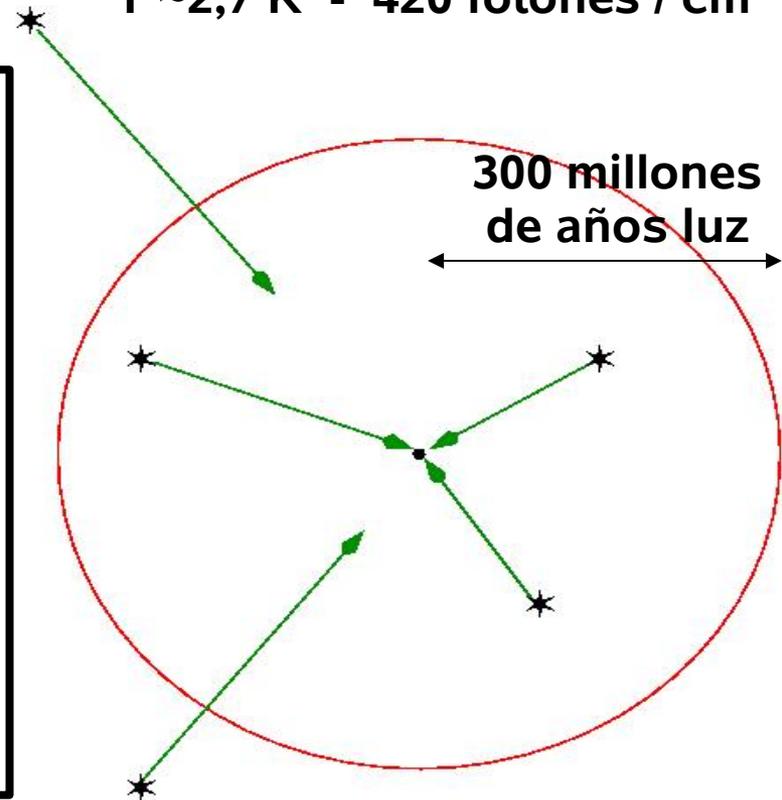
**Sólo pueden llegar rayos cósmicos
con $E > 6 \times 10^{19}$ eV
si provienen de galaxias
no muy lejanas:
no más de algunos
cientos de millones de años luz**

**Efecto predicho por
Greisen, Zatsepin y Kuzmin
en 1967**

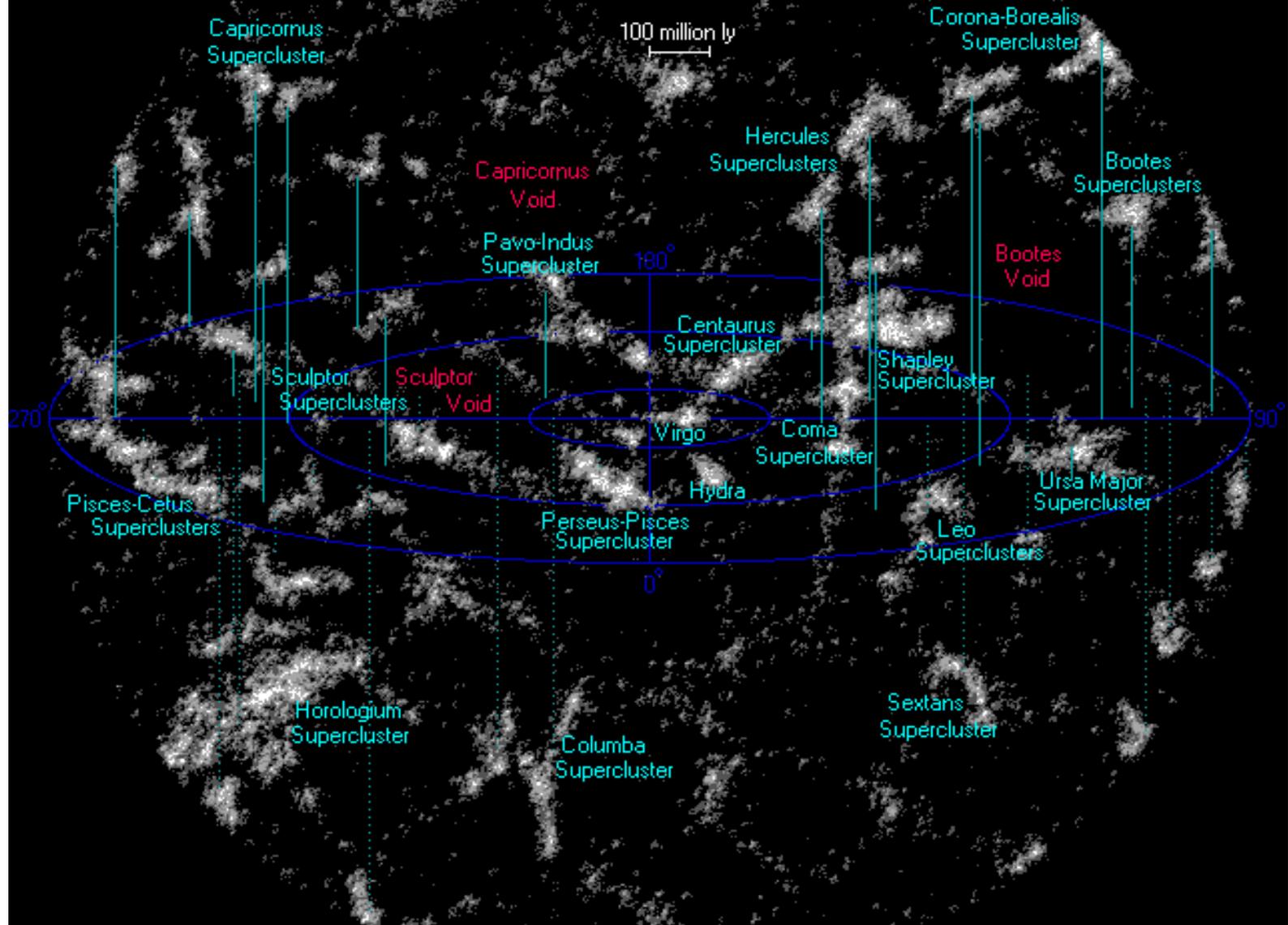
WMAP



Radiación cósmica de fondo
 $T \sim 2,7$ K - 420 fotones / cm^3

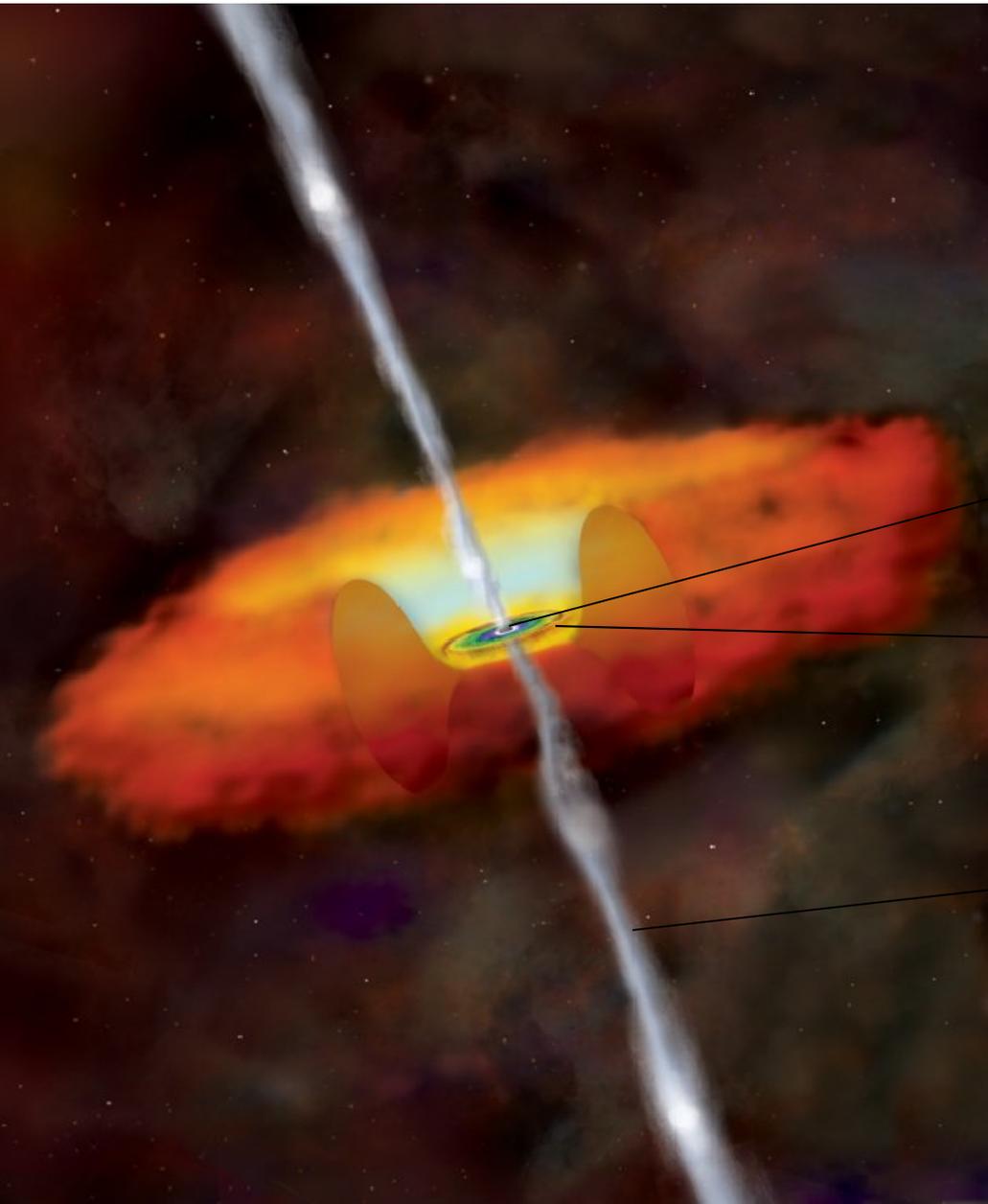


El Universo hasta 300 millones de años luz



galaxias concentradas en cúmulos

OTRA CLAVE: GALAXIAS CON NUCLEOS ACTIVOS (AGN)



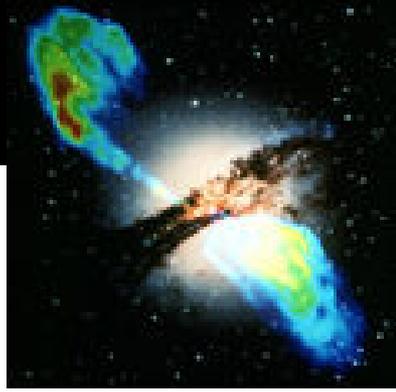
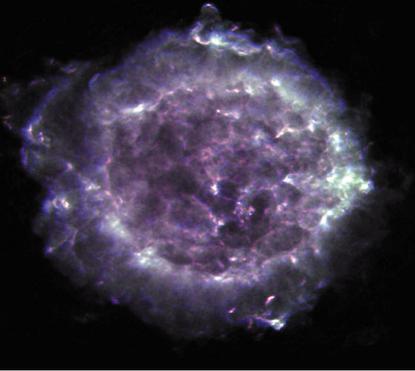
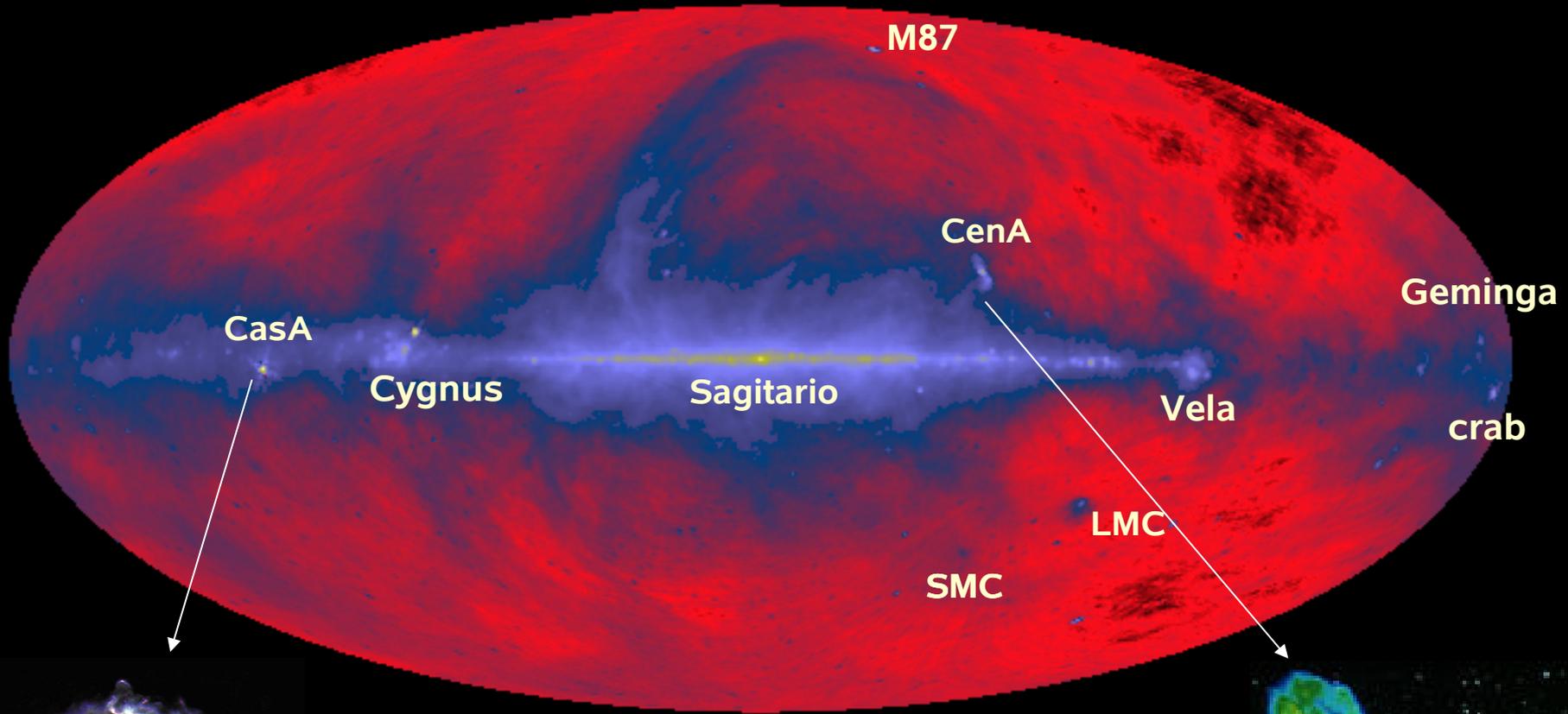
**buenos candidatos
para acelerar
rayos cósmicos
hasta las
mayores energías**

Agujero negro
supermasivo

Disco de materia
siendo devorada

Chorros de partículas
muy energéticas
eyectados

algunas fuentes potentes (en radio)

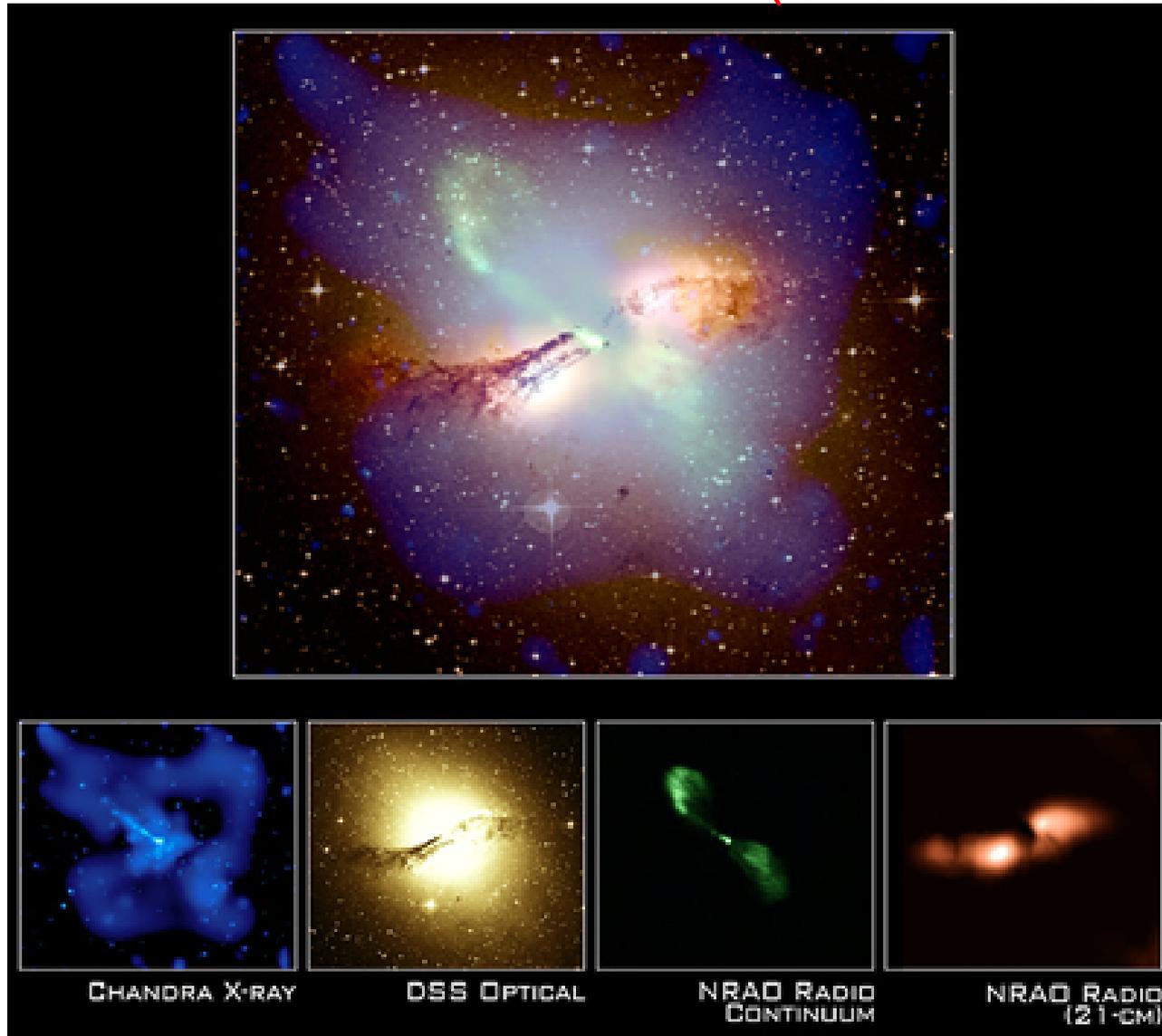


supernovas: candidatas
preferidas para $E < 10^{18}$ eV

galaxias activas: candidatas
plausibles para $E > 10^{18}$ eV

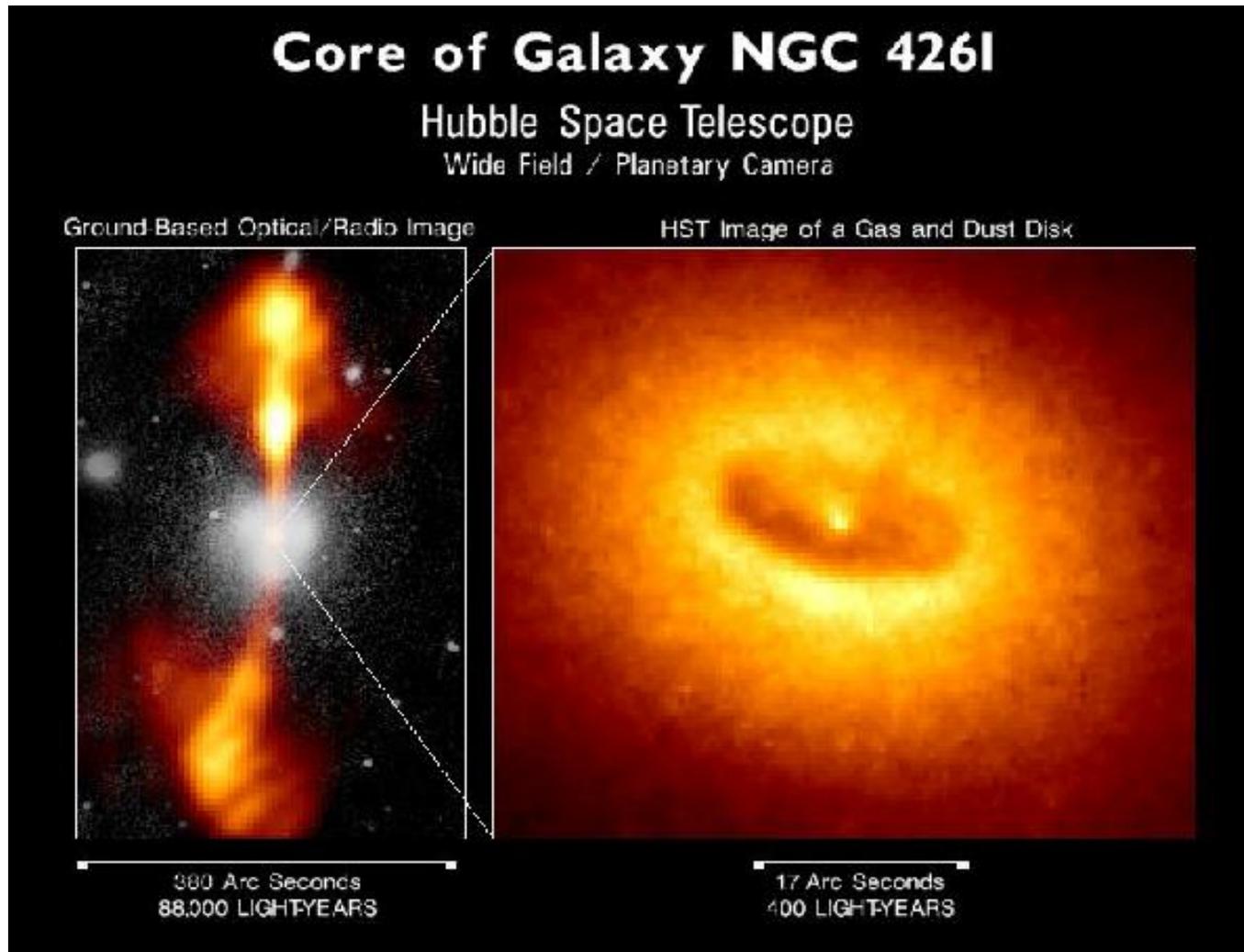
Galaxia Activa más cercana: Centaurus A

(a 10 millones de años luz)



agujero negro central de más de 100 millones de masas solares
colisión de 2 galaxias
jet relativista

Otro ejemplo: M87 en Virgo





PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

**Los rayos cósmicos con $E > 6 \times 10^{19}$ eV
proviene(n) mayoritariamente de regiones
a menos de ~ 300 millones de años luz
en las que hay galaxias activas (AGN)**

DESCUBRIMIENTO EN 2 ETAPAS

1) Datos analizados: 1 de enero 2004 al 26 de mayo 2006

Primer indicio

12/15 rayos cósmicos a menos de $\sim 3^\circ$ de algún AGN

La región del cielo cubierta por círculos de 3 grados alrededor de las AGN es 1/5 del total: si las direcciones de arribo tuvieran una distribución uniforme se esperaría que, por azar, sólo 3 vinieran de esa región

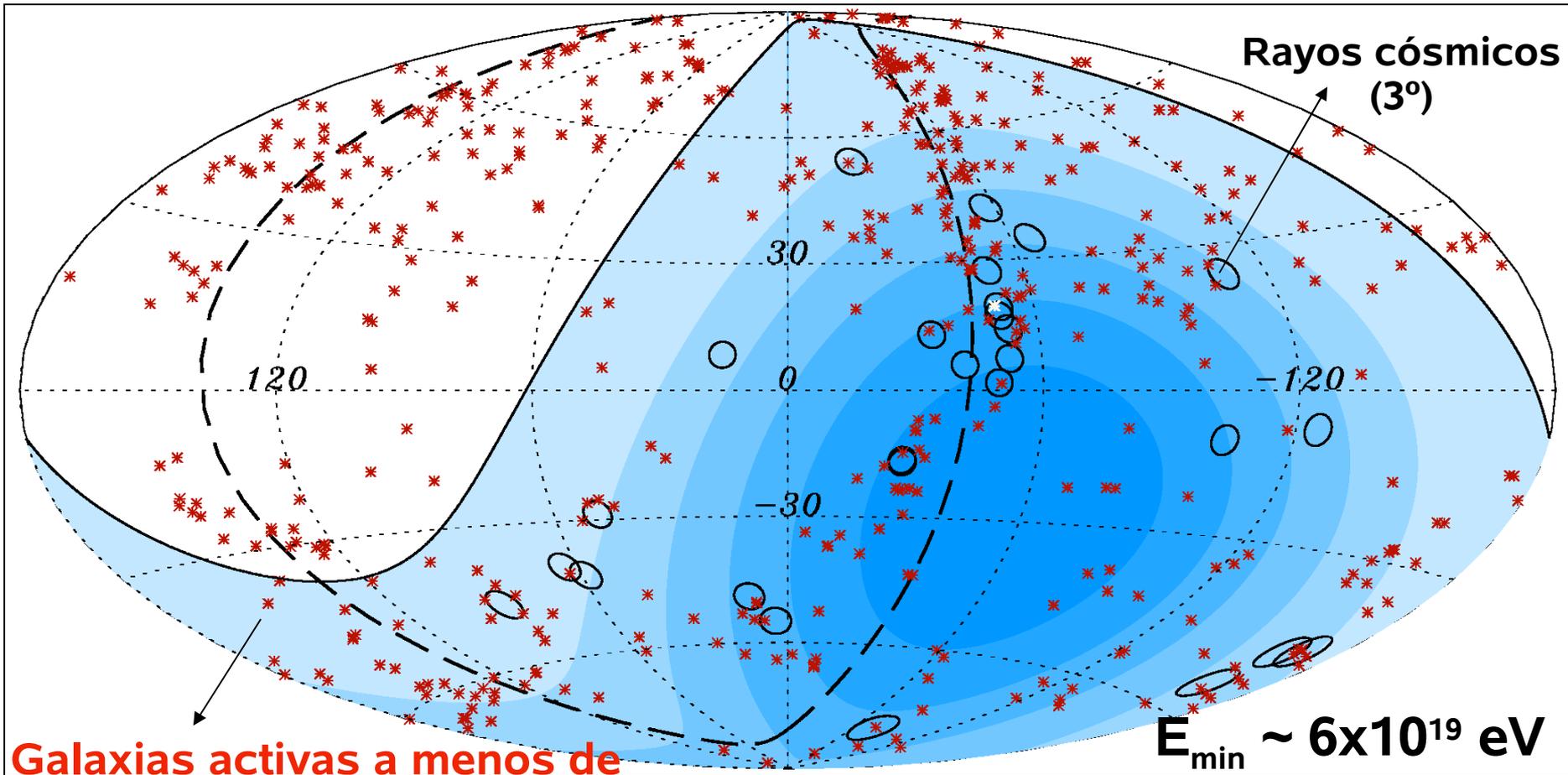
2) Datos analizados: 27 de mayo 2006 al 31 de agosto 2007

**Test con parámetros fijados a priori
en un set de datos independientes**

8/13 correlaciones

Probabilidad de distribución uniforme (isotropía) $< 1\%$

CORRELACION ENTRE RAYOS COSMICOS Y AGN CERCANAS

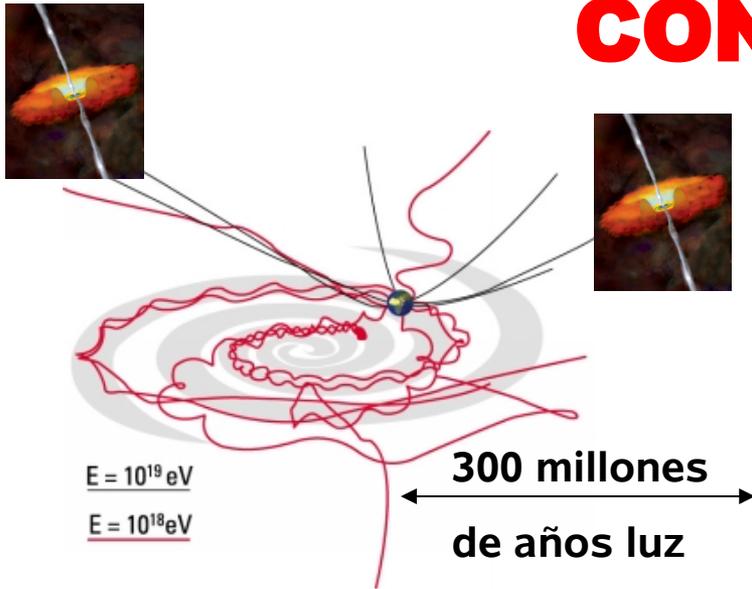


Galaxias activas a menos de
250 Millones de años luz

$E_{\min} \sim 6 \times 10^{19} \text{ eV}$

20/27 correlaciones
(~ 6 por azar para un flujo isótopo)

CONCLUSION



Se abre una nueva ventana
al Universo:
**ASTRONOMIA DE
RAYOS COSMICOS**

PERSPECTIVAS

Identificar fuentes individuales

Reconocer el (los?) mecanismos de aceleración

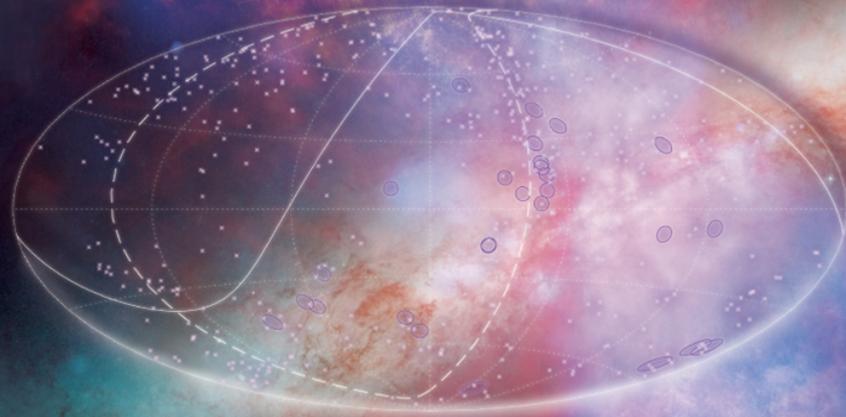
Caracterizar los campos magnéticos galáctico e intergaláctico

.....



9 November 2007 | \$10

Science



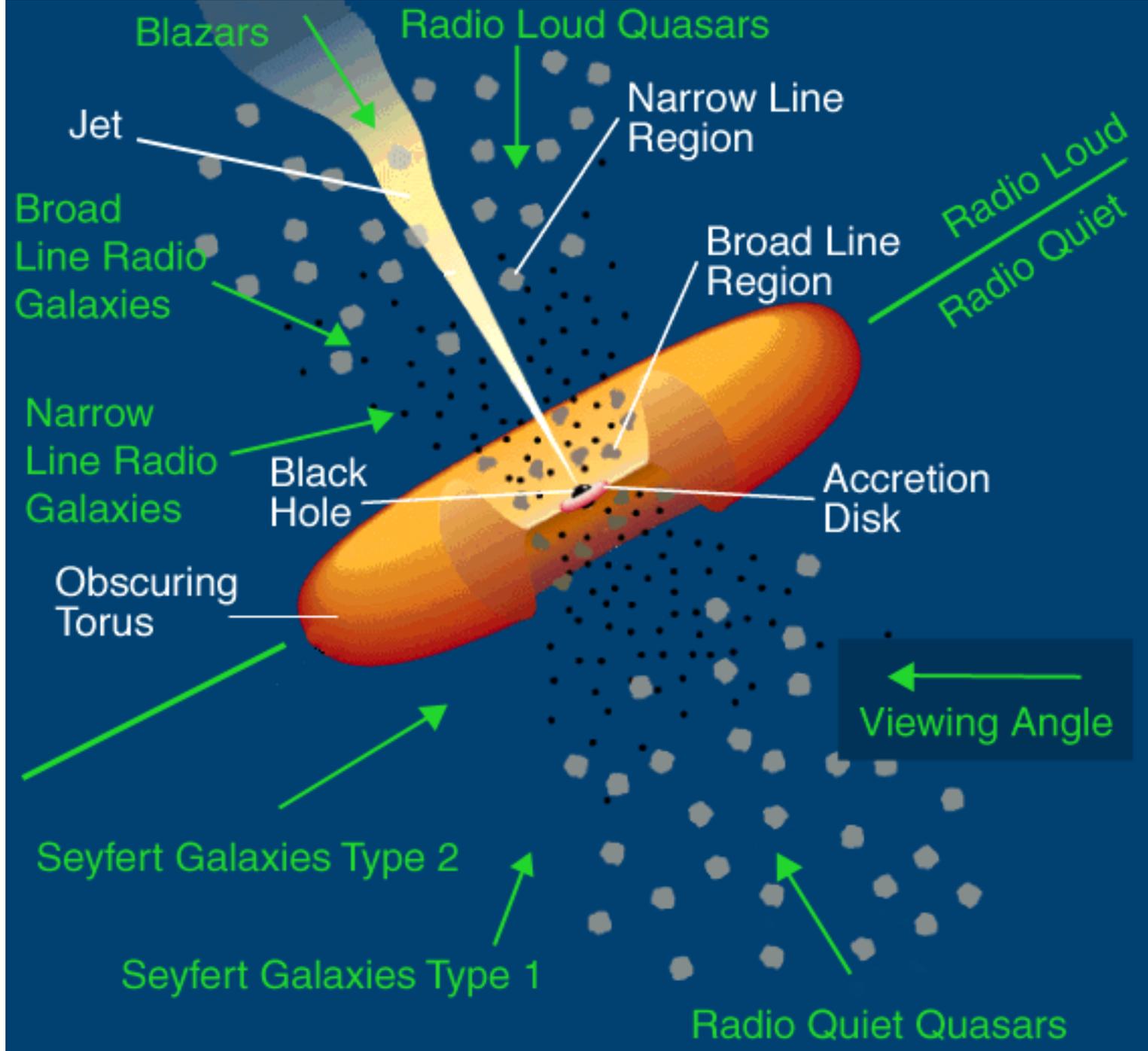
75^c

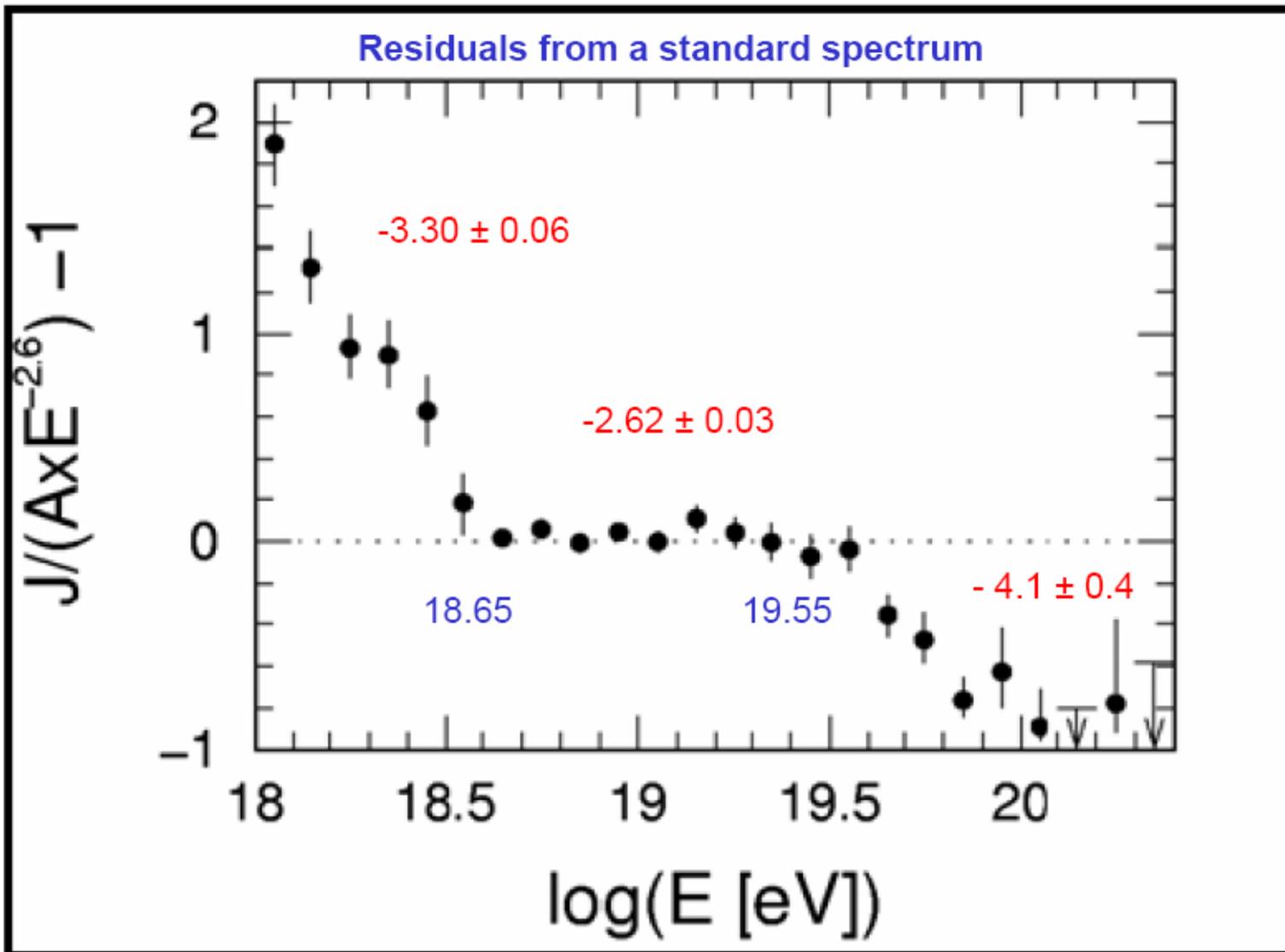
10²⁰ ev



REPÚBLICA ARGENTINA
CORREO OFICIAL

2007





El flujo cae a la mitad del valor extrapolado con $E^{-2.62}$ para $E \sim 6 \times 10^{19}$ eV