

C.A. CIENCIAS FISICO-MATEMÁTICAS

El Experimento HAWC estatus actual

Karen Salomé Caballero Mora

FCFM-MCTP-UNACH

Seminario MCTP
7 de agosto de 2018

Estructura

- Rayos gamma
- Descripción del experimento
- Mediciones
- Algunos resultados recientes
- Resumen



Rayos Gamma TeV (10^{12})

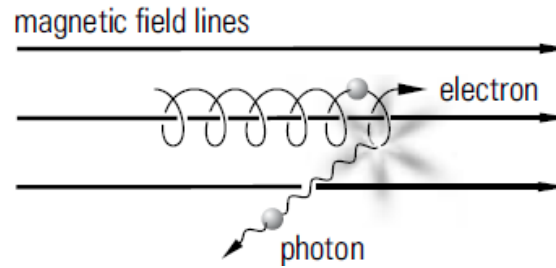


- Fotonos de alta energía
 - No tienen carga
 - No tienen masa en reposo
- Deben ser creados por interacciones de partículas cargadas de alta energía o por decaimiento o aniquilación de partículas de materia oscura de alta energía

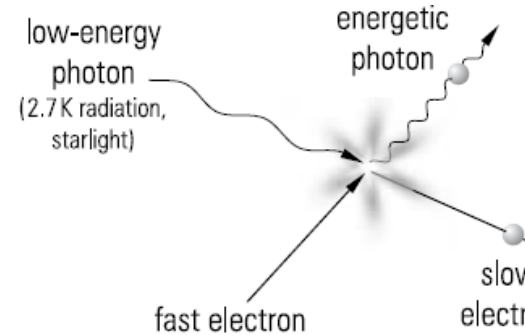
Mecanismos de producción



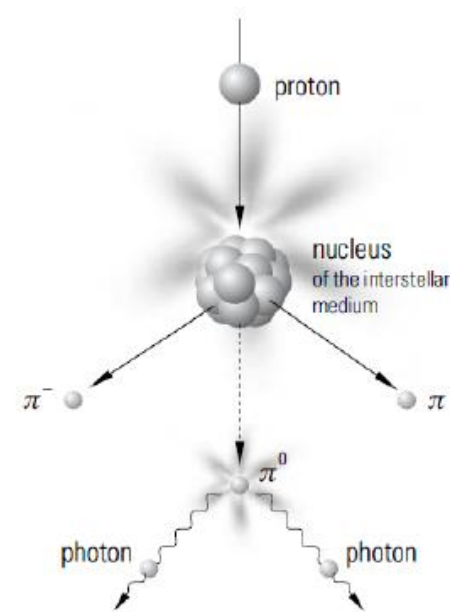
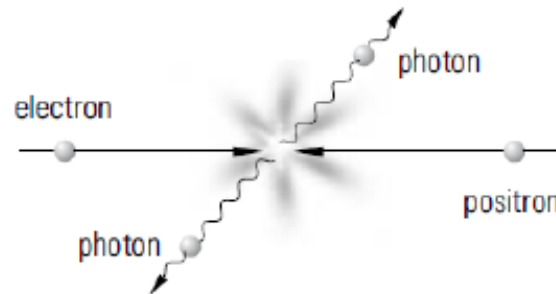
- Radiación sincrotrón



- Producción Compton inversa



- Piones hadrónicos de interacciones de RC



- Aniquilación o decaimiento de materia oscura

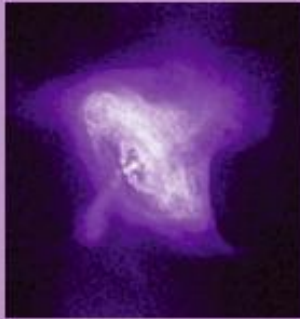
$$\chi + \chi \rightarrow \gamma, W^{\pm}, q\bar{q}, \tau^{\pm} \quad \chi \rightarrow q\bar{q}, \tau^{\pm}$$

Astrofísica de Rayos Gamma



Galácticos

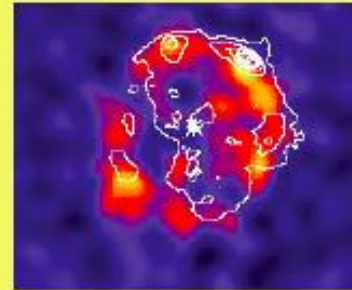
Pulsars Wind Nebula



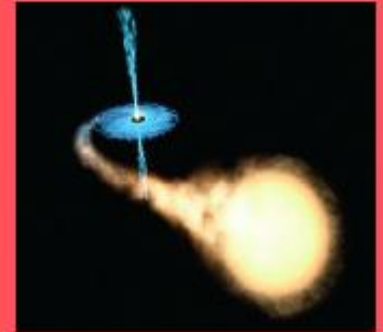
Pulsars



Supernova Remnant

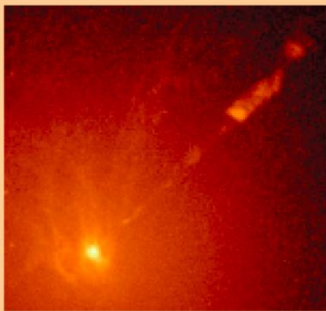


X-ray Binaries



Extragalácticos

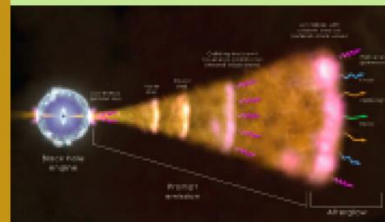
Active Galactic Nuclei



Starburst Galaxies



Gamma-Ray Burst

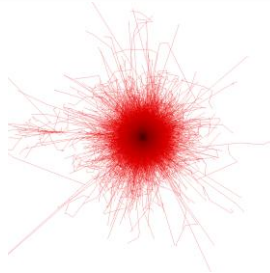


Indirect Dark Matter



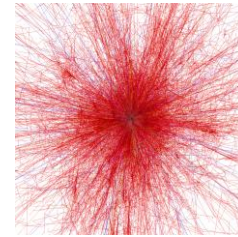
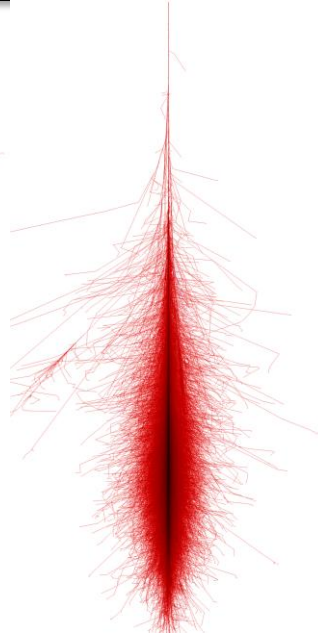
Detectores de Rayos Gamma

- A diferencia de los rayos cósmicos, el chubasco que producen tiene un frente menos extendido
- Producen chubascos jóvenes que se desarrollan en la alta atmósfera, no llegan a la superficie terrestre



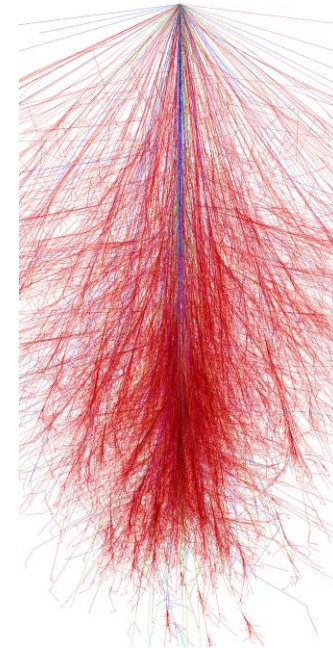
Frente

Rayo gamma
(fotón) de 1 TeV

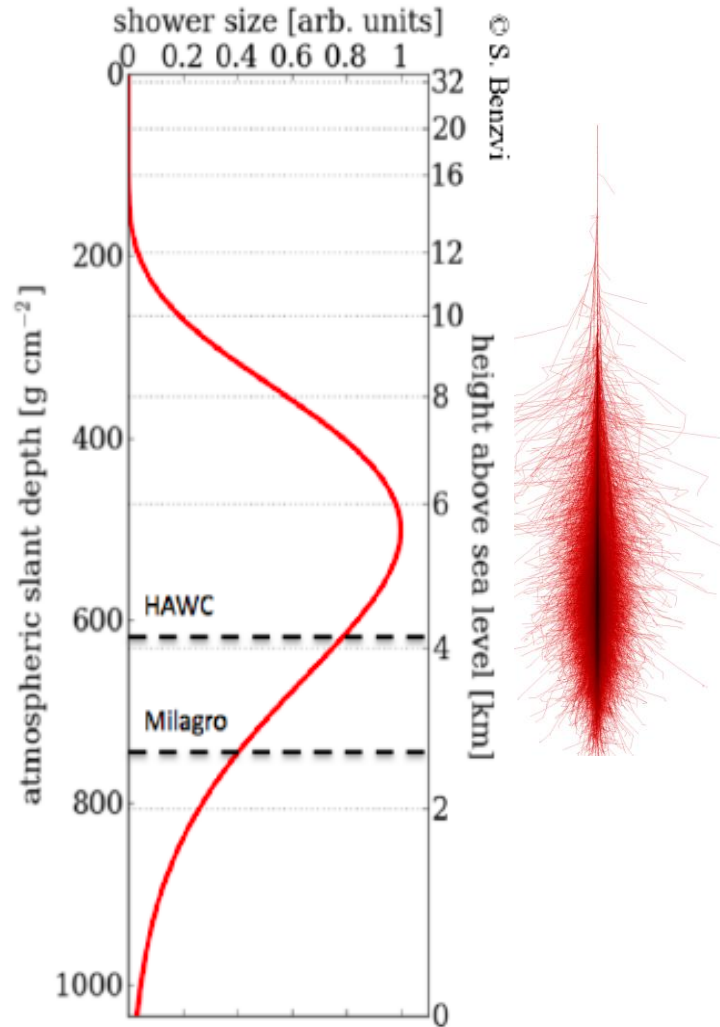


Frente

Rayo cósmico
(hierro) de 1 TeV



Detectores de Rayos Gamma



Satélite

Campo de visión amplio,
Operación continua

Chubascos Atmosféricos
Extendidos (EAS)



WCD

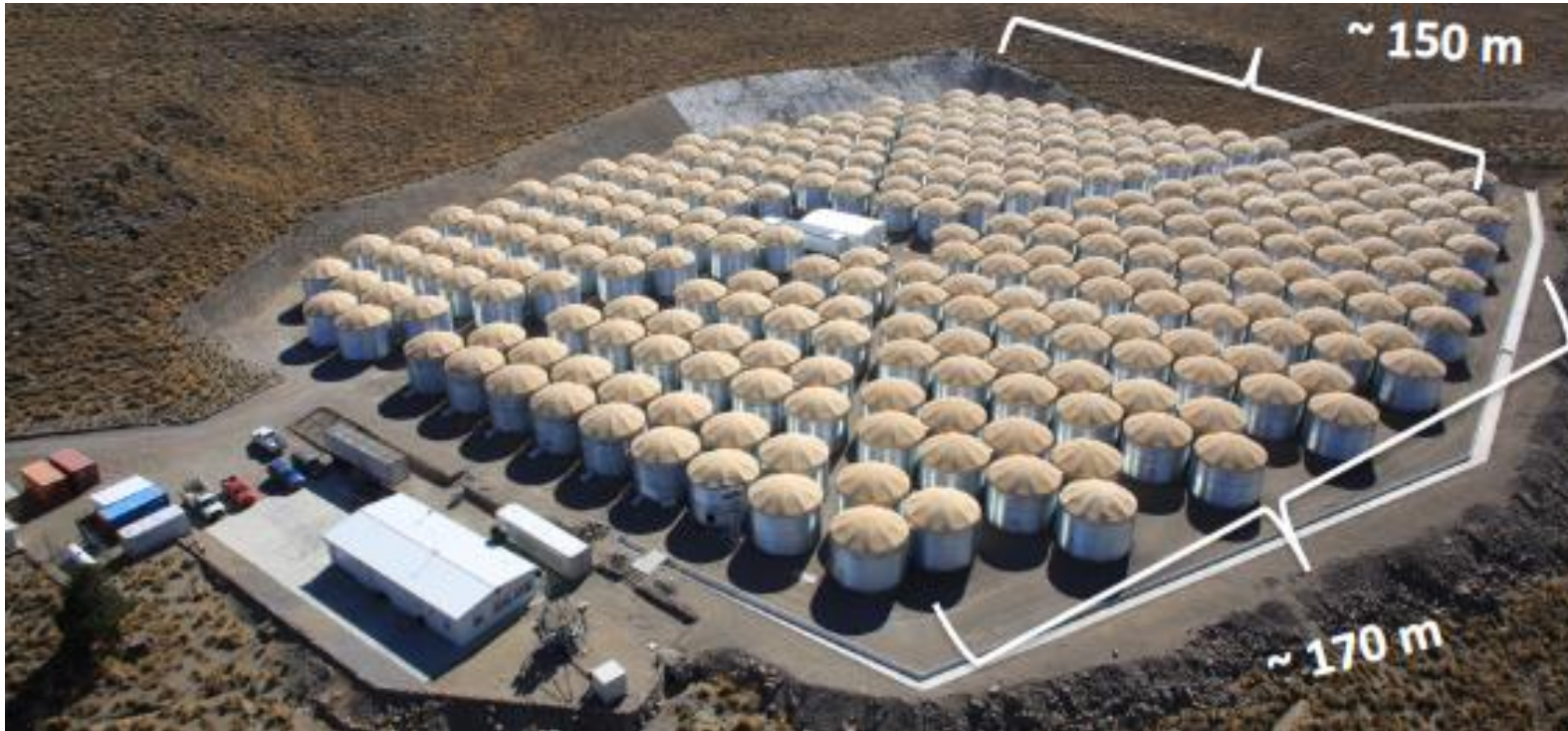


VERITAS

Imaging
Atmospheric
Cherenkov
Telescope
(IACT)

HAWC

High Altitude Water Cherenkov Observatory

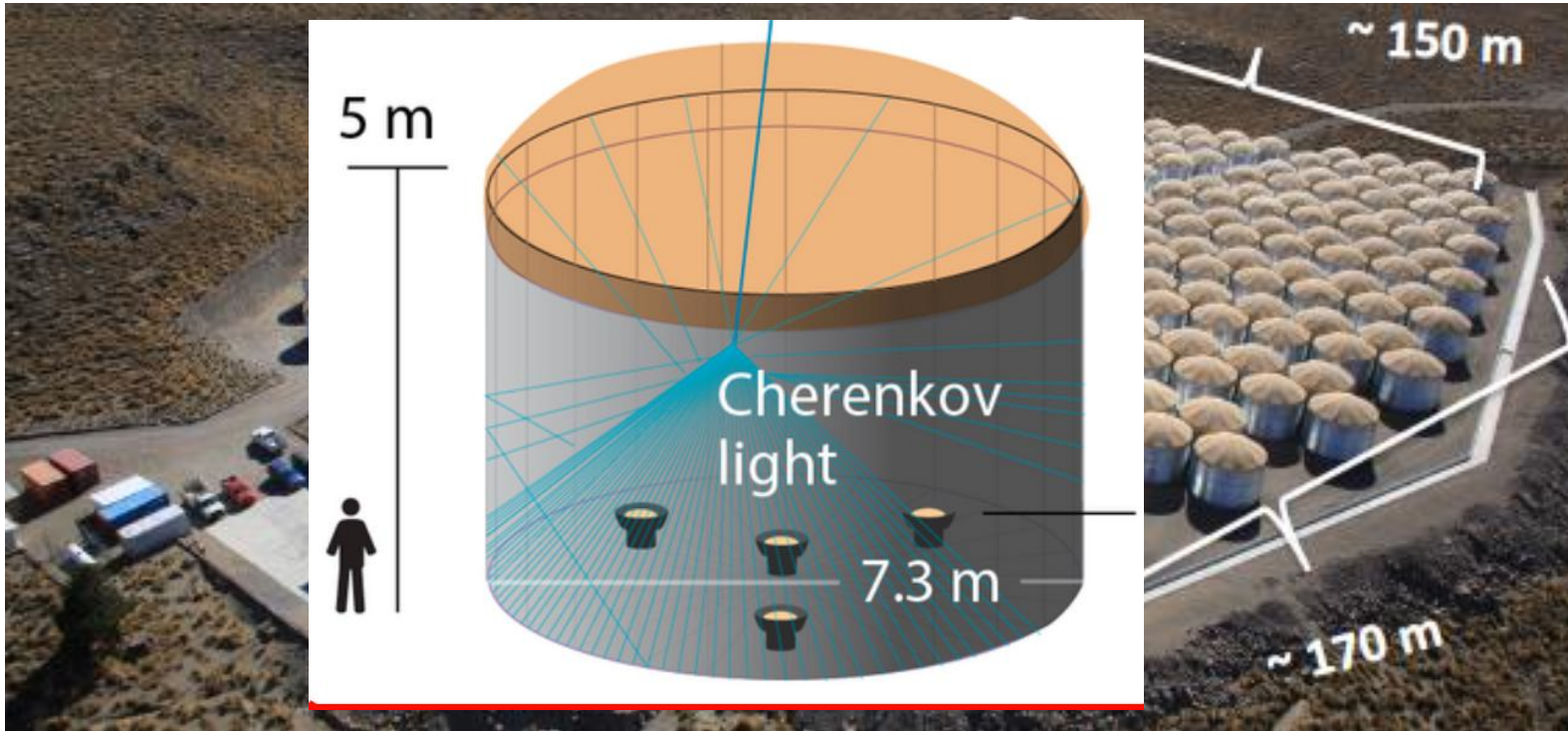


- Gran Apertura y operación continua cubre 2/3 del cielo cada día
- Elevación de 4100 m s.n.m
- 300 tanques de 200,000 litros cubriendo un área de 22, 000 m²
- Capta 25 kHz de HEAS, la mayoría RC
- Latitud: 18° 59.7' N, Longitud: 97° 18.6' W

HAWC

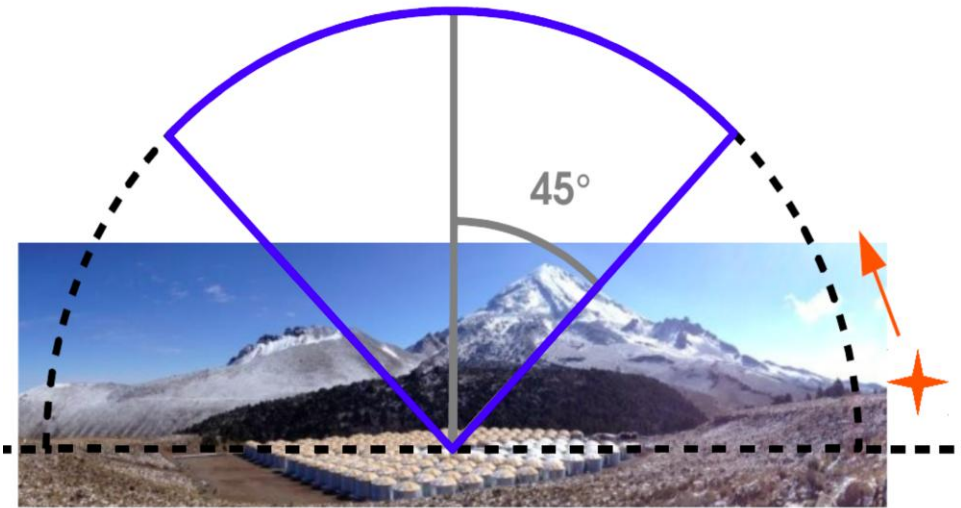


High Altitude Water Cherenkov Observatory



- Gran Apertura y operación continua cubre 2/3 del cielo cada día
- Elevación de 4100 m s.n.m
- 300 tanques de 200,000 litros cubriendo un área de 22, 000 m²
- Capta 25 kHz de HEAS, la mayoría RC
- Latitud: 18° 59.7' N, Longitud: 97° 18.6' W

Campo de visión y ciclo activo de HAWC



Campo de visión hasta
~45° desde el cenit

Debido a la rotación de la tierra, HAWC es
capaz de recorrer 2/3 del cielo cada día

Una fuente es vista por HAWC
hasta 6 horas cada día

El plano del chubasco se reconstruye a partir del tiempo de llegada de las señales en cada tanque, la perpendicular al plano da la dirección de la partícula original: rayo gamma o rayo cósmico

Separación Gamma/hadrón

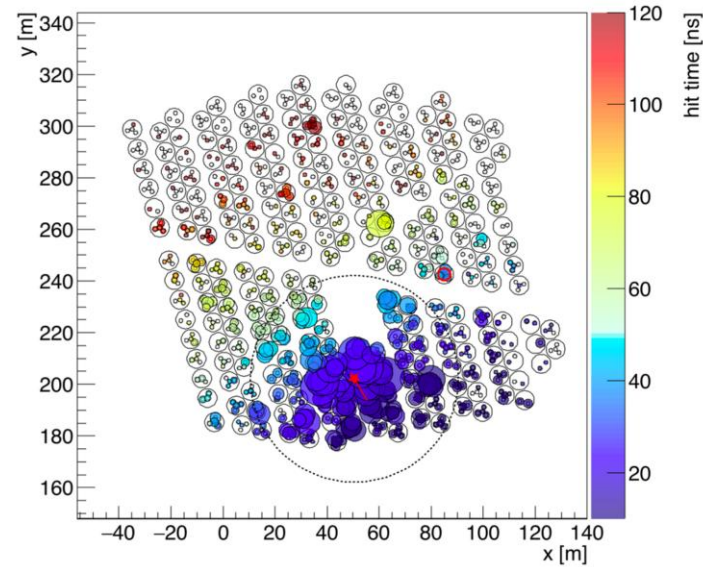
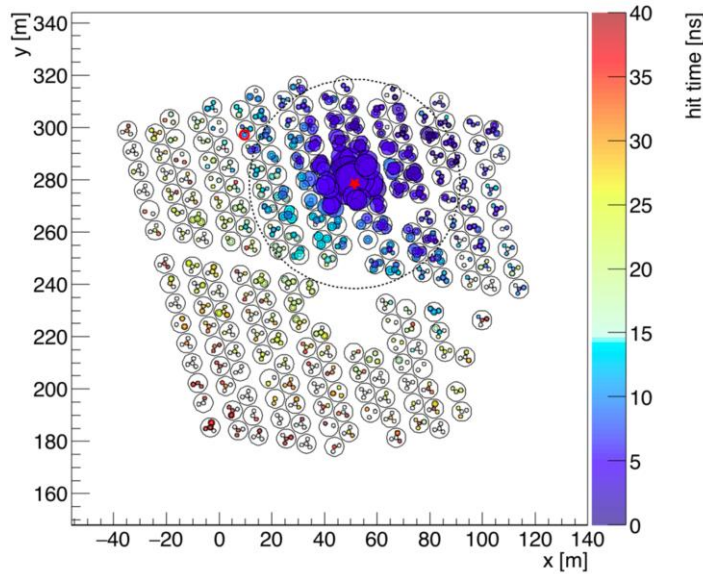


Rayo Gamma

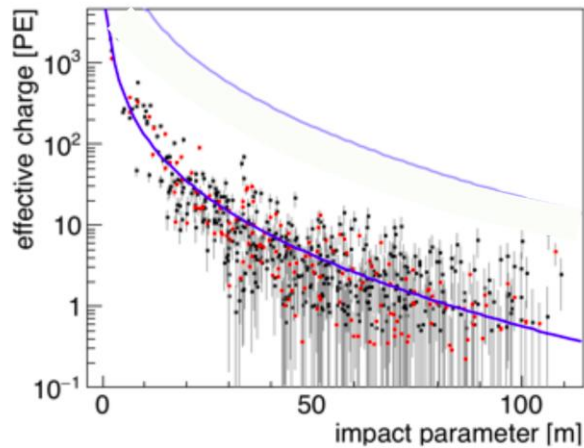
Chubasco hadrónico

Run 2054, TS 584212, Ev# 226, CXPE40= 21.2, Cmpntness= 28.3

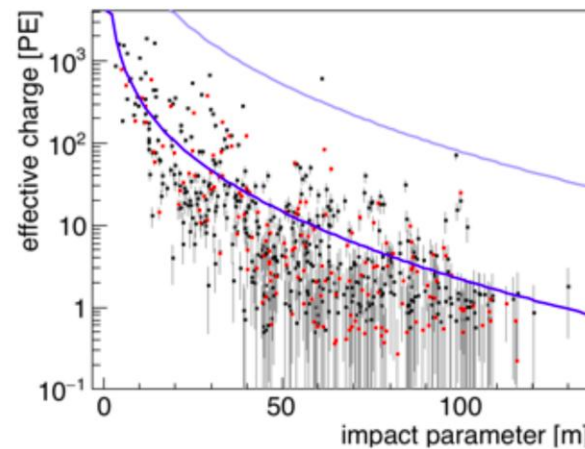
Run 2118, TS 45004, Ev# 41, CXPE40= 55.7, Cmpntness= 10.7



Lateral distribution



Lateral distribution

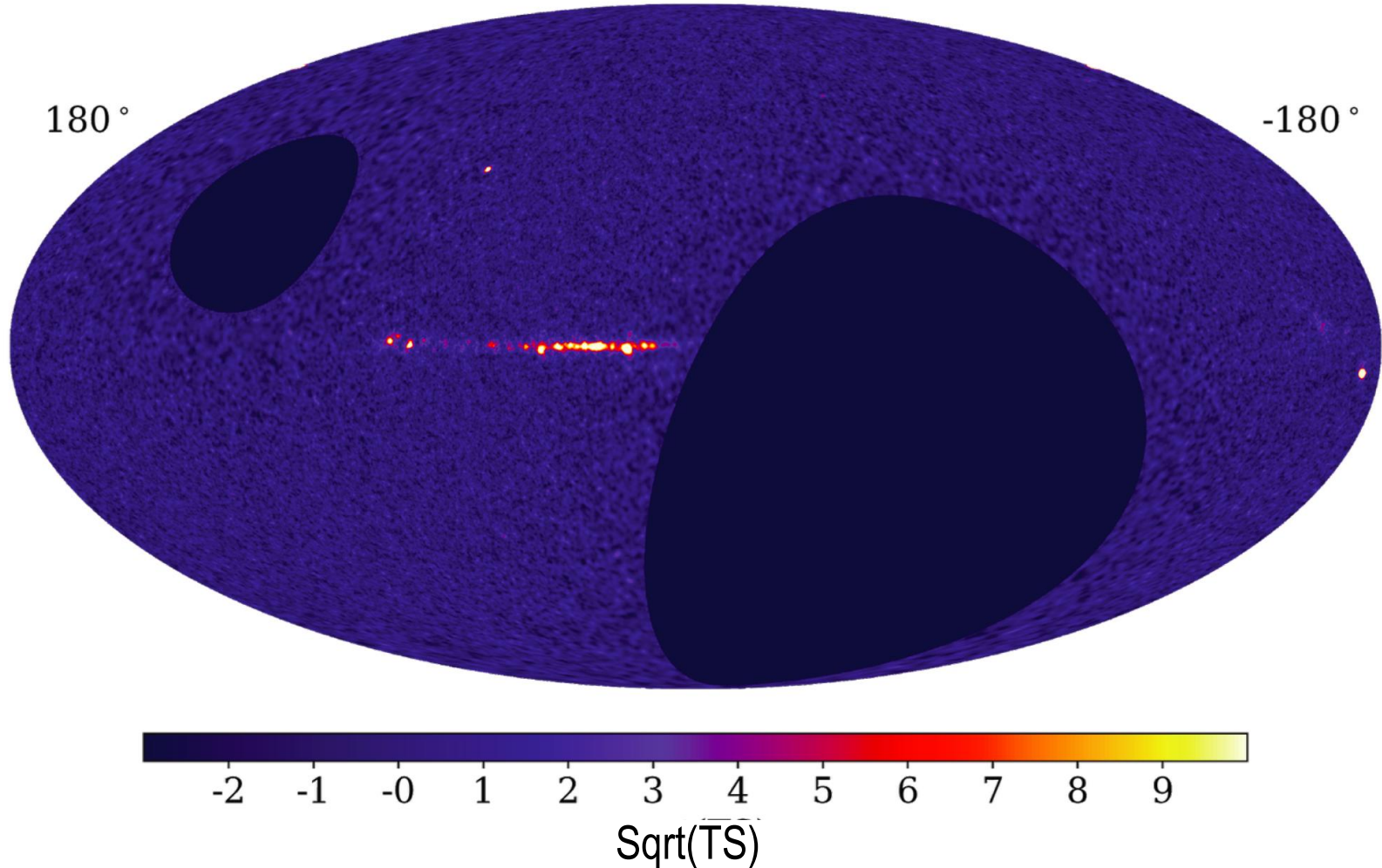


Objetivos científicos de HAWC



- Monitorear 2/3 del cielo continuamente, buscando emisiones de alta energía de rayos gamma
- Medir el espectro (flujo vs energía) y las variaciones temporales de fuentes de rayos gamma de muy alta energía
- Buscar emisiones de muy alta energía de rayos gamma, provenientes de destellos de rayos gamma (GRB)
- Estudiar temas de física fundamental tales como: materia oscura (DM), agujeros negros primordiales, violación de la invarianza de Lorentz, partículas supersimétricas (neutralino, Q-balls)
- Estudiar en detalle la anisotropía de rayos cósmicos vista por Milagro
- Física Solar

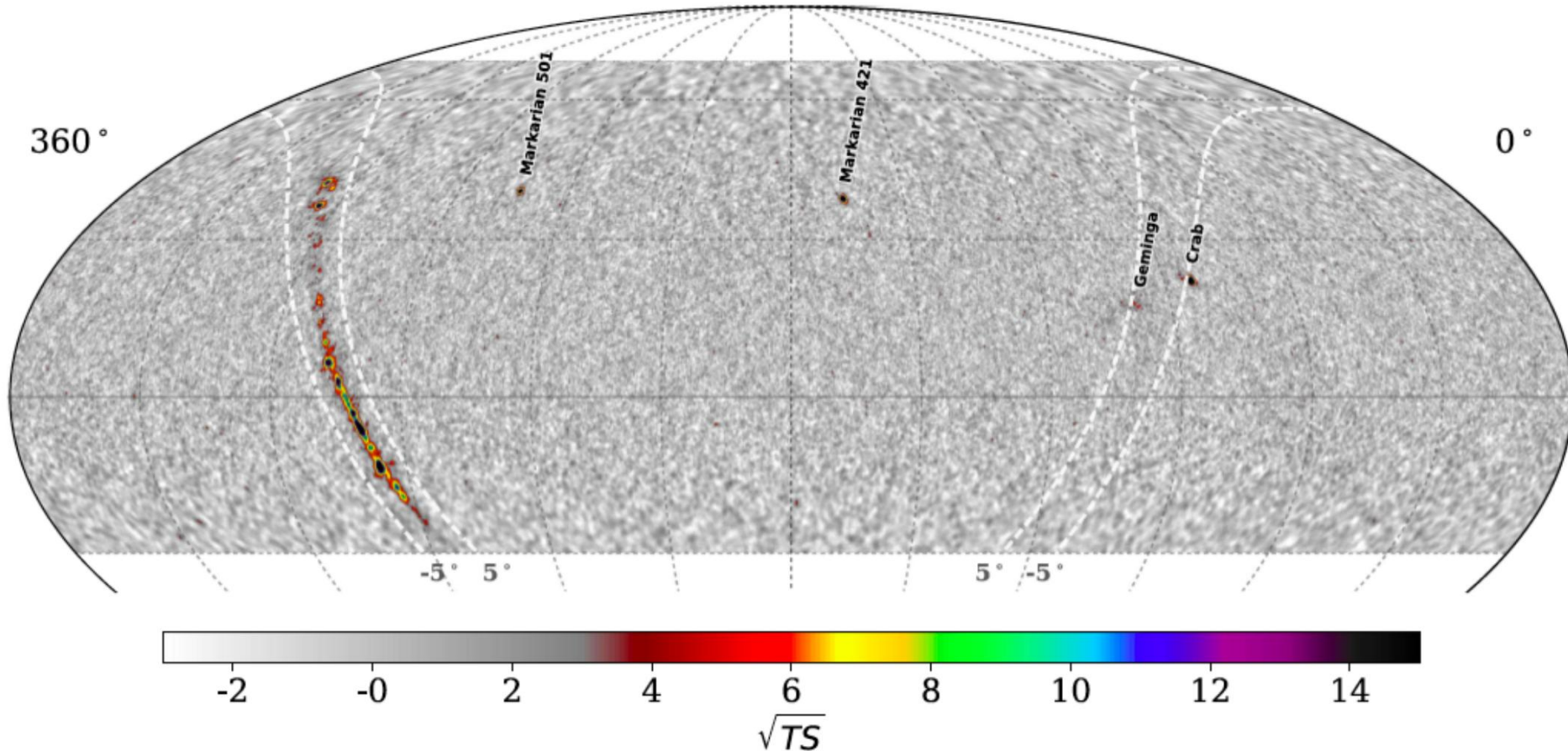
El cielo en rayos gamma visto por HAWC



- Mapa del cielo de HAWC con energías en TeV, 17 meses de datos
- 39 fuentes, 19 no asociadas con ninguna fuente conocida en TeV

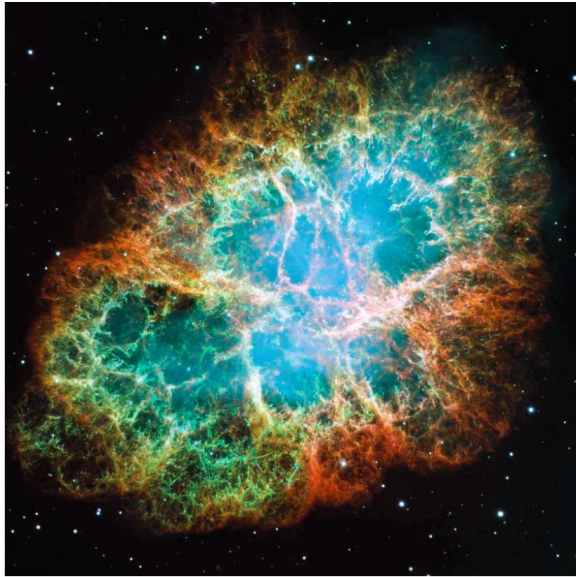
Segundo Catálogo de Rayos Gamma

HAWC Collaboration The Astrophysical Journal 843:40 (2017)



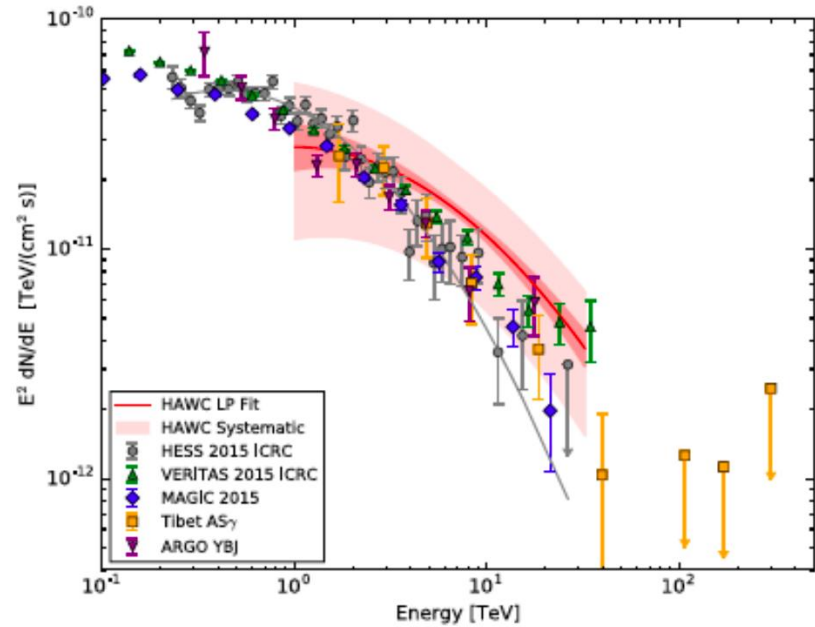
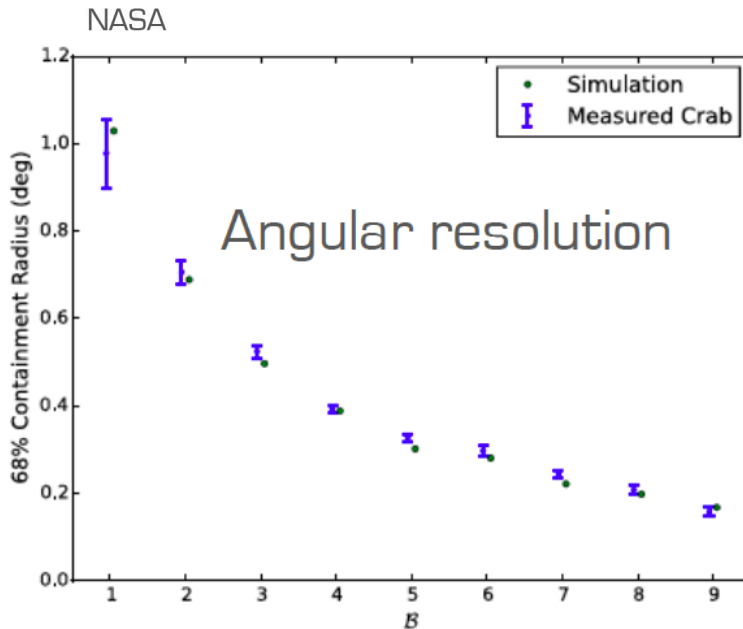
Mapa del cielo de 507 días de datos: Sondeo de los TeV más sensibles hasta ahora, análisis de fuentes puntuales asumiendo una ley de potencias con índice 2.7

Nebulosa del Cangrejo vista por HAWC



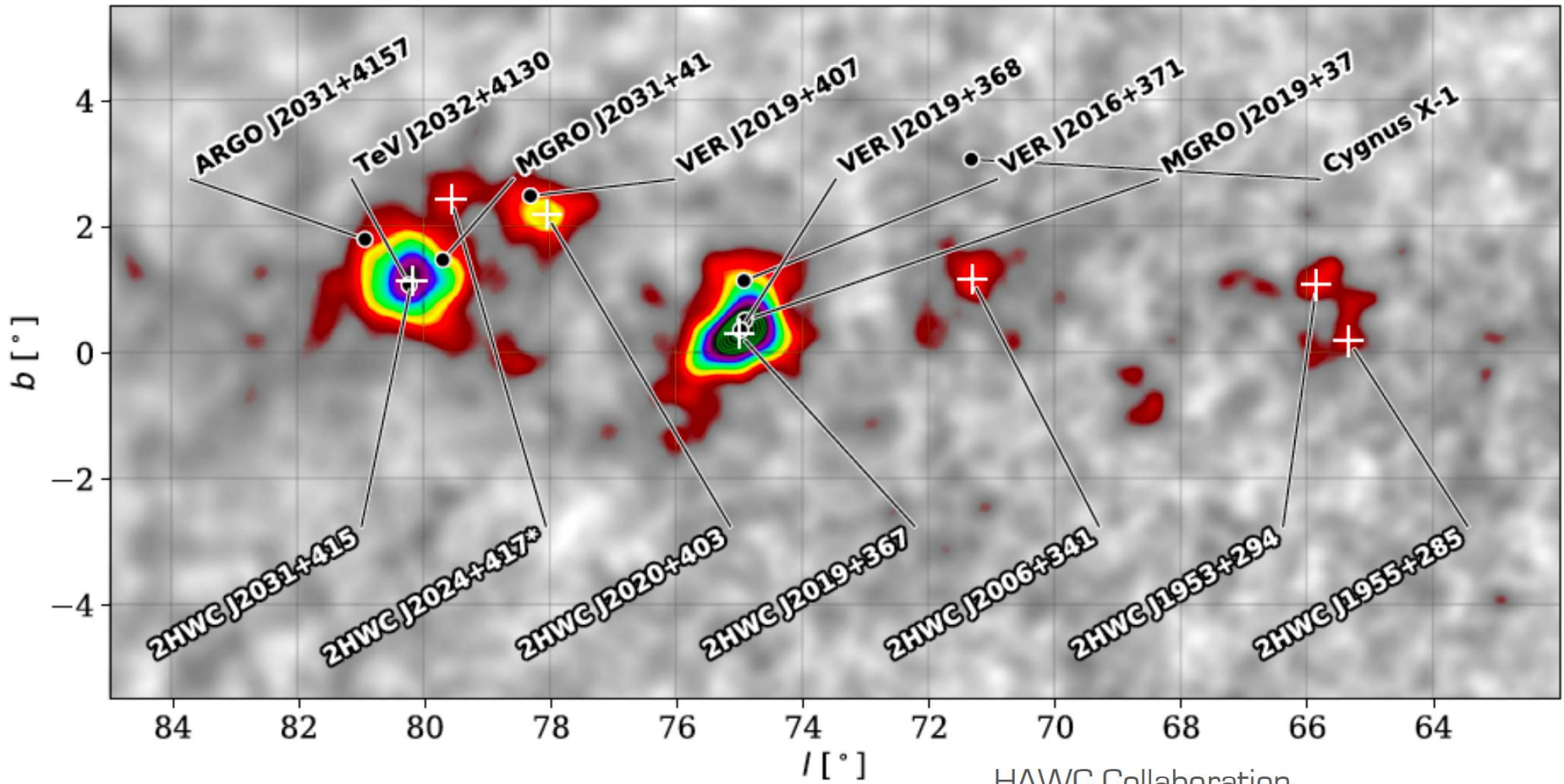
Localizada a ~6500 años luz de la Tierra
Diámetro de 11 años luz

- Es la luz estándar de fuentes de rayos gamma en TeV: Primera detección en TeV con alta precisión
- Se usa para afinar análisis y validar simulaciones



Espectro de energía de la Nebulosa del Cangrejo

Fuentes en el Plano Galáctico



HAWC Collaboration

The Astrophysical Journal 843:40 (2017)

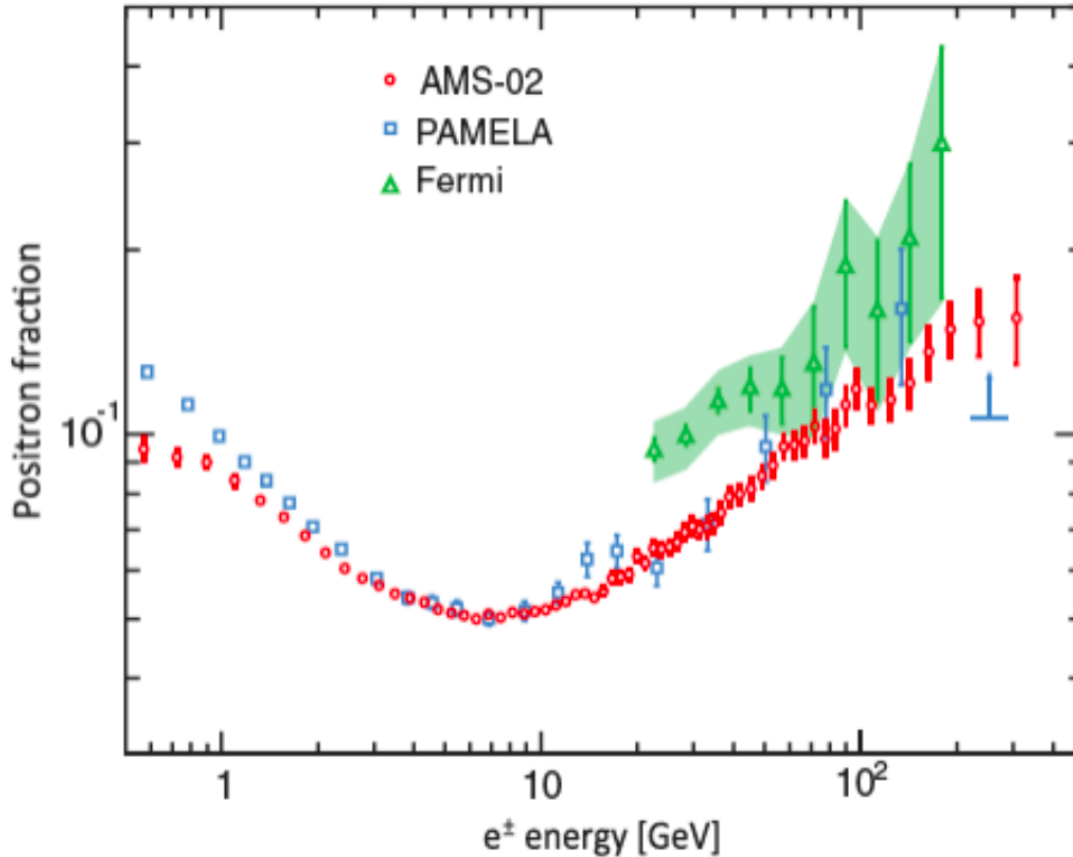
Exceso de positrones y fuentes extendidas

Con estudios del plano galáctico con HAWC, se encontraron fuentes puntuales y extendidas, algunas de ellas no reportadas previamente



PAMELA y AMS midieron un exceso de positrones a energías > 10 GeV

¿Podría este exceso deberse a un pulsar cercano en lugar de un producto de aniquilación de materia oscura?



AMS Collaboration PRL 110, 141102 (2013)

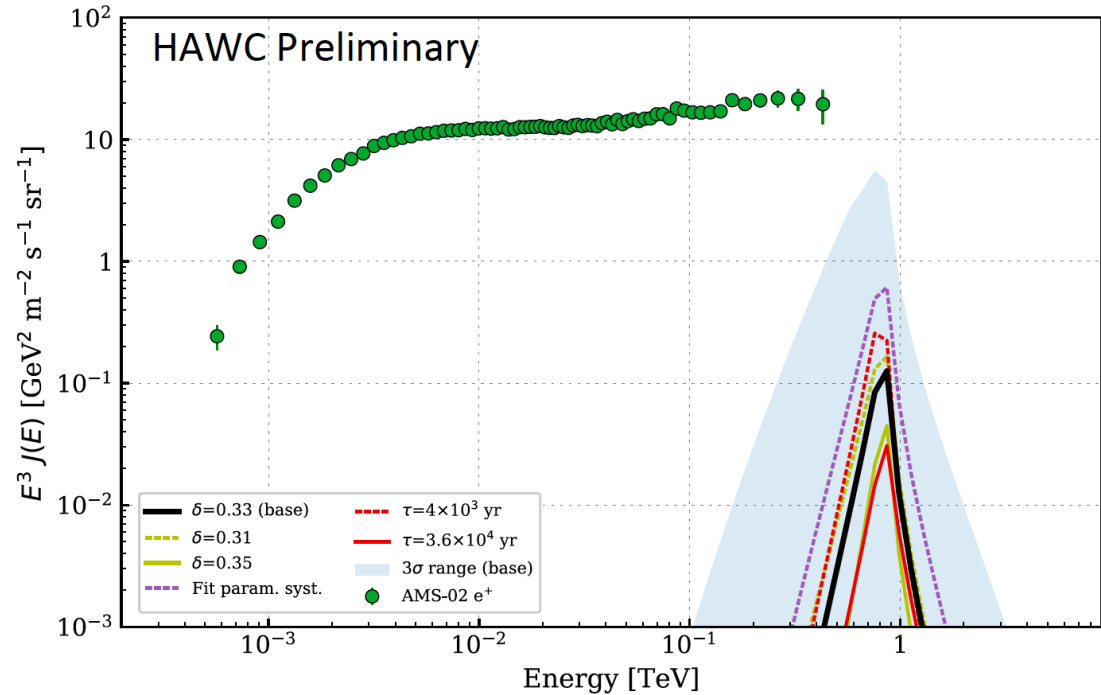
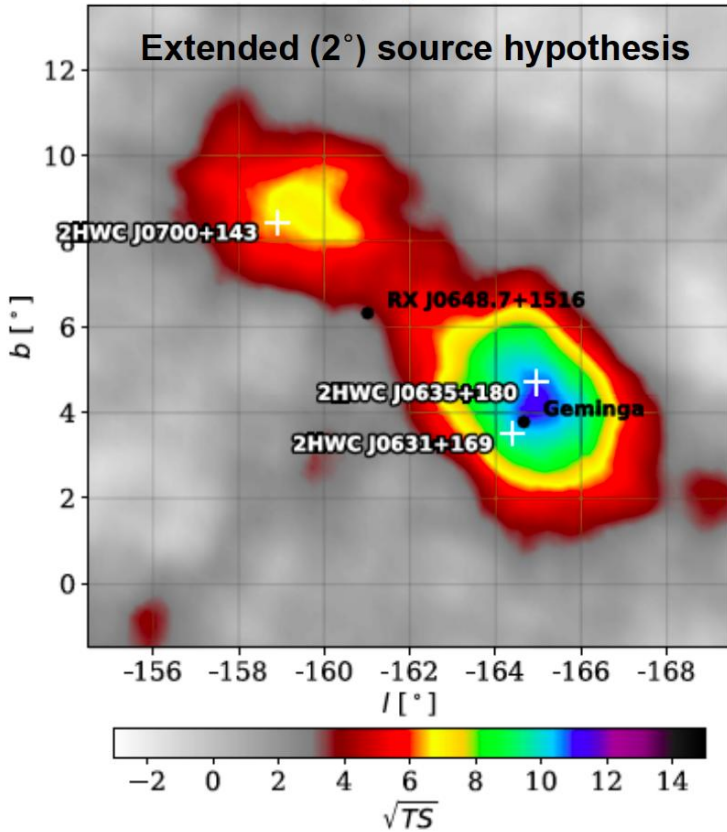
Requerimientos para la hipótesis del pulsar:

- Suficientemente viejo para producir el viento de $e^+ e^-$
- Suficientemente joven, así que todavía emite el viento
- Suficientemente cercano para que $e^+ e^-$ nos alcancen

Exceso de positrones y fuentes extendidas



Se analizaron Geminga y 2HWC J0700+143 como fuentes, usando las propiedades medidas por HAWC se puede inferir la propagación de e+e- hacia la Tierra.

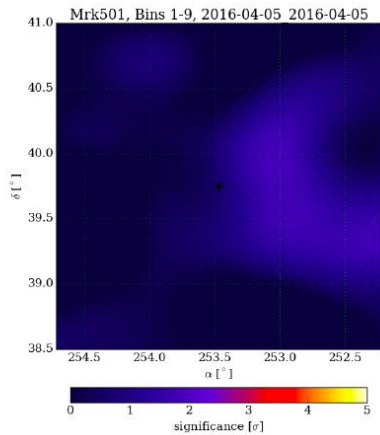


El flujo de positrones medido no puede explicarse por las contribuciones de dichas fuentes

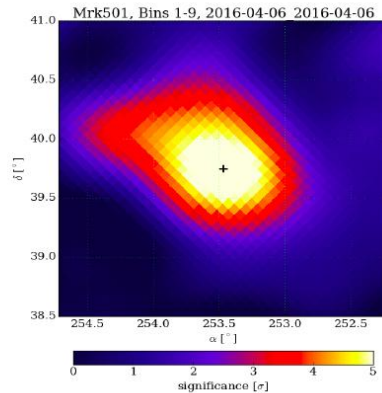
Variabilidad de fuentes: Detección de incremento del flujo en TeV de la galaxia activa Markarian 501



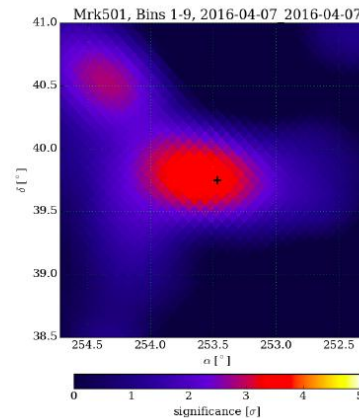
Se envió un telegrama a la comunidad para alertar a la comunidad sobre esta observación



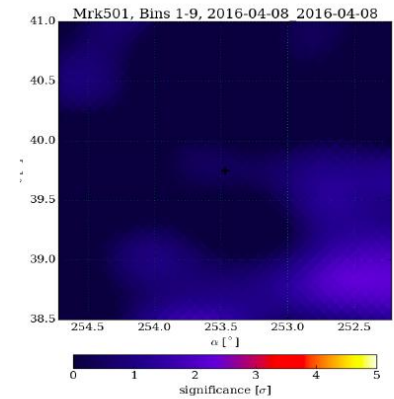
April 5, 2016



April 6, 2016



April 7, 2016



April 8, 2016

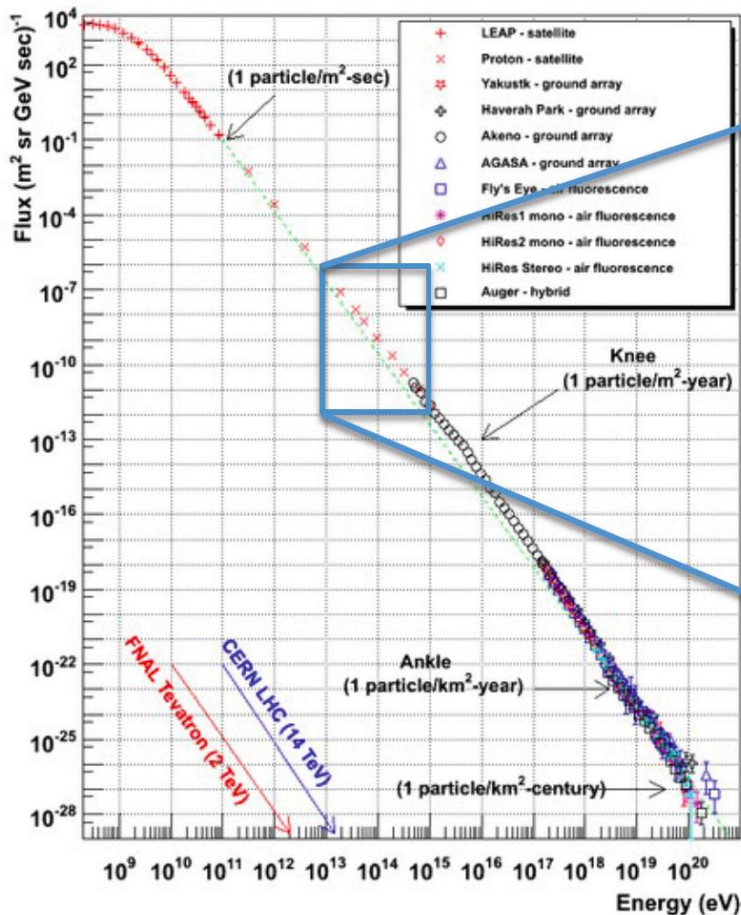
Estas observaciones sirven para obtener información sobre los mecanismos de aceleración

Espectro de Rayos C3smicos



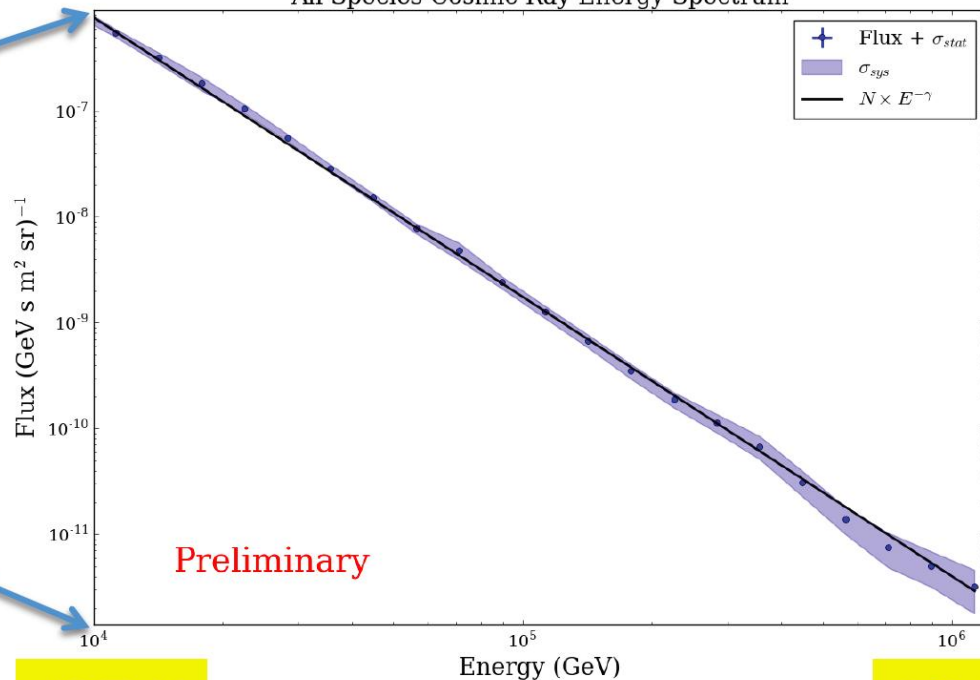
359 d3as de datos

Cosmic Ray Spectra of Various Experiments



HAWC

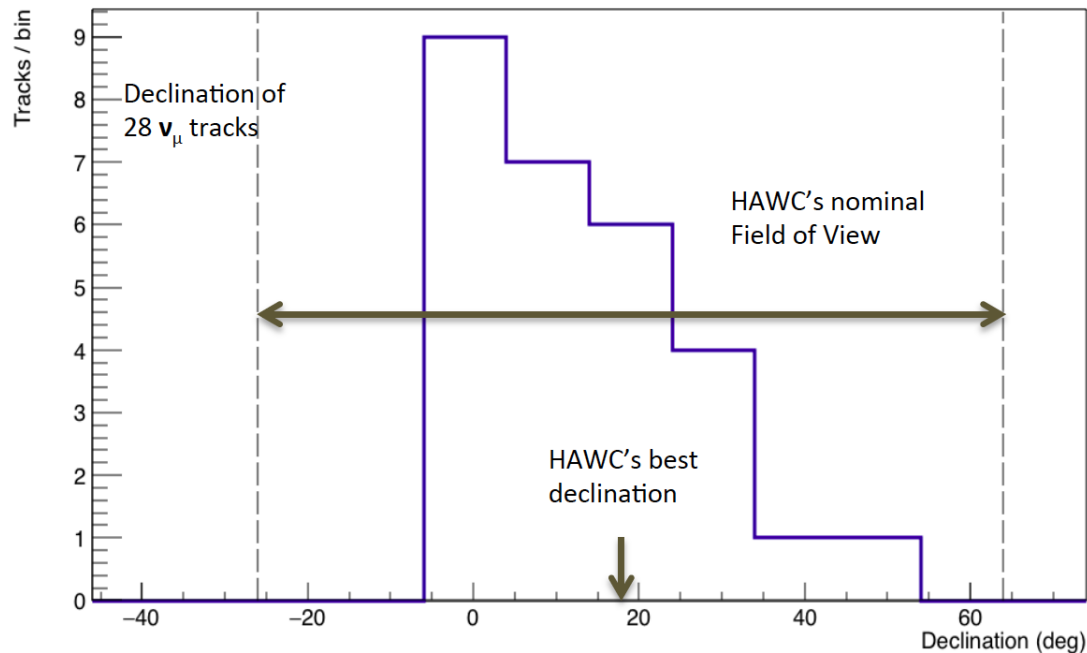
All Species Cosmic Ray Energy Spectrum



10 TeV

1 PeV

Búsqueda de contrapartes de Rayos Gamma en TeV de neutrinos de IceCube



- Se buscaron fuentes de Rayos Gamma en la dirección de donde llegaron 28 neutrinos de alta energía
- Hasta ahora no hay detecciones
- Se hacen búsquedas en tiempo real para encontrar eventos transitorios

Búsqueda Materia Oscura



- Decaimiento o aniquilación de partículas de DM en las regiones donde hay alta densidad de interacción de DM con partículas del SM, eventualmente producen Rayos Gamma. Si la masa de la DM es 1TeV-100 TeV, HAWC podría detectar ese flujo directamente.
 - Cluster de Virgo
 - M31 (Andrómeda)
 - Centro Galáctico
 - Dwarf esferoidales
- Hasta ahora no hay detecciones
- Se hacen búsquedas en tiempo real para encontrar eventos transitorios

A.U. Abeysekara et al JCAP02(2018)049

- Decaim
- interac
- de la D
- C
- M
- C
- D
- Hasta
- Se hac

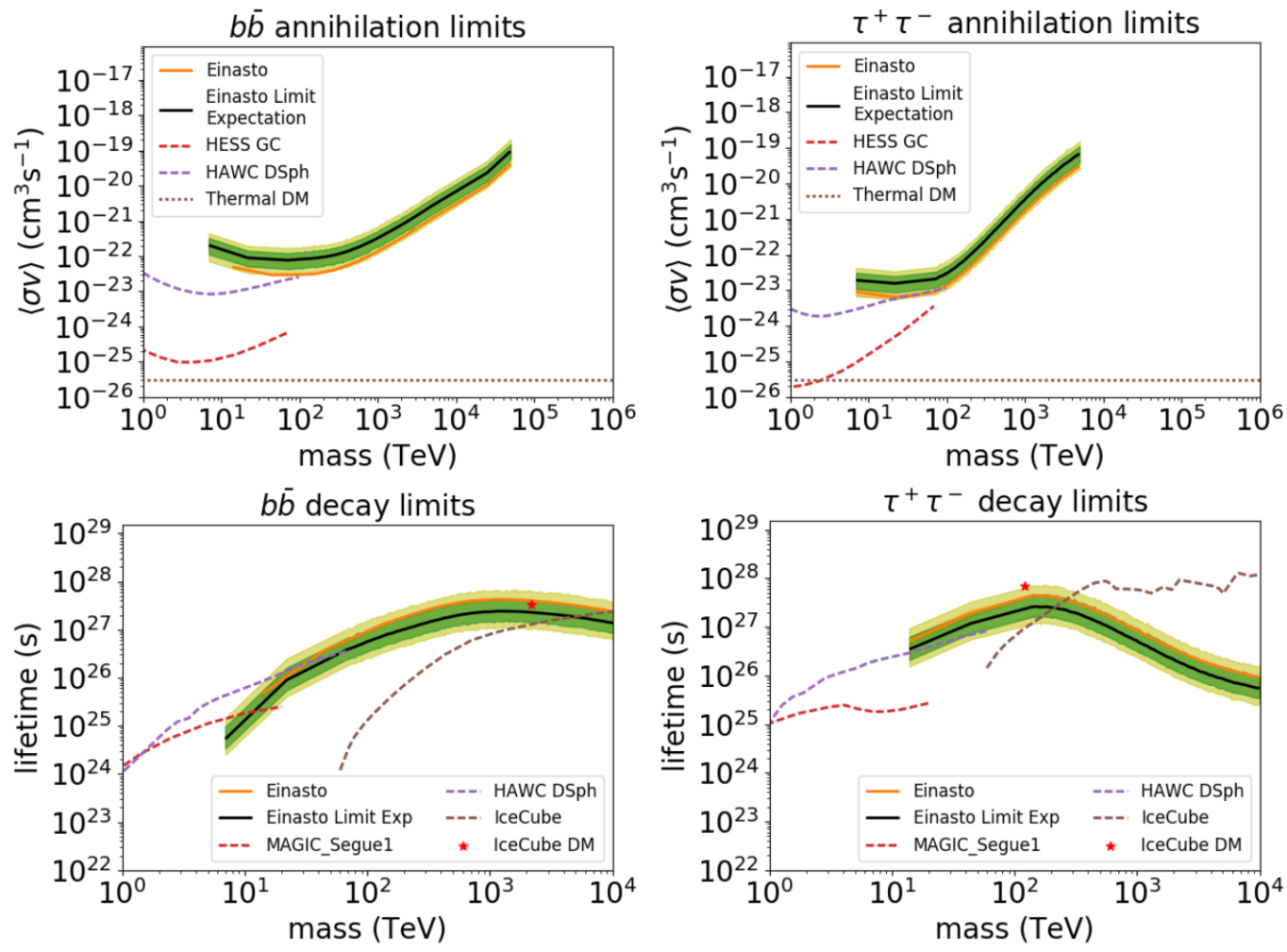


Figure 11. Demonstration of the statistical errors compared to the limits for $b\bar{b}$ and $\tau^+\tau^-$ DM annihilation and decay channels considered in this analysis. Limits for an Einasto (orange) profile are shown as in figures 7–10. Segue 1 dwarf galaxy limits from MAGIC [68], GC limits from HESS [70], HAWC limits from dwarf galaxies, and the model for IceCube neutrinos from decaying DM [7] are also shown as in figures 7–10. The black line is the expected value for the Einasto profile without any statistical fluctuations in the data. The green and yellow regions show the limits expected from 68 percent and 95 percent fluctuations from the black line. Note that the values observed in data are underfluctuations lying between the 68 and 95-percent regions. Note that the upper figures show upper limits on the annihilation cross-section and the lower figures show lower limits on the decay lifetime.

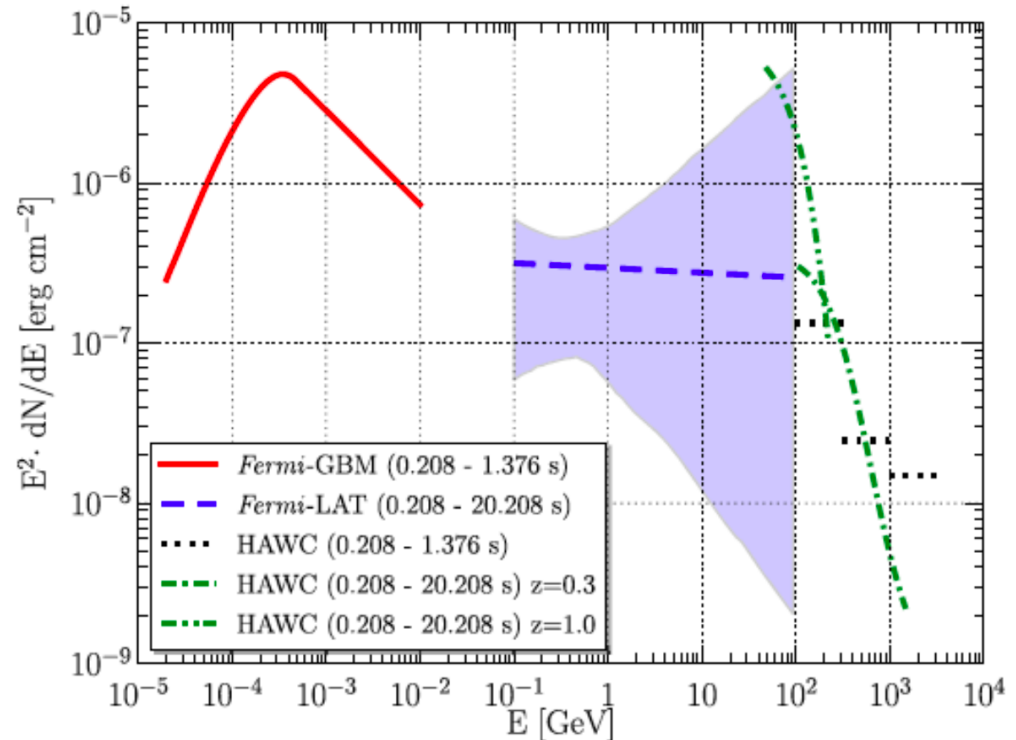
Contraparte en TeV de GRBs



- El área efectiva de HAWC es $\sim 100 \text{ m}^2$ a 100 GeV
- Fermi tiene un área efectiva de $\sim 1 \text{ m}^2$ y ha detectado Rayos Gamma de 100 GeV de GRBs.
- Hasta ahora no hay detecciones por HAWC pero se han puesto límites a 64 GRBs detectadas por Swift y Fermi

GRB 170206

Third brightest short GRB detected by Fermi-GBM



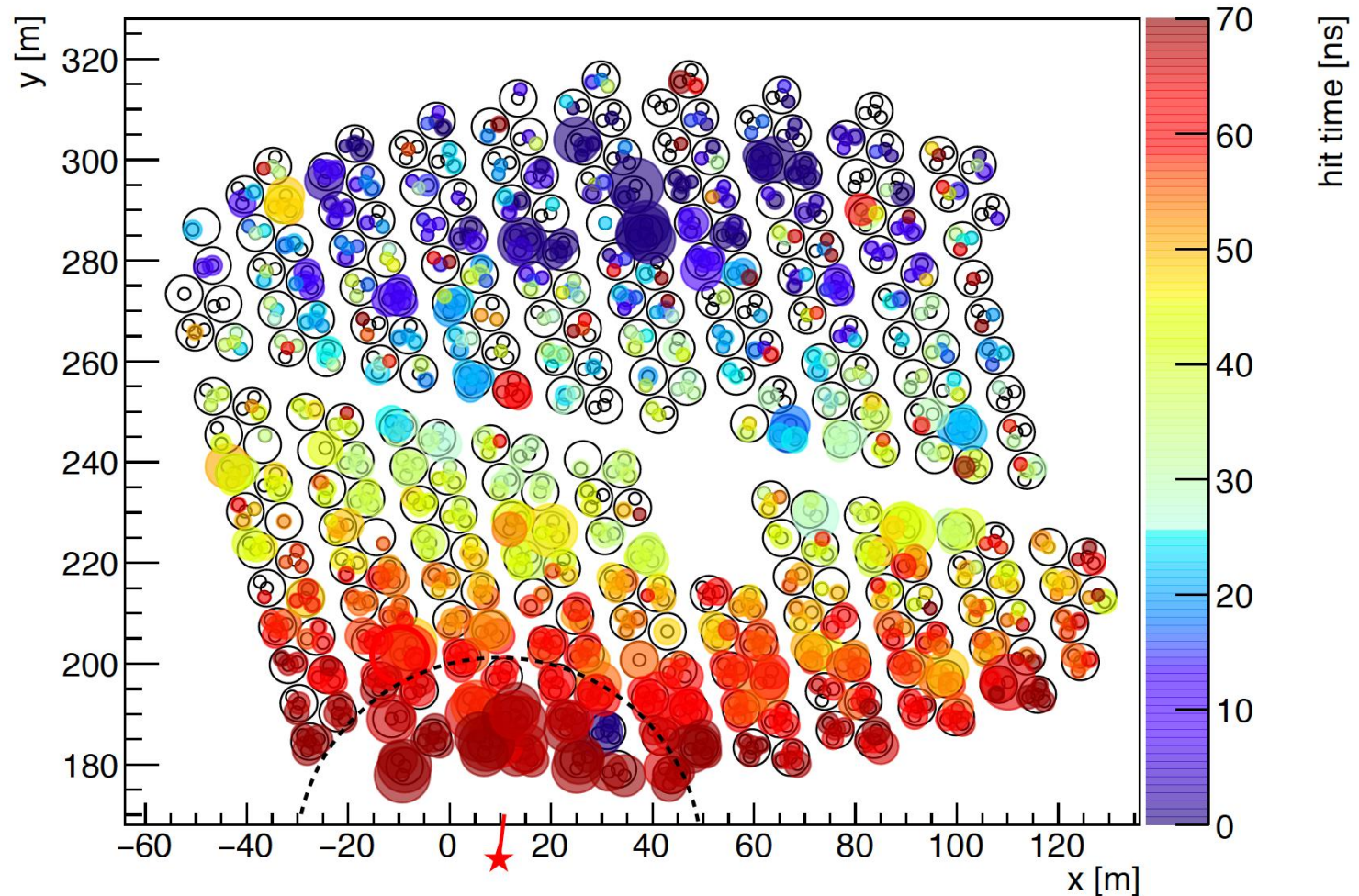
*HAWC Collaboration
APJ 843:88 (2017)*

Mejora de HAWC Outriggers

Chubascos con el core lejos de la red de detectores



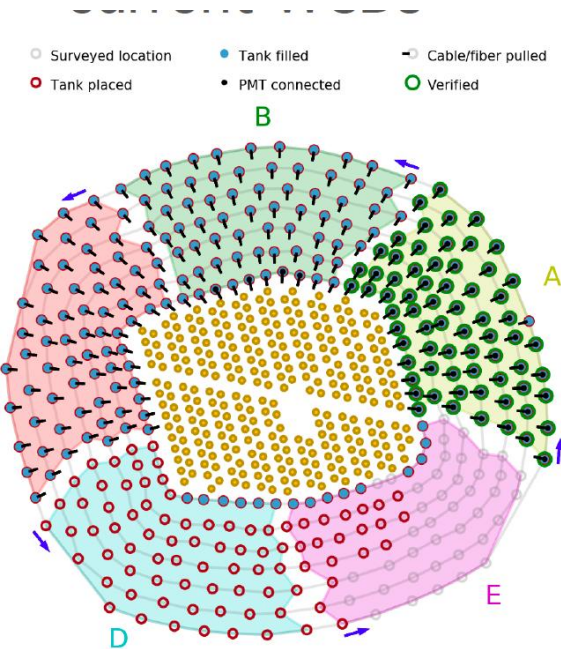
Run 4486, TS 13, Ev# 405, CXPE40= 446, RA= 359.2, Dec= 31.8



Mejora de HAWC Outriggers



- Incrementa la sensibilidad para chubascos con energías > 10 TeV
- Se obtendrá una mejor precisión de la localización del core para chubascos que caen en las orillas de la red
- Incremento del área efectiva para energías > 10 TeV por 3-4x
- Financiado por LANL/México/MPI Heidelberg
- Tanques de 2500 litros: 1/80 del volumen de los WCD actuales



Resumen



- HAWC empezó operaciones completo en marzo de 2015
- El catálogo 2HWC de fuentes de Rayos Gamma contiene 39 fuentes, incluyendo 19 fuentes
- HAWC produjo las primeras curvas de luz en TeV en una base diaria, para la Nebulosa del Cangrejo, Markarian 421 y 501. HAWC puede estudiar la variabilidad de cualquier fuente en TeV dentro de su campo de visión y provee alertas para otros observatorios
- HAWC realiza observaciones de seguimiento propuestas por observatorios como IceCube, LIGO-Virgo, Fermi, AMS, etc.

¡Muchas gracias!

